UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

ANÁLISIS DE IDONEIDAD TERRITORIAL PARA ESTABLECER UN RELLENO SANITARIO, A TRAVÉS DE AHP Y SIG EN LA MANCOMUNIDAD DEL ALTO UTCUBAMBA, AMAZONAS - 2022

Autor:

Bach. Jhon Antony Zabaleta Santisteban

Asesor:

Ing. Jhonsy Omar Silva López

Registro N°:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

ATORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. **Datos de autor 1**
   Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): ZABALETA SANTISTEBAN JHON ANTONY
   DNI N°: 71811913
   Correo electrónico: 71811913 42@untrm.edu.pe
   Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
   Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

   Datos de autor 2
   Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
   DNI N°: _____
   Correo electrónico: _____
   Facultad: _____
   Escuela Profesional: _____

2. **Título de la tesis para obtener el Título Profesional**
   ANÁLISIS DE IDONEIDAD TERRITORIAL PARA ESTABLECER UN RELLENO SANITARIO A TRAVÉS DE AHP Y SIG EN LA MANCOMUNIDAD DEL ALTO UCUBAMBA, AMAZONAS - 2022

3. **Datos de asesor 1**
   Apellidos y nombres: SILVA LÓPEZ JHONSY OMAR
   DNI, Pasaporte, C.E N°: 74661518
   Open Research and Contributor-ORCID (https://orcid.org/0000-0002-9670-0970) https://orcid.org/0000-0002-2618-7526

   Datos de asesor 2
   Apellidos y nombres: _____
   DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
   Open Research and Contributor-ORCID https://orcid.org/0000-0002-9670-0970

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (*ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunologia*)
   1.05.00 - Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales
   https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html 105.08 - Ciencias del Medio Ambiente

5. **Originalidad del Trabajo**
   Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. **Autorización de publicación**
   El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 07 / NOVIEMBRE / 2022

Firma del autor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por su amor, su misericordia y las múltiples bendiciones que ha traído sobre mi vida y la de mis familiares. Permitirme conocer a grandes personas en esta etapa de la vida.

A mis padres Edith Maribel Santisteban Florián y Esteban Zabaleta Chancahuana, por su apoyo incondicional, sus consejos, su amor, su trabajo y su sacrificio, en todos estos años y que hicieron posible mi formación profesional.

A mis abuelas Lila Florián Pretel, Ausberta Chancahuana Lozano y abuelo Pascual Zabaleta Portal por sus consejos y las enseñanzas que me brindan para seguir adelante

A mis hermanos Carlo Daniel, Edwin Arturo, Jhonatan Alexander y hermana Carolina por sus comprensión y consejos para seguir por mis objetivos.

A mis amigos, compañeros y docentes, que en el trascurso de mi carrera han aportado de diferentes maneras.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque siempre ha permitido en mi vida tener buenas personas a mí alrededor en especial a mi familia, amigos (as), docentes que son mi inspiración para seguir adelante. Así mismo, darme una madre y un padre que, con su apoyo incondicional, llenos de principios y valores, han sabido guiarme por el buen sendero

Al mi asesor y gran amigo Ing. Jhonsy Omar Silva López por su apoyo mutuo para contribuir al mejor desarrollo de la investigación y brindarme las facilidades para ejecutar la presente tesis, confianza, paciencia y tiempo para dotar del conocimiento práctico y científico en este asombroso tema de AHP-GIS.

A los docentes miembros del jurado M.g. Nilton Beltrán Briceño Rojas, Ing. Cristóbal Torres Guzmán e Ing. Angers William Espejo Pingus por sus aportes y recomendaciones a fin de aclarar mis dudas y brindar sus aportes para elaborar un mejor trabajo.

Al Ing. Rolando Salas López, Coordinador del Proyecto GEOMÁTICA del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), quién amablemente me acogió en su área. Asimismo, a todos los profesionales que laboran en el área de Geomática, por brindarme su apoyo y resolver mis inquietudes como profesional en formación.

