



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica

Análisis espacial multicriterio para determinar la localización óptima de un relleno sanitario en el Distrito de Quellouno, La Convención, Cusco

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

AUTORES

Michel Anthony MONTES MERLO

Luis Fernando SAVERO QUISPE

ASESOR

Dr. Francisco Alejandro ALCÁNTARA BOZA

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Montes, M. & Savero, L. (2025). *Análisis espacial multicriterio para determinar la localización óptima de un relleno sanitario en el Distrito de Quellouno, La Convención, Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Michel Anthony Montes Merlo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70860696
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-8849-6484
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Luis Fernando Savero Quispe
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75441190
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0003-5267-9123
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Francisco Alejandro Alcántara Boza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	27074721
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9127-4450
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Jose Jorge Espinoza Eche
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06184372

Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Emilia Isabel Bejar Melgar
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41331753
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	José Luis Quispe Vílchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08119070
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.16. Ciencias de suelo
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica
Ubicación geográfica de la investigación	Departamento: Cusco Provincia: La Convención Distrito: Quellouno Latitud Sur: 12°37'035" Longitud Norte: 72°41'33"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017 - 2024
URL de disciplinas OCDE	Geociencias, Multidisciplinar https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01 Otras ingenierías y tecnologías https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Geográfica de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, el miércoles 19 de marzo del 2025, siendo las 09:00 horas, en presencia de los Señores Docentes designados como Miembros del Jurado Calificador:

Dr. Espinoza Eche, Jose Jorge	Presidente de Jurado de Tesis
Mag. Bejar Melgar, Emilia Isabel	Jurado de Tesis
Ing. Quispe Vilchez, Jose Luis	Jurado de Tesis

Reunidos en Acto Académico Público de Sustentación de la Tesis titulada: «**ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA DETERMINAR LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UN RELLENO SANITARIO EN EL DISTRITO DE QUELLOUNO, LA CONVENCIÓN, CUSCO**», para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo.

Expuesta la Tesis; los miembros del Jurado plantearon a los Bachilleres las preguntas pertinentes, 1 que fueron absueltas por los tesistas:

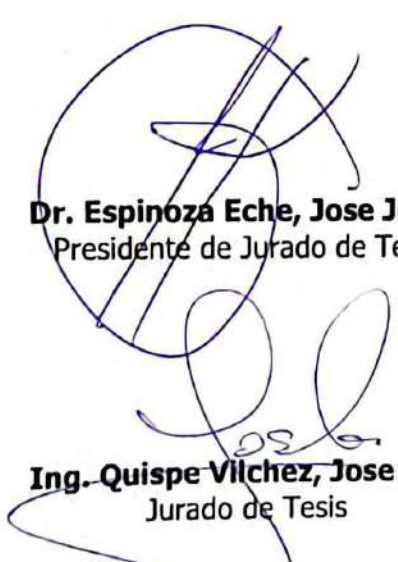
..... Satisfacción

Concluida la sustentación de Tesis, el Jurado procedió a evaluar y calificar la calidad y sustentación en secreto, cuyo calificativo fue: 12 (doce) - Aprobada

Habiendo sido aprobada la Sustentación de la Tesis por el Jurado Calificador, el presidente del Jurado recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓGRAFO**, a **Don MONTES MERLO MICHEL ANTHONY** y a **Don SAVERO QUISPE LUIS FERNANDO**.

Siendo las 10:00 horas, se dio por concluido el acto académico, expidiéndose cinco (05) Actas Originales de la Sustentación de Tesis, firmadas por el Jurado Calificador

Ciudad Universitaria, 19 de marzo del 2025


Dr. Espinoza Eche, Jose Jorge
Presidente de Jurado de Tesis


Mag. Bejar Melgar, Emilia Isabel
Jurado de Tesis


Ing. Quispe Vilchez, Jose Luis
Jurado de Tesis


Dr. Alcántara Boza, Francisco Alejandro
Asesor de tesis



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Francisco Alejandro Alcántara Boza, en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 000358-2024-D-FIGMMG/UNMSM, de la tesis, cuyo título es "ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA DETERMINAR LA LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE UN RELLENO SANITARIO EN EL DISTRITO DE QUELLOUNO, LA CONVENCION, CUSCO", presentado por los bachilleres MONTES MERLO Michel Anthony y SAVERO QUISPE Luis Fernando, para optar el título de Ingeniero Geógrafo, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 10 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título correspondiente.

Firma del Asesor: _____

DNI: 27074721

Asesor: Francisco Alejandro Alcántara Boza

Lima 18 de septiembre del 2024



DEDICATORIA

A mi padre: Jorge Montes, por su sacrificio y esfuerzo de apoyarme en lo necesario a pesar de la distancia y enseñarme que si es posible estudiar y trabajar desde temprana edad para alcanzar mis metas.

A mis hermanos: Jorge, Joel y Dayana, a quienes respeto y espero motivarlos para que cumplan sus metas propuestas y profesiones respectivas.

A mi madre: Isabel Merlo, por su humildad, bondad, valentía y amor a la familia. A mi abuela: Zenaida Rodríguez, que siempre la tendré presente.

A mi amigo: Luis Fernando, por su motivación, destreza, persistencia y la estima hacia mi persona para empezar y terminar la investigación juntos.

A mis amigos Eldy Salas, Arq. Nicolás Oviedo y compañeros del proyecto de Gestión Territorial del distrito de Quellouno, por su apoyo y los permisos necesarios para el desarrollo de esta tesis.

Michel Anthony Montes Merlo

DEDICATORIA

En primer lugar, a mi padre, Fernando Savero, quien siempre estuvo a mi lado en los momentos buenos y malos, brindándome el apoyo necesario para salir adelante y creyendo en mí a pesar de las adversidades.

A mi madre, Gabriela Quispe, por su cariño, sacrificio y apoyo hacia mi persona siendo ella un pilar fundamental en todo este viaje.

A mi abuela Haydee Quispe Narciso, mi segunda madre, la mujer que me inculcó buenos valores, brindó su amor y veló por mí desde que tengo uso de razón.

A mi hermano, Guillermo Savero, una persona que está destinada a lograr grandes cosas y es mi motivación para esforzarme cada día más.

A mi abuelo, el Dr. Luis Quispe Manco, por ser mi más grande ejemplo a nivel profesional y que para mí es la prueba que con esfuerzo y dedicación sí es posible salir adelante y triunfar a pesar de las barreras que nos pone la vida.

A mi tío, Jorge Quispe, que siempre estará presente y sé que desde el cielo él vela por el bienestar de mi familia.

A mi amigo Michel, por su dedicación y ánimo para elaborar este proyecto de investigación. Además, por la amistad que me brindó a lo largo de mi vida universitaria.

A los hermanos que la vida me regaló, aquellos que me demostraron que hasta en las peores noches hay amigos.

Luis Fernando Savero Quispe

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Municipalidad Distrital de Quellouno por la información obtenida de los trabajos realizados en el proyecto "Mejoramiento de los Servicios de Gestión Territorial para el Desarrollo Urbano Rural del Distrito de Quellouno, Provincia de La Convención, Departamento de Cusco" como insumos para el proyecto de investigación.

Agradecemos a nuestro asesor, el Dr. Francisco Alcántara, por aceptar ser nuestra guía y apoyarnos en este trabajo de investigación, así como también por su tiempo empleado en revisar y corregirnos constantemente el avance del trabajo de investigación. Asimismo, agradecer al docente involucrado desde el plan de tesis: Ing. Luis Huamán; por sus conocimientos y estima desde la etapa de estudiante de pregrado hasta la sustentación; a nuestra destacada escuela de Ingeniería Geográfica, donde nos formamos y seguimos aprendiendo de sus nuevos equipos y software.

Queremos agradecer también a nuestros compañeros y colegas: Axel Pinedo, Christian Carmona, Milagritos Paquiyauri, Carlos Sanda, Jhon Calixto, Fernando Poma y Frank Morales por sus conocimientos, oportunidades y confianza en los diversos proyectos realizados en donde adquirimos la experiencia e información necesaria para la elaboración de la presente investigación, quienes estuvieron apoyándonos con sus mensajes, preguntas y buenas vibras para su respectiva culminación.

RESUMEN

Los residuos sólidos generados en el Perú tienen un tratamiento hasta su disposición final en los rellenos sanitarios que existen en gran parte del país, pero también una parte de los residuos que no llegan aún relleno sanitario se almacenan en botaderos u otros espacios informales. El desarrollo y el crecimiento exponencial de la población incrementa la generación de residuos sólidos que debe seguir un manejo adecuado para su disposición final en rellenos sanitarios, siendo de prioridad localizar zonas óptimas para un relleno sanitario que cubra todo el volumen de residuos proyectándose a futuro. El distrito de Quellouno cuenta con un relleno sanitario para todos los centros poblados de su jurisdicción. Ante la deficiencia de un relleno sanitario para un distrito con centros poblados en desarrollo y crecimiento poblacional muy distantes al único relleno sanitario, se planteó determinar la localización óptima de un relleno sanitario para el distrito de Quellouno que cumpla con las especificaciones técnicas establecidas por la guía del Ministerio del Ambiente y tener más opciones a futuro de posibles rellenos sanitarios. Para la investigación se realizó un análisis espacial multicriterio con Sistemas de Información Geográfica con las variables de pendiente, permeabilidad del suelo, fallas geológicas, áreas naturales protegidas, distancia a las vías, población, fuentes de agua, el factor social y más variables a tomar en cuenta según la guía de relleno sanitario del Ministerio del Ambiente. También se utilizó la metodología de análisis jerárquico de Thomas Saaty para establecer un peso o grado de importancia a cada variable las cuales se verá reflejado en los atributos del análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica. Se obtuvieron 2 polígonos que cumplen los criterios establecidos en la guía, con un 90% y 100% de confianza respectivamente distribuidos en los centros poblados más consolidados en el distrito de Quellouno. El primer polígono tiene un área de 111 hectáreas y se encuentra cerca de los centros poblados Huilcapampa, Estrella y Penetración los cuales son los más alejados del relleno sanitario existente. El segundo polígono se encuentra cerca al relleno sanitario de la capital de Quellouno y los centros poblados de Putucusi, Puente Santiago, Quesquento y Chancamayo. Estos lugares son buenas alternativas a tomar en cuenta para futuros proyectos de relleno sanitario en el distrito de Quellouno, provincia de la Convención, departamento de Cusco.

ABSTRACT

The solid waste generated in Peru is treated until its final disposal in the sanitary landfills that exist in a large part of the country, but also part of the waste that does not reach the sanitary landfill is stored in dumps or other informal spaces. The development and exponential growth of the population increases the generation of solid waste that must be adequately managed for its final disposal in sanitary landfills, being a priority to locate optimal areas for a sanitary landfill that covers all the volume of waste projected for the future. The district of Quellouno has a sanitary landfill for all the populated centres in its jurisdiction. Given the deficiency of a sanitary landfill for a district with developing population centres and population growth very distant from the only sanitary landfill, it was proposed to determine the optimal location of a sanitary landfill for the district of Quellouno that complies with the technical specifications established by the Ministry of the Environment guide and to have more options in the future for possible sanitary landfills. For the research, a multi-criteria spatial analysis was carried out in geographic information system with the variables of slope, soil permeability, geological faults, protected natural area, distance to roads, population, water sources, the social factor and other variables to be taken into account according to the Ministry of the Environment landfill guide. Thomas Saaty hierarchical analysis methodology was also used to establish a weight or degree of importance for each variable, which will be reflected in the attributes of the multi-criteria analysis in geographic information system. Two polygons were obtained that meet the criteria established in the guide, with 90% and 100% confidence respectively, distributed in the most consolidated population centres in the district of Quellouno. The first polygon has an area of 111 hectares and is located near the villages of Huilcapampa, Estrella and Penetración, which are the furthest away from the existing landfill. The second polygon is located near the landfill of the capital of Quellouno and the villages of Putucusi, Puente Santiago, Quesquento and Chancamayo. These places are good alternatives to take into account for future landfill projects in the district of Quellouno, province of La Convencion, department of Cusco.

INDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.1.1. Descripción de la problemática	2
1.1.2. Formulación del problema	4
1.2. Objetivos de la Investigación	5
1.3. Importancia y alcance de la investigación	6
CAPÍTULO II	7
2. Marco Teórico	7
2.1. Antecedentes de la Investigación	7
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Análisis Espacial Multicriterio	8
2.2.2. Proceso de Análisis Jerárquico	9
2.2.2.1. Pendiente	12
2.2.2.2. Permeabilidad del Suelo	13
2.2.2.3. Vulnerabilidad Geológica	13
2.2.2.4. Distancia a fuentes de aguas superficiales	14
2.2.2.5. Áreas intangibles	15
2.2.2.6. Distancia a la población.....	16
2.2.2.7. Grado de accesibilidad	17
2.2.2.8. Dirección del viento	18
2.2.2.9. Fallas Geológicas.....	19
2.2.3. Relleno Sanitario	19

2.2.3.1. Uso del suelo y planes de expansión urbana	20
2.2.3.2. Áreas con restos arqueológico	20
2.2.3.3. Grado de socialización	21
2.2.3.4. Vida útil del relleno	22
2.2.3.5. Pasivos Ambientales	23
2.3. Definición de Términos	24
CAPÍTULO III.....	25
3. Hipótesis y Variables	25
3.1. Las Hipótesis.....	25
3.2. Las Variables	25
3.3. Operacionalización de Variables.....	26
CAPÍTULO IV	28
4. Materiales y Métodos	28
4.1. Área de Estudio.....	28
4.2. Diseño de Investigación.....	30
4.3. Población y Muestra	31
4.3.1. Población.....	31
4.3.2. Muestra	31
4.4. Procedimiento	32
4.4.1. Pendiente	33
4.4.2. Ríos	34
4.4.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP)	35
4.4.4. Fallas Geológicas	36
4.4.5. Centros Poblados	37

4.4.6. Geología (Permeabilidad del Suelo).....	38
4.4.7. Vías de Acceso	38
4.4.8. Pasivos Ambientales	42
4.4.9. Restos Arqueológicos.....	42
4.4.10. Dirección del Viento	43
4.5. Factor Social	50
4.6. Área del Relleno Sanitario	52
CAPÍTULO V	54
5. Resultados	54
5.1. Pendiente	55
5.2. Ríos	57
5.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP).....	58
5.4. Fallas Geológicas.....	59
5.5. Centros Poblados.....	60
5.6. Geología	61
5.7. Vías de Acceso	63
5.8. Vida Útil del Relleno	67
5.9. Pasivos Ambientales	92
5.10. Restos Arqueológicos	93
5.11. Dirección del Viento	94
5.12. Análisis Estadístico.....	96
5.12.1. Proceso de Análisis Jerárquico	97
5.12.2. Matriz de Comparación Pareada	97
5.13. Demostración de Hipótesis:.....	117

CAPÍTULO VI	121
6. Discusión de Resultados	121
CAPÍTULO VII	124
7. Conclusiones y Recomendaciones	124
7.1. Conclusiones	124
7.2. Recomendaciones	125
CAPÍTULO VIII	126
8. Referencias Bibliográficas.....	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Pendientes asociadas a la morfología del distrito de Quellouno</i>	12
Figura 2: <i>Permeabilidad del suelo</i>	13
Figura 3: <i>Tipos de fallas</i>	14
Figura 4: <i>Relleno Sanitario en Quellouno</i>	15
Figura 5: <i>Parque Nacional del Manu</i>	16
Figura 6: <i>Centro poblado de Quellouno</i>	17
Figura 7: <i>Vías de acceso en Quellouno</i>	18
Figura 8: <i>Complejo Arqueológico de Choquequirao</i>	21
Figura 9: <i>Mesa de trabajo en centro poblado de Quesquento</i>	22
Figura 10: <i>Pasivos ambientales</i>	23
Figura 11: <i>Sectores de estudio en el Distrito de Quellouno</i>	28
Figura 12: <i>Procedimiento para la localización de un relleno sanitario</i>	32
Figura 13: <i>Criterio N°01 de Pendiente</i>	33
Figura 14: <i>Criterio N°02 de Ríos</i>	34
Figura 15: <i>Criterio N°03 de las ANP</i>	35
Figura 16: <i>Criterio N°04 de Fallas Geológicas</i>	36
Figura 17: <i>Criterio N°05 de los Centros Poblados</i>	37
Figura 18: <i>Criterio N°06 de las Permeabilidad</i>	38
Figura 19: <i>Criterio N°07 de Vías de Acceso</i>	39
Figura 20: <i>Creación de columnas</i>	40
Figura 21: <i>Filtro de áreas óptimas al 90%</i>	41
Figura 22: <i>Visualización Zonas Óptimas en Google Earth Pro</i>	41
Figura 23: <i>Criterio N° 08 de Pasivos Ambientales</i>	42
Figura 24: <i>Criterio N°09 Restos arqueológicos</i>	43

Figura 25: <i>Ubicación de Estaciones Meteorológicas Automáticas</i>	44
Figura 26: <i>Portal web del Senamhi</i>	45
Figura 27: <i>Datos hidrometeorológicos</i>	46
Figura 28: <i>Interfaz Software WRPLOT</i>	47
Figura 29: <i>Segunda Interfaz</i>	48
Figura 30: <i>Rosa de los vientos</i>	50
Figura 31: <i>Resultado N° 1</i>	54
Figura 32: <i>Resultado N°2</i>	55
Figura 33: <i>Pendiente del Distrito de Quellouno</i>	56
Figura 34: <i>Fuentes de agua en el Distrito de Quellouno</i>	57
Figura 35: <i>Clasificación de 500 metros de rango del río</i>	58
Figura 36: <i>Áreas Naturales Protegidas</i>	59
Figura 37: <i>Fallas Geológicas</i>	60
Figura 38: <i>Centros Poblados</i>	61
Figura 39: <i>Geología de Quellouno</i>	62
Figura 40: <i>Suelos Sedimentarios (Areno-arcillosas)</i>	63
Figura 41: <i>Criterio N°07 de Vías de Acceso</i>	64
Figura 42: <i>Resultados de Zonas óptimas del 90% al 100%</i>	65
Figura 43: <i>Resultados de Zonas óptimas al 96%</i>	66
Figura 44: <i>Zonas óptimas mayor o igual a 100 hectáreas</i>	67
Figura 45: <i>Pasivos Ambientales</i>	93
Figura 46: <i>Sitios Arqueológicos</i>	94
Figura 47: <i>Rosa de Vientos de la estación Pongo de Mainique</i>	95
Figura 48: <i>Rosa de Vientos de la estación San Pablo</i>	96
Figura 49: <i>Ubicación del actual Relleno Sanitario en Quellouno</i>	117
Figura 50: <i>Zona óptima mayor a 100 hectáreas</i>	118

Figura 51: <i>Reunión en el Centros Poblado de Quesquento</i>	119
Figura 52: <i>Encuestas en el Centro Poblado de Estrella</i>	119
Figura 53: <i>Zonas obtenidas para un Relleno Sanitario</i>	120

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: <i>Detalles de la operacionalización de las variables</i>	26
Tabla 2: <i>Tamaño de muestra</i>	52
Tabla 3: <i>Clase de Relleno Sanitario</i>	53
Tabla 4: <i>Clasificación de pendientes</i>	56
Tabla 5: <i>Habitantes de 8 Centros Poblados de Quellouno del año 2017</i>	68
Tabla 6: <i>Proyección de la población del 2017 al 2024</i>	68
Tabla 7: <i>Proyección de la población del centro poblado de Huillcapampa</i>	69
Tabla 8: <i>Proyección de la población del centro poblado de Estrella</i>	69
Tabla 9: <i>Proyección de la población del centro poblado de Penetración</i>	70
Tabla 10: <i>Proyección de la población del centro poblado de Putucusi</i>	70
Tabla 11: <i>Proyección de la población del centro poblado de Chancamayo</i>	71
Tabla 12: <i>Proyección de la población del centro poblado de Quesquento</i>	71
Tabla 13: <i>Proyección de la población del centro poblado de Puente Santiago</i>	72
Tabla 14: <i>Proyección de la población del centro poblado de Quellouno</i>	72
Tabla 15: <i>Proyección de Huillcapampa (2025-2044)</i>	74
Tabla 16: <i>Proyección de Estrella (2025-2044)</i>	74
Tabla 17: <i>Proyección de Penetración (2025-2044)</i>	75
Tabla 18: <i>Proyección de Putucusi (2025-2044)</i>	76
Tabla 19: <i>Proyección de Chancamayo (2025-2044)</i>	77
Tabla 20: <i>Proyección de Quesquento (2025-2044)</i>	77
Tabla 21: <i>Proyección de Puente Santiago (2025-2044)</i>	78
Tabla 22: <i>Proyección de Quellouno (2025-2044)</i>	79
Tabla 23: <i>Volumen mínimo útil de Huillcapampa (2025-2044)</i>	82
Tabla 24: <i>Volumen mínimo útil de Estrella (2025-2044)</i>	83
Tabla 25: <i>Volumen mínimo útil de Penetración (2025-2044)</i>	84

Tabla 26: <i>Volumen mínimo útil de Putucusi (2025-2044)</i>	85
Tabla 27: <i>Volumen mínimo útil de Chancamayo (2025-2044)</i>	86
Tabla 28: <i>Volumen mínimo útil de Quesquento (2025-2044)</i>	87
Tabla 29: <i>Volumen mínimo útil de Puente Santiago (2025-2044)</i>	88
Tabla 30: <i>Volumen mínimo útil de Quellouno (2025-2044)</i>	89
Tabla 31: <i>Cálculo de la capacidad útil de diseño (CUD)</i>	90
Tabla 32: <i>Volumen anual de residuos dispuestos</i>	91
Tabla 33: <i>Valores y calificación de criterios</i>	97
Tabla 34: <i>Matriz de Comparación Pareada</i>	99
Tabla 35: <i>Matriz de Comparación Pareada W_i</i>	100
Tabla 36: <i>Cociente de la Matriz de Comparación Pareada C_i</i>	101
Tabla 37: <i>Cálculo de λ_i e $\lambda_i \max$</i>	102
Tabla 38: <i>Puntaje máximo ponderado por parámetro de evaluación</i>	112
Tabla 39: <i>Escala de calificación para el puntaje ponderado final</i>	116

CAPÍTULO I

1. Introducción

A la fecha, el Perú genera al año más de 8 millones de toneladas de residuos sólidos domiciliarios. Siendo más de 6 millones de toneladas, residuos sólidos orgánicos e inorgánico que son valorizados por el reciclaje y las actividades que realiza el Ministerio del Ambiente. Aún una gran parte de generación de residuos sólidos es destinada a lugares inadecuados como los botaderos. Por ende, se siguen ejecutando estrategias nacionales referido a los Residuos Sólidos en el Perú como las plantas de tratamiento para la gestión y manejo de residuos sólidos en las municipalidades (Ministerio del Ambiente, 2024).

Lo mencionado anteriormente se ve reflejado en el distrito de Quellouno como en muchos distritos del país que no cuentan con rellenos sanitarios para abastecer a todos sus centros poblados y que se encuentren ubicados en una zona óptima que cumpla los parámetros establecidos en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”, para que cumpla con la disposición final y sanitaria para los residuos sólidos.

Por ello, uno de los objetivos de la presente investigación es la localización de zonas óptimas para establecer un relleno sanitario en base a la normativa de la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual” en la cual se indica las condiciones que debe tener un lugar determinado en el distrito de Quellouno respecto a los parámetros que caracterizan un terreno.

Por otro lado, se empleará herramientas espaciales para el análisis combinado de los parámetros que establece la guía y el proceso de análisis jerárquico para los cálculos de la importancia o pesos de los parámetros por medio de matrices.

Realizando trabajos de gabinete y campo para cumplir con los criterios establecidos. Obteniendo al final zonas óptimas para futuros rellenos sanitario y estudios posteriores de la municipalidad distrital de Quellouno.

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Descripción de la problemática

El adecuado manejo de los residuos sólidos es una de las prioridades de los sectores urbanos a nivel mundial por la contaminación del medio ambiente y sus efectos en la salud. Los residuos sólidos es un tema urgente por atender debido a los malos hábitos de consumo y la disposición final de los residuos generados a diario y se irá agravando por irresponsabilidad conjunta (Escalona, 2014). Según Kaza et al. (2018) se estima que, al no implementarse medidas sobre una buena gestión del manejo de residuos sólidos, se estima que en el año 2050 los residuos generados en el mundo se incrementarán en 70%. También esta mala gestión de residuos afecta la salud de las personas, el entorno social y la lucha contra el cambio climático.

Un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2015 destaca que el porcentaje de municipios que cuenta con planes de manejo de residuos en América Latina y el Caribe es 19.80%, lo que evidenciando un bajo nivel de planificación en el sector. Por otro lado, el reciclaje realizado en América Latina y el Caribe, menos del 3% de residuos sólidos urbanos se recolecta y siguen el tratamiento adecuado. (Peinado & Rodríguez, 2017). También debido a factores como la falta de áreas donde se puedan ubicar rellenos sanitarios, una buena administración, cumplimiento de requisitos mínimos para una adecuada gestión, es que no se tienen soluciones a corto o mediano plazo (Umaña, 2018).

En el Perú los 58 rellenos sanitarios que existieron estuvieron gestionando el tratamiento de los residuos sólidos de 189 distritos de los 1874 distritos que existen en el territorio nacional, siendo la atención mencionada solo un 10% de distritos del país (Ministerio del Ambiente, 2021). Por otro lado, se hizo un reporte realizado por las supervisiones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) en 2018 y 2019 identificándose rellenos sanitarios que cumplen con sus respectivas obligaciones, siendo estas solo un 55% de todos los que fueron supervisados (La Defensoría del Pueblo, 2019).

Por otro lado, en el distrito de Quellouno existe un relleno donde se almacenan los residuos sólidos urbanos de la capital distrital y sus centros poblados los cuales cada año se incrementa debido al crecimiento exponencial de la población. Aún no se determina si este centro donde se almacenan los residuos del distrito cumple las características de ubicación adecuadas para el tratamiento de residuos sólidos.

En este estudio, se plantea determinar la localización de zonas adecuadas para un relleno aplicando la técnica del análisis multicriterio. Se empleará información actualizada de la población y zonas urbanas por medio del catastro y geoportales de libre acceso.

1.1.2. Formulación del problema

A. Problema General

- ¿Cómo determinar mediante el análisis espacial multicriterio la localización óptima de un relleno sanitario en el distrito de Quellouno, provincia de La Convención, departamento de Cusco?

B. Problemas Específicos

- ¿Cómo identificar un relleno sanitario en el distrito de Quellouno con las condiciones adecuadas, utilizando el análisis espacial multicriterio?
- ¿Qué grado de importancia tienen los parámetros para el establecimiento de un relleno sanitario en el distrito de Quellouno?
- ¿Qué parámetros se incorporaría al actual relleno sanitario del distrito de Quellouno para que cumpla con las condiciones óptimas para un centro de disposición final de residuos sólidos?

1.2. Objetivos de la Investigación

A. Objetivo General

- Determinar la localización óptima de un relleno sanitario mediante el análisis espacial multicriterio en el distrito de Quellouno, provincia de La Convención, departamento de Cusco.

B. Objetivos Específicos

- Identificar un relleno sanitario en el distrito de Quellouno con las condiciones adecuadas, utilizando el análisis espacial multicriterio.
- Determinar el grado de importancia de los parámetros para el establecimiento de un relleno sanitario en el distrito de Quellouno.
- Determinar que parámetros se incorporaría al actual relleno sanitario del distrito de Quellouno para que cumpla con las condiciones óptimas para un centro de disposición final de residuos sólidos.

1.3. Importancia y alcance de la investigación

La finalidad de la investigación es determinar la localización de zonas óptimas para un relleno sanitario en el distrito de Quellouno, provincia de La Convención, departamento de Cusco. En esta investigación vamos a realizar unos procedimientos multicriterio de análisis espacial y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) de Thomas Saaty para la toma de decisiones a partir de la importancia de los criterios. Se tiene información urbana obtenida de un catastro actualizado en el distrito de Quellouno e información de geoportales que brindan información del territorio.

Por el incremento poblacional y desarrollo se genera más residuos domiciliarios y los centros poblados de Quellouno que no cuentan con un relleno sanitario, trasladan sus residuos sólidos al relleno sanitario de la capital del distrito de Quellouno donde se realiza la disposición final de estos elementos. En algunos años tendrán graves problemas en la gestión adecuada y la conservación de sus recursos naturales al ser contaminados.