Jhon A. Zabaleta Santisteban

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS

Ley de creación N° 27347

Dr. Policarpio Chauca Valqui
RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón
VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos
DECANO DE LA FACULTAD

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada ANÁLISIS DE IDONEIDAD TERRITORIAL PARA ESTABLECER UN RELLENO SANITARIO A TRAVÉS DE AHP Y SIG EN LA MANCOMUNIDAD DEL ALTO UTCUBAMBA, AMAZONAS_2022.;
del egresado JHON ANTONY ZABALETA SANTISTEBAN
de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL,
Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL,
de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 07 de NOVIEMBRE de 2022

Firma y nombre completo del Asesor

JURADO EVALUADOR

Mg. Nilton Beltrán Rojas Briceño

PRESIDENTE

Ing. Cristóbal Torres Guzmán

SECRETARIO

Ing. Angers William Espejo Pingus

VOCAL

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

ANÁLISIS DE IDONEIDAD TERRITORIAL PARA ESTABLECER UN RELLENO A TRAVÉS DE AHP Y SIG EN LA MANCOMUNIDAD DEL ALTO UTCUBAMBA, AMAZONAS - 2022,

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) JHON ANTONY ZABALETA SANTISTEBAN

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL,

con correo electrónico institucional 7181791342@untrm.edu.pe,

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

a) La citada Tesis tiene 20 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.

b) La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 07 de NOVIEMBRE del 2022

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

.....

ANEXO 3-S

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 14 de Noviembre del año 2022, siendo las 3:20pm horas, el aspirante: Jhon Antony Zabaleta Santisteban, asesorado por Ing. Jhonsy Oman Silva López defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia ( ) la Tesis titulada: "ANÁLISIS DE IDONEIDAD TERRITORIAL PARA ESTABLECER UN RELLENO, A TRAVÉS DE AHP Y SIG EN LA MANCOMUNIDAD DEL ALTO UTCUBAMBA, AMAZONAS - 2022", para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Mg. Nilton Beltran Rojas Briceno
Secretario: Ing. Cristobal Torres Guzmán
Vocal: Ing. Angers William Espejo Pingus

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la In troducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervencione s para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 4:20pm horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

CONTENIDO

DATOS DE ASESOR: ii
DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTO iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS v
VISTO BUENO DEL ASESOR vi
JURADO EVALUADOR vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS vii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS ix
CONTENIDO x
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
RESUMEN xiv
ABSTRACT xv
I. INTRODUCCIÓN 16
II. MATERIAL Y MÉTODOS 19
2.1. Área de estudio 19
2.2. Materiales, equipos y software 22
2.3. Diseño metodológico 23
2.4. Identificación y jerarquización de criterios y subcriterios 24
2.5. Base de datos espaciales para criterios y subcriterios 26
2.6. Estandarización de las capas de subcriterios mediante umbrales de idoneidad 28
2.7. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) 29
2.8. Generación de submodelos y modelos de idoneidad del territorio 30
2.9. Determinación de áreas idóneas, en función a requerimientos futuros de área y forma 31
2.10. Evaluación del modelo de idoneidad y publicación de resultados 32
III. RESULTADOS 33
3.1. Pesos de importancia de criterio y subcriterios 33
3.2. Mapas de sub criterios de idoneidad del territorio con restricciones 35
3.3. Mapas de sub modelos y modelo final de idoneidad 37
3.4. Sitios candidatos altamente adecuados para RS 40

3.5. Modelo de idoneidad validado mediante AUC y ROC y publicado en QGIS Cloud... ..... **44**
IV. DISCUSIÓN **47**
V. CONCLUSIONES **50**
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **51**
VII. ANEXOS **68**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Materiales, equipos y software utilizados en el desarrollo del estudio.* **22**
Tabla 2 *Umbrales de idoneidad de los sub criterios para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU.* **28**
Tabla 3 *Escala de valoración de juicios en Matriz de Comparación entre Pares (PCM) establecidas por Saaty, (1977).* **29**
Tabla 4 *Valores del índice de consistencia aleatorio (IA) para el peso de los criterios 1-12 (Saaty, 1977, 2000; Kazuva et al., 2021)* **30**
Tabla 5 *Datos cuantitativos para calcular el área del relleno sanitario* **31**
Tabla 6 *Requerimiento técnico para la infraestructura de un relleno sanitario* **32**
Tabla 7 *Pesos de importancia para cada criterio y sub criterios para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un relleno sanitario.* **34**
Tabla 8 *Áreas según niveles de idoneidad para cada sub criterio para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas.* **35**
Tabla 9 *Territorio de criterios por cada alternativa de idoneidad con potencial para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas.* **38**
Tabla 10 *Territorio de criterios por cada alternativa de idoneidad con potencial para el establecimiento de un RS por distrito de la MAU- Amazonas.* **40**
Tabla 11 *Estimación del área mínima con potencial par instala un RS a futuro para la MAU con un periodo de vida útil de 20 años.* **40**
Tabla 12 *Áreas "Muy adecuado" (S4) según el índice de compacidad (kc) par instalar un RS a futuro para la MAU - Amazonas* **41**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Relleno sanitario actual. Acopia de RSM de la Mancomunidad del Alto Utcubamba*..... **20**