Por consiguiente, se desea verificar si el actual relleno sanitario de residuos sólidos de la zona de estudio esta adecuadamente ubicado, teniendo en cuenta los requisitos de los parámetros dispuestos por el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos; aprobado mediante Decreto Supremo N° 057- 2004-PCM en la guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual publicado por el Ministerio del Ambiente en el año 2011.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

Esta sección está destinada para explicar y comprender la presente investigación. En primer lugar, exploraremos los antecedentes internacionales y nacionales para luego detallar las bases teóricas en el cual reposa la tesis.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Chabuk, et al. (2016) incorporaron 15 capas en el proceso de análisis utilizando software GIS (Sistemas de Información Geográfica). Estas capas eran la profundidad del agua subterránea, ríos, tipos de suelo, tierras agrícolas, uso de la tierra, elevación, pendiente, gasoductos, oleoductos, líneas eléctricas, carreteras, ferrocarriles, centros urbanos, pueblos y sitios arqueológicos. Se utilizó un proceso de análisis jerárquico para derivar las ponderaciones de varios criterios mediante una comparación por pares para construir una matriz de comparación. Luego, se utilizó un método de combinación lineal ponderada (WLC) para producir un índice de idoneidad para el mapa de salida final para el área de estudio. Como resultado se identificaron dos sitios candidatos para rellenos sanitarios, con áreas de 2.77 y 2.06 km², respectivamente.

Yildirim (2012) utiliza una base de datos espacial basada en ráster en la que los valores de restricción afectan la selección de un relleno sanitario. Este método basado en GIS se aplicó evaluando 2 centros de disposición final en Trabzon, provincia de Turquía, los cuales habían sido seleccionados por el método de evaluación tradicional para la selección del sitio. Los valores de idoneidad en el mapa de superficie de estos dos rellenos sanitarios han demostrado que estos sitios no son apropiados para un vertedero de desechos sólidos. En conclusión, se demostró que el método de selección de sitios basado en SIG ráster da resultados

más efectivos que los métodos tradicionales.

Villavicencio (2022) utilizó el análisis multicriterio para tener opciones de lugares adecuados a futuro para un relleno sanitario. Entre sus resultados identificó un polígono en la ciudad de Cerro de Pasco en la localidad de San Antonio y cumple los requisitos establecidos. El polígono encontrado tiene un área de 107 hectáreas. Se consideraron los criterios establecidos del Decreto Supremo N°014-2017- MINAM.

Añasco & Sánchez (2022) realiza un estudio ante la falta de infraestructuras para el tratamiento de residuos sólidos y atender los residuos que se acumulan en los vertederos generando problemas a corto y largo plazo en la salud de la población y el medio ambiente. La investigación emplea el análisis multicriterio, ponderaciones y automatización con “Model Builder” en software ArcGIS, encontrar áreas adecuadas para un relleno en base al Decreto 014-2017 MINAM y la guía para identificar las zonas óptimas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Análisis Espacial Multicriterio

Para Malczewski (1999), el análisis multicriterio es la mezcla y resultado de la información de entrada y salida que vendrían a ser los datos geográficos y la toma de decisiones, respectivamente. Este proceso abarca una cantidad considerable de parámetros para identificar y estimar, ya que es un proceso en donde se combinan los factores mencionados (datos geográficos y toma de decisiones), así como la manipulación de los datos y preferencias en base al tipo de normas de decisión detalladas.

Sánchez López (2010) afirma que el análisis multicriterio es un proceso de

aprendizaje continuo y cíclico, que comienza con un análisis del contexto de decisión, pasa por definir los diferentes elementos del modelo de evaluación y vuelve de tanto en tanto a las fases iniciales hasta que se logre definir una estructura de evaluación estable, que produzca tranquilidad al evaluador. El resultado final del análisis es una valoración numérica de las opciones, lo cual nos permite tomar una decisión con la tranquilidad de poderla justificar tanto cualitativa como cuantitativamente: al cabo del análisis podremos explicar a cualquiera, en detalle, las razones de nuestra elección.

Es útil diferenciar las siguientes siete etapas generales del proceso, sin que esto sea una norma rígida pues podrían darse más o menos etapas según las especificidades del problema, en especial si éste se desarrolla en un entorno probabilístico incorporando la incertidumbre en el modelo de evaluación:

- Etapa 1: Delimitar el contexto de evaluación
- Etapa 2: Identificar los criterios de evaluación
- Etapa 3: Construir las escalas de evaluación
- Etapa 4: Construir las funciones de valor
- Etapa 5: Ponderar las escalas de evaluación
- Etapa 6: Evaluar las opciones
- Etapa 7: Hacer análisis de sensibilidad y de robustez

2.2.2. Proceso de Análisis Jerárquico

Thomas L. Saaty (1980) se emplea para resolver problemas de múltiples criterios. El proceso requiere que las decisiones proporcionen evaluaciones subjetivas respecto a la importancia de cada criterio y después, especificar su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es

una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión.

El método AHP mediante un modelo jerárquico permite organizar la información respecto de un problema priorizando sus elementos, evaluar los elementos asignando pesos, establecer alternativas de acuerdo sus pesos, incluyendo datos cuantitativos y aspectos cualitativos por su complejidad de medida. Permite descomponer la información, analizar sus partes y unir las soluciones en una conclusión. El AHP, pide a quien toma las decisiones establecer las prioridades con respecto a cada alternativa de decisión en términos de la medida en la que contribuya a cada criterio. Se tiene información sobre la importancia y las preferencias, se utiliza el proceso matemático denominado síntesis, para resumir la información y para proporcionar una jerarquización de prioridades de las alternativas.

Seguidamente, las comparaciones pareadas son fundamental del AHP. Emplea una escala con valores de 1 a 9 para calificar las preferencias relativas de los dos elementos. Se establece una calificación numérica para distinguir las preferencias entre dos alternativas.

- 1: Igualmente preferible
- 2: Entre igualmente y moderadamente preferible
- 3: Moderadamente preferible
- 4: Entre moderadamente y fuertemente preferible
- 5: Fuertemente preferible
- 6: Entre fuertemente y muy fuertemente preferible
- 7: Muy fuertemente preferible

- 8: Entre muy fuertemente y extremadamente preferible
- 9: Extremadamente preferible

Después de determinar la escala numérica de preferencias se realiza una matriz de comparaciones pareadas que contiene alternativas o criterios para una matriz $n \times n$, donde $n \in \mathbb{Z}^+$. Sea a_{ij} el elemento (i, j) de A , para $i = 1, 2, \dots, n$, y $j = 1, 2, \dots, n$. Decimos que A es una matriz de comparaciones pareadas de n alternativas, si a_{ij} es la medida de la preferencia de la alternativa en el renglón i cuando se le compara con la alternativa de la columna j . Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} será igual a 1, pues se está comparando la alternativa consigo misma.

Continuando después de realizar la matriz de comparaciones pareadas se realiza una síntesis donde se establece las prioridades de cada elemento que compararan. Para ello se suman los valores en cada columna de la matriz comparaciones pareadas. Luego se divide cada elemento de tal matriz entre el total de su columna y esta matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas normalizada. La prioridad global para cada alternativa de decisión se resume en el vector columna que resulta del producto de la matriz de prioridades con el vector de prioridades de los criterios.

Luego se determina el grado consistencia de las decisiones tomadas. El AHP ofrece este método y si resulta aceptable puede continuarse el proceso de decisión, pero si el resultado no es consistente o inaceptable se debe reconsiderar antes de continuar el análisis. Para ello se comparan las matrices cuadradas de $n \times n$ y todas las columnas deben resultar idénticas.

Por último, se calcula la razón o cociente de consistencia en el cuál los valores no deben exceder a 0.10 sino resultará juicios de inconsistencia.

2.2.2.1 Pendiente

Referido al grado de inclinación de los terrenos, el ángulo formado por dos lados, siendo la forma normal de expresar la medición de un ángulo en grado sexagesimal y porcentaje. Siguiendo lo establecido en la guía de diseño del Ministerio del Ambiente, nos señala que sus indicadores están expresados en porcentaje según la inclinación que presenta. Cuando es plano a ligeramente inclinado es de 0 a 7%, Inclinado de 7 a 12%, empinado de 12 a 25% y muy empinado mayor de 25%.

En 2004, a través de su Secretaría del Ambiente, estableció que las áreas con una pendiente menor al 3% serían las adecuadas para la ejecución de un centro de disposición final (Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Paraguay, 2004).

Figura 1

Pendientes asociadas a la morfología del distrito de Quellouno.

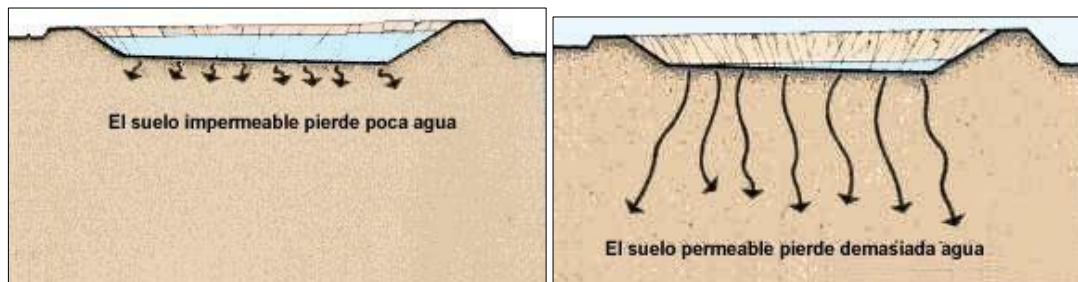


2.2.2.2 Permeabilidad del Suelo

Esta referido a las características del suelo para filtrar el agua. Ello depende de su tipo de textura del suelo cómo los suelos sedimentarios de tipo areno- arcilloso que son poco permeables. Entre sus indicadores están las partículas de tamaño menor a 1×10^{-6} , consideradas impermeables y mayor a 1×10^{-6} , consideradas permeables (Ministerios del Ambiente, 2011).

Figura 2

Permeabilidad del suelo



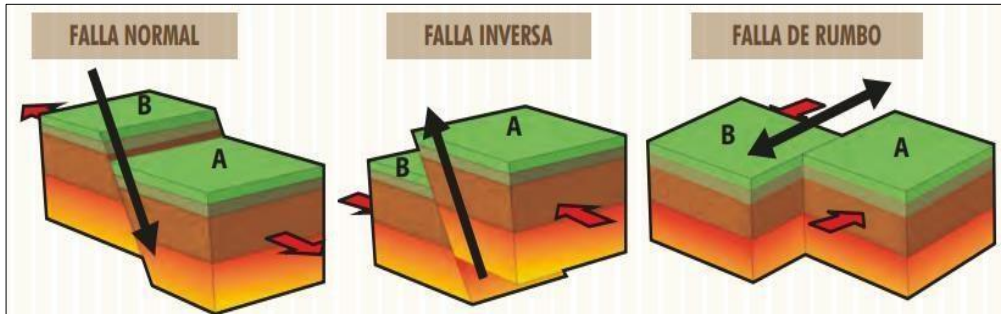
Nota: Tomado de Permeabilidad del suelo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016.

2.2.2.3 Vulnerabilidad Geológica

Según el Ministerio del Ambiente (2011), está relacionado con las fallas geológicas en la corteza donde ocurrieron fracturas y desplazamiento. Se clasifican en falla normal, falla inversa y falla de rumbo según el desplazamiento que realizan. Entre sus indicadores están las zonas de alta, mediana y baja vulnerabilidad.

Figura 3

Tipos de fallas



Nota: Tomado de Tipos de fallas, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2021.

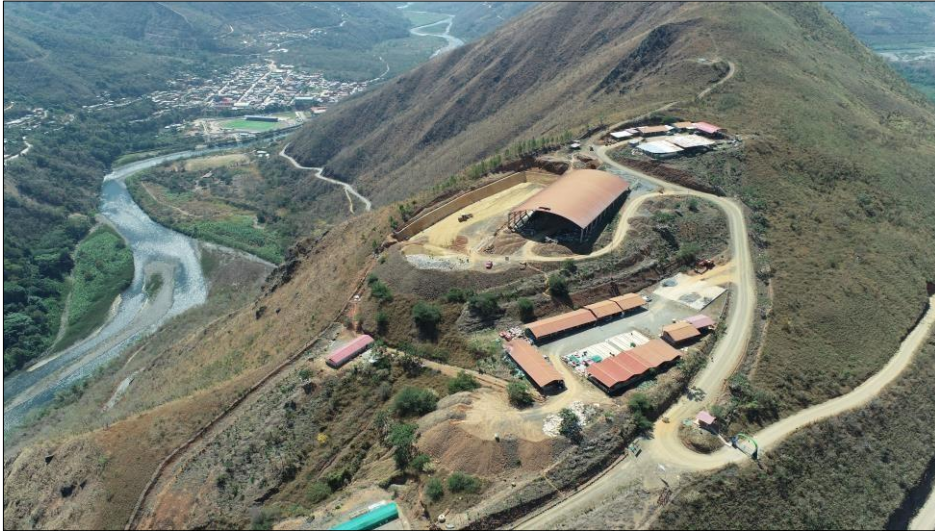
2.2.2.4 Distancia a fuentes de aguas superficiales

Un requisito necesario para establecer un relleno sanitario es mantener una distancia considerable a las fuentes de agua para evitar la contaminación por lixiviados de los residuos sólidos. Entre sus indicadores está la distancia menor y mayor a 300 metros (Ministerio del Ambiente, 2011). Esta distancia nos permite disminuir el impacto a nivel ambiental que se podrían ver afectados ciertos cuerpos de agua como los son los ríos, quebradas, lagos o lagunas.

Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2004), nos señala que debe de haber una distancia que supere los 500 metros con respecto a fuentes de agua para una adecuada ubicación de un centro de disposición final.

Figura 4

Relleño Sanitario en Quellouno



2.2.2.5 Áreas intangibles

Son zonas para investigación, fines científicos y no está permitido extraer algún recurso natural y modificarlo. Usualmente se aprovecha en actividades recreativas, cultural y turismo. Son intangibles las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sus indicadores son las áreas que están dentro o fuera de una ANP con potencial para un relleno sanitario. Hay que considerar que, para el presente proyecto, este parámetro es de vital importancia ya que de encontrar áreas que se encuentran dentro una zona considerada Área Natural Protegida, será descartada de forma inmediata.

Figura 5

Parque Nacional del Manu



Nota: Parque Nacional del Manu, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, 2019

2.2.2.6 Distancia a la población

Es importante mantener la distancia de los residuos sólidos de los centros poblados para evitar enfermedades y malos olores atraídos por el viento. Entre sus indicadores está la distancia mínima de 1000 metros a la población. Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2004) debe de haber una distancia mínima de 500 metros entre el relleno sanitario y aquellos centros poblados que alberguen a más de 2500 habitantes y debe de ser estipulado en un plan de desarrollo urbano.

Figura 6

Centro poblado de Quellouno



2.2.2.7 Grado de accesibilidad

Un requisito importante para la ubicación de un relleno sanitario es la accesibilidad por medio de vías alternas (carreteras, trochas carrozables, entre otros) para el fácil transporte de residuos sólidos. Entre sus indicadores está si presenta un acceso bueno, malo o sin acceso para la circulación vehicular. Además, hay que considerar una distancia mínima y máxima para una adecuada gestión en temas de transporte.

Figura 7

Vías de acceso en Quellouno



2.2.2.8 Dirección del viento

Una condición climatológica que tiene gran influencia respecto a la población es la dirección del viento, esta tiene que ser favorable, es decir, desde el área urbana y en dirección al centro de disposición final. La importancia radica en evitar molestias en las áreas habitables vecinas al proyecto, ya que el viento es un medio de transporte de malos olores, así como de material particulado producido por los residuos sólidos.

Jaramillo (2002) recomienda la siembra de vegetación espesa y árboles alrededor del centro de disposición final para efectos de evitar las molestias en caso las condiciones del viento sean desfavorables. Del mismo modo, Muñoz y Muriel (2020) nos comentan que se tiene que construir una barrera viva entre la comunidad y el relleno sanitario en caso la dirección del viento vaya desde el centro de disposición final hacia las comunidades cercanas.

Ricaldi et al. (2021), señalaron que es vital conocer este factor al momento de ubicar nuestro centro de disposición final porque nos permitirá amortiguar la contaminación producto de la dispersión de olores en las poblaciones aledañas.

2.2.2.9 Fallas Geológicas

Las fallas geológicas es un requisito importante de ser considerado en la localización de un relleno porque representa una serie de riesgos significativos. En primer lugar, las fallas geológicas pueden servir como agentes para el transporte de lixiviados en dirección a las aguas subterráneas aumentando el riesgo de la contaminación de espacios acuáticos. Además, las fallas geológicas podrían generar el desplazamiento de los residuos sólidos de los rellenos cuando hay un sismo, aumentando el riesgo de contaminación del entorno físico. Otro aspecto relevante es que debido a la presencia de fallas geológicas el terreno puede ser vulnerable a hundimientos, deslizamientos de tierra o incluso al colapso del relleno sanitario.

Los rellenos deben estar entre 60 m y 2000 m de una falla activada para evitar daños a la estructura y garantizar el tiempo de vida de la planta de tratamiento, personal de trabajo en la planta y evitar la contaminación subterránea de aguas y ambiente en general (Cubillo, 2005).

2.2.3. Relleno Sanitario

Es una técnica para el tratamiento de residuos sólidos y su disposición final en la cual se construye una infraestructura segura con las especificaciones técnicas establecidas por la ingeniería (Ministerio del Ambiente, 2017).

Para el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica (2012), el relleno es una técnica en la cual los desechos de origen urbano se llevan para

depositar, acomodar y cubrir con una maquinaria con el objetivo de cuidar la salud y ecosistema.

Por otro lado, Capcha (2023) nos comenta que el relleno sanitario puede ser un medio para recuperar áreas que han sido degradadas por acción de minera, explotación y terrenos estéril o marginales.

En cuanto a los parámetros aplicados en los residuos sólidos, a continuación, se explican los más importantes:

2.2.3.1 Uso del suelo y planes de expansión urbana

Para la ubicación de un relleno se debe considerar las características del suelo si está destinado a planes de expansión urbana u otros fines que impide ser usado a futuro para un relleno. Las municipalidades brindan esta información del Plan de Desarrollo Urbano (PDU) y planes de acondicionamiento del uso de suelos. Sus indicadores son los suelos de composición Muy bueno, bueno, regular y malo.

2.2.3.2 Áreas con restos arqueológico

Wieland (2008) nos comenta que las zonas arqueológicas del Perú están constituidas por todo resto en donde intervino el hombre en la época prehispánica y que se mantienen en el paisaje de manera superficial, subyacente o subacuática. El Instituto Nacional de Cultura (2007) declaró a estos bienes culturales como Patrimonio Cultural de la Nación independiente de su condición privada o pública, siendo estas protegidas por el Estado.

Según información de Villafuerte et al. (2004), las autoridades competentes de una jurisdicción realizan consultas a las instituciones relevantes para asegurar que la implementación de un relleno sanitario no afecte áreas de importancia cultural.

Figura 8

Complejo Arqueológico de Choquequirao



Nota: Vista panorámica del Complejo Arqueológico Choquequirao, Andina, 2019

2.2.3.3 Grado de socialización

Esta referido a la aprobación de los centros poblados sobre su opinión, creencias y diversas actitudes que ellos tengan conocimiento de un relleno sanitario y los residuos urbanos que generan todo el año. La importancia de atender los residuos y de participar en el proyecto. Entre sus indicadores está la aceptación Favorable, Incierto y Desfavorable. Villafuerte et al. (2004) realizaron una encuesta para conocer la opinión de las personas dando como resultado su aprobación y resaltando su interés en el relleno sanitario ya que la consideran como una posible fuente de trabajo.

Huamán et al. (2023) proponen realizar campañas de sensibilización a través de diversos medios de comunicación con el objetivo de poder mejorar la percepción pública sobre la propuesta de un centro de disposición final, promoviendo el equilibrio entre el hombre con la naturaleza.

Figura 9

Mesa de trabajo en centro poblado de Quesquento



2.2.3.4 Vida útil del relleno

La vida útil del centro de disposición final depende del volumen de los residuos generados y el método con el que se operará. Para estos casos se considera favorable una vida útil mayor o igual a los 5 años.

Ricaldi et al. (2021) señalan que tres factores determinan la duración de un centro de disposición final: el volumen disponible del lugar, el método de operación y la cantidad de residuos que se dispondrán.

Por último, Muñoz y Muriel (2018) nos indican que los métodos más efectivos para optimizar la vida útil de un relleno sanitario son la capacitación y el correcto manejo de los residuos, así como campañas de concientización ambiental dirigidas a los habitantes de la zona.

2.2.3.5 Pasivos Ambientales

Los pasivos ambientales se definen como aquellos impactos de origen antrópico ocasionados por centros operacionales (mineras, centros de disposición final, petroleras, entre otros) en una determinada área durante el periodo en el cual se desarrollaron actividades dejando contaminantes suelo y aguas por filtración de lixiviados causando la degradación del espacio ocupado.

Cervantes y Molero (2022) nos señalan que los pasivos ambientales son una “bomba de tiempo” debido a la ignorancia o negligencia de los centros de operaciones porque es un riesgo para el ecosistema.

Este criterio se considera importante en la evaluación para ubicar un relleno sin existencia de pasivos ambientales en el terreno a escoger.

Figura 10

Pasivos ambientales



Nota: Contaminación por pasivos ambientales, Andina, 2016

2.3. Definición de Términos

- **Rellenos sanitarios:** Construcción con metodología de ingeniería sanitaria para la disposición final de los residuos urbanos y se encuentran ubicados en la superficie o interior del subsuelo siguiendo los parámetros establecidos para un relleno (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).
- **Disposición Final:** Es la última etapa de procesamiento de los residuos urbanos para su tratamiento y manejo de una manera adecuada durante todo el año o tiempo de vida del relleno y mantener la seguridad sanitaria y ecosistema (Ministerios del Ambiente, 2011).
- **Método AHP:** Es una metodología que emplea una serie de matrices y establecer de manera subjetiva los pesos o importancia a cada parámetro en un análisis multicriterio según el estudio realizado comparándolos entre sí y obtener las prioridades (Saaty, 1980).
- **Los lixiviados:** Está referido al líquido que se genera de los residuos urbanos al descomponerse los residuos orgánicos y agua que se filtra en los lugares que se almacenan (Corena, 2008).
- **Vida útil:** Es el tiempo de funcionamiento de las infraestructuras o rellenos donde se llevan los residuos urbanos para ser tratados continuamente (Ministerio del Ambiente, 2011).
- **Botaderos:** Está referido a los espacios ilegales que no cuentan con mantenimiento y condiciones adecuadas para los residuos urbanos, siendo estas un peligro para la salud y ecosistema (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

CAPÍTULO III

3. Hipótesis y Variables

3.1. Las Hipótesis

A. Hipótesis General

- El análisis espacial multicriterio determinará el 90% de las condiciones óptimas para la localización de un relleno sanitario en el distrito de Quellouno, provincia de La convención, Cusco.

B. Hipótesis Específicas

- Utilizando el análisis multicriterio, se demuestra que el distrito de Quellouno cuenta con las condiciones adecuadas para la implementación de un relleno sanitario.
- Es viable determinar los parámetros para el establecimiento de un relleno sanitario mediante trabajos de campo y gabinete.
- Los parámetros que se incorporaría son la permeabilidad del suelo, pendiente, vías de acceso, distancia a fuentes de agua, etc.

3.2. Las Variables

A. Variable Independiente

Análisis espacial multicriterio

B. Variable Dependiente

Localización de un relleno sanitario

3.3. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Detalles de la operacionalización de las variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO	Instrumento que se utiliza para evaluar diversas posibles soluciones a un determinado problema, considerando un número variable de criterios.	Evaluación de parámetros en software GIS con información espacial obtenido de campo y geoportales libres.	Pendiente	Plano Inclinado Empinado Muy empinado
			Permeabilidad del suelo	< a 1x10-6 > a 10-6
			Vulnerabilidad geológica	Alta Mediana baja
			Distancia a fuentes de aguas superficiales	> 300 m < 300 m
			Áreas intangibles	Fuera del área Dentro del área
			Distancia a la población	> 1000 < 1000
			Grado de accesibilidad	Bueno Malo
				Sin acceso

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
LOCALIZACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO	Lugar con características específicas para la disposición final de los residuos sólidos con seguridad sanitaria y ambiental.	Validación del cruce de información espacial, cumplimiento de la normativa y aceptación de la población.	Uso del suelo y planes de expansión urbana	Muy bueno Bueno Regular Malo
			Áreas con restos arqueológicos	Inexistencia de restos Existencia de restos Favorable Incierto
			Grado de socialización	Desfavorable

CAPÍTULO IV

4. Materiales y Métodos

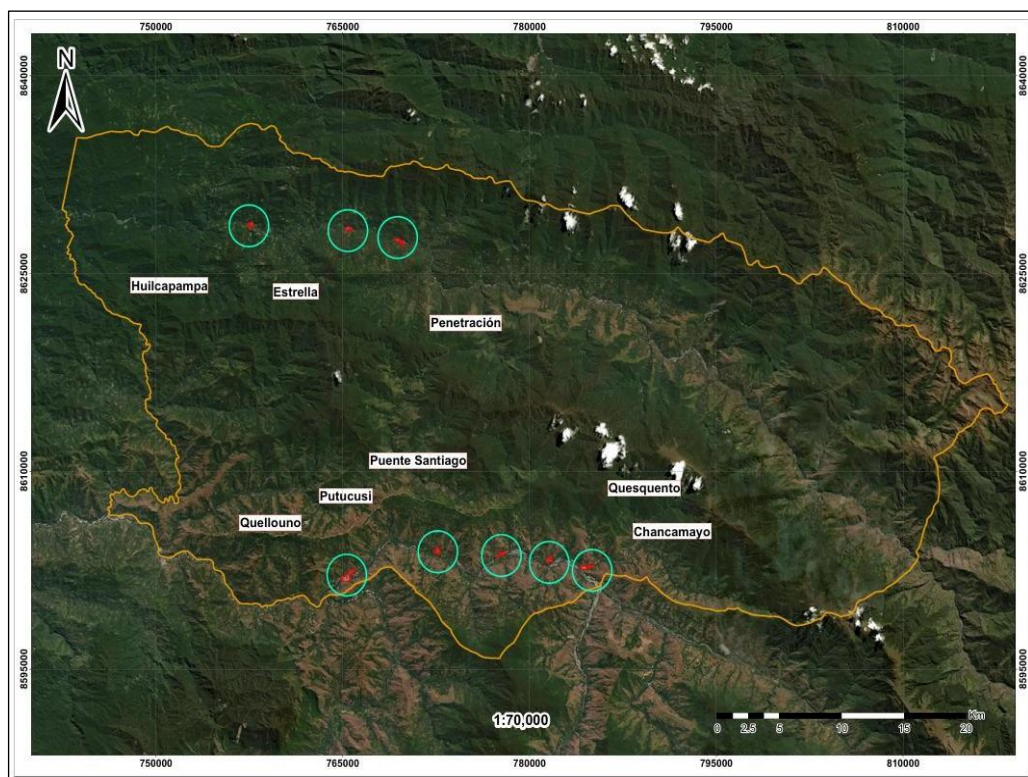
4.1. Área de Estudio

El área de estudio se ubica en el distrito de Quellouno, perteneciente a la provincia de La Convención, en el departamento de Cusco. Geográficamente, se localiza aproximadamente a los $12^{\circ}37'035''$ de latitud sur y $72^{\circ}41'33''$ de longitud oeste. Su altitud promedio es de 800 metros sobre el nivel del mar.

El área de estudio presenta 79,968.00 hectáreas y representa el 2.66% del total de la provincia de La Convención. La zona de estudio abarca los centros poblados de Quellouno con una población de 15,071 personas, proyectada al 2024.

Figura 11

Sectores de estudio en el Distrito de Quellouno



Como se puede apreciar en la Figura N°11, se resaltaron 8 sectores ubicados dentro del distrito de Quelluno. El orden de numeración que se le dio a los sectores fue de izquierda a derecha, comenzando por la zona norte (Huilcapampa, Estrella y Penetración), seguido por la zona sur siguiendo la misma estructura (Quellouno, Putucas, Puente Santiago, Quesquento y Chancamayo).

- Sector 1 – Huilcapampa
Latitud Sur: 12°23'40.40"
Longitud Oeste: 72°37'51.04"
- Sector 2 – Estrella
Latitud Sur: 12°23'47.39"
Longitud Oeste: 72°33'29.58"
- Sector 3 – Penetración
Latitud Sur: 12°24'17.91"
Longitud Oeste: 72°31'15.10"
- Sector 4 – Quellouno
Latitud Sur: 12°38'4.71"
Longitud Oeste: 72°33'24.49"
- Sector 5 – Putucusi
Latitud Sur: 12°36'59.86"
Longitud Oeste: 72°29'27.15"
- Sector 6 – Puente Santiago
Latitud Sur: 12°37'6.90"
Longitud Oeste: 72°26'36.72"
- Sector 7 – Quesquento
Latitud Sur: 12°37'18.93"

Longitud Oeste: 72°24'28.53"

- Sector 8 – Chancamayo

Latitud Sur: 12°37'36.86"

Longitud Oeste: 72°22'50.09"

4.2. Diseño de Investigación

La presente investigación se clasificó de la siguiente manera: tipo básica, nivel de carácter descriptivo, enfoque cuantitativo, y bajo un diseño no experimental. Por consiguiente, se detalla lo mencionado:

Tipo de investigación

La investigación corresponde al tipo básica porque busca el avance de la ciencia, así como también pretende ampliar las teorías existentes, sin enfocarse de manera directa en sus aplicaciones o en las posibles consecuencias prácticas. Su finalidad es perseguir las generalizaciones convictas al desarrollo de una teoría fundamentada en principios y leyes.

Nivel de investigación

El nivel de investigación es de carácter descriptivo porque trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta, recopilando y relacionando datos con los rellenos sanitarios. En esta incluye encuestas.

Enfoque de la investigación

La presente investigación presenta un enfoque cuantitativo el cual se va a constatar las teorías que ya se tienen conocimiento, partiendo de una serie de hipótesis que se generan de las mismas, para ello utiliza la recolección y análisis de datos siendo

necesario obtener una muestra que sea representativa de la población o fenómeno que se está estudiando. Por consiguiente, para poder ejecutar estudios cuantitativos se cuenta con la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual para deducir los resultados obtenidos.

Diseño de la investigación

El presente estudio se realizará por un diseño no experimental. Según Hernández et al. (2010, p.149) “La investigación no experimental consiste en estudios que realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.” Además, es longitudinal porque se va a hacer estudios entre los años 2023 y 2024.

4.3. Población y Muestra

4.3.1. Población

En la presente investigación está considerado las áreas libres del distrito de Quellouno, provincia de La Convención, departamento de Cusco. Además, se tiene en cuenta ciertas características como: Grandes extensiones de terreno no menor a 100 hectáreas, sin actividad del hombre, etc.

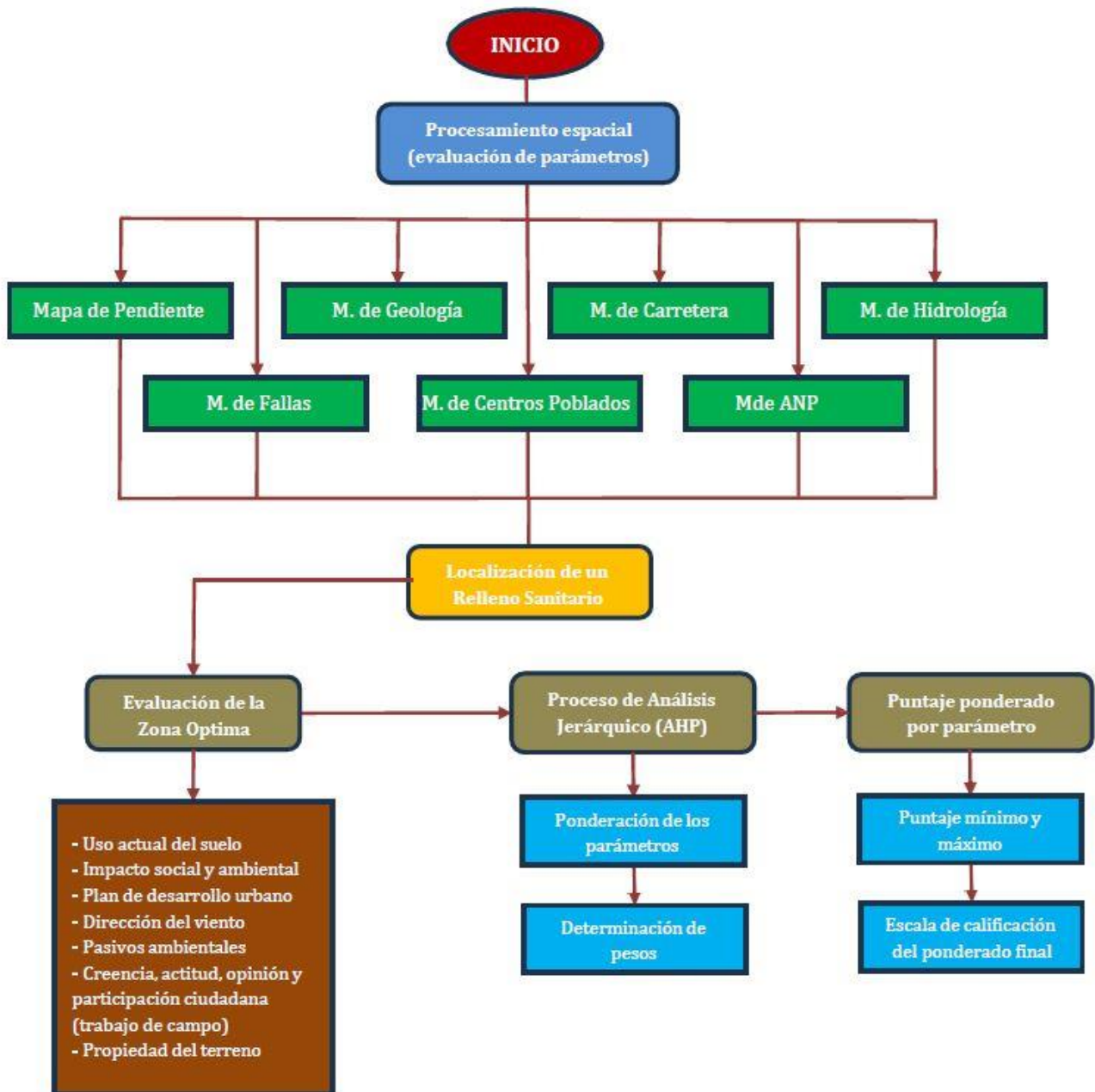
4.3.2. Muestra

La muestra de la investigación son ocho áreas libres en centros poblados que se encuentran en la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Quellouno. En estas áreas se identificaron parámetros a nivel geológico (suelo permeable), de pendiente (ligeramente inclinado), de proximidad (hidrológico, vías de acceso, centros poblados), meteorológicos (dirección del viento) y participación social (población).

4.4. Procedimiento

Figura 12

Procedimiento para la localización de un relleno sanitario



4.4.1. Pendiente

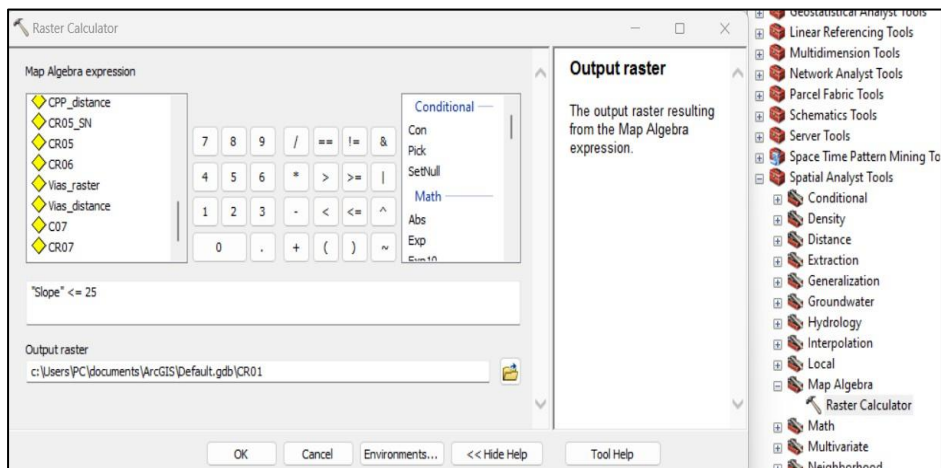
Para generar su archivo TIN utilizamos el shapefile de Curvas de Nivel y Distrito de Quellouno. Primero, accedimos a Arctoolbox, luego a Data Management, TIN, y seleccionamos Create TIN. Cargamos los shapefiles correspondientes y guardamos el archivo resultante con el nombre "TIN".

Posteriormente, convertimos el TIN a un archivo Raster. Ingresamos a Arctoolbox, Conversion, From TIN y seleccionamos TIN to Raster. Cargamos el TIN y lo guardamos como "DEM" con un tamaño de celda (CELLSIZE) de 30. Con el DEM generado, procedimos a crear el mapa de pendiente. Para ello, accedimos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Surface y seleccionamos Slope. Cargamos el DEM, guardamos el archivo con el nombre "Slope" y seleccionamos la opción PERCENT_RISE.

Finalmente, generamos nuestro primer criterio (CR01) utilizando álgebra de mapas. Ingresamos a Arctoolbox, Algebra de mapa y seleccionamos Raster Calculator. Cargamos el archivo "Slope" y lo guardamos como "CR01".

Figura 13

Criterio N°01 de Pendiente



4.4.2. Ríos

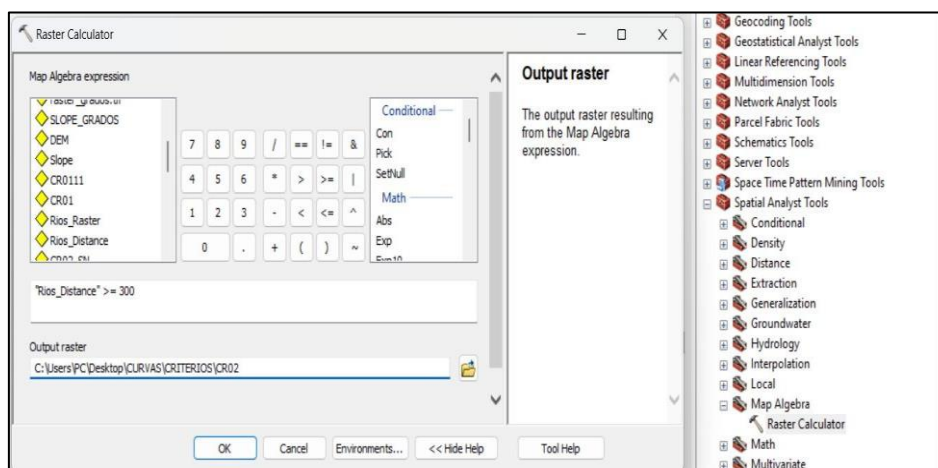
Para trabajar con los ríos de Quellouno, primero utilizamos los shapefiles de Ríos y Distrito de Quellouno. Convertimos el shapefile de Ríos a un formato Raster accediendo a Arctoolbox, Conversion Tools, To Raster y seleccionando Polyline to Raster. Cargamos el shapefile de Ríos de Quellouno y lo guardamos con el nombre "Rios_Raster".

Seguidamente, calculamos la distancia euclidiana. Ingresamos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Distance y seleccionamos Euclidean Distance. Cargamos el archivo "Rios_Raster" y lo guardamos con el nombre "Rios_Distance" con una resolución de celda (CELLSIZE) de 30.

Por último, establecimos el criterio de ríos utilizando la calculadora Raster. Ingresamos a Arctoolbox, Algebra de mapa y seleccionamos Raster Calculator. Utilizamos el archivo "Rios_Distance" y lo guardamos como "CR02".

Figura 14

Criterio N°02 de Ríos



4.4.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP)

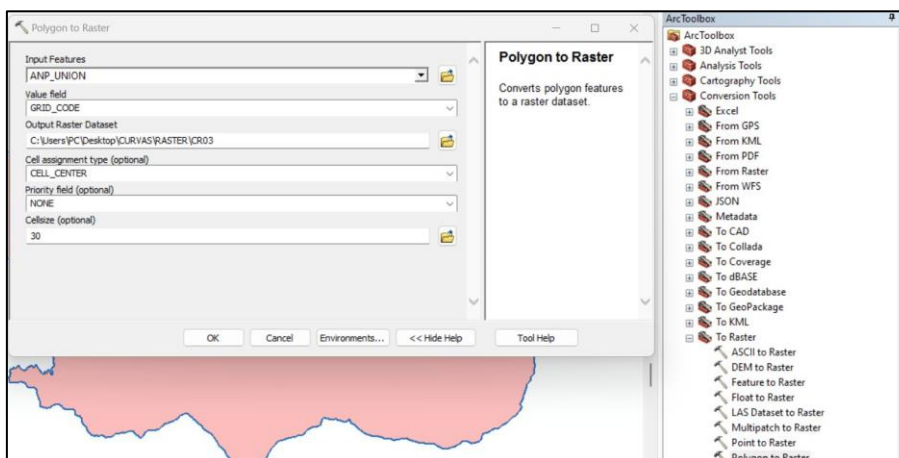
Para poder trabajar con este criterio en el distrito de Quellouno, utilizamos los shapefiles de ANP y Distrito de Quellouno. Primero, unimos los shapefiles utilizando la herramienta de geoprocésamiento "UNION" y guardamos el resultado como "ANP_UNION".

Posteriormente, creamos una columna llamada "GRID_CODE" y clasificamos las áreas asignando el valor 0 a las zonas no aceptables y 1 a las zonas óptimas o aceptables. Clasificamos estos valores en las propiedades de simbología, seleccionando Categories, Symbology, y en Value Field utilizamos "GRID_CODE". Luego, seleccionamos Add Values y aceptamos.

Cargamos el shapefile "ANP_UNION", establecemos un tamaño de celda (CELLSIZE) de 30 y guardamos el archivo con el nombre "CR03".

Figura 15

Criterio N°03 de las ANP



4.4.4. Fallas Geológicas

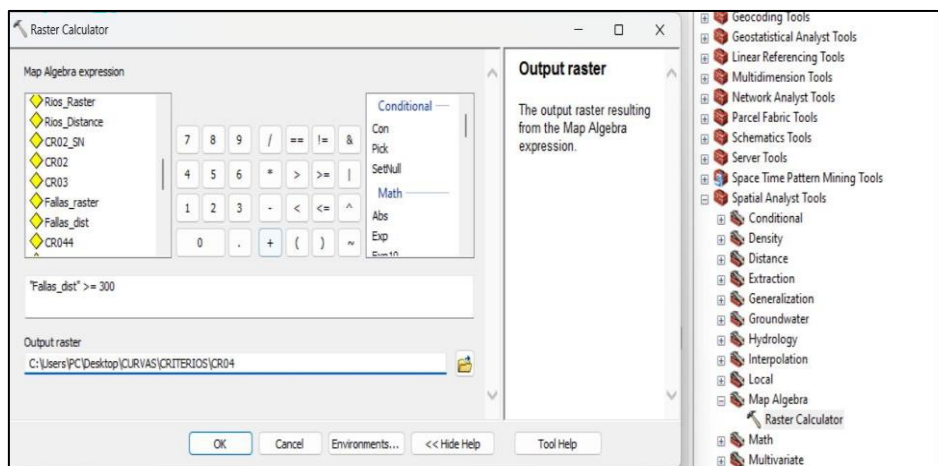
Para trabajar con las fallas geológicas en Quellouno, utilizamos el shapefile de "FALLAS_QUELLOUNO" y lo convertimos a formato raster. Primero, accedemos a Arctoolbox, luego a Conversion Tools, To Raster y seleccionamos Polyline to Raster. Cargamos el shapefile de "FALLAS_QUELLOUNO", establecemos un tamaño de celda (CELLSIZE) de 30 y guardamos el archivo resultante como "Fallas_raster".

Seguidamente, calculamos la distancia euclidiana. Ingresamos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Distance y seleccionamos Euclidean Distance. Cargamos el archivo "Fallas_raster" y lo guardamos como "Fallas_dist" con un tamaño de celda de 30.

Finalmente, establecemos el Criterio N°04 utilizando la Calculadora Raster. Ingresamos a Arctoolbox, Algebra de mapa y seleccionamos Raster Calculator. Empleamos el ráster "Fallas_dist" para calcular las áreas a una distancia que supere o sea igual a 300 metros de las fallas y guardamos el resultado como "CR04".

Figura 16

Criterio N°04 de Fallas Geológicas



4.4.5. Centros Poblados

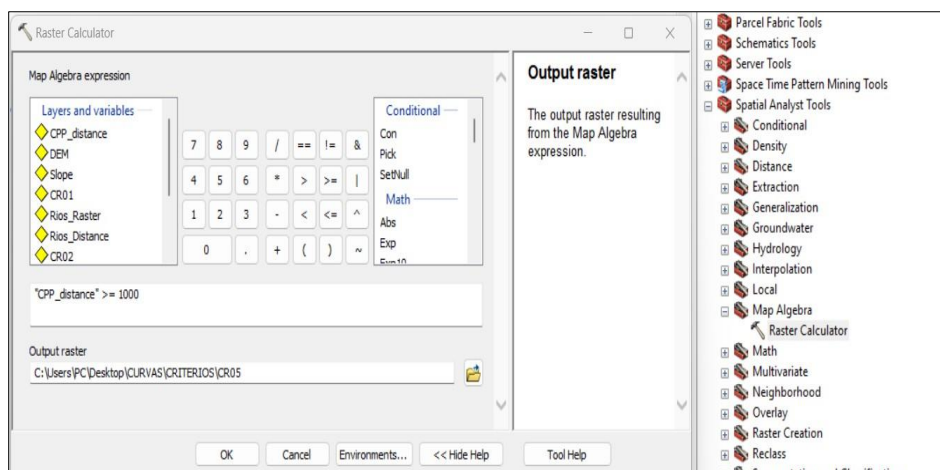
Para trabajar con los centros poblados en Quellouno, utilizamos el shapefile de "CPP_QUELLOUNO" y lo convertimos a formato raster. Primero, ingresamos a Arctoolbox, luego a Conversion Tools, To Raster y seleccionamos Point to Raster. Cargamos el shapefile de "CPP_QUELLOUNO", establecemos un tamaño de celda (CELLSIZE) de 30 y guardamos el archivo resultante como "CPP_raster".

Luego, calculamos la distancia euclidiana. Ingresamos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Distance y seleccionamos Euclidean Distance. Cargamos el raster "CPP_raster", establecemos un tamaño de celda de 30 y guardamos el archivo resultante como "CPP_distance".

Finalmente, determinamos el Criterio N°05 utilizando la Calculadora Raster. Ingresamos a Arctoolbox, Algebra de mapa y seleccionamos Raster Calculator. Utilizamos el raster "CPP_distance" para calcular las áreas a una distancia mayor o igual a 1000 metros de los puntos críticos y guardamos el resultado como "CR05".

Figura 17

Criterio N°05 de los Centros Poblados



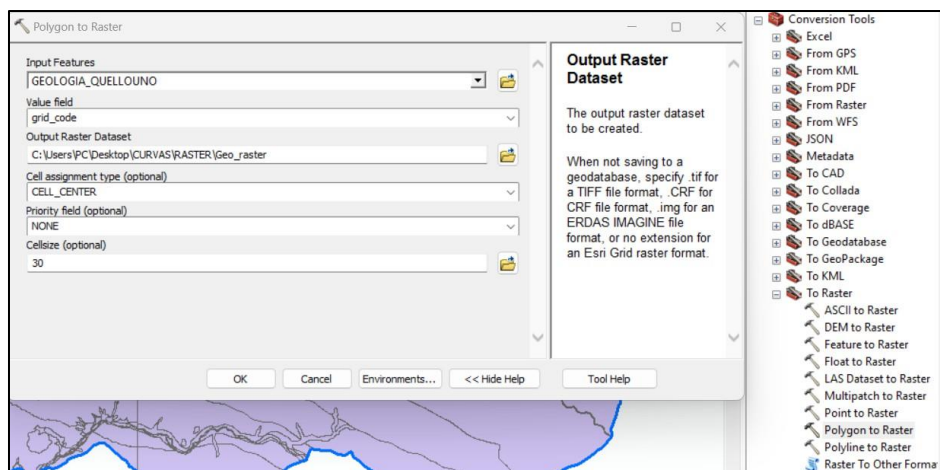
4.4.6. Geología (Permeabilidad del Suelo)

Para trabajar con la geología de Quellouno, utilizamos el shapefile "GEOLOGIA_QUELLOUNO" y le creamos una columna llamada "grid code" para clasificar los suelos en 0 y 1, según sus propiedades (areno-arcilloso).

Luego, convertimos el shapefile a formato raster. Ingresamos a Arctoolbox, Conversion Tools, To Raster y seleccionamos Polygon to Raster. Utilizamos el shapefile "GEOLOGIA_QUELLOUNO", seleccionamos "GRID CODE" en el campo de valores (value field), establecemos un tamaño de celda (CELLSIZE) de 30 y guardamos el archivo resultante con el nombre "Geo_raster".

Figura 18

Criterio N°06 de las Permeabilidad



4.4.7. Vías de Acceso

Para trabajar con las vías de Quellouno, utilizamos los shapefiles de "VIAS_QUELLOUNO" y Distrito de Quellouno. Convertimos el shapefile de vías a formato raster accediendo a Arctoolbox, Conversion Tools, To Raster y seleccionando

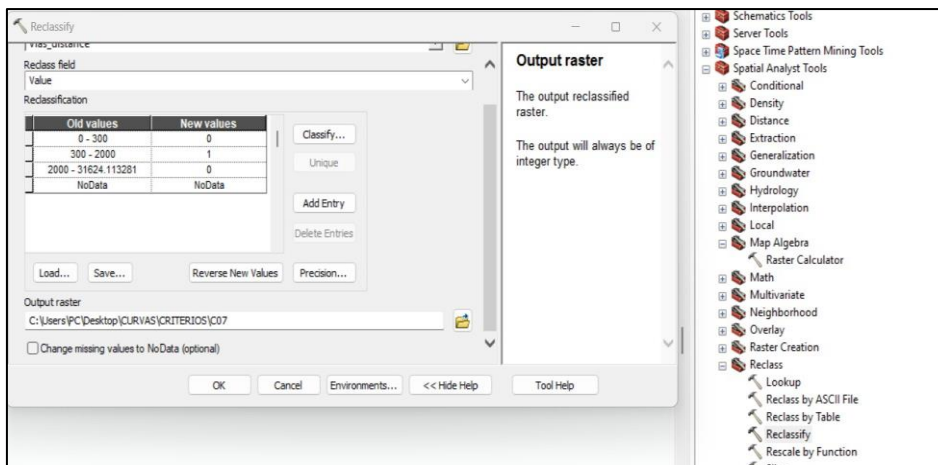
Polyline to Raster. Cargamos "VIAS_QUELLOUNO" y guardamos el archivo resultante con el nombre "Vias_Raster".

Seguidamente, calculamos la distancia euclidiana. Ingresamos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Distance y seleccionamos Euclidean Distance. Cargamos el archivo.

Finalmente, reclasificamos para establecer el criterio de vías. Ingresamos a Arctoolbox, Spatial Analyst Tools, Reclass y seleccionamos Reclassify. Utilizamos "Vias_Distance" y guardamos el archivo con el nombre "CR07".

Figura 19

Criterio N°07 de Vías de Acceso



Después de completar los siete criterios en zonas óptimas (1) y no óptimas (0), la tabla de atributos reflejará estas clasificaciones con numeración 1 y 0. Convertimos los raster de cada criterio a shapefiles para luego unirlos y consolidar todos los criterios en un único shapefile.

Una vez unidos todos los criterios, en las propiedades de la capa, seleccionamos Fields y habilitamos solo la columna "gridcode", que contiene la clasificación de 0 y 1 para las zonas óptimas y no óptimas de cada criterio, desactivando las demás columnas.

Seguidamente, creamos dos columnas denominadas "AREA" y "AREA_HA" para calcular el porcentaje de pesos y el área en hectáreas, respectivamente. Continuamos con la multiplicación de los criterios utilizando Raster Calculator y aplicamos los pesos correspondientes a cada criterio, calculados previamente mediante la Metodología de Saaty.

Figura 20

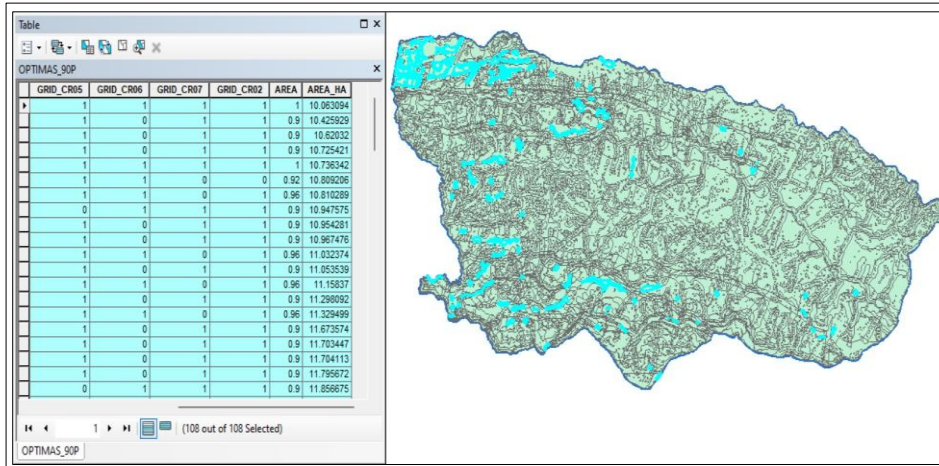
Creación de columnas

FID	GRID_CR01	GRID_CR02	GRID_CR03	GRID_CR04	GRID_CR05	GRID_CR06	GRID_CR07	AREA	AREA_HA
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	1	0	0	0	0	0
18	0	0	0	1	0	0	0	0	0
19	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Luego, calculamos el área en hectáreas en la columna "AREA_HA". A continuación, realizamos una selección por atributos, eligiendo las áreas con un porcentaje mayor o igual al 90% para asegurar mayor certeza en la identificación de zonas óptimas.

Figura 21

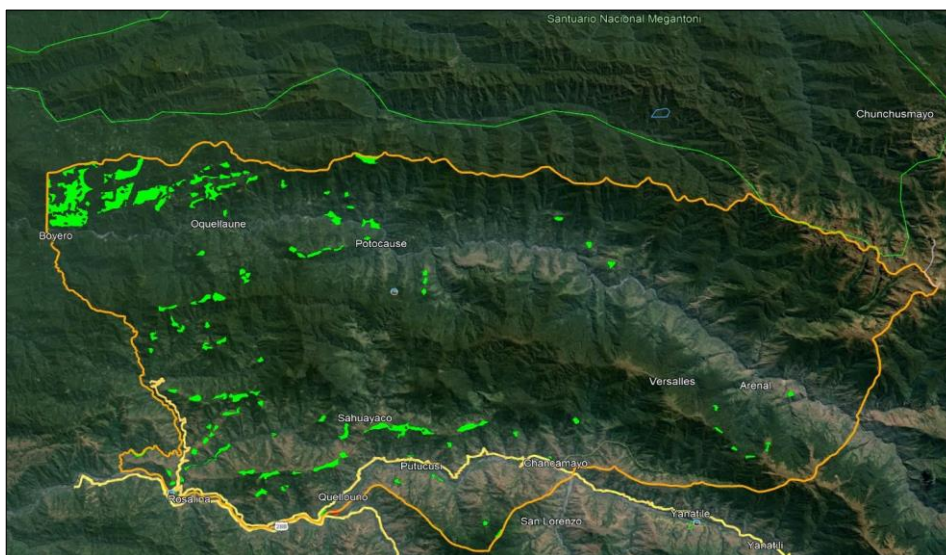
Filtro de áreas óptimas al 90%



Posteriormente, filtramos y eliminamos las áreas menores a 10 hectáreas. Finalmente, exportamos el shapefile a formato KML para visualizar las zonas óptimas en imágenes satelitales y analizar la mejor ubicación para un relleno sanitario.

Figura 22

Visualización Zonas Óptimas en Google Earth Pro

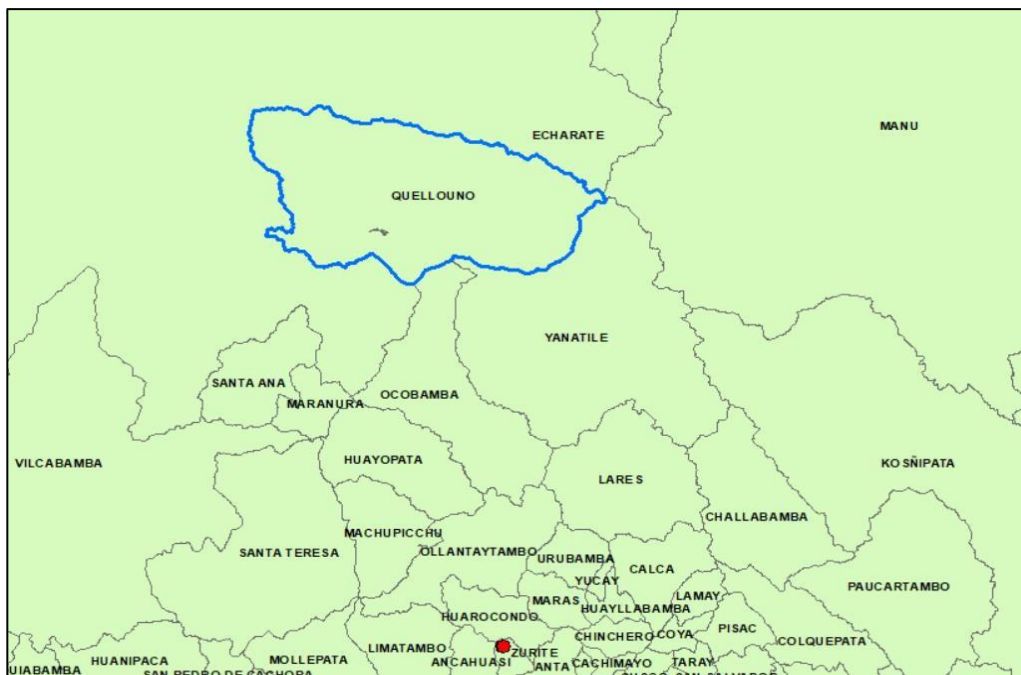


4.4.8. Pasivos Ambientales

Seleccionamos el shapefile de pasivos ambientales y observamos en el ArcGIS que se encuentra fuera de la jurisdicción de Quellouno. Por lo tanto, cumple el requisito de que no existen pasivos ambientales en las zonas óptimas para un relleno sanitario.