Figura 2. *Localización geográfica de la Mancomunidad del Alto Utcubamba.* **21**

Figura 3. *Flujograma metodológico para determinar los sitios adecuados para establecer un RS.*..... **23**

Figura 4. *Estructura jerárquica de criterios y sub criterios considerados en el análisis de la idoneidad del territorio para identificar sitios adecuados para establecer un RS* **24**

Figura 5. *(a) Procedencia del panel de expertos y (b) Especialidades del panel de expertos.*..... **34**

Figura 6. *Subcriterios según umbrales de idoneidad con restricciones para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un relleno sanitario en la mancomunidad del alto Utcubamba- Amazonas*..... **36**

Figura 7. *Submodelos de idoneidad para el establecimiento de un RS en la MAU-Amazonas.*..... **37**

Figura 8. *Idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU-Amazonas.*..... **39**

Figura 9. *(a) (S4) ≥ 3.397 ha, por cada distrito de la Mancomunidad y (b) Áreas (S4) ≥ 3.397 ha, del distrito de Montevideo*..... **41**

Figura 10. *Áreas (S4) "Muy adecuado" según el índice de compacidad (kc).* **42**

Figura 11. *a) Polígonos (S4) 'Muy adecuado' ≥ 3.397 ha y b) Polígonos (S4) 'Muy adecuado' que presentan kc < 1.75. .*..... **43**

Figura 12. *Validación en campo: a) Inspección del relleno sanitario actual y b) Inspección visual de las áreas potenciales.*..... **44**

Figura 13. *Gráficos de UAC-ROC del modelo final de idoneidad.* **45**

Figura 14. *Visualización en la web de la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas subida en QGIS Cloud.* **46**

RESUMEN

Identificar sitios adecuados para establecer un Relleno Sanitario (RS) es un gran reto para la Gestión de Residuos Sólidos Municipales (GRSM). Además, es un proceso complejo que requiere de diversos criterios técnicos, legislativos, económicos, sociales y ambientales. Por tal motivo, este estudio proporciona una herramienta de gestión territorial con un enfoque en la estructuración del proceso de toma de decisiones para identificar sitios adecuados para instalar rellenos sanitarios, mediante la integración del Proceso de Jerarquía Analítica (Analytical Hierarchy Process - AHP) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Por ello, se identificaron 12 subcriterios agrupados en criterios ambientales (3), socioeconómicos (3) y físicos (6), y sus pesos se obtuvieron mediante Matrices de Comparación Pareada (MCP) con la participación de nueve expertos a través de una encuesta online. Además, la Combinación Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination − WLC) de mapas de subcriterios permitió generar el modelo de idoneidad del territorio. Del territorio de la Mancomunidad del Alto Utcubamba, 0.3% (2.39 km^2), 33.9% (316.41 km^2), 65.7% (613.65 km^2), 0.1% (1.18 km^2) y 12.4% (132.49 km^2) tienen condiciones muy adecuadas, moderadamente adecuadas, marginalmente adecuadas, inadecuadas y restringidas, respectivamente, para establecer un RS. Así también, el modelo final de idoneidad se validó mediante el UAC-ROC. De las áreas muy adecuadas, se seleccionaron tres zonas en función a su forma y área del terreno con proyección al 2 042. Este estudio propone una herramienta de gestión sostenible del territorio en la ubicación de futuros RS y de carácter público.