Figura 23

Criterio N° 08 de Pasivos Ambientales

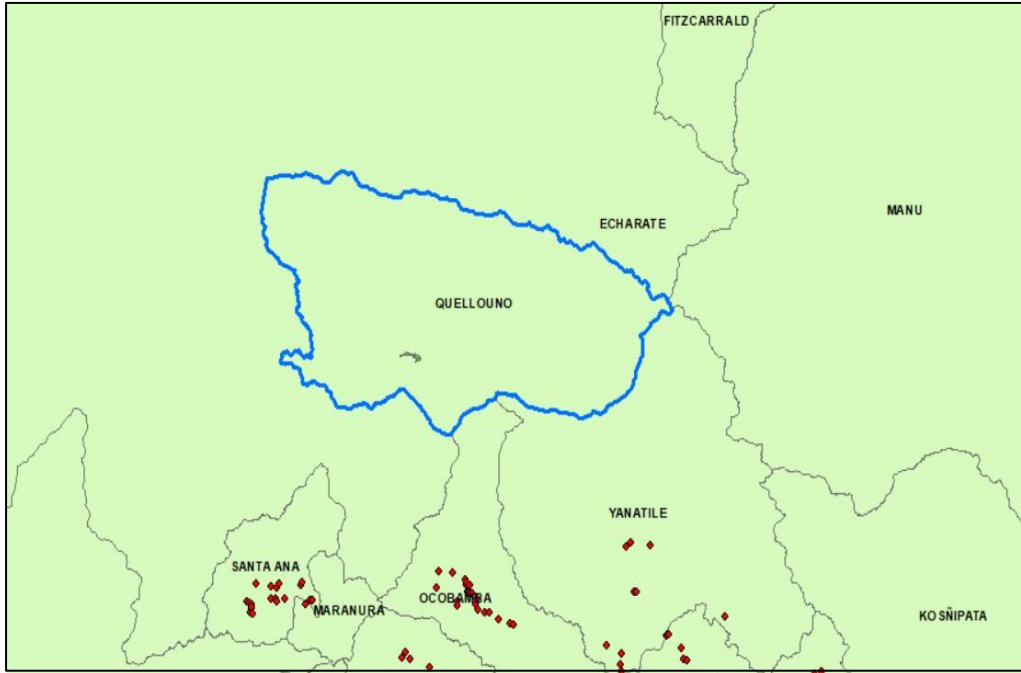


4.4.9. Restos Arqueológicos

Seleccionamos el shapefile de Restos Arqueológicos y observamos en el ArcGIS que se encuentra fuera de la jurisdicción de Quellouno. Por lo tanto, cumple el requisito de que un relleno sanitario se encuentra lejos de restos arqueológicos.

Figura 24

Criterio N°09 Restos arqueológicos



4.4.10. Dirección del Viento

Este factor es importante para conocer el impacto negativo que produciría un centro de disposición final hacia las comunidades cercanas y el entorno natural. Esto es debido a que los vientos son un medio de transporte de olores, partículas e incluso de posibles contaminantes provenientes del relleno sanitario. Por tal motivo, se realizó un análisis de esta condición meteorológica mediante la elaboración de rosas de los vientos con el objetivo de identificar la dirección y velocidad predominante del viento.

El software utilizado para realizar el análisis de esta condición meteorológica fue WRPLOT VIEW. Para este análisis, se recopilieron datos por el periodo de un año de dos estaciones meteorológicas automáticas ubicadas al norte y sur del área de estudio,

Figura 26

Portal web del Senamhi



Nota: Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional, Senamhi, 2023

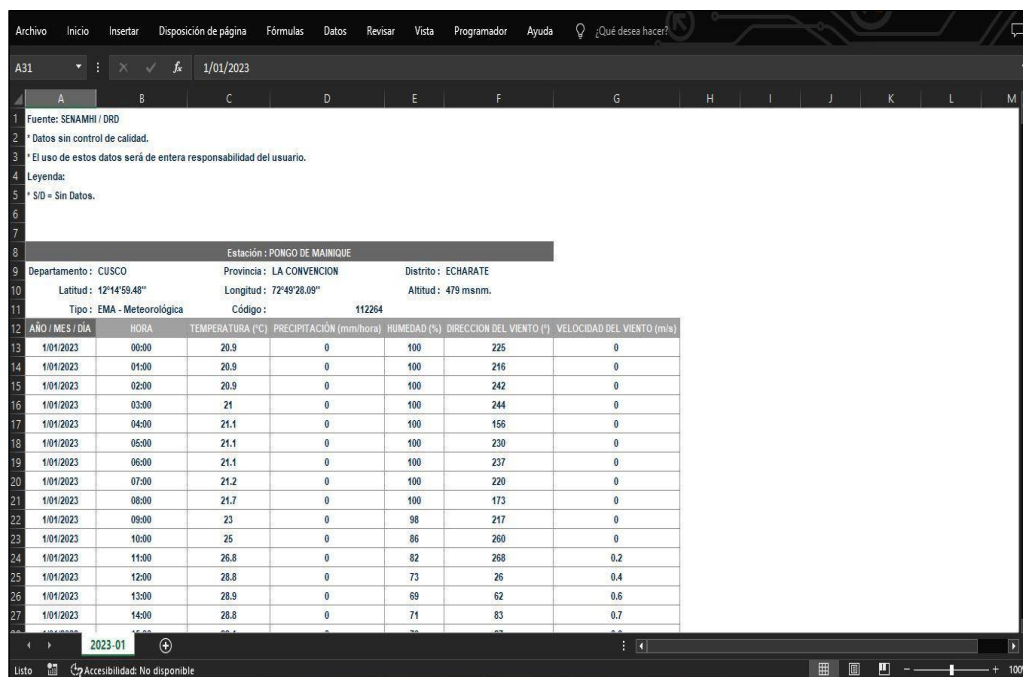
Posterior a ello, para poder ubicar nuestras estaciones elegidas para el análisis meteorológico se realizó una filtración en el geovisor seleccionando únicamente las estaciones automáticas con la finalidad de poder encontrar con mayor facilidad la estación San Pablo y la estación Pongo de Mainique.

Una vez ubicadas nuestras estaciones meteorológicas que fueron seleccionadas debido a que se encuentran al norte y sur de nuestra área de estudio, se seleccionaron y se procedió a hacer la descarga de la data proveniente del instrumento. Para este estudio se realizó la recolección de información comprendida en el periodo de un año, precisamente desde enero a diciembre del año 2023, esto con la finalidad de obtener un resultado más confiable.

La información recolectada en el portal web del Senamhi es un archivo Excel en formato CSV y en ella nos brinda diversos datos como la fecha, hora, temperatura, precipitación, humedad, dirección y velocidad del viento. Además, nos proporciona información de la estación como lo es su ubicación geográfica, su altitud y el tipo de estación (ver **Figura 27**).

Figura 27

Datos hidrometeorológicos



Estación : PONGO DE MAINIQUE						
Departamento : CUSCO		Provincia : LA CONVENCIÓN		Distrito : ECHARATE		
Latitud : 12°14'59.48"		Longitud : 72°49'28.09"		Altitud : 479 msnm.		
Tipo : EMA - Meteorológica		Código :		112264		
AÑO / MES / DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/hora)	HUMEDAD (%)	DIRECCIÓN DEL VIENTO (°)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
1/01/2023	00:00	20.9	0	100	225	0
1/01/2023	01:00	20.9	0	100	216	0
1/01/2023	02:00	20.9	0	100	242	0
1/01/2023	03:00	21	0	100	244	0
1/01/2023	04:00	21.1	0	100	156	0
1/01/2023	05:00	21.1	0	100	230	0
1/01/2023	06:00	21.1	0	100	237	0
1/01/2023	07:00	21.2	0	100	220	0
1/01/2023	08:00	21.7	0	100	173	0
1/01/2023	09:00	23	0	98	217	0
1/01/2023	10:00	25	0	86	260	0
1/01/2023	11:00	26.8	0	82	268	0.2
1/01/2023	12:00	28.8	0	73	26	0.4
1/01/2023	13:00	28.9	0	69	62	0.6
1/01/2023	14:00	28.8	0	71	83	0.7

En este punto, hemos recopilado un total de 24 archivos con datos meteorológicos, divididos en 12 archivos para cada estación, abarcando un periodo de un año. Antes de proceder con el uso del software WRPLOT, donde importaremos nuestra información, realizamos la unión de estos archivos con el propósito de obtener dos productos finales: un archivo consolidado para cada estación. Para lograr esto, juntamos toda la información descargada de cada estación en un solo archivo Excel en formato CSV. Además, se le dio el formato necesario para que el

software pudiera leer correctamente el archivo. Esto incluyó la división de la fecha en tres columnas diferentes (año, mes y día), asegurando así que los datos estén en el formato requerido por WRPLOT.

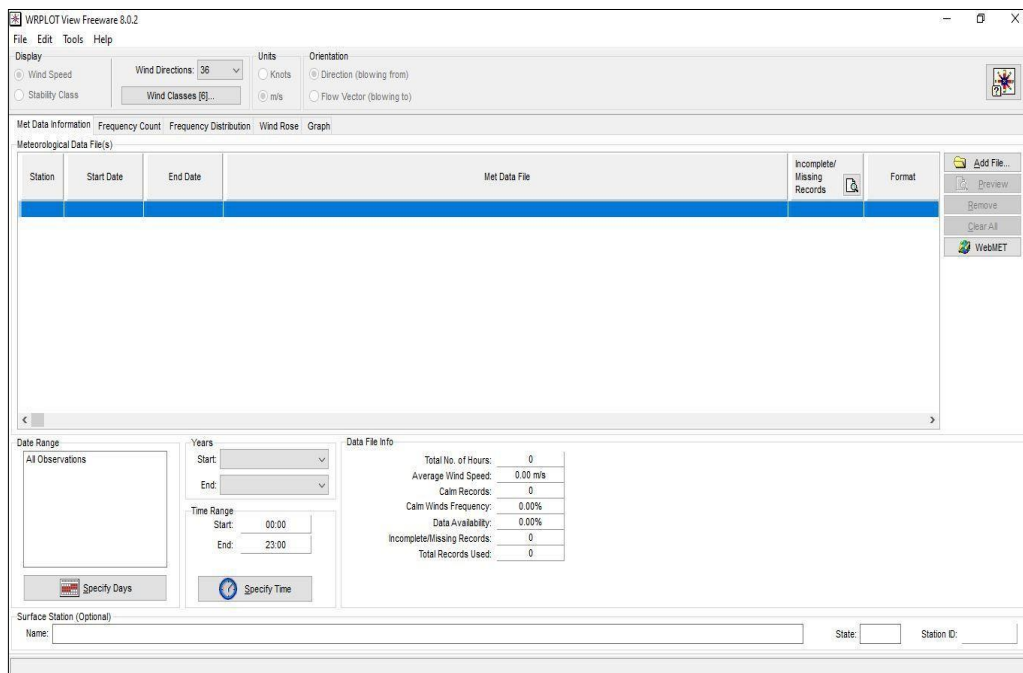
En resumen, consolidamos los 12 archivos mensuales de datos meteorológicos de cada estación en un único archivo anual por estación. Este proceso nos garantiza que los archivos estén correctamente formateados para su uso en el software WRPLOT.

Generación de rosas de los vientos con el software WRPLOT

Una vez hecho el ajuste de los archivos correspondientes, se procedió a abrir el software WRPLOT View Freeware 8.0.2, en ello podemos apreciar la interfaz principal donde se hará la gestión de los datos meteorológicos (Ver **Figura 28**). Seguido de ello, nos vamos a la pestaña Tools en donde encontraremos la opción para poder importar nuestros archivos en el software.

Figura 28

Interfaz Software WRPLOT



En este punto se procederá a cargar los archivos para la elaboración de nuestra rosa de los vientos. Esta interfaz cuenta con 2 secciones en donde se realizará la configuración de la estación a analizar. La primera sección lleva por nombre “Data Fields”, en ella especificaremos los nombres de las columnas en el archivo Excel que corresponden a los datos necesarios para el software WRPLOT. La segunda sección titulada “Station Information”, es donde se ingresarán detalles adicionales de la estación meteorológica que procederemos a analizar.

Para ello nos dirigimos a la opción “Specify File” en donde importaremos los datos previamente ajustados para que el programa pueda procesarlo correctamente (ver **Figura 29**).

Figura 29

Segunda Interfaz

#	Data Field Name	Excel Column Name	Missing Indicator in Excel File	Unit in Excel File	Number Type
1	Year			N/A	YY, YYYY
2	Month			N/A	1 to 12
3	Day			N/A	1 to 31
4	Hour			01 to 24	00 to 23, 01 to 24

First Row to Import: 1 Set Last Row to Import: 1 Set Import

Excel File: SAMSON File

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															

Help Close

Una vez importado nuestro archivo Excel en el software WRPLOT podemos observar su representación en la interfaz del programa. En este punto se realizará configuraciones en las

secciones “Data fields” y “Station information”. En “Data Fields”, observamos los campos requeridos Año, Mes, Día y Hora. Estos campos son fundamentales ya que nos permite organizar y analizar los datos meteorológicos de una manera efectiva. Cada campo tiene una columna asociada en el archivo Excel, la cuales deben ser especificadas para que el software pueda identificar correctamente la información. Además, debemos proporcionar información sobre el formato y las unidades esperadas, por ejemplo, el año puede estar en formato “YY” o “YYYY” y la hora en un rango de “00 a 23” o “01 a 24”. Para este caso, utilizamos el rango de hora “00 a 23”.

Finalmente, en la opción “First Row to Import” introducimos en que fila se comienza con el análisis de la información y en la opción “Last Row to Import” se coloca en que fila se culmina con el conteo.

Paso siguiente, nos vamos a la sección “Station Information” donde introduciremos los datos faltantes para el correcto procesamiento de nuestra data. En esta sección se incluirá el nombre de la estación, ciudad, estado y su ubicación geográfica, para este caso utilizaremos los grados sexagesimales (grados, minutos y segundos).

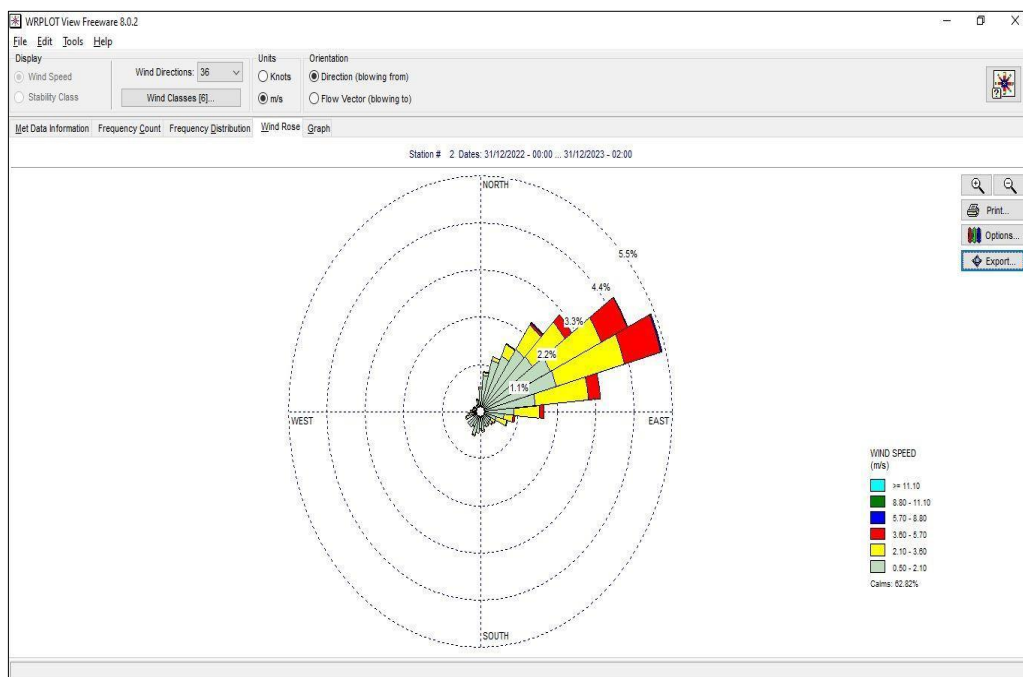
Una vez culminado con la configuración de los datos, procederemos a revisar que los campos estén asignados correctamente. Una vez listo, nos vamos a la opción “Import” para iniciar con el proceso de importación. Una vez culminado el proceso, guardamos el archivo generado y nos dirigimos a la ubicación en donde fue descargado. El archivo que obtuvimos se encuentra en formato SAM y puede ser apreciado ejecutándolo con el programa WordPad.

Una vez obtenido el archivo volvemos al software WRPLOT. En este punto realizaremos la importación del archivo que hemos procesado anteriormente. Seleccionamos la opción “Add File” y cargamos el archivo en formato SAM. Una vez seleccionado, vamos a la opción “Abrir” para

cargar el archivo en WRPLOT, lo que permitirá utilizar los datos meteorológicos importados para generar la rosa de los vientos y otros análisis pertinentes en el software. Finalmente, nos dirigimos a la sección “Wind Rose” en donde podemos apreciar nuestra rosa de los vientos (Ver **Figura 30**).

Figura 30

Rosa de los vientos



4.5. Factor Social

Con motivo de poder obtener el componente metodológico del factor social, nos centraremos en la respuesta de la población (opiniones, creencias y actitudes) que se encuentran en el área de estudio. Ya que contamos con un número limitado de elementos, utilizaremos un cálculo de tamaño de muestra basado en una ecuación para una población finita que es la siguiente:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{e^2 \times (N-1) + Z^2 \times p \times q}$$

n: Cantidad de elementos que se incluirá en la muestra

N: Número total de individuos en la población

Z: Valor estadístico correspondiente al nivel de confianza elegido

p: Probabilidad de que el evento bajo estudio ocurra

q: Probabilidad de que el evento bajo estudio no ocurra (1-p)

e: Rango máximo de error aceptable en los resultados

Se optó por utilizar un nivel de confianza (Z) del 95% con un margen de error de 5%, proporcionándonos un alto grado de certeza en la precisión de nuestros resultados. Dado que no contamos de antecedentes de investigaciones pasadas para determinar la probabilidad de que ocurra el evento estudiado (p), hemos elegido una estimación de 0.50 (50%). Por lo tanto, nuestra probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (q) es también de 0.50 (50%).

Tabla 2*Tamaño de muestra*

Sector catastral	Centro poblado	Población	Tamaño de muestra
Sector 01	Huillcapampa	63	54
Sector 02	Estrella	111	86
Sector 03	Penetración	55	48
Sector 04	Quellouno	220	140
Sector 05	Putucusi	90	73
Sector 06	Puente Santiago	81	67
Sector 07	Quesquento	31	29
Sector 08	Chancamayo	121	92

4.6. Área del Relleno Sanitario

Para establecer el área de un relleno sanitario debemos considerar el área de los residuos sólidos que se genera en un tiempo de vida mayor a 5 años y el área que ocupa el diseño de la infraestructura que se detalla a continuación:

Residuos Sólidos Domiciliarios

La producción y tratamiento de estos elementos generan otros de tipos de contaminantes que también ocupan un área y volumen que deben ser considerados.

- ✓ Área de residuos sólidos domiciliarios
- ✓ Formación de lixiviados (líquidos)
- ✓ Formación de gases por descomposición

Diseño de la Infraestructura:

- ✓ Área de canales permanente para el caudal de escorrentía (lluvias en la zona)

- ✓ Área para el control de ingreso de residuos
- ✓ Área en vías de acceso interno
- ✓ Área en sector de operación referido a las celdas de disposición final (trinchera o mixta).
- ✓ Zona destinada para recibir y almacenar el material de cobertura. Área en barrera sanitaria (área perimetral).
- ✓ Área en zonas de seguridad (Áreas libres para que el personal esté seguro ante una emergencia).
- ✓ Entre otros.

Teniendo en consideración lo antes mencionado realizamos solo el cálculo del área de los residuos sólidos domiciliarios y para ello tenemos una tabla en la cual se tienen los parámetros para cada clase de relleno sanitario a ser considerado.

Tabla 3

Clase de Relleno Sanitario

Clase de relleno	Altura max. (m)	Obras (m)	Kg/m ³	Material de cobertura
Manual	2.00	0.50	588	20%
Semi mecánico	2.50	0.55	614	20%
Mecánico	3.80	0.65	725	20%

Nota: Clases de Relleno Sanitarios en el Perú, Ministerio del Ambiente, 2008

CAPÍTULO V

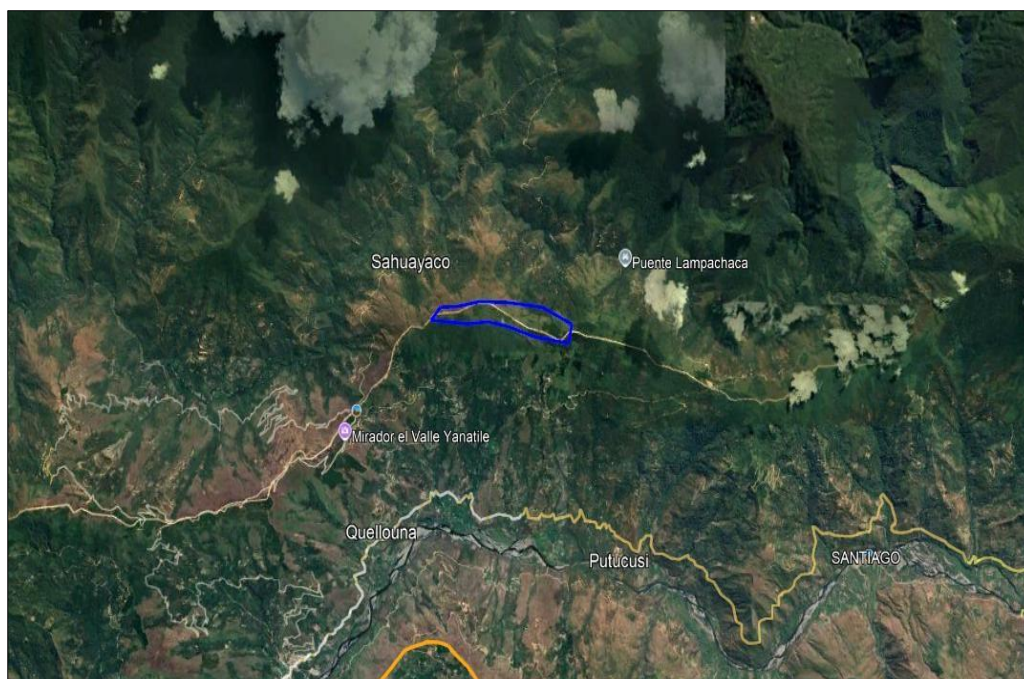
5. Resultados

Los resultados obtenidos de aplicar la metodología propuesta son los siguientes:

- ✓ Se obtuvo una zona optima que cumple al 96% los criterios establecidos.
- ✓ Se encuentra ubicado a 7 kilómetros de la capital del distrito de Quellouno, presenta vías de acceso y un área mayor a 100 hectáreas.
- ✓ La pendiente requiere adecuar parcialmente para relleno sanitario.

Figura 31

Resultado N° 1

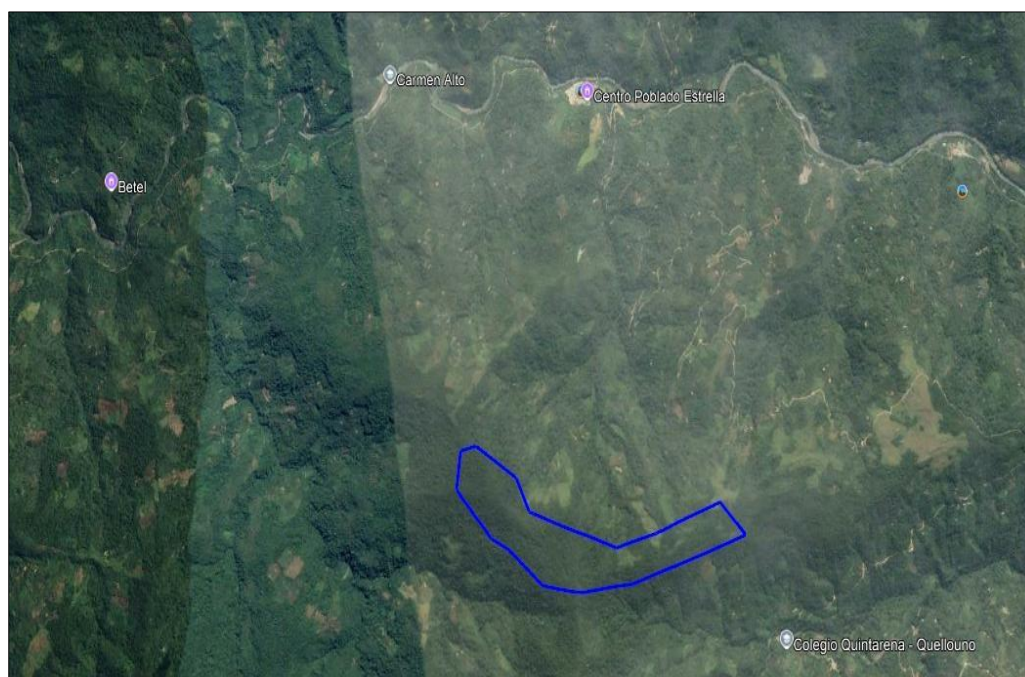


- ✓ La segunda zona optima cumple el 90% de los criterios establecidos.

- ✓ Se encuentra ubicado a 3.5km del Centro Poblado Estrella, presenta vías de acceso y un área de 111 hectáreas.
- ✓ La pendiente requiere adecuar para establecer un relleno sanitario.

Figura 32

Resultado N°2



A continuación, se describen los resultados de cada parámetro considerado en el análisis multicriterio:

5.1. Pendiente

Se utilizó información del modelo digital de elevación ASTER GDEM del Ministerio del Ambiente que se encuentra en el geoservidor peru.minam.gob.pe. En la siguiente figura se observa de color verde la zona óptima (1) de pendiente aceptable para un relleno sanitario que se oscila entre (0% al 25%) y la zona no optima (0) de color

rojo es muy empinado superando los 25% de pendiente. Se estableció rangos en la siguiente tabla.