Palabras clave: GRSM, AHP; SIG; MCP; WLC; Idoneidad Territorial; RS

ABSTRACT

Identifying suitable sites to establish a landfill is a major challenge for Municipal Solid Waste Management (MSWM). Moreover, it is a complex process that requires various technical, legislative, economic, social and environmental criteria. For this reason, this study provides a territorial management tool with a focus on structuring the decision-making process to identify suitable sites for landfills, through the integration of the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information Systems (GIS). Therefore, 12 sub-criteria grouped into environmental (3), socioeconomic (3) and physical (6) criteria were identified, and their weights were obtained through Paired Comparison Matrices (PCM) with the participation of nine experts through an online survey. In addition, the Weighted Linear Combination (WLC) of sub-criteria maps allowed generating the territory suitability model. Of the territory of the Alto Utcubamba commonwealth, 0.3% (2.39 km^2), 33.9% (316.41 km^2), 65.7% (613.65 km^2), 0.1% (1.18 km^2) and 12.4% (132.49 km^2) have very suitable, moderately suitable, marginally suitable, unsuitable and restricted conditions, respectively, to establish a RS. Of the very suitable areas, three zones were selected based on their shape and land area with projection to 2 042. This study proposes a tool for sustainable land management in the location of future landfill and of a public nature.

Key words: MSWM; AHP; GIS; MPC; WLC; Land Suitability; Landfill.

I. INTRODUCCIÓN

Al 2050, la población mundial estimada será 9,700 millones de habitantes, 26 % más que en la actualidad (ONU, 2021). Durante los últimos 20 años se ha visto un rápido aumento de desechos generados por el hombre a nivel mundial (Lawínska *et al.*, 2022), proyectándose al 2050 un aumento de la generación de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en más del 70%, de 2,000 Millones de Toneladas Métricas (MTM) en 2017 a 3,400 MTM (WBG, 2020). En 2050, América Latina y el Caribe (ALC) alcanzarán las 671,000 TM por día de residuos sólidos (ONU, 2017). En este contexto, la Gestión de Residuos Sólidos Municipales (GRSM) es un tema crítico para el medio ambiente de no gestionarse (Dong & Lee, 2009) y un desafío, aún más en países en vías de desarrollo (Hoque & Ur, 2020; Liikanen *et al*., 2018), convirtiéndose en un problema importante para autoridades municipales, planificadores urbanos y los responsables de la toma de decisiones (Hazra & Goel, 2009; Ali, 2018). Esto debido a la inadecuada eliminación y/o tratamiento actual de residuos sólidos (Gbanie *et al.*, 2013).

Específicamente, las prácticas de eliminación inapropiadas de los RSM tienen efectos nocivos en el suelo, las aguas superficiales, las aguas subterránea y el aire, impactando significativamente en la calidad de vida (Hafezi & Hajizadeh, 2011), en el caso de no ser tratadas y/o dispuestas adecuadamente (Sáez & Urdaneta, 2014; Al-Anbari *et al*., 2018). Esto se debe a una serie de principales razones como: las deficientes técnicas de eliminación (Ferronato *et al*., 2017; Karimi *et al*., 2019), escases de tierras (Kontos *et al*., 2005), creciente presiones demográficas (Aderoju *et al*., 2018) y problemas financieros (Chabuk *et al*., 2017; Aderoju *et al*., 2018). Los residuos que no logran disponerse adecuadamente, que por lo general se disponen en Botaderos Ilegales (BI), (Boggiano, 2021). De esta manera, es necesario contar con una infraestructura para disponer los RSM (Al-Anbari *et al*., 2018).

Es así que, los Rellenos Sanitarios (RS), que se encuentran en la parte inferior de la jerarquía de los métodos de gestión de residuos sólidos (Mohammedshum *et al*., 2014; André & Cerdá, 2015; Ayaim *et al*., 2019), son la opción más recurrente para la GRSM en el mundo (Alrukaibi & Alsulaili, 2017; Aracil *et al*., 2018; Adeola *et al*., 2019), en especial en países en desarrollo como Perú (Moeinaddini *et al*., 2010; Alavi *et al*., 2013; Ayaim *et al*., 2019). Por ello, ALC ha presentado varios avances en la GRSM, en la cual la cobertura del servicio de disposición final adecuada de estos residuos es aproximadamente del 55% (BID, 2015). No obstante, aún existe un déficit considerable

(Sáez & Urdaneta, 2014), con más de 145,000 TM de basura que abarca cerca de 30% del total, destinadas a botaderos informales (ONU, 2017). Por otra parte, Perú en el 2018 generó un total de 7,342,713 TM de RSM, de los cuales solo el 49.16% fueron destinadas a Infraestructura de Disposición Final (IDF) autorizadas (MEF & MINAM, 2020). A saber, en Perú existen seis rellenos de seguridad, 56 RS, siete RS mixtos (MINAM, 2021) y con más de 1580 BI (OEFA, 2018). Los BI han surgido por la insuficiencia de rellenos sanitarios dentro de las regiones, siendo necesario contar con al menos entre 1 a 2 en su capital (MINAM, 2016). Específicamente a nivel regional, Amazonas cuenta con 5 RS; ubicados en Bagua (1 RS), Bongará (1 RS), Luya (1 RS) y Chachapoyas (2 RS) (MINAM, 2019), todos ellos RS mancomunados siendo insuficientes para la población. En este sentido, la falta de estudios para ubicar sitios adecuados para un RS es uno de los principales desafíos de las municipalidades (Kahraman *et al*., 2018), demostrando ser uno de los pasos más relevantes en la GRSM (Yılmaz & Atmaca, 2006; Ersoy *et al*., 2013). Por lo general, estos estudios involucran y exigen la evaluación de diferentes criterios ambientales, económicos, sociales y técnicos (Nas *et al*., 2010; Mortazavi *et al*., 2019). Además, requiere extensos procesos de evaluación del terreno para identificar una ubicación factible y óptima para su implementación (Qureshi *et al*., 2021). Por ello, debe elegirse cuidadosamente en función a normas técnicas, parte social y económica (Pan *et al*., 2019; Pasalari *et al*., 2019).

En este contexto, los Métodos de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples (MCDM), son los enfoques más recientes utilizados en el proceso de toma de decisiones para la GRSM (Soltani *et al*., 2015); además, combinan diferentes criterios (Kareem *et al*., 2021). Así también, los MCDM asociados a técnicas de modelado SIG durante los últimos años han demostrado ser una herramienta potencial para la selección óptima de RS (Asefi *et al*., 2020), debido a su eficiencia de tiempo y ahorro de costos, y su capacidad para lograr una mejor validación y precisión (Kontos *et al*., 2005). A razón, dentro de los MCDM para ubicar un área óptima para RS tenemos: el método DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Elaboratory*); TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) (Demesouka *et al*., 2013; Djunaidi *et al*., 2018; Manyoma *et al*., 2020; Asefi *et al*., 2020); RSW (*Ratio Scale Weighting*) (Chabuk *et al*., 2017; Alkaradaghi *et al*., 2019); Fuzzy-AHP (*Fuzzy Analytic Hierarchy Process*)(Abdulhasan *et al*., 2019; Najjari & Shayesteh, 2019; Ajim & Ateeque, 2020; Mohsin *et al*., 2021) y AHP (Moeinaddini *et al*., 2010; Mohd *et al*., 2014; Santhosh & Sivakumar, 2018;

Adewumi *et al*., 2019; Mortazavi *et al*., 2019; Moon, 2020; Jothimani *et al*., 2021; Manguri & Ahmed, 2021). Sin embargo, la técnica AHP es uno de los más utilizados como herramienta de MCDM (Mohd *et al*., 2014), se combina con los SIG generando un robusto soporte de decisión espacial (Chabuk *et al*., 2017; Ayaim *et al*., 2019) y permitiendo generar mapas de idoneidad de la tierra para establecer un RS (Sener *et al*., 2006; Silva *et al*., 2022) integrando diferentes criterios (Jothimani *et al*,. 2021). Cabe resaltar que, en AHP mediante la elaboración de Matrices de Comparación Pareada (MCP) (Eghtesadifard *et al*., 2020) se determinan pesos de importancia de los criterios (Alsarayreh & Alsarayreh, 2021), y finalmente generar modelo de idoneidad de ubicación para un RS (Qureshi *et al*., 2021).

Por otra parte, en Perú existe norma técnica que indica el proceso de selección de sitos para ubicar RS (MINAM, 2017, 2021b); por ello, específicamente para la región Amazonas, aplicar nuevas herramientas en la gestión del territorio es una oportunidad de desarrollo sostenible a fin de realizar el menor grado de impacto. En este contexto, se realizó un antecedente de estudio para la mancomunidad Chachapoyas-Huancas (Silva *et al*., 2022). A razón, en la MAU existe la necesidad de evaluar la aptitud del territorio analizando múltiples criterios y compararlo con el RS actual que existe en dicha mancomunidad. Además, con la libertad de agregar variables como la cantidad, Generación Per-Cápita (GPC) y la tasa de crecimiento poblacional (Silveira & Gonçalves, 2007; Alanbari *et al*., 2014; Al-Anbari *et al*., 2016; Al-Anbari *et al*., 2018; Carrilho *et al*., 2018). Asimismo, permitir evaluar el desempeño del modelo final de idoneidad mediante la Curva ROC (Sarkar *et al*., 2022).