Tabla 4

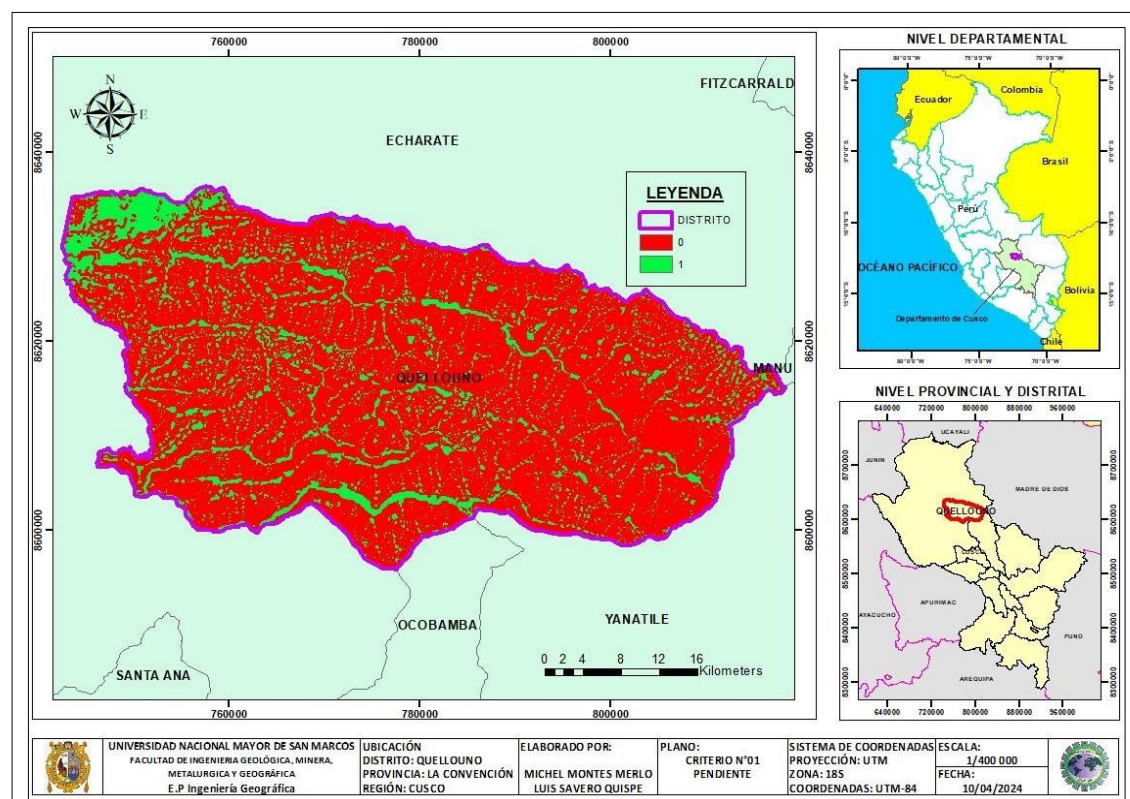
Clasificación de pendientes

Clase	Rango (%)	Descripción
A	0 - 7	Ligeramente inclinado
B	7 -12	Inclinado
C	12 -25	Empinado
D	> 25	Muy empinado

Nota: Guía de Relleno Sanitario, Ministerio del Ambiente, 2011

Figura 33

Pendiente del Distrito de Quellouno

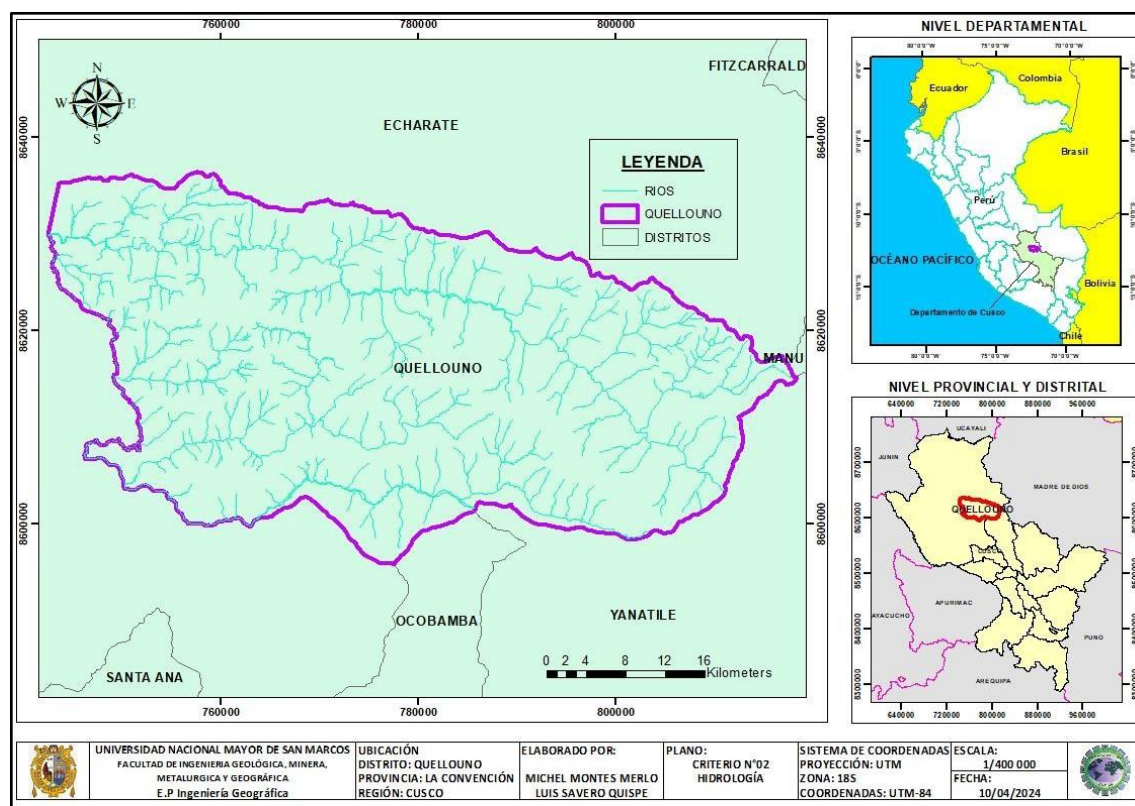


5.2. Ríos

De acuerdo con la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la red hidrográfica en el distrito de Quellouno se encuentra definido por ríos y quebradas continuas y son alimentados por los ríos Yanatile, Yavero, Chapo, Chirumbia y en menor medida las quebradas Lacco, Jatumpampa, Campanayoc, etc,

Figura 34

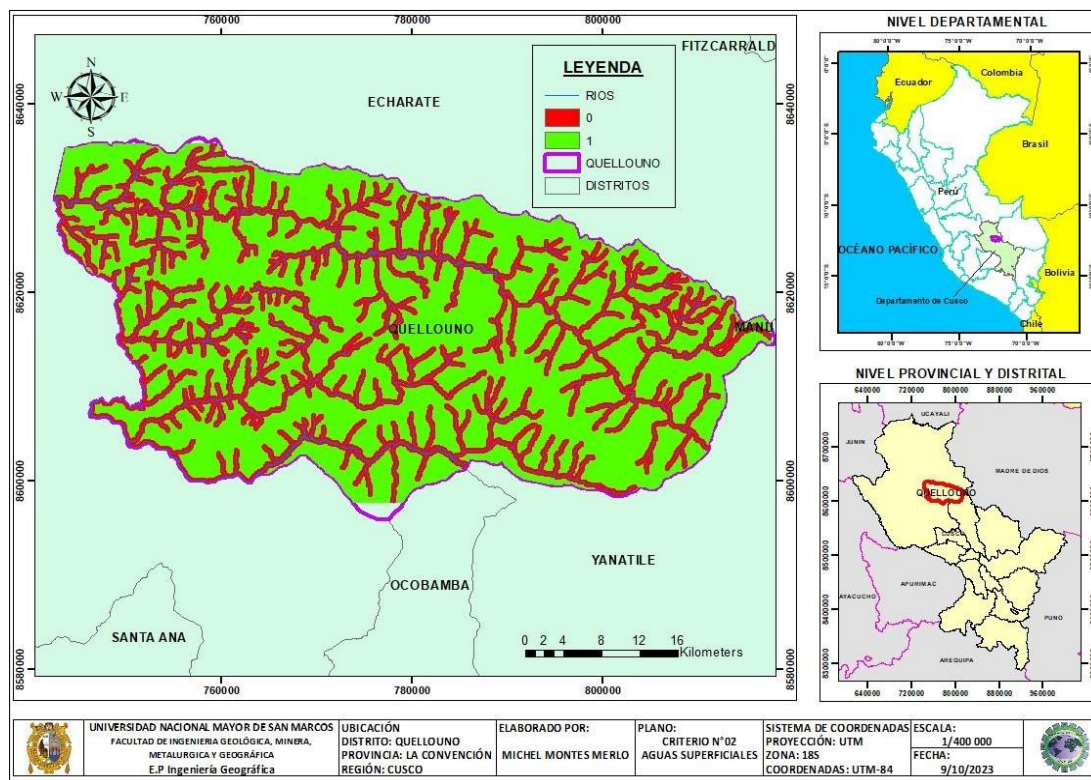
Fuentes de agua en el Distrito de Quellouno



De acuerdo con la Ley general de residuos sólido N°27314. La condición para los rellenos sanitarios cerca ríos o fuentes de agua está en que no debe afectar la calidad del ambiente en su ámbito de influencia y no existan cuerpos de agua superficiales a una distancia que sea menor a 300 metros a más del relleno sanitario y, aguas subterráneas a una distancia de 20 metros aproximadamente.

Figura 35

Clasificación de 500 metros de rango del río



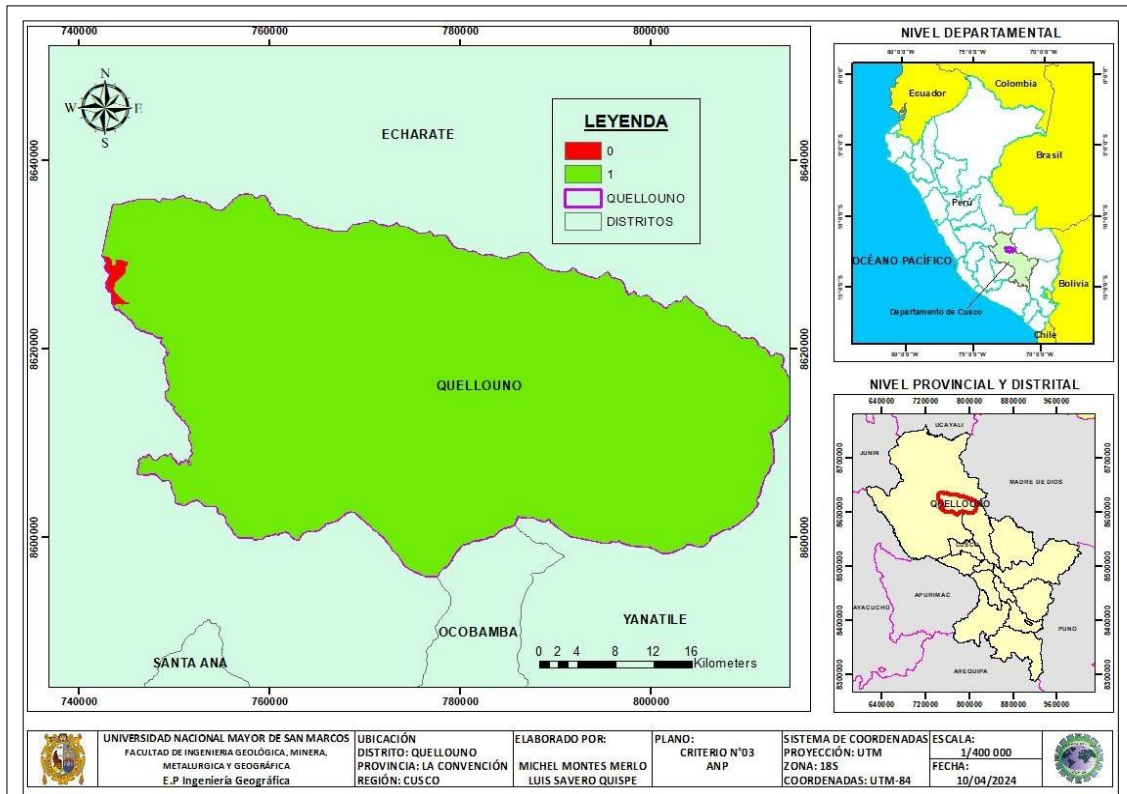
5.3. Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Las ANP son zonas terrestres o marinas del territorio nacional que el Estado reconoce y protege legalmente por su relevancia en la conservación de la biodiversidad y otros valores de interés cultural, paisajístico y científico. Además, estas áreas contribuyen al desarrollo sostenible del país y están respaldadas por la ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas (Congreso de la República, 1997).

Para un relleno sanitario es necesario que no se encuentre localizado cerca algún área natural protegida debido a su carácter intangible y de conservación.

Figura 36

Áreas Naturales Protegidas



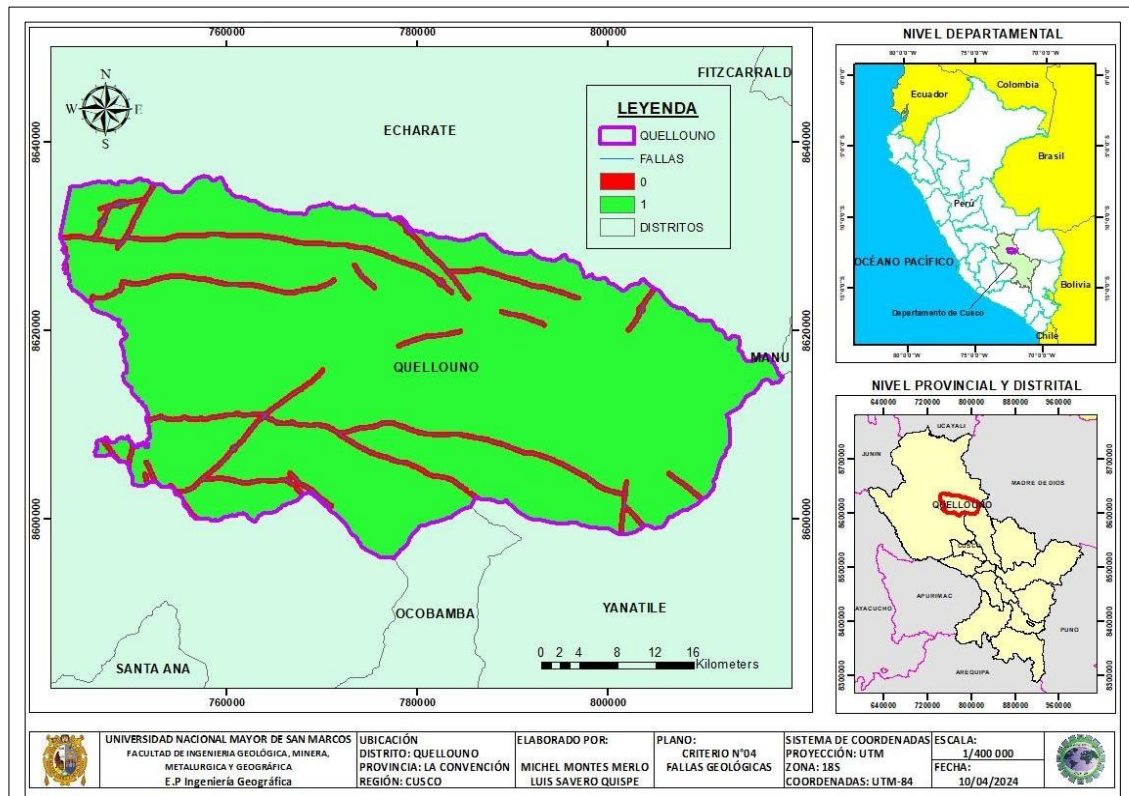
5.4. Fallas Geológicas

Es la fractura en la corteza a lo largo de la cual ha ocurrido desplazamiento paralelo de los bloques uno respecto al otro. El movimiento de fallas ocasiona sismos o terremotos de diversas magnitudes según las colisiones generadas (INGEMMET, 2021).

Para un relleno sanitario es un requisito esencial que no se encuentre cerca de fallas geológicas, establecemos un rango de 300 metros a más por la vulnerabilidad que presenta dicho lugar.

Figura 37

Fallas Geológicas

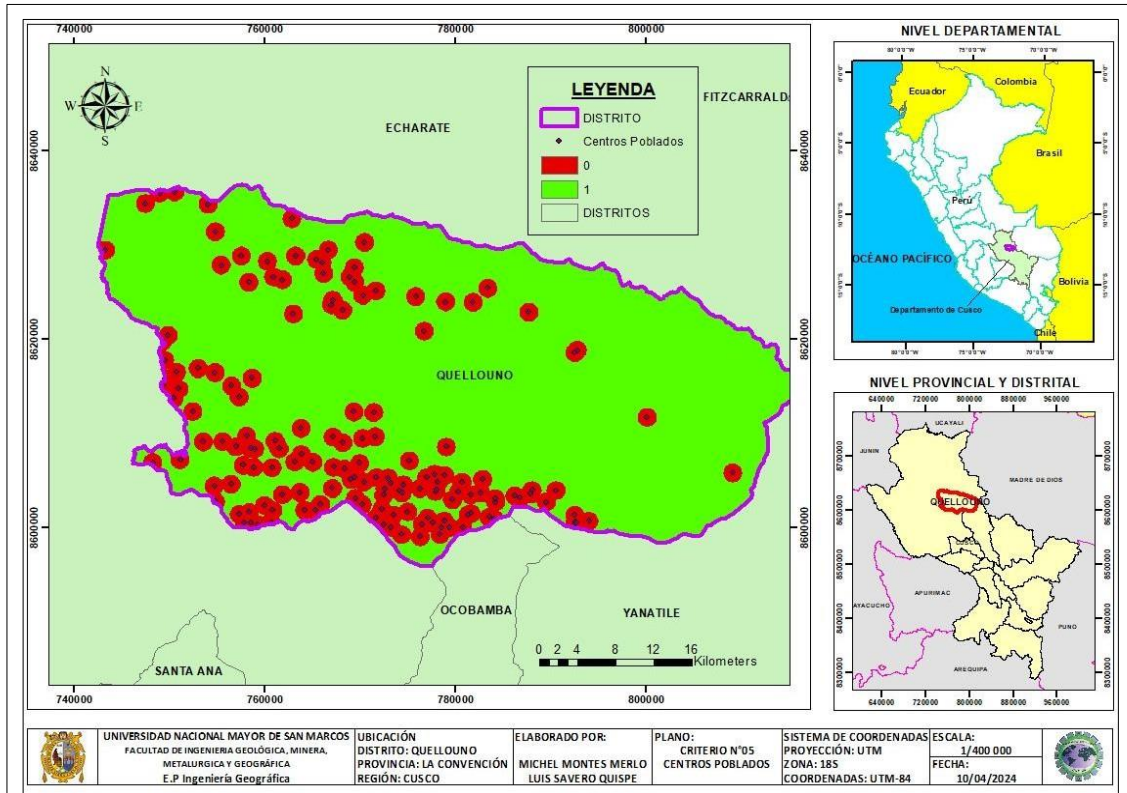


5.5. Centros Poblados

La información de los centros poblados empleados en el análisis multicriterio fue obtenida por el censo del INEI del año 2017. En este criterio se considera que la zona donde se instale un centro de disposición final debe encontrarse distante a los centros poblados para que al final de su vida útil este sea utilizado como área verde. Para el análisis multicriterio se considera que debe estar mínimo a 1 kilómetro de distancia de los centros poblados como se muestra en la siguiente figura. La zona óptima está a más de 1 kilómetro de distancia de los centros poblados que existen en el distrito de Quellouno.

Figura 38

Centros Poblados

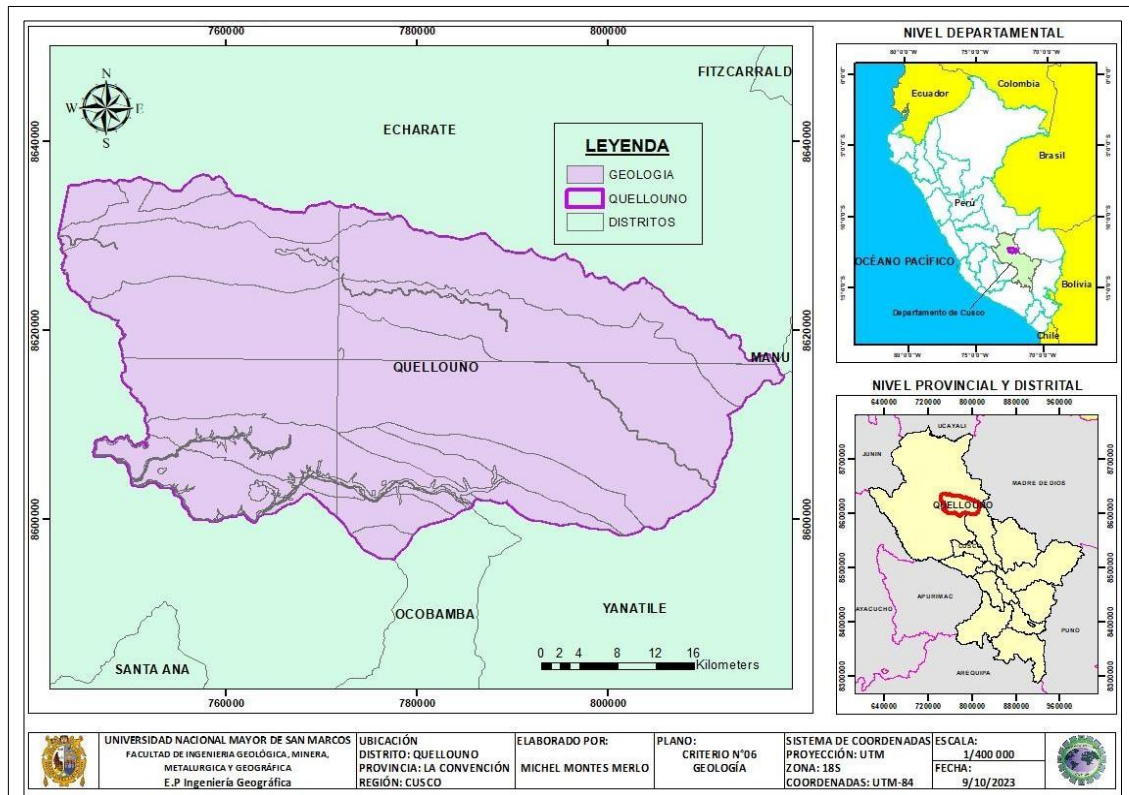


5.6. Geología

Un agente externo puede infiltrarse en el terreno y llegar al acuífero, provocando su contaminación, haciéndolo su transportador y seguir contaminando en todo su transcurso. Por ello la gran importancia de conocer el tipo de suelo para establecer un relleno sanitario. La información de tipos de suelo y sus características se obtuvieron del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) de la carta “26q- 18L”.

Figura 39

Geología de Quellouno

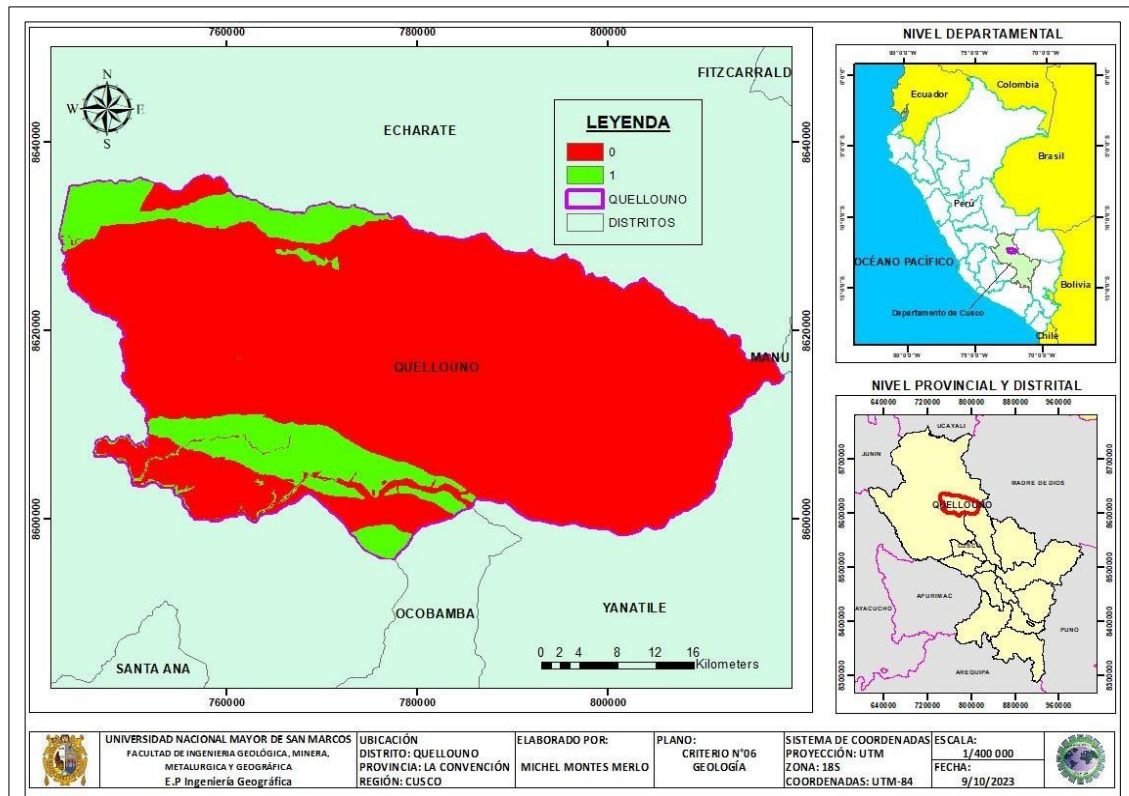


Para el criterio de geología consideramos los suelos sedimentarios o composición areno-arcillosas, siendo estas las más recomendables para un relleno sanitario ya que son suelos poco permeables, por lo cual la infiltración de líquidos contaminante como los lixiviados de la basura se reduce y no llega a fuentes de agua.

En la siguiente figura se observa la zona óptima de color verde son los suelos sedimentarios o de composición areno-arcillosa como requisito de suelo poco permeable para un relleno sanitario.

Figura 40

Suelos Sedimentarios (Areno-arcillosas)



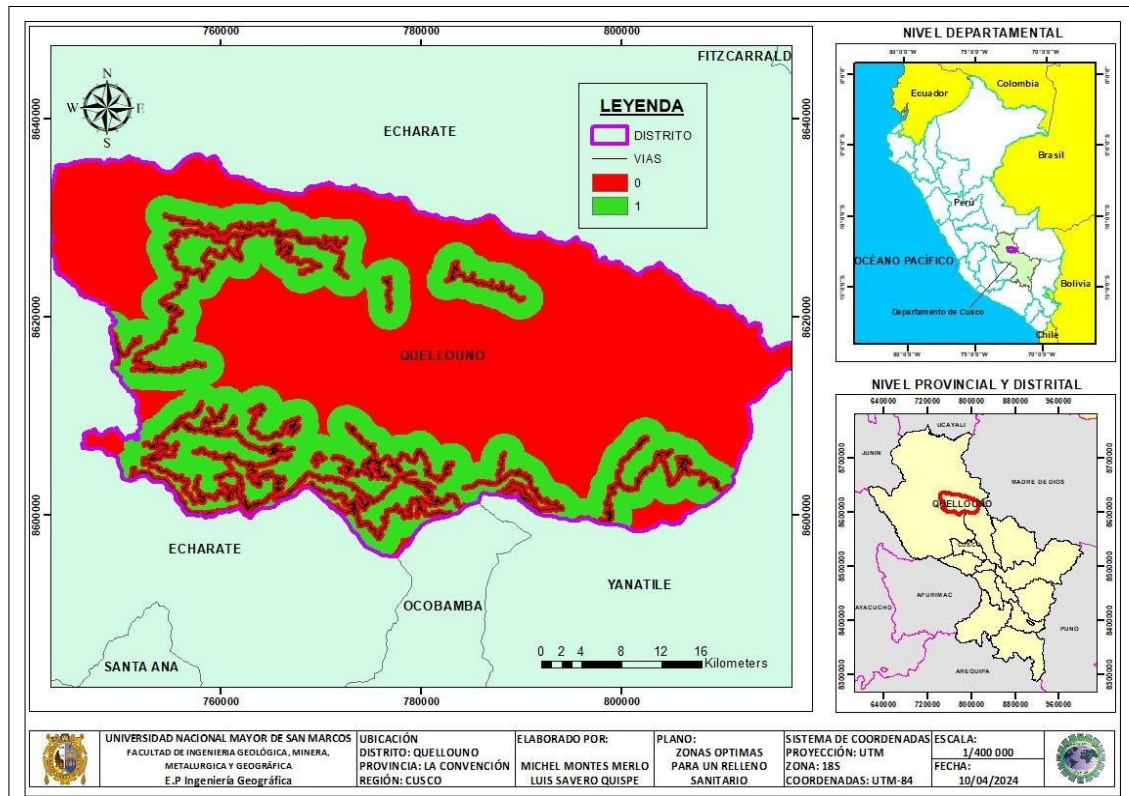
5.7. Vías de Acceso

La distancia de un relleno sanitario a las vías de acceso es importante para la eficiencia de combustible y tiempo al trasladar los residuos. Para el análisis multicriterio se consideró que las vías de acceso deben estar entre 300 y 2000 metros.

En la siguiente figura se observa las vías de acceso de color negro y el color rojo son los 300 metros de distancia en la cual se considera zona no óptima para un relleno sanitario. La zona optima es el color verde que cumple con el criterio de estar a más de 300 metros de distancia.

Figura 41

Criterio N°07 de Vías de Acceso



Las siguientes figuras se observan los resultados de cruzar los parámetros en la cual se observa zonas óptimas (1) color verde y zonas no óptimas (0) color rojo.

Entre las figuras están:

- ✓ Las zonas óptimas con un 90% o más de peso que cumplen los criterios aplicando la metodología de Saaty.
- ✓ Las zonas óptimas con un 96% de peso que cumplen los criterios aplicando la metodología de Saaty.
- ✓ Las zonas óptimas mayor o igual a 100 hectáreas, aplicando la metodología de Saaty.