Por ello, el objetivo de estudio fue analizar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS mediante la integración AHP y SIG. Más detalladamente como objetivos específicos: i) se evaluó criterios y subcriterios para localizar sitios adecuados para establecer un relleno sanitario y ii) se generó el modelo y los submodelos de idoneidad de los criterios y subcriterios, por último, iii) se evaluó los sitios más adecuados en función a requerimientos futuros de área y forma. Finalmente, este estudio enfatiza la selección científica de áreas aptas para un RS, comprobando así la veracidad del área del relleno sanitario actual de la mancomunidad y evidenciar áreas posibles que sean opción de desplazo a futuro. A su vez, esta investigación permite generar nuevas herramientas de gestión del Ordenamiento Territorial para la toma de decisiones, en función a criterios utilizados en esta investigación y con el potencial de ser una herramienta de apoyo

verificable y complementario para futuras investigaciones locales y en otras regiones del país.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La Mancomunidad del Alto Utcubamba (MAU), es una de las mancomunidades que cuentan con un relleno sanitario en funcionamiento ubicado en la localidad de Durazno Pampa perteneciente al distrito de Mariscal Castilla (MINAM, 2019). Además, es una mancomunidad con una proyección de la población beneficiaria en el 2022 de 9,750 personas, basadas en el censo realizado por el INEI, (2017b). Por ello, este estudio desarrolló una metodología para contrastar dicha ubicación actual mediante nuevos criterios. Por otra parte, la MAU abarca 7 distritos: San Juan de Lopecancha (SJL), Santo Tomás (ST) y San Francisco del Yeso (SFY) pertenecientes a la provincia de Luya y Leymebamba (L), Montevideo (M), Mariscal Castilla (MC) y La Jalca (LJ) perecientes a la provincia de Chachapoyas, en la región Amazonas al NW de Perú. Además, cada distrito de la mancomunidad tiene su GCP de residuo sólidos, es decir: San Juan de Lopecancha**,** Santo Tomás, San Francisco del Yeso, tienen una GCP de 0.444; 0.496; 0.444 kg/hab.dia respectivamente (Bustamante, 2012), y Leymebamba, Montevideo, Mariscal Castilla y La Jalca tienen una GCP de 0.680; 0.480; 0.480; 0.640 kg/hab.dia respectivamente (MPCH, 2016). Así también, la mancomunidad cubre una superficie de 106,625.1 ha. La mancomunidad está situada con pendientes de hasta 77.6° y su altitud varía entre 1,830 y 4,300 m.s.n.m.

Figura 1. *Relleno sanitario actual. Acopia de RSM de la Mancomunidad del Alto Utcubamba*.

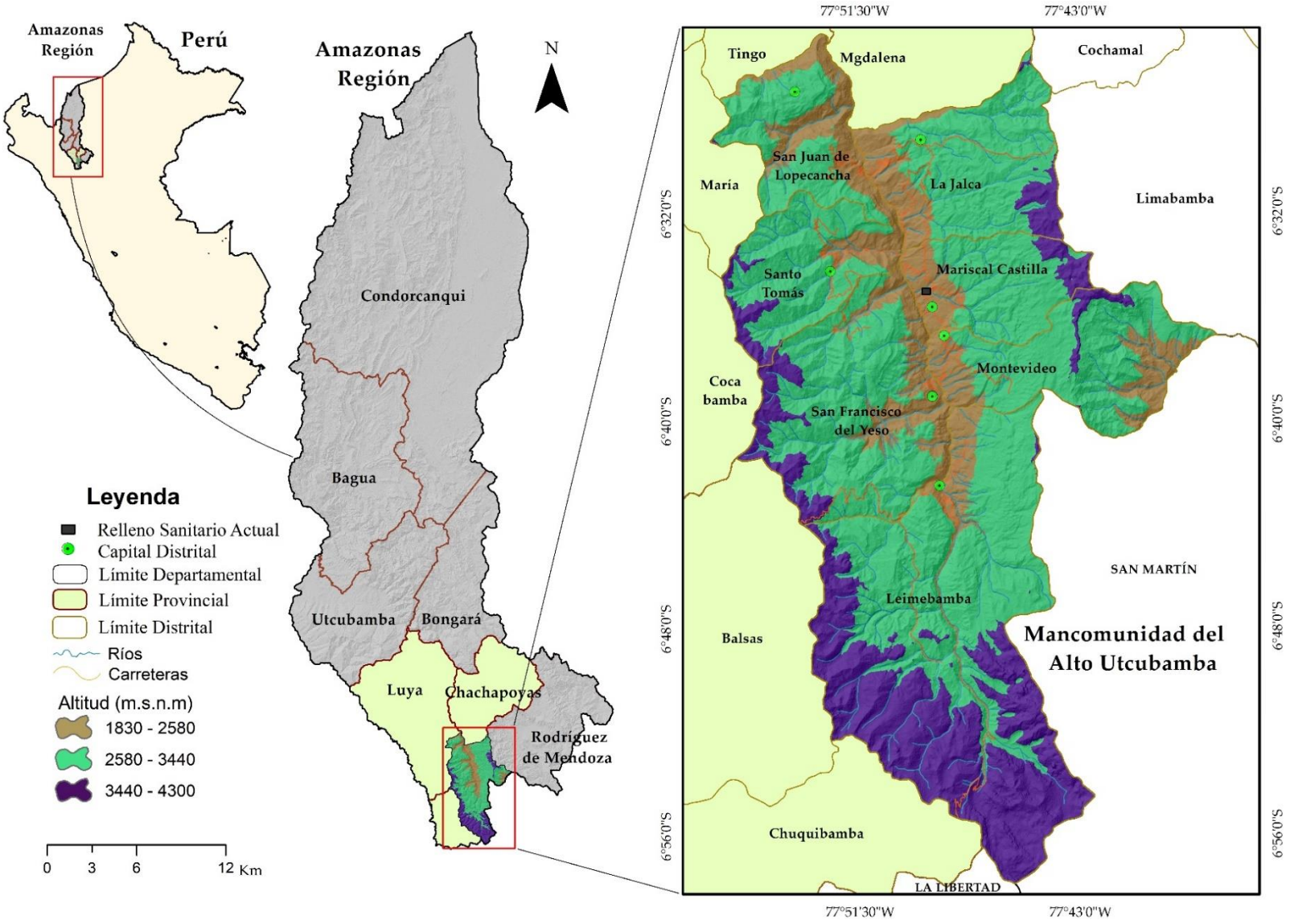

Figura 2. *Localización geográfica de la Mancomunidad del Alto Utcubamba*.

2.2. Materiales, equipos y software

La **Tabla 1** indica los materiales, equipos y software que se utilizaron en esta investigación.

Tabla 1

Materiales, equipos y software utilizados en el desarrollo del estudio.

Categoría	Descripción
Data Cartográfica y satelital	➢ Hojas 13g, 13 h, 14g y 14h de la Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1:100 000. En formato digital. ➢ División política regional, provincial y distrital del Perú elaborada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). ➢ Shapes de centros poblados, centros arqueológicos, carreteras, fallas geológicas obtenidos de las plataformas digitales del Ministerio de Educación (MINEDU), Instituto Nacional de Cultura (INC), IGN e Instituto Geográfico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) respectivamente. ➢ Modelo de Elevación Digital (DEM ALOS PALSAR, 12.5 m), descargado del Centro de Archivo Activo Distribuido (DAAC) de la Instalación de Satélites de Alaska (https://search.asf.alaska.edu/#/) ➢ Imagen satelital LANDSAT/LC08/C01/T1_SR.
Software	➢ Software ArcGIS 10.5 ➢ Software Qgis 3.10.7 ➢ Google Earth Engine (GEE) ➢ Google Earth Pro ➢ Windows de Microsoft Office 2016
Equipos y materiales adicionales	➢ Libreta de campo ➢ Laptop HP Core i5 ➢ Papel Bond ➢ Dron Mini Mavic, USB de 32 GB

2.3. Diseño metodológico

La **Figura 3** muestra el procedimiento empleado para modelar la idoneidad del territorio para identificar sitios idóneos para instalar un relleno sanitario. Para ello, i) se identificó y jerarquizó los criterios y subcriterios aptos que se tiene en cuenta en la investigación; es así que para lograr esta instancia se basó en la revisión bibliográfica de investigaciones previas. Seguidamente, ii) se construyó las capas de los criterios y subcriterios mediante software GIS, para ello se recolectó data GIS mediante cartografía y material satelital base. Asimismo, se reclasificó las capas de cada subcriterio mediante GIS y umbrales de idoneidad que se generaron a través de revisión bibliográfica; a la vez, se ponderó la importancia de los criterios y subcriterios mediante MCDA-AHP, los cual se requirió la participación de un panel de expertos para lograr los pesos de importancia y la matriz de consistencia. Posteriormente, iii) se generó el modelo de idoneidad a partir de una superposición ponderada de los mapas en función a sus pesos de importancia. Por último, iv) se evaluó los sitios más adecuados en función a requerimientos futuros de área y forma, según la proyección de vida útil del relleno sanitario y de la población.