Figura 42

Resultados de Zonas óptimas del 90% al 100%

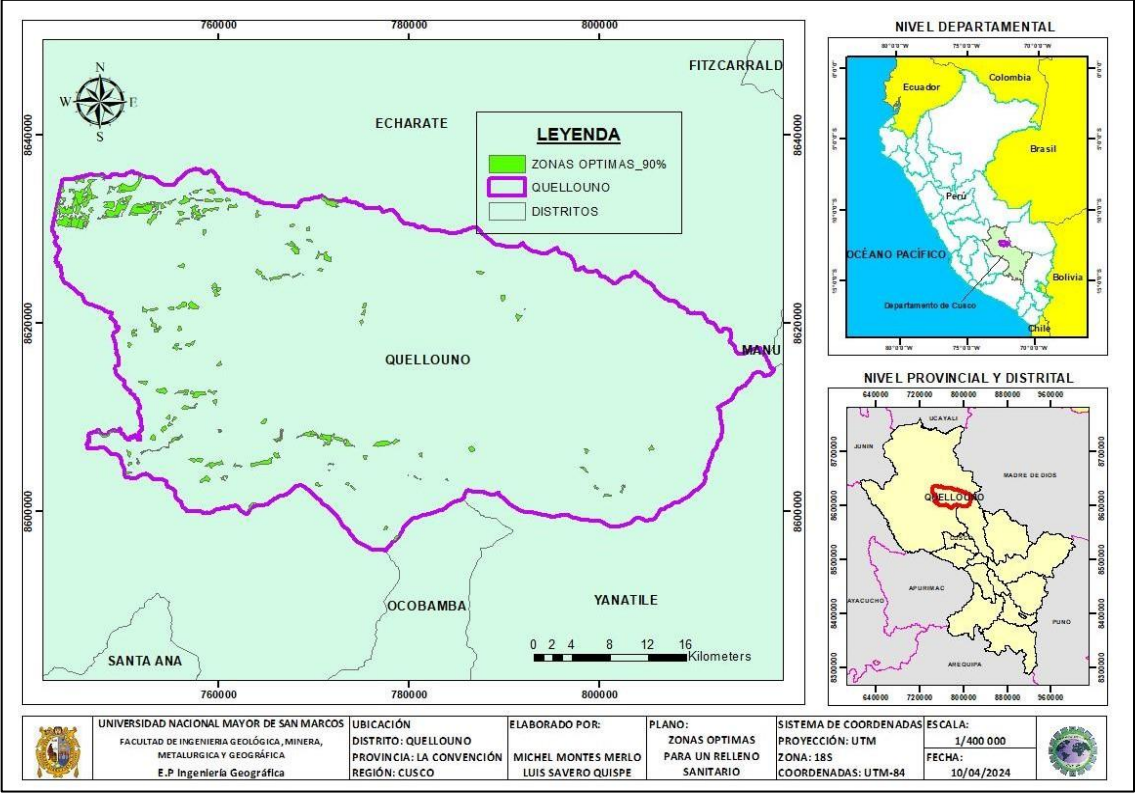


Figura 43

Resultados de Zonas óptimas al 96%

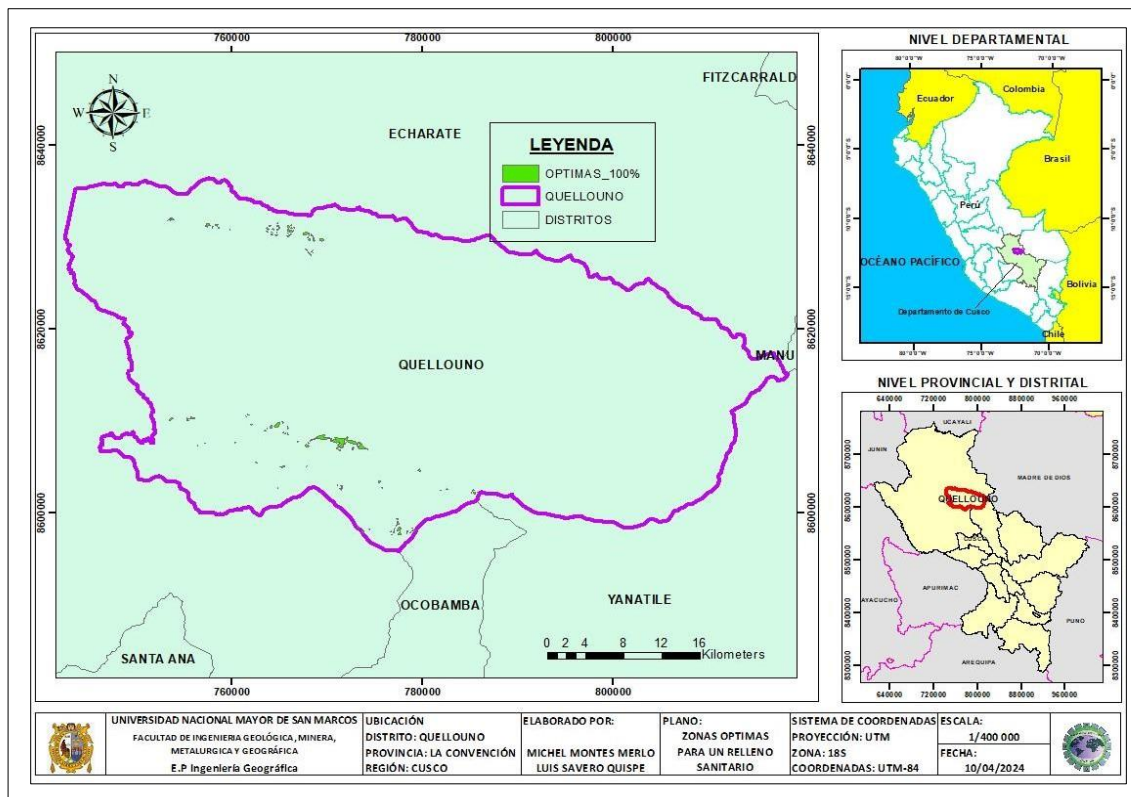
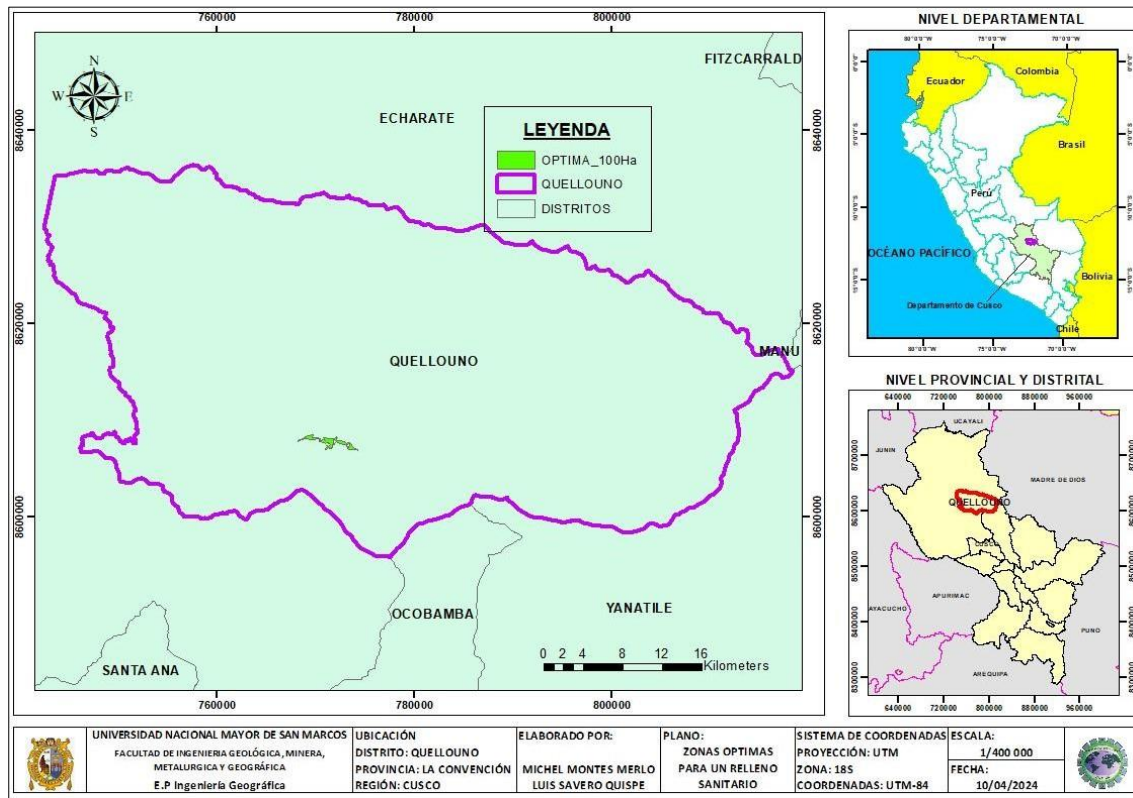


Figura 44

Zonas óptimas mayor o igual a 100 hectáreas



5.8. Vida Útil del Relleno

Para determinar la estimación de la vida útil de un centro de disposición final es importante conocer la población actual y futura de los centros poblados, la generación por persona de residuos sólidos en la convención y otros factores obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017), Ministerio del Ambiente (2020) y el levantamiento catastral realizado desde el año 2023 al presente año para emplear información actualizada de los centros poblados.

Primero clasificamos el total de habitantes por centro poblado del año 2017 para hacer una proyección al 2025.

Tabla 5*Habitantes de 8 Centros Poblados de Quellouno del año 2017*

CÓDIGO	CENTROS POBLADOS	POBLACIÓN CENSADA		
		Hombre	Mujer	Total
1	Huillcapampa	176	136	312
2	Estrella	176	178	354
3	Penetración Yavero	35	34	69
4	Putucusi	298	268	566
5	Chancamayo	173	178	351
6	Quesquento	68	58	126
7	Puente Santiago	99	99	198
8	Quellouno	720	776	1 496

Nota: Censo poblacional Distrito de Quellouno, Instituto Nacional de Estadística e Informática 2017.

Una vez realizado el cálculo de la población proyectado del 2017 al 2024 se obtiene los siguientes resultados a modo de resumen en la siguiente tabla.

Tabla 6*Proyección de la población del 2017 al 2024*

	2017	2024
Huillcapampa	312	320
Estrella	354	366
Penetración Yavero	69	70
Putucusi	566	584
Chancamayo	351	361
Quesquento	126	135
Puente Santiago	198	218
Quellouno	1 496	1650

Realizamos la proyección de la población de los ocho Centros Poblados urbanos (primer

orden) con la tasa de crecimiento obtenido de los “Esquemas de Acondicionamiento Urbano 2024-2034, distrito de Quellouno, La Convención, Cusco”. Se realizará la estimación de población y residuos sólidos para 20 años a partir del 2025 con la siguiente formula:

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Huillcapampa.

Tabla 7

Proyección de la población del centro poblado de Huillcapampa

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	347	habitantes
Po	Población actual	320	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	0.40	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 320(1 + 0.004)^{20} = 347 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Estrella.

Tabla 8

Proyección de la población del centro poblado de Estrella

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	404	habitantes
Po	Población actual	366	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	0.50	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 366(1 + 0.0050)^{20} = 404 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Penetración.

Tabla 9

Proyección de la población del centro poblado de Penetración

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	76	habitantes
Po	Población actual	70	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	0.40	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 70(1 + 0.0040)^{20} = 76 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Putucusi.

Tabla 10

Proyección de la población del centro poblado de Putucusi

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	640	habitantes
Po	Población actual	584	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	0.46	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 584(1 + 0.0046)^{20} = 640 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Chancamayo.

Tabla 11

Proyección de la población del centro poblado de Chancamayo

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	392	habitantes
Po	Población actual	361	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	0.41	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 361(1 + 0.0041)^{20} = 392 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Quesquento.

Tabla 12

Proyección de la población del centro poblado de Quesquento

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	165	habitantes
Po	Población actual	135	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	1.02	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 135(1 + 0.0102)^{20} = 165 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Puente Santiago.

Tabla 13

Proyección de la población del centro poblado de Puente Santiago

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf	Población futura	290	habitantes
Po	Población actual	218	habitantes
r	Tasa de Crecimiento Poblacional	1.43	%
n	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 218(1 + 0.0143)^{20} = 290 \text{ habitantes}$$

Cálculo de la población del 2025 al 2044 del centro poblado de Quellouno.

Tabla 14

Proyección de la población del centro poblado de Quellouno

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Pf =	Población futura	2183	habitantes
Po =	Población actual	1650	habitantes
r =	Tasa de Crecimiento Poblacional	1.41	%
n =	(Tfinal-Tinicial) intervalos en años	20	años

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

$$Pf = 1650(1 + 0.0141)^{20} = 2183 \text{ habitantes}$$

Luego necesitamos el valor de **la Generación Per Cápita de residuos sólidos (GPC)** por habitante de los 8 Centros Poblados de Quellouno. Se utilizaría distintos GPC por centro poblado si existiera un trabajo de caracterización de residuos sólidos realizado por la Municipalidad distrital de Quellouno, por lo tanto, se utilizará un GPC = 0.83 kg /Pob/día para los centros poblados urbanos del distrito de Quellouno, establecido por la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos, Ministerio del Ambiente (2020).

Por consiguiente, realizamos el cálculo de la generación de residuos sólidos (GR) proyectado del 2025 al 2044 tiempo estimado de 20 años de duración de un relleno sanitario. Se emplearán las siguientes fórmulas para todos los centros poblados.

$$GPC = 0.83 \text{ kg /Pob/día}$$

$$GR = \frac{\text{Población (Hab.)}(GPC)}{1000} \text{ (Ton / día)}$$

$$GR = (321)(0.83) / 1000 = 0.2664 \text{ (Ton/día)}$$

Lo convertiremos a Toneladas por año

$$GR = (0.2664) (365) = 97.25 \text{ (Ton / año)}$$

Siguiendo los pasos se obtiene la siguiente tabla de proyección de residuos sólidos y lo aplicamos en los 20 años estimados para todos centros poblados.

Tabla 15*Proyección de Huilcapampa (2025-2044)*

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	321	0.27	97.25
2	322	0.27	97.55
3	323	0.27	97.85
4	325	0.27	98.46
5	326	0.27	98.76
6	327	0.27	99.06
7	329	0.27	99.67
8	330	0.27	99.97
9	331	0.27	100.28
10	333	0.28	100.88
11	334	0.28	101.19
12	335	0.28	101.49
13	337	0.28	102.09
14	338	0.28	102.40
15	339	0.28	102.70
16	341	0.28	103.31
17	342	0.28	103.61
18	343	0.28	103.91
19	345	0.29	104.52
20	346	0.29	104.82

Tabla 16*Proyección de Estrella (2025-2044)*

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	367	0.30	111.18
2	369	0.31	111.79

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
3	371	0.31	112.39
4	373	0.31	113.00
5	375	0.31	113.61
6	377	0.31	114.21
7	379	0.31	114.82
8	380	0.32	115.12
9	382	0.32	115.73
10	384	0.32	116.33
11	386	0.32	116.94
12	388	0.32	117.54
13	390	0.32	118.15
14	392	0.33	118.76
15	394	0.33	119.36
16	396	0.33	119.97
17	398	0.33	120.57
18	400	0.33	121.18
19	402	0.33	121.79
20	404	0.34	122.39

Tabla 17

Proyección de Penetración (2025-2044)

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	70	0.06	21.29
2	71	0.06	21.38
3	71	0.06	21.46
4	71	0.06	21.55
5	71	0.06	21.63
6	72	0.06	21.72
7	72	0.06	21.81
8	72	0.06	21.89
9	73	0.06	21.98

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
10	73	0.06	22.07
11	73	0.06	22.16
12	73	0.06	22.25
13	74	0.06	22.34
14	74	0.06	22.43
15	74	0.06	22.52
16	75	0.06	22.61
17	75	0.06	22.70
18	75	0.06	22.79
19	76	0.06	22.88
20	76	0.06	22.97

Tabla 18

Proyección de Putucusi (2025-2044)

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	587	0.49	177.74
2	589	0.49	178.55
3	592	0.49	179.38
4	595	0.49	180.20
5	598	0.50	181.03
6	600	0.50	181.86
7	603	0.50	182.70
8	606	0.50	183.54
9	609	0.51	184.38
10	611	0.51	185.23
11	614	0.51	186.08
12	617	0.51	186.94

Tabla 19*Proyección de Chancamayo (2025-2044)*

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	362	0.30	109.81
2	364	0.30	110.26
3	365	0.30	110.72
4	367	0.30	111.17
5	368	0.31	111.63
6	370	0.31	112.08
7	371	0.31	112.54
8	373	0.31	113.00
9	375	0.31	113.47
10	376	0.31	113.93
11	378	0.31	114.40
12	379	0.31	114.87
13	381	0.32	115.34
14	382	0.32	115.81
15	384	0.32	116.29
16	385	0.32	116.76
17	387	0.32	117.24
18	389	0.32	117.72
19	390	0.32	118.21
20	392	0.33	118.69

Tabla 20*Proyección de Quesquento (2025-2044)*

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	136	0.11	41.32
2	138	0.11	41.74
3	139	0.12	42.16

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
4	141	0.12	42.59
5	142	0.12	43.03
6	143	0.12	43.47
7	145	0.12	43.91
8	146	0.12	44.36
9	148	0.12	44.81
10	149	0.12	45.27
11	151	0.13	45.73
12	152	0.13	46.19
13	154	0.13	46.67
14	156	0.13	47.14
15	157	0.13	47.62
16	159	0.13	48.11
17	160	0.13	48.60
18	162	0.13	49.10
19	164	0.14	49.60
20	165	0.14	50.10

Tabla 21

Proyección de Puente Santiago (2025-2044)

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	221	0.18	66.99
2	224	0.19	67.95
3	227	0.19	68.92
4	231	0.19	69.90
5	234	0.19	70.90
6	237	0.20	71.92
7	241	0.20	72.94
8	244	0.20	73.99
9	248	0.21	75.05
10	251	0.21	76.12
11	255	0.21	77.21
12	258	0.21	78.31

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
13	262	0.22	79.43
14	266	0.22	80.57
15	270	0.22	81.72
16	274	0.23	82.89
17	278	0.23	84.07
18	281	0.23	85.28
19	286	0.24	86.49
20	290	0.24	87.73

Tabla 22

Proyección de Quellouno (2025-2044)

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
1	1673	1.39	506.92
2	1697	1.41	514.06
3	1721	1.43	521.31
4	1745	1.45	528.66
5	1770	1.47	536.12
6	1795	1.49	543.68
7	1820	1.51	551.34
8	1846	1.53	559.12
9	1872	1.55	567.00
10	1898	1.58	574.99
11	1925	1.60	583.10
12	1952	1.62	591.32
13	1979	1.64	599.66
14	2007	1.67	608.12
15	2036	1.69	616.69
16	2064	1.71	625.38
17	2093	1.74	634.20
18	2123	1.76	643.15
19	2153	1.79	652.21

Año	Población (Hab.)	Generación de Residuos (Ton/día)	Generación de Residuos (Ton/año)
20	2183	1.81	661.41

Una vez terminado la proyección del 2025 al 2044 de generación de residuos sólidos por centro poblado, calculamos el volumen mínimo útil que ocuparán las proyecciones realizadas de los 8 centros poblados para estimar un área adecuado donde pueda tratarse todos los residuos sólidos. Para calcular el **volumen mínimo útil (VMU)** vamos a emplear la densidad de residuos (DR) que se encuentra establecido por el D.S.057 - PCM -2004 y la cantidad de material de cobertura (CMC) varía entre 20 y 25% del volumen dispuesto obtenido del VAR los cuales se encuentra establecido por Jaramillo (2002).

Densidad de Residuos (DR) = 0.6 (Ton/m³)

Volumen Anual de Residuos (VAR)

$VAR = [Generación\ de\ residuos\ (Ton/año)] / [DR(m^3/año)] = 97.25 / 0.6 = 162.08$

Cantidad de material de cobertura (CMC) = 25% VAR

$CMC = (162.08) (25\%) = 40.52\ (m^3 / año)$

Volumen Anual de Residuos Dispuestos (VARD): Es la cantidad de residuos anual más la densidad que debe alcanzar el residuo en el relleno que es el 25%VAR.

$VARD = VAR + CMC$

$VARD = 162.08 + 40.52 = 202.60\ m^3$ (Tabla 23, primera fila)

El cálculo del Volumen Mínimo Útil (VMU) es la suma de los volúmenes anuales que alcanzará la celda de disposición final y sobre el proyecto de relleno sanitario será factible de

autorizar.

$$VMU = \sum VARD$$

$$VMU = 202.60 + 203.23 + 203.86 + 205.12 + 205.75 + 206.38 + 207.65 + 208.28 + 209.82 + \\ 208.91 + 210.17 + 210.80 + 211.43 + 212.70 + 213.33 + 213.96 + 215.22 + 215.85 + 216.48 + \\ 217.75 + 218.38$$

$$VMU = 4,207.85 \text{ m}^3$$

Los cálculos realizados fueron para el primero año del centro poblado de Huillcapampa como se muestra en la siguiente tabla y se realiza los mismos cálculos para las demás filas que hacen un total de 20 años y los demás centros poblados.

Tabla 23*Volumen mínimo útil de Huillcapampa (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	97.25	0.60	162.08	0.25	40.52	202.6	
2	97.55	0.60	162.58	0.25	40.65	203.23	
3	97.85	0.60	163.09	0.25	40.77	203.86	
4	98.46	0.60	164.10	0.25	41.02	205.12	
5	98.76	0.60	164.60	0.25	41.15	205.75	
6	99.06	0.60	165.11	0.25	41.28	206.38	
7	99.67	0.60	166.12	0.25	41.53	207.65	
8	99.97	0.60	166.62	0.25	41.66	208.28	
9	100.28	0.60	167.13	0.25	41.78	208.91	
10	100.88	0.60	168.14	0.25	42.03	210.17	4,207.85
11	101.19	0.60	168.64	0.25	42.16	210.8	
12	101.49	0.60	169.15	0.25	42.29	211.43	
13	102.09	0.60	170.16	0.25	42.54	212.70	
14	102.40	0.60	170.66	0.25	42.67	213.33	
15	102.70	0.60	171.17	0.25	42.79	213.96	
16	103.31	0.60	172.18	0.25	43.04	215.22	
17	103.61	0.60	172.68	0.25	43.17	215.85	
18	103.91	0.60	173.19	0.25	43.30	216.48	
19	104.52	0.60	174.20	0.25	43.55	217.75	
20	104.82	0.60	174.70	0.25	43.68	218.38	

Tabla 24*Volumen mínimo útil de Estrella (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	111.18	0.60	185.30	0.25	46.33	231.63	4,864.24
2	111.79	0.60	186.31	0.25	46.58	232.89	
3	112.39	0.60	187.32	0.25	46.83	234.16	
4	113.00	0.60	188.33	0.25	47.08	235.42	
5	113.61	0.60	189.34	0.25	47.34	236.68	
6	114.21	0.60	190.35	0.25	47.59	237.94	
7	114.82	0.60	191.36	0.25	47.84	239.20	
8	115.12	0.60	191.87	0.25	47.97	239.84	
9	115.73	0.60	192.88	0.25	48.22	241.10	
10	116.33	0.60	193.89	0.25	48.47	242.36	
11	116.94	0.60	194.90	0.25	48.72	243.62	
12	117.54	0.60	195.91	0.25	48.98	244.88	
13	118.15	0.60	196.92	0.25	49.23	246.15	
14	118.76	0.60	197.93	0.25	49.48	247.41	
15	119.36	0.60	198.94	0.25	49.73	248.67	
16	119.97	0.60	199.95	0.25	49.99	249.93	
17	120.57	0.60	200.96	0.25	50.24	251.20	
18	121.18	0.60	201.97	0.25	50.49	252.46	
19	121.79	0.60	202.98	0.25	50.74	253.72	
20	122.39	0.60	203.99	0.25	51.00	254.98	

Tabla 25*Volumen mínimo útil de Penetración (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	21.29	0.60	35.49	0.25	8.87	44.36	921.67
2	21.38	0.60	35.63	0.25	8.91	44.53	
3	21.46	0.60	35.77	0.25	8.94	44.71	
4	21.55	0.60	35.91	0.25	8.98	44.89	
5	21.63	0.60	36.06	0.25	9.01	45.07	
6	21.72	0.60	36.20	0.25	9.05	45.25	
7	21.81	0.60	36.35	0.25	9.09	45.43	
8	21.89	0.60	36.49	0.25	9.12	45.61	
9	21.98	0.60	36.64	0.25	9.16	45.80	
10	22.07	0.60	36.78	0.25	9.20	45.98	
11	22.16	0.60	36.93	0.25	9.23	46.16	
12	22.25	0.60	37.08	0.25	9.27	46.35	
13	22.34	0.60	37.23	0.25	9.31	46.53	
14	22.43	0.60	37.38	0.25	9.34	46.72	
15	22.52	0.60	37.53	0.25	9.38	46.91	
16	22.61	0.60	37.68	0.25	9.42	47.09	
17	22.70	0.60	37.83	0.25	9.46	47.28	
18	22.79	0.60	37.98	0.25	9.49	47.47	
19	22.88	0.60	38.13	0.25	9.53	47.66	
20	22.97	0.60	38.28	0.25	9.57	47.85	

Tabla 26*Volumen mínimo útil de Putucusi (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	177.74	0.60	296.23	0.25	74.06	370.28	7,738.43
2	178.55	0.60	297.59	0.25	74.40	371.99	
3	179.38	0.60	298.96	0.25	74.74	373.70	
4	180.20	0.60	300.33	0.25	75.08	375.42	
5	181.03	0.60	301.72	0.25	75.43	377.15	
6	181.86	0.60	303.10	0.25	75.78	378.88	
7	182.70	0.60	304.50	0.25	76.12	380.62	
8	183.54	0.60	305.90	0.25	76.47	382.37	
9	184.38	0.60	307.31	0.25	76.83	384.13	
10	185.23	0.60	308.72	0.25	77.18	385.90	
11	186.08	0.60	310.14	0.25	77.53	387.67	
12	186.94	0.60	311.57	0.25	77.89	389.46	
13	187.80	0.60	313.00	0.25	78.25	391.25	
14	188.66	0.60	314.44	0.25	78.61	393.05	
15	189.53	0.60	315.89	0.25	78.97	394.86	
16	190.40	0.60	317.34	0.25	79.33	396.67	
17	191.28	0.60	318.80	0.25	79.70	398.50	
18	192.16	0.60	320.27	0.25	80.07	400.33	
19	193.04	0.60	321.74	0.25	80.43	402.17	
20	193.93	0.60	323.22	0.25	80.80	404.02	

Tabla 27*Volumen mínimo útil de Chancamayo (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	109.81	0.60	183.02	0.25	45.76	228.78	4,758.24
2	110.26	0.60	183.77	0.25	45.94	229.72	
3	110.72	0.60	184.53	0.25	46.13	230.66	
4	111.17	0.60	185.28	0.25	46.32	231.60	
5	111.63	0.60	186.04	0.25	46.51	232.55	
6	112.08	0.60	186.81	0.25	46.70	233.51	
7	112.54	0.60	187.57	0.25	46.89	234.46	
8	113.00	0.60	188.34	0.25	47.09	235.43	
9	113.47	0.60	189.11	0.25	47.28	236.39	
10	113.93	0.60	189.89	0.25	47.47	237.36	
11	114.40	0.60	190.67	0.25	47.67	238.33	
12	114.87	0.60	191.45	0.25	47.86	239.31	
13	115.34	0.60	192.23	0.25	48.06	240.29	
14	115.81	0.60	193.02	0.25	48.26	241.28	
15	116.29	0.60	193.81	0.25	48.45	242.27	
16	116.76	0.60	194.61	0.25	48.65	243.26	
17	117.24	0.60	195.40	0.25	48.85	244.26	
18	117.72	0.60	196.21	0.25	49.05	245.26	
19	118.21	0.60	197.01	0.25	49.25	246.26	
20	118.69	0.60	197.82	0.25	49.45	247.27	

Tabla 28*Volumen mínimo útil de Quesquento (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	41.32	0.60	68.86	0.25	17.21	86.07	1,898.95
2	41.74	0.60	69.56	0.25	17.39	86.95	
3	42.16	0.60	70.27	0.25	17.57	87.84	
4	42.59	0.60	70.99	0.25	17.75	88.73	
5	43.03	0.60	71.71	0.25	17.93	89.64	
6	43.47	0.60	72.44	0.25	18.11	90.55	
7	43.91	0.60	73.18	0.25	18.30	91.48	
8	44.36	0.60	73.93	0.25	18.48	92.41	
9	44.81	0.60	74.68	0.25	18.67	93.35	
10	45.27	0.60	75.44	0.25	18.86	94.31	
11	45.73	0.60	76.21	0.25	19.05	95.27	
12	46.19	0.60	76.99	0.25	19.25	96.24	
13	46.67	0.60	77.78	0.25	19.44	97.22	
14	47.14	0.60	78.57	0.25	19.64	98.21	
15	47.62	0.60	79.37	0.25	19.84	99.21	
16	48.11	0.60	80.18	0.25	20.05	100.23	
17	48.60	0.60	81.00	0.25	20.25	101.25	
18	49.10	0.60	81.83	0.25	20.46	102.28	
19	49.60	0.60	82.66	0.25	20.66	103.32	
20	50.10	0.60	83.50	0.25	20.88	104.38	

Tabla 29*Volumen mínimo útil de Puente Santiago (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	66.99	0.60	111.65	0.25	27.91	139.56	3,204.93
2	67.95	0.60	113.24	0.25	28.31	141.55	
3	68.92	0.60	114.86	0.25	28.72	143.58	
4	69.90	0.60	116.50	0.25	29.13	145.63	
5	70.90	0.60	118.17	0.25	29.54	147.71	
6	71.92	0.60	119.86	0.25	29.97	149.83	
7	72.94	0.60	121.57	0.25	30.39	151.97	
8	73.99	0.60	123.31	0.25	30.83	154.14	
9	75.05	0.60	125.08	0.25	31.27	156.35	
10	76.12	0.60	126.86	0.25	31.72	158.58	
11	77.21	0.60	128.68	0.25	32.17	160.85	
12	78.31	0.60	130.52	0.25	32.63	163.15	
13	79.43	0.60	132.39	0.25	33.10	165.48	
14	80.57	0.60	134.28	0.25	33.57	167.85	
15	81.72	0.60	136.20	0.25	34.05	170.25	
16	82.89	0.60	138.15	0.25	34.54	172.68	
17	84.07	0.60	140.12	0.25	35.03	175.15	
18	85.28	0.60	142.13	0.25	35.53	177.66	
19	86.49	0.60	144.16	0.25	36.04	180.20	
20	87.73	0.60	146.22	0.25	36.55	182.77	

Tabla 30*Volumen mínimo útil de Quellouno (2025-2044)*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Densidad de residuos estabilizados (Ton/m3)	VAR (m3/Año)	Cantidad de material de cobertura (%)	Cantidad de material de cobertura (m3/Año)	VARD (m3)	VMU (m3)
1	506.92	0.60	844.86	0.25	211.21	1056.07	
2	514.06	0.60	856.77	0.25	214.19	1070.96	
3	521.31	0.60	868.85	0.25	217.21	1086.07	
4	528.66	0.60	881.10	0.25	220.28	1101.38	
5	536.12	0.60	893.53	0.25	223.38	1116.91	
6	543.68	0.60	906.13	0.25	226.53	1132.66	
7	551.34	0.60	918.90	0.25	229.73	1148.63	
8	559.12	0.60	931.86	0.25	232.96	1164.82	
9	567.00	0.60	945.00	0.25	236.25	1181.25	
10	574.99	0.60	958.32	0.25	239.58	1197.90	24,205.07
11	583.10	0.60	971.83	0.25	242.96	1214.79	
12	591.32	0.60	985.54	0.25	246.38	1231.92	
13	599.66	0.60	999.43	0.25	249.86	1249.29	
14	608.12	0.60	1013.53	0.25	253.38	1266.91	
15	616.69	0.60	1027.82	0.25	256.95	1284.77	
16	625.38	0.60	1042.31	0.25	260.58	1302.89	
17	634.20	0.60	1057.00	0.25	264.25	1321.26	
18	643.15	0.60	1071.91	0.25	267.98	1339.89	
19	652.21	0.60	1087.02	0.25	271.76	1358.78	
20	661.41	0.60	1102.35	0.25	275.59	1377.94	

Seguidamente realizamos el cálculo de la capacidad útil de diseño (CUD) en la cual se establecen las dimensiones del relleno sanitario. Existen diversos métodos, pero nosotros aplicaremos el método de las áreas externas.

Las fórmulas ya se encuentran establecidas en la siguiente tabla y están en función al VMU obtenido anteriormente. Este método consiste en determinar el Área Superior e inferior donde una estará al nivel del suelo y otra a 2.40 metros debajo del suelo.

Tabla 31

Cálculo de la capacidad útil de diseño (CUD)

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Largo Superior (ls)	m	65.00
Ancho superior (as)	m	20.00
Área superior (As) = ls x as	m ²	1300
Altura = h	m	2.40
Talud de la trinchera (H)		1
Talud de la trinchera (V)		1
Largo inferior (li) = ls-2 x hH	m	60.20
Ancho inferior (ai) = as - 2 x hv	m	15.20
Área inferior (Ai) = li x ai	m ²	915.04
VUD = (As + Ai)/2*h	m ³	2,658.05

Tabla 32*Volumen anual de residuos dispuestos*

Años	Generación de residuos (Ton/año)	Residuos compactados en el relleno sanitario (m3)	Residuos compactados acumulados (m3)	Material de cobertura (m3)	VARD acumulado (m3)
2025	1,132.49	1,887.48	1,887.48	471.87	2,359.35
2026	1,143.28	1,905.46	3,792.95	948.24	4,741.18
2027	1,154.19	1,923.65	5,716.60	1,429.15	7,145.75
2028	1,165.53	1,942.56	7,659.16	1,914.79	9,573.94
2029	1,176.70	1,961.17	9,620.33	2,405.08	12,025.41
2030	1,188.00	1,980.00	11,600.33	2,900.08	14,500.41
2031	1,199.73	1,999.55	13,599.88	3,399.97	16,999.85
2032	1,210.99	2,018.32	15,618.20	3,904.55	19,522.75
2033	1,222.69	2,037.82	17,656.02	4,414.00	22,070.02
2034	1,234.83	2,058.05	19,714.07	4,928.52	24,642.58
2035	1,246.80	2,078.00	21,792.07	5,448.02	27,240.09
2036	1,258.92	2,098.19	23,890.26	5,972.57	29,862.83
2037	1,271.48	2,119.13	26,009.39	6,502.35	32,511.74
2038	1,283.88	2,139.80	28,149.19	7,037.30	35,186.49
2039	1,296.43	2,160.71	30,309.91	7,577.48	37,887.38
2040	1,309.43	2,182.38	32,492.29	8,123.07	40,615.36
2041	1,322.28	2,203.79	34,696.08	8,674.02	43,370.10
2045	1,335.28	2,225.46	36,921.54	9,230.38	46,151.92
2043	1,348.73	2,247.89	39,169.43	9,792.36	48,961.79
2044	1,362.05	2,270.08	41,439.51	10,359.88	51,799.38
2045	1,375.52	2,292.53	43,732.04	10,933.01	54,665.05

Posterior a terminar los cálculos de las 20 columnas del año 2025 al 2044, agregamos información proyectado al 2045 para realizar comparaciones del tiempo de vida del relleno sanitario de la capacidad útil de diseño (CUD), siendo esta de 53,160.96 m³, teniendo en cuenta que el CUD para el año 2044 es de 51,799.38 m³ y el CUD para el año 2045 es de 54,665.05 m³.

Como se observa en el cuadro el CUD calculado se encuentra entre el año 2025 y 2044 lo que significa que el tiempo de vida del proyecto estima ser mayor a 5 años y ese cálculo se resuelve por regla de tres simple para calcular los días, mes o años de excedente.

N° días	m ³
365	2,865.66
X	1,361.05

$$X = 173 \text{ Días}$$

$$X = 0.47 \text{ Años}$$

VIDA ÚTIL DEL PROYECTO = 20.47 años

En conclusión, se estima que la planta de tratamiento de residuos sólidos tendrá un tiempo de vida estimado de 20.47 años. Se obtuvo un área aproximada de 2.6 hectáreas solamente para el tratamiento de los residuos sólidos generados en 20 años aproximadamente sin considerar el área para segregación de residuos, pistas, veredas, estacionamientos de maquinarias, tratamiento de gases y líquidos que generan los residuos sólidos u otros.

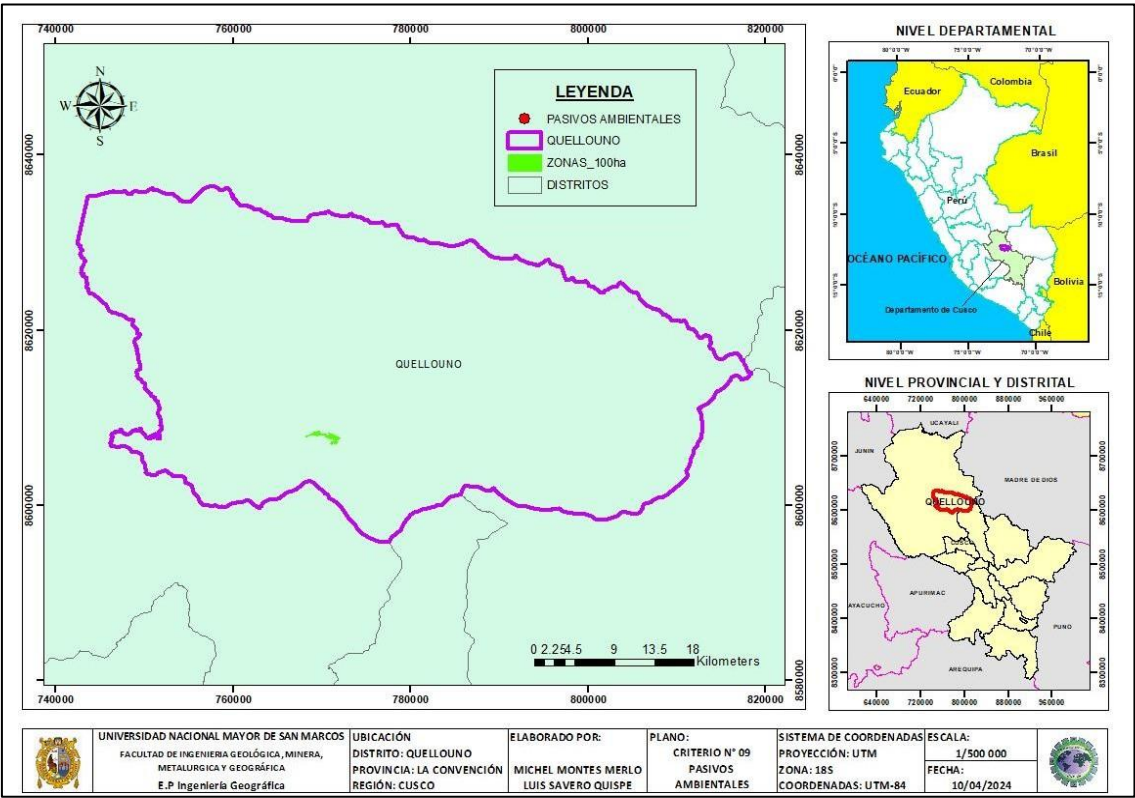
5.9. Pasivos Ambientales

Se utilizó información espacial del Ministerios de Energía y Minas (2022) de pasivos ambientales para visualizar si dentro del distrito de Quellouno existen estos lugares que contaminan el medio ambiente y como se observa en la siguiente figura no

existen pasivos ambientales, una de las razones es porque las empresas de minería siguen operando en la zona.

Figura 45

Pasivos Ambientales

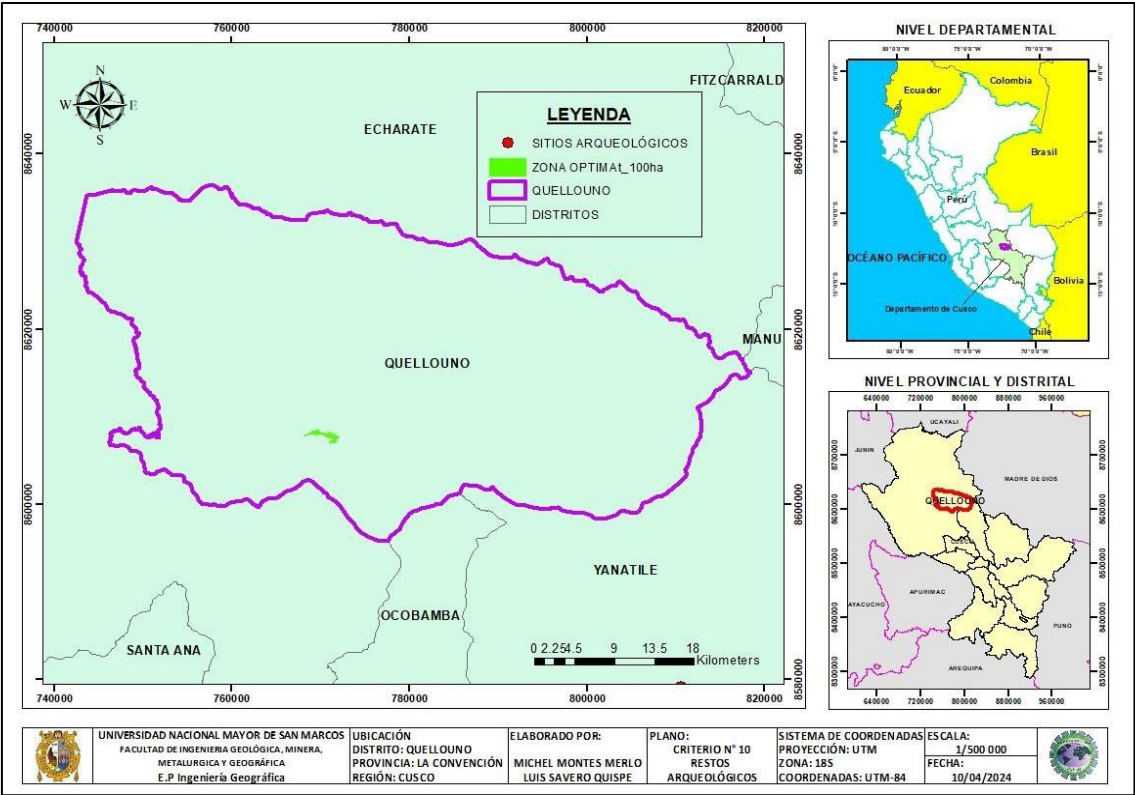


5.10. Restos Arqueológicos

Se utilizó la información espacial del Ministerio de Cultura (2023) para identificar los sitios arqueológicos que se encuentra cerca de las zonas óptimas para un relleno sanitario, dando como resultado que no se identificó ningún sitio arqueológico.

Figura 46

Sitios Arqueológicos



5.11. Dirección del Viento

Estación Pongo de Mainique

La rosa de vientos de esta estación indica que la mayoría de los vientos soplan desde el norte y noroeste, con frecuencias del 1.68% y 1.34%, respectivamente. Además, se observa que la mayor parte de los vientos tiene una velocidad baja, entre 0.50 y 2.10 m/s, siendo 0.80 m/s la velocidad promedio que se registró. Por último, se nos indica que el porcentaje de calma es alto (86.31%), lo que indica que la mayor parte del tiempo, la velocidad del viento es baja o nula.

Rosa de Vientos de la estación Pongo de Mainique



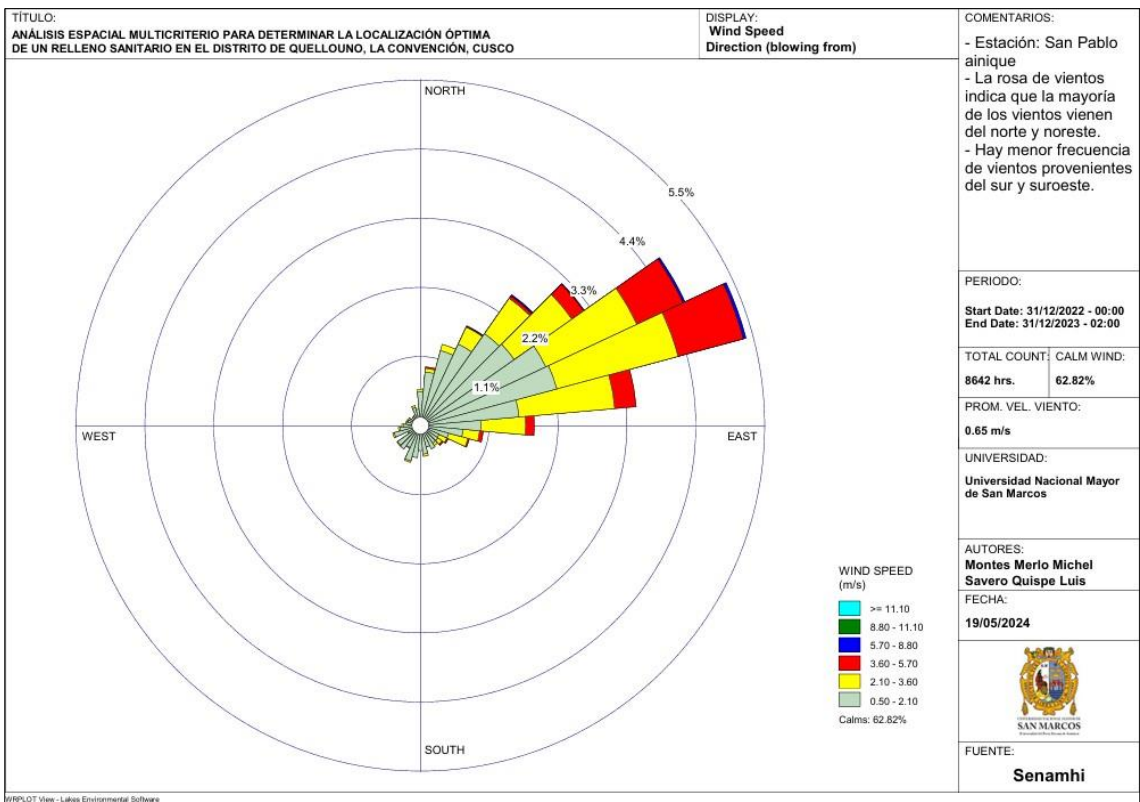
Con respecto a la velocidad, la mayor parte de los vientos tienen una velocidad baja, entre 0.50 y 2.10 m/s (representado en color amarillo y verde). Hay una proporción más pequeña de vientos con una velocidad más alta, representada en color rojo y azul, pero son menos

frecuentes.

Por último, se observó que el porcentaje de calma es alto (62.82%), lo que indica que más de la mitad del tiempo la velocidad del viento es baja o incluso nula.

Figura 48

Rosa de Vientos de la estación San Pablo



5.12. Análisis Estadístico

Para la presente investigación se empleará el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) el cuál utiliza comparaciones entre pares de elementos, generando matrices a partir de dichas comparaciones. Luego, mediante técnicas del álgebra matricial, se determinan las prioridades entre los elementos de un nivel en relación con un elemento

del nivel superior (Osorio & Orejuela, 2008). Se obtendrá una matriz de comparación pareada y se realizará la ponderación de los criterios para obtener los pesos de los parámetros.

5.12.1. Proceso de Análisis Jerárquico

Para realizar este proceso se emplearon 15 parámetros de importancia para establecer un relleno sanitario y que cumplan con las condiciones de estos parámetros que tendrán un peso o grado de importancia en la toma de decisiones.

5.12.2. Matriz de Comparación Pareada

Realizamos la matriz de comparación pareada que es una matriz cuadrada en la cual se comparan los criterios que hemos seleccionado para la localización de un relleno sanitario. Según el grado de importancia que le damos se relacionan las “n” alternativas siendo a_{ij} un elemento de la matriz A, para $i= 1,2,3, \dots n$ alternativas.

En el siguiente cuadro se observan los valores empleados para cada criterio según su importancia.

Tabla 33

Valores y calificación de criterios

PLANEAMIENTO DE IMPORTANCIA	CALIFICACIÓN
Absolutamente importante	9
Entre absolutamente y demostrablemente importante	8
Demostrablemente más importante	7
Entre notablemente y demostrablemente importante	6
Notablemente más importante	5
Entre ligero y notablemente importante	4

PLANEAMIENTO DE IMPORTANCIA	CALIFICACIÓN
Ligeramente más importante	3
Entre igual y ligeramente importante	2
Igual importancia	1

Luego se da valores a los parámetros por matriz y se multiplican entre sí.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{1n} & a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Por consiguiente, cuando $i=j$, el valor de a_{ij} es igual a 1 porque se compara el mismo criterio.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/a_{12} & \cdots & 1/a_{1n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

Se realiza la comparación de la matriz pareada según el grado de importancia que tenga un criterio respecto a otro como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 34*Matriz de Comparación Pareada*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
C1	1	3	3	1/5	3	3	3	1/3	3	3	3	3	1/7	1/9	1/3
C2	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/7	1/9	1/5
C3	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C4	5	5	5	1	5	5	5	3	5	5	5	5	1/5	1/7	1/3
C5	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C6	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C7	1/3	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/7	1/9	1/5
C8	3	5	3	1/3	3	3	5	1	3	3	3	3	1/7	1/9	1/3
C9	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C10	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C11	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C12	1/3	3	1	1/5	1	1	3	1/3	1	1	1	1	1/7	1/9	1/5
C13	7	7	7	5	7	7	7	7	7	7	7	7	1	1/5	5
C14	9	9	9	7	9	9	9	9	9	9	9	9	5	1	3
C15	3	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	5	1/5	1/3	1
Pi	31.00	57.00	39.67	18.33	39.67	39.67	57.00	26.07	39.67	39.67	39.67	39.67	39.67	7.97	11.80

Una vez elaborado la matriz de comparación pareada se sintetiza en un cálculo de prioridad, se obtiene el resultado por cada parámetro o criterio tomado (W_i) con los siguientes pasos.

$$C1 = \text{POTENCIA} \left(\left(1 * 3 * 3 * \frac{1}{5} * 3 * 3 * 3 * \frac{1}{3} * 3 * 3 * 3 * 3 * \frac{1}{7} * \frac{1}{9} * \frac{1}{3} \right), \left(\frac{1}{15} \right) \right) = 1.14$$

Tabla 35

Matriz de Comparación Pareada W_i

	W_i
C1	1.14
C2	0.31
C3	0.61
C4	2.23
C5	0.61
C6	0.61
C7	0.31
C8	1.41
C9	0.63
C10	0.63
C11	0.63
C12	0.63
C13	4.64
C14	6.83
C15	2.64

Por consiguiente, calculamos el C_i que se obtiene del cociente de W_i y la suma de todos los W_i como se muestra en la formula.

$$C_1 = \frac{W_i}{\sum W_i} = \frac{1.14}{24.00} = 0.05$$

Tabla 36

Cociente de la Matriz de Comparación Pareada Ci

Wi	Ci
1.14	0.05
0.31	0.01
0.61	0.03
2.31	0.10
0.61	0.03
0.61	0.03
0.31	0.01
1.46	0.06
0.61	0.03
0.61	0.03
0.61	0.03
0.61	0.03
4.64	0.19
6.83	0.28
2.73	0.11
24.00	1.00

Luego calculamos λ_i aplicando la siguiente fórmula para obtener el $\lambda_{\max}$.

λ_i se obtiene de la multiplicación del C_i obtenido anteriormente con la suma de la columna de ponderación de C_1 .

Tabla 37*Cálculo de λ_i e $\lambda_i \max$*

	C1	Ci	λ_i	
C1	1	0.05	1.47	
C2	1/3	0.01	0.73	
C3	1/3	0.03	1.01	
C4	5	0.10	1.76	
C5	1/3	0.03	1.01	
C6	1/3	0.03	1.01	
C7	1/3	0.01	0.73	
C8	3	0.06	1.58	
C9	1/3	0.03	1.01	
C10	1/3	0.03	1.01	
C11	1/3	0.03	1.01	
C12	1/3	0.03	1.01	
C13	7	0.19	1.54	
C14	9	0.28	0.82	
C15	3	0.11	1.34	
Σ	31.00	1.00	17.06	$\lambda_{\max}$

$$\lambda_i = C_i * \Sigma C_n$$

Ejemplo de ellos:

$$\lambda_1 = C_1 * \Sigma C_{15} = 0.05 * 31 = 1.47$$

Después de aplicar la fórmula para toda la columna de λ_i calculamos el $\lambda \max$ que sería la suma de toda la columna λ_i .

$$\lambda \max = \Sigma \lambda_i = 17.03$$

Ahora calcularemos la razón de consistencia (RC) que se obtiene de la división

entre el índice de consistencia de A (IC) y el índice de consistencia aleatorio (IA).

$$RC = IC / IA$$

Primero calcularemos por separado el IC y IA para obtener la razón de consistencia siguiendo los pasos que se muestran en la fórmula siguiente.

El IC se obtiene de $\lambda_{\max}$ y el número de criterios o parámetros (n) que vamos a calcular de la siguiente manera.

$$\lambda_{\max} = 17.06 \text{ (suma de los } \lambda_i \text{)}$$

$$n = 15 \text{ (criterios)}$$

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{17.06 - 15}{15 - 1} = 0.147$$

Una vez obtenido el IC ahora calculamos el IA que está relacionado al “n” número de criterios.

$$IA = \frac{1.98(n - 2)}{n} = \frac{1.98(15 - 2)}{15} = 1.716$$

Por consiguiente, calculamos la razón de consistencia (RC) con el IC y IA obtenidos por medio de la siguiente fórmula.

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.147}{1.716} = 0.0857$$

La consideración para tomar: Si el $RC > 0.10$ es Inconsistente y si el $RC < 0.10$ es Consistente. Por consiguiente, podemos decir que los cálculos realizados son

confiables porque el RC es menor a 0,10, por ende, es consistente.

Luego de calcular todos los criterios y establecer sus pesos realizamos tabla de Puntaje máximo ponderado para saber si cumple la escala de calificación ponderado.

En la **Tabla 38** los valores límite se tomaron de la “Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario relleno sanitario” los cuales son puntajes establecidos por el Ministerio del Ambiente y se detallan a continuación:

Pendiente

Los valores límite se encuentra entre 0 a 7% para un relieve plano o ligeramente inclinado, presenta un puntaje de 4.00; inclinado de 7 a 12% presenta un puntaje de 3.00, adecuado para un relleno sanitario y empinado de 12 a 25% presenta un puntaje de 2.00, regularmente aceptable; muy empinado con pendiente mayor a 25% con un puntaje de 1.00, no aceptable para un relleno sanitario. Nuestra área de estudio presenta una pendiente inclinada por ello un valor límite de puntaje de 3.00.

La importancia del indicador es de 5.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 3.00 por 5.00 dando un resultado de 15.00.

Hidrología

Los valores límite para fuentes de agua a una distancia mayor a 300 metros de una quebrada seca es de puntaje de 2.00, muy adecuado u óptimo; para distancia menor a 300 metros de ríos principales el puntaje es de -2.00, no aceptable para un relleno

sanitario y para fuentes de agua a una distancia menor a 300 metros de una quebrada seca presenta un puntaje de -1.00, no adecuado para un relleno sanitario. Nuestra área de estudio se encuentra a una distancia mayor de 300 metros de una quebrada seca con puntaje 2.00.

La importancia del indicador es de 1.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 2.00 dando un resultado de 2.00.

Áreas Naturales Protegida (ANP)

Los valores límite para los rellenos sanitarios si están fuera de las Áreas Naturales Protegidas es adecuado y necesario al ser zonas intangibles, presenta puntaje de 1.00 y si están dentro las Áreas Naturales Protegidas no es aceptable para un relleno sanitario y presenta puntaje de -1.00. Nuestra área de estudio se encuentra fuera de las Áreas Naturales Protegidas con puntaje de 1.00.

La importancia del indicador es de 3.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 3.00 dando un resultado de 3.00.

Fallas Geológicas

El valor límite para un relleno sanitario respecto a las fallas geológicas es de una

distancia mayor de 300 metros, presenta puntaje de 2.00 y si están a una distancia menor a 300 metros de una falla geológica no es aceptable, necesariamente debe cumplir este requisito que establece la guía para garantizar el tiempo de vida útil y evitar los peligros a futuro.

La importancia del indicador es de 10.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 2.00 por 10.00 dando un resultado de 20.00.

Centros Poblados

Los valores límite para un relleno sanitario respecto de los centros poblados es de una distancia mayor de 1000 metros, presenta puntaje de 1.00 y si están a una distancia menor de 1000 metros, presenta puntaje de -1.00. Nuestra área de estudio se encuentra a una distancia mayor de 1000 metros con puntaje 1.00.

La importancia del indicador es de 3.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 3.00 dando un resultado de 3.00.

Geología

Los valores límite para un relleno sanitario respecto a la geología está en relación con la permeabilidad para filtrar líquidos al suelo o subsuelo y evitar la contaminación a

fuentes de agua. Para un suelo impermeable menor a 1×10^{-6} micras de composición arcillosa presenta puntaje de 1.00, aceptable para un relleno sanitario y para un suelo impermeable mayor a 1×10^{-6} micras presenta puntaje de -1.00, no es lo recomendable para un relleno sanitario. Nuestra área de estudio presenta suelo de composición arcillosa con puntaje 1.00.

La importancia del indicador es de 3.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 3.00 dando un resultado de 3.00.

Vías de acceso

Los rellenos sanitarios deben estar ubicados cerca de vías de acceso para un dinámico traslado de los residuos sólidos. Los valores límite son vías de acceso en buen estado, presenta puntaje de 2.00, vías de acceso en mal estado presenta puntaje de 1.00, y sin vías de acceso presenta puntaje de -2.00 no aceptable para un relleno sanitario. Nuestra área de estudio presenta vías de acceso en buen estado con puntaje de 2.00.

La importancia del indicador es de 1.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 2.00 por 1.00 dando un resultado de 2.00.

Vida Útil del relleno

Los valores límite para un relleno sanitario respecto a su vida útil, lo adecuado debe ser mayor a 5 años, presenta puntaje de 2.00 y para un tiempo de vida útil menor a 5 años el puntaje de -2.00, no adecuado e inviable para un relleno sanitario. Nuestra área de estudio presenta un tiempo de vida útil mayor a 5 años y un puntaje de 2.00.

La importancia del indicador es de 6.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 2.00 por 6.00 dando un resultado de 12.00.

Pasivos ambientales

Si en la ubicación del relleno sanitario no existe pasivo ambiental, tiene puntaje de 1.00 y si existe pasivo ambiental, tiene puntaje de -1.00. Nuestra área de estudio se encuentra ubicado en una zona donde no existen pasivos ambientales y presenta puntaje de 1.00.

La importancia del indicador es de 2.50, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 2.50 dando un resultado de 2.50.

Restos arqueológicos

Si en la ubicación del relleno sanitario no existe restos arqueológicos es aceptable u optimo, tiene puntaje de 1.00 y si existe restos arqueológico no puede construirse un

relleno sanitario en el lugar y tiene puntaje de -1.00. Nuestra área de estudio se encuentra ubicado en una zona donde no existen restos arqueológicos y presenta puntaje de 1.00.

La importancia del indicador es de 2.50, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 2.50 dando un resultado de 2.50.

Vientos

Los valores límite para un relleno sanitario respecto a los vientos es el sentido de la dirección a la población más cercana. Si los vientos están en la misma dirección de la población más cercana es una desventaja en la aceptación de un relleno sanitario y presenta puntaje de -1.00 por olores, pero si la dirección del viento es contraria a la población más cercana es aceptable para la población y presenta un puntaje de 1.00. Nuestra área de estudio se encuentra ubicado en una zona contraria en la dirección del viento y presenta puntaje de 1.00.

La importancia del indicador es de 2.50, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 2.50 dando un resultado de 2.50.

Uso de suelos

Los valores límite para un relleno sanitario respecto al uso del suelo son los siguientes:

En cultivo en limpio es para terreno agrícola destinado a la producción de cultivo y presenta puntaje de 1.00; cultivo secano el cual depende solamente de las lluvias y presenta puntaje 2.00; pastos cultivados para alimentar al ganado, presenta un puntaje de 3.00; pastos naturales, presenta un puntaje de 4.00; forestal de sierra, presenta puntaje de 5.00 y eriazo que no están destinados ni para la agricultura ni la construcción, presenta puntaje de 6.00. Nuestra área de estudio se encuentra ubicado en una zona de pastos naturales y presenta puntaje de 4.00.

La importancia del indicador es de 2.50, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 4.00 por 2.50 dando un resultado de 10.00.

Opinión

Los valores límite para un relleno sanitario respecto a la opinión de los centros poblados es muy importante para la ejecución de una planta de tratamiento de los residuos sólidos. La opinión desfavorable presenta un puntaje de -1.00; opinión favorable presenta un puntaje de 1.00; La opinión regular o positivo en rellenos sanitarios presenta un puntaje de 2.00 y La opinión altamente favorable de conocimiento en temas de rellenos sanitarios presenta un puntaje de 3.00.

La importancia del indicador es de 19.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 2.00 por 19.00 dando un resultado de 38.00.

Interés en el proyecto

Los valores límite para un relleno sanitario respecto al interés en el proyecto es muy importante para la ejecución de una planta de tratamiento de los residuos sólidos. Sin interés en el proyecto presenta un puntaje de -1.00; bajo interés en el proyecto presenta un puntaje de 1.00; mediano interés en el proyecto presenta un puntaje de 2.00 y altamente favorable presenta un puntaje de 3.00.

La importancia del indicador es de 28.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 2.00 por 28.00 dando un resultado de 56.00.

Actitud

Los valores límite para un relleno sanitario respecto a la actitud de las personas es muy importante para la ejecución de una planta de tratamiento de los residuos sólidos. Una actitud favorable para aceptar el proyecto presenta un puntaje de 1.00 y una actitud incierta para aceptar el proyecto presenta un puntaje de 0.00.

La importancia del indicador es de 11.00, obtenido en el Proceso de Análisis Jerárquico donde se determina los pesos o grado de importancia de cada parámetro. Luego para obtener el puntaje ponderado se realiza la multiplicación del valor límite de nuestra área de estudio y la importancia del indicador siendo esta 1.00 por 11.00 dando un resultado de 11.00.

Tabla 38

Puntaje máximo ponderado por parámetro de evaluación

PARAMETRO	VALORES LÍMITE	IMPORTANCIA DEL INDICADOR	PUNTAJE PONDERADO
Pendiente	Plano a ligeramente inclinado 0 - 7% (4.00), inclinado 7-12% (3.00), empinado 12-25% (2.00), muy empinado >25% (1.00)	5.00	15.00
Hidrología	> 300 m quebrada seca una parte del año (2.00), >300 m de río principal (1.00), < 300 m de río principal (-2.00) <de 300 m de quebrada seca una parte del año (-1.00)	1.00	2.00
ANP	Fuera de área natural (1.00), Dentro del área natural (-1.00)	3.00	3.00
Fallas	Que presenten fallas geológicas, lugares inestables, zonas con posibilidad de deslizamientos ni propensas a ser inundadas. > 300m (2.00)	10.00	20.00
Centros Poblados	Distancia a la población (m). > 1000 (1.00) < 1000 (-1.00)	3.00	3.00
Geología (Permeabilidad)	Impermeabilidad es < a 1×10^{-6} (arcilla) (1.00), impermeabilidad > a 10^{-6} (-1.00)	3.00	3.00
Vías de acceso	Acceso en buen estado (2.00) Acceso en Mal estado (1.00), sin acceso (-2.00)	1.00	2.00
Vida Útil del relleno	> 5 años (2.00) < 5 años (-2.00)	6.00	12.00

PARAMETRO	VALORES LÍMITE	IMPORTANCIA DEL INDICADOR	PUNTAJE PONDERADO
Pasivos ambientales	No existe pasivo ambiental (1.00) existe pasivo (-1.00)	2.50	2.50
Restos arqueológicos	Inexistencia de restos (1.00) Existencia de restos (-1.00)	2.50	2.50
Vientos	Contrario a la población más cercana (1.00), a favor de la población más cercana (-1.00)	2.50	2.50
Uso de Suelos	Cultivo en Limpio (1.00) Cultivo seco (2.00), pastos cultivados (3.00) Pastos naturales (4), forestal de sierra (5.00) Eriazo (6.00)	2.50	10.00
Opinión	Desfavorable (-1.00) poco Favorable (1.00) Regular (2.00) Altamente favorable (3.00)	19.00	38.00
Interés en el proyecto	Sin interés (-1.00), Bajo interés (1.00) Mediano Interés (2.00) Alto interés (3.00)	28.00	56.00
Actitud	Favorable (1.00) Desfavorable (-1.00) Incierta (0)	11.00	11.00
TOTAL		100.00	196.50

Para la asignación de valores límite, se tomaron como referencia los criterios establecidos en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”. Estos valores límite (ejemplo: 0,4,-1) corresponden a umbrales técnicos definidos en función de factores como la pendiente del terreno, la distancia a cuerpos de agua, la pendiente, la accesibilidad y otros aspectos críticos para la viabilidad de un relleno sanitario.

La elección de estos valores responde a estándares técnicos y normativos que permiten clasificar las zonas según su aptitud relativa. Por ejemplo, un valor de “1” puede

representar condiciones óptimas para la localización del relleno, mientras que un valor de “-1” indica una restricción parcial que reduce la idoneidad del sitio. Esta categorización facilita la asignación de pesos dentro del modelo multicriterio, asegurando que los resultados reflejen condiciones reales y técnicamente justificadas.

Es válido mencionar también que se han considerado 15 parámetros para la investigación porque representan mayor grado de importancia y se descartaron otros parámetros o variables que no guardan relación a la zona de estudio porque cumplen el criterio por naturaleza del lugar para determinar la localización óptima de un relleno sanitario.

Al realizar los cálculos de multiplicación para hallar el puntaje ponderado, obtenemos una suma de 196.50 puntos calificando para un terreno bueno o aceptable.

Para una correcta interpretación del puntaje ponderado obtenido en el presente estudio, se estableció una escala de clasificación que permite distribuir las áreas evaluadas mediante el análisis espacial multicriterio según su idoneidad para la localización de un relleno sanitario. Es necesario mencionar que esta escala está respaldada por el Ministerio del Ambiente, en la “Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual”.

La escala se presenta en la Tabla 39, donde los valores se agrupan en 4 secciones:

- ✓ Malo (no aceptable): Áreas con puntajes entre 0 y 146. Estos puntajes reflejan condiciones inadecuadas para la instalación de un relleno sanitario debido restricciones en temas ambientales, sociales y/o técnicas.

- ✓ Regular (moderado aceptable): Áreas con puntajes de 147 a 195. En esta categoría podemos considerar favorable hasta cierta medida, ya que habría limitaciones que puedan afectar su viabilidad.
- ✓ Bueno (Aceptable): Áreas con puntajes de 196 a 245. Un área que se encuentra en el rango de esta categoría cumple con la mayoría de los criterios establecidos, siendo una zona potencialmente apta para la ubicación de un relleno sanitario.
- ✓ Muy Bueno (Muy aceptable y óptimo): Áreas con puntajes de 246 a 292, que presentan condiciones muy favorables y las más adecuadas para la localización de un relleno sanitario.

Tabla 39*Escala de calificación para el puntaje ponderado final*

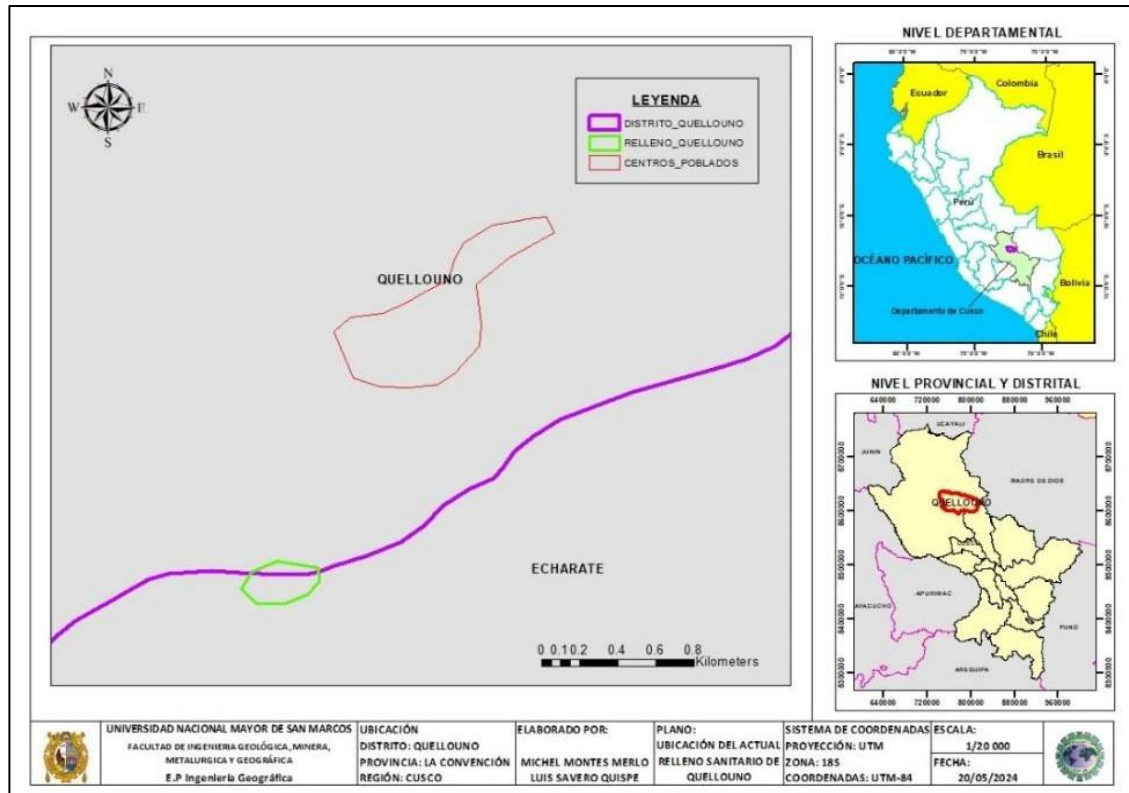
Puntaje Ponderado Total	Calificación
0 a 146	MALO (No aceptable)
147 a 195	REGULAR (Moderado aceptable)
196 a 245	BUENO (Aceptable)
246 a 292	MUY BUENO (Muy aceptable y optimo)

Del análisis multicriterio se pudo comprobar las características que presenta el actual relleno sanitario en Quellouno que mencionamos a continuación:

- ✓ El actual relleno sanitario (polígono verde) se encuentra ubicado entre la jurisdicción de Quellouno y de Echarate.
- ✓ El actual relleno cumple solo el 60% de los parámetros establecidos, incumple en permeabilidad, pendiente y presenta un área de 6.8 hectáreas aproximadamente.
- ✓ No es factible ubicar un relleno sanitario en una zona de 2 distritos.

Figura 49

Ubicación del actual Relleno Sanitario en Quellouno

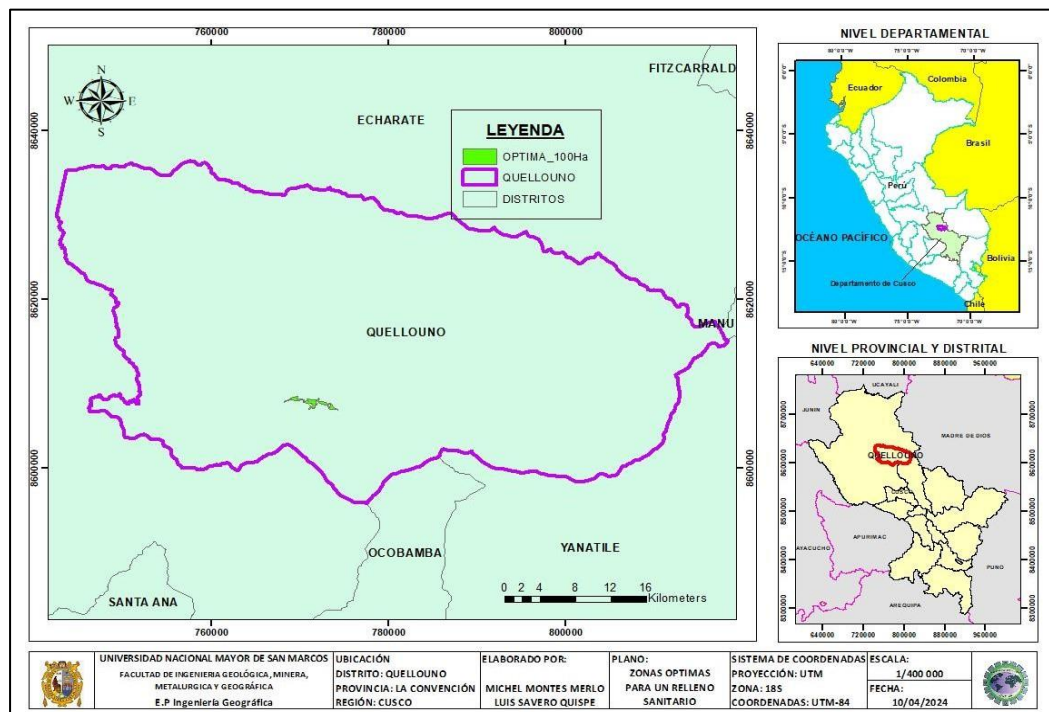


5.13. Demostración de Hipótesis:

Al realizar el análisis multicriterio de los parámetros para establecer un relleno sanitario, se demostró que si existe por lo mínimo una zona óptima en el distrito de Quellouno que cumple al 100% todos los parámetros medibles establecidos en la geografía del lugar como se muestra en la siguiente imagen.

Figura 50

Zona óptima mayor a 100 hectáreas



Si es viable la determinación de los parámetros para establecer la ubicación de un relleno sanitario por trabajos de campo y gabinete por las siguientes razones:

En gabinete se realiza el análisis con información vectorial y raster obtenidos de geoservidores confiables que brindas información con las características deseadas y así obtener un geoprocresamiento por medio de software GIS adecuado que cumple con los requisitos mínimos el cuál luego se contrasta con imágenes satelitales. En campo se determinan los parámetros de Centros Poblados con vuelos fotogramétricos y topografía del catastro y los parámetros de opinión, actitud e interés en el proyecto por medio de reuniones y encuestas en los centros poblados explicándoles la importancia de un relleno sanitario y la contaminación que se

genera al quemar los residuos sólidos o enterrarlos sin ningún tratamiento adecuado.

Figura 51

Reunión en el Centros Poblado de Quesquento



Figura 52

Encuestas en el Centro Poblado de Estrella



CAPÍTULO VI

6. Discusión de Resultados

Como resultado final se logró obtener 2 áreas en donde se podrán ubicar un relleno sanitario en el distrito de Quellouno. Ambos resultados fueron producto de una evaluación en función de los criterios técnicos, ambientales y sociales previamente establecidos, con el objetivo de garantizar un grado de cumplimiento óptimo de los parámetros definidos. La primera área tuvo un resultado del 96% de los criterios establecidos, frente a un 90% de la segunda área. Este resultado es alentador, ya que indica una adecuada selección para la ubicación de un relleno sanitario, teniendo en cuenta que ambas opciones presentan áreas superiores a las 100 hectáreas haciendo que la vida útil de un futuro centro de disposición final sea el adecuado.

El área que se localizó en la parte norte de nuestra área de estudio presenta óptimas condiciones en lo que respecta a los parámetros correspondientes a la pendiente, hidrografía, ANP, fallas geológicas, centros poblados y vías. Pero, en lo que respecta al parámetro geología cumple de forma parcial ya que sí hay presencia de suelo areno arcilloso, requisito recomendado para la correcta permeabilidad del suelo. Por otro lado, el área que se encontró en la zona sur presenta condiciones al 96%, cumpliendo en los parámetros de pendiente, hidrografía, ANP, fallas geológicas, centros poblados, geología y vías. En este último factor se recomienda una ampliación de vías para la accesibilidad de maquinaria que transportarán los residuos sólidos al centro de disposición final.

En el presente estudio, se aplicó un análisis espacial multicriterio para determinar la ubicación óptima de un relleno sanitario en el distrito de Quellouno. Para los fines de poder obtener una idea clara en lo que respecta a nuestros resultados, se realizó una investigación de documentos que se relacionen con la localización óptima de centros de disposición final

utilizando metodologías similares o diferentes con el fin de hacer una comparación y constatar la viabilidad de nuestro estudio.

Se realizó una comparación con la investigación realizada por Rodríguez (2020), en ella se pudo observar que utilizaron un análisis multicriterio para la localización de un centro de disposición final en la provincia de Jaén, aplicando variables como vías de acceso geología, centros poblados, hidrología, entre otros. Estas variables se utilizaron del mismo modo para la elaboración de mapas y posterior integración de las mismas con la finalidad de obtener zonas óptimas para un centro de disposición final usando una evaluación multicriterio de variables.

En lo que respecta a las diferencias, en la tesis propuesta hemos utilizado la matriz de Saaty con la finalidad de establecer los pesos de las variables en función de su importancia llevada al contexto del distrito de Quellouno, facilitando así el procesamiento y análisis en el sistema de información geográfica. Además, se añadieron variables que no fueron considerados en el análisis multicriterio debido a que no se pueden hacer un procesamiento como tal, pero que fueron añadidas en nuestra matriz Saaty con el objetivo de tener una mejor certeza al momento de seleccionar el sitio adecuado. Variables como la vida útil del relleno, la dirección del viento y el factor social (opinión, interés del proyecto y actitud) fueron incorporadas para enriquecer el análisis. Estas variables nos permiten evaluar de manera más integral los posibles sitios y asegurar una mayor consistencia en la selección final, considerando tanto los aspectos técnicos como los impactos ambientales y sociales.

De igual modo, haciendo una comparación con Estacio et al. (2021), encontramos que hicieron uso del análisis espacial multicriterio para la localización de zonas óptimas de un relleno sanitario en la provincia de Cerro de Pasco y a la par hicieron uso de la matriz Saaty con la finalidad de realizar el proceso de análisis jerárquico. Al igual que el presente informe, realizaron

esta metodología para comparar sus criterios (pendiente, fallas geológicas, permeabilidad, distancias a zonas urbanas, entre otros) teniendo en cuenta el valor de importancia de cada uno. De igual modo, también tuvieron en cuenta criterios adicionales para poder enriquecer el análisis final como por ejemplo la dirección de los vientos y el factor social (opinión pública respecto al desarrollo de un centro de disposición final).

CAPÍTULO VII

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1.Conclusiones

- En lo que respecta al objetivo general, se logró determinar la localización de una zona óptima para ubicar un relleno en el distrito de Quellouno empleando el análisis espacial.
- Se identificó 2 lugares que cumplen con las condiciones adecuadas utilizando el análisis espacial multicriterio. En la parte norte de nuestra se localizó una zona con 111 hectáreas y cumple al 90% los criterios establecidos; por otro lado, al sur se localizó una zona con 103 hectáreas al 96% de los criterios establecidos en la Guía de diseño del Ministerio del Ambiente.
- Se logró determinar los parámetros para localizar un relleno sanitario en el distrito de Quellouno utilizando la matriz de Saaty con la finalidad de establecer los grados de importancia de cada criterio para realizar el proceso de análisis jerárquico. Entre los parámetros más importantes tenemos las Áreas Naturales Protegidas, Zonas de Restos Arqueológicos, Fallas Geológicas, Pasivos Ambientales. Por otro lado, los parámetros de decisión para ejecutar un relleno sanitario es el factor social (opinión, interés en el proyecto, actitud de la población).
- Se incorporaría al actual relleno sanitario de Quellouno los parámetros de pendiente, permeabilidad del suelo y que el centro de disposición pertenezca en su totalidad al distrito de Quellouno. Como información adicional, se encontró

que el área del relleno actual cumple con un 60% de los criterios establecidos.

7.2.Recomendaciones

- Se recomienda realizar campañas de sensibilización in situ y por medio de diversos medios de comunicación a las partes interesadas con el objetivo de informar la importancia del adecuado manejo de los residuos sólidos y la instalación de un relleno sanitario con las condiciones adecuadas en el distrito de Quellouno.
- Se requiere la modificación en algunos casos de los parámetros como la pendiente y la creación de vías de acceso con la finalidad de obtener mayores zonas óptimas que cumplan con los requisitos para localizar un relleno.
- Para un resultado más detallado, se sugiere realizar encuestas con el objetivo de estimar la cantidad de residuos urbanos per cápita en Quellouno con el propósito de un mejor análisis para un futuro relleno sanitario.
- La guía de diseño de relleno sanitario manual del MINAM es una base para definir los parámetros de un relleno sanitario, pero no necesariamente se adecúa a todo el espacio geográfico del Perú debido a las diversas características naturales que encontramos en el territorio. Se recomienda una adaptación de la guía a los espacios geográficos priorizando los criterios más importantes de la guía.

CAPÍTULO VIII

8. Referencias Bibliográficas

Andina. (18 de Enero de 2016). Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-ordenanza-minera-san-nicolas-parar-descarga-sus-aguas-al-rio-tingo-594715.aspx>

Andina. (19 de Setiembre de 2023). Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-choquequirao-generara-un-impacto-economico-s-4300-millones-cusco-y-apurimac-955731.aspx>

Capcha, M. (2023). *Diseño de relleno sanitario en el distrito de Moya, Huancavelica*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad Nacional de Huancavelica. Obtenido de Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica <https://repositorio.unh.edu.pe/home>

Cervantes, R., & Molero, J. (2022). *Evaluación de los riesgos generados por pasivos ambientales mineros en el distrito de El Tambo - Huancayo, 2021*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad Continental. Obtenido de Repositorio de la Universidad Continental <https://repositorio.continental.edu.pe/>

Chabuk, A., Al-Ansari, N., & Pusch, R. (2016). Landfill site selection using geographic information system and analytical hierarchy process: A case study Al-Hillah Qadhaa, Babylon, Iraq. *Waste Management & Research*, 427-437.

Congreso de la República. (1997). *Ley N° 26834*. Lima: Diario Oficial El Peruano.

Corena, M. (2008). *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad de Sucre. Obtenido de Repositorio de la Universidad de Sucre <https://repositorio.unisucre.edu.co/home>

Cubillo, P. (2005). *Ubicación del nuevo relleno sanitario en base a criterios ambientales, socioeconómicos y técnicos, y propuesta de plan de reciclaje en la ciudad de Quero, cantón Quero, provincia del Tungurahua*. [Tesis de Licenciatura]:

- Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE <https://repositorio.espe.edu.ec/>
- Escalona, E. (2014). Daños a la salud por mala disposición de residuales. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 270-277.
- Estacio, J., Tinoco, O., Díaz, J., & Moore, R. (2021). Sistemas de Información Geográfica y Localización de un. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(48), 217-227.
- Grau, J., Terraza, H., Rodríguez Velosa, D. M., Rihm, A., & Sturzenegger, G. (2015). *Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación* (5 ed.). México: Mc Graw-Hill.
- Huaman, M., Huamani, E., & Besaño, M. (2022). *Propuesta de diseño del relleno sanitario manual ubicado en el distrito de Ocoruro, provincia de Espinar - Cusco 2022*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad Continental. Obtenido de Repositorio de la Universidad Continental <https://repositorio.continental.edu.pe/>
- INEI. (Octubre de 2018). *Cusco Resultados Definitivos*. Lima
- INGEMMET. (2021). *Fallas Geológicas: El Origen de los Terremotos*. Lima.
- Instituto Nacional de Cultura. (2007). *Ley General del Patrimonio Cultural de la Nación 28296 y su Reglamento*. Lima.
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales: una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A*

- Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington DC: World Bank Group.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York.
- MINAM. (2011). *Guía de Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Lima: Ministerio del Ambiente - MINAM.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica de Costa Rica. (2012). *Guía Metodológica para la Preparación y Evaluación de Proyectos de Sitios de Disposición Final de Residuos Sólidos Ordinarios*. San José.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Legislativo N° 1278*. Lima: Sistema Peruano de Información Jurídica.
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Paraguay. (2004). *Resolución N° 282*. Asunción. Obtenido de https://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2022/05/Resolucion-282_04-por-la-cual-se-implementa-los-criterios-para-la-seleccion-de-sitios-para-la-disposicion-final-de-residuos-solidos.pdf
- Muñoz, P., & Muriel, J. (2020). *Propuesta para la optimización de la vida útil del relleno sanitario los guayacanes del municipio de Tarso Antioquia*. [Tesis de licenciatura]: Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia . Obtenido de Repositorio de la Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia <https://dspace.tdea.edu.co/>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *La Fiscalización Ambiental en Residuos Sólidos*. Lima.
- Osorio, J., & Orejuela, J. (Setiembre de 2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de Aplicación. *Scientia Et Technica*, XIV(39), 247-252.
- Peinado, E., & Rodriguez, D. (16 de Mayo de 2017). *BID Mejorando vidas*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/agua/es/que-tan-inclusivo-es-el-reciclaje-en-tu-ciudad/>

- Ricaldi, J., Huaman, M., & Callupe, N. (2021). *Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo - Huancayo 2021*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad Continental. Obtenido de Repositorio de la Universidad Continental <https://repositorio.continental.edu.pe/>
- Rodríguez, R. (2020). *Sistemas de información geográfica aplicado a la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos en la provincia de Jaén – Cajamarca*. [Tesis de Licenciatura]: Universidad Nacional Federico Villarreal. Obtenido de Repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal <https://repositorio.unfv.edu.pe/>
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- Schrader-King, K., & Liu, A. (20 de Setiembre de 2018). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report#:~:text=%E2%80%9CLa%20mala%20gesti%C3%B3n%20de%20los,Desarrollo%20Sostenible%20del%20Banco%20Mundial>.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004). *Especificaciones de protección ambiental para la selección de sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. Mexico: Diario Oficial de la Federación.
- Umaña, P. (13 de Noviembre de 2018). *Universidad de Costa Rica*. Obtenido de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/11/13/rellenos-sanitarios-una-bomba-de-tiempo-para-el-ambiente.html>
- Villafuerte, I., Flores, D., Guadalupe, E., & Zea, M. (2004). Evaluación ambiental del relleno sanitario para el santuario histórico de Machu Picchu y pueblos aledaños. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y*

ciencias geográficas, 7(14), 54-63.

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.

Wieland, P. (2008). Apuntes sobre la gestión del patrimonio arqueológico en el marco de nuevas obras y actividades. *Revista de Derecho Administrativo*, 363-374. Obtenido de Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/14076>

Yildirim, V. (2012). Application of raster-based GIS techniques in the siting of landfills in Trabzon Province, Turkey: a case study. *Waste Management & Research*.

Suero Sánchez, D. E. (2022). Manejo de lixiviados de la fracción orgánica de los residuos sólidos del relleno sanitario de Anta, Cusco, Perú.

Añasco Quispe, R. P., & Sánchez Vásquez, M. M. (2022). Automatización de un modelo mediante análisis multicriterio como alternativa para identificar áreas óptimas de un relleno sanitario caso Provincia Azángaro, 2022.

Toskano Hurtado, G. B. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores: Aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L. [Monografía de licenciatura]: Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/monografias/basic/toskano_hg/toskano_hg.htm

Abellán Perpiñán, J. M., Martínez Pérez, J. E., Méndez Martínez, I., & Sánchez Martínez, F. I. (2010). *Función de utilidad multiatributo para el instrumento de medida de la calidad de vida relacionada con la salud SF-6D*. Universidad de Murcia, Grupo de Investigación en Economía de la Salud y Evaluación Económica, Departamento de Economía Aplicada.