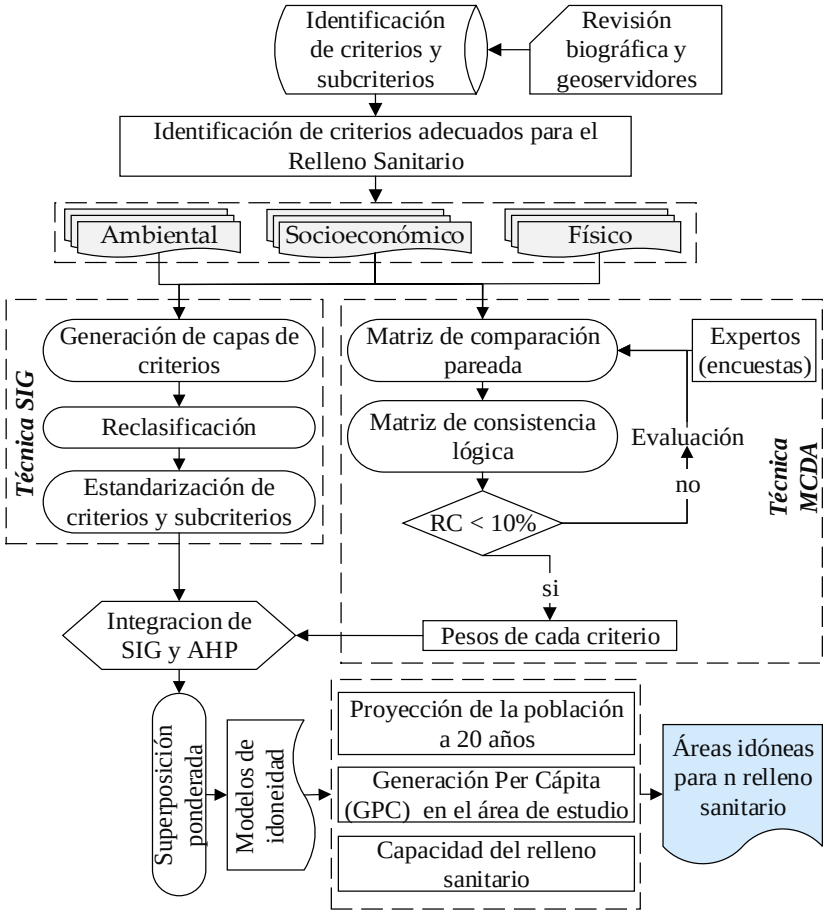

Figura 3. *Flujograma metodológico para determinar los sitios adecuados para establecer un RS.*

2.4. Identificación y jerarquización de criterios y subcriterios

La selección del sitio de un RS municipal es tediosa , para ello se debe establecer criterios apropiados para el fin señalado (Giménez & Cardozo, 2012). Se precisa atención a diversas condiciones locales y no locales, tales como problemas sociales, económicos, técnicos y ambientales (Mortazavi *et al.*, 2019). El paso inicial de la metodología para fines de este estudio implica identificar una jerarquía para el problema de decisión (Chabuk *et al*., 2017). La estructura jerárquica se construyó en base a revisión bibliográfica y datos disponibles en el área de estudio, además de identificarse los principales criterios y subcriterios (Damasceno *et al*., 2019; Najjari & Shayesteh, 2019; Pasalari, *et al*., 2019). Por consiguiente, se construyó una jerarquía en base a tres criterios y 12 subcriterios (3 ambientales, 3 socioeconómicos y 6 físicos) (**Figura 4**). La primera jerarquía está representada por los criterios ambientales; socioeconómicos y físicos y dentro de estos sus respectivos subcriterios correspondientes (segunda jerarquía), las cuales se utilizaron en el estudio actual para determinar los sitios candidatos para el relleno sanitario (tercera jerarquía).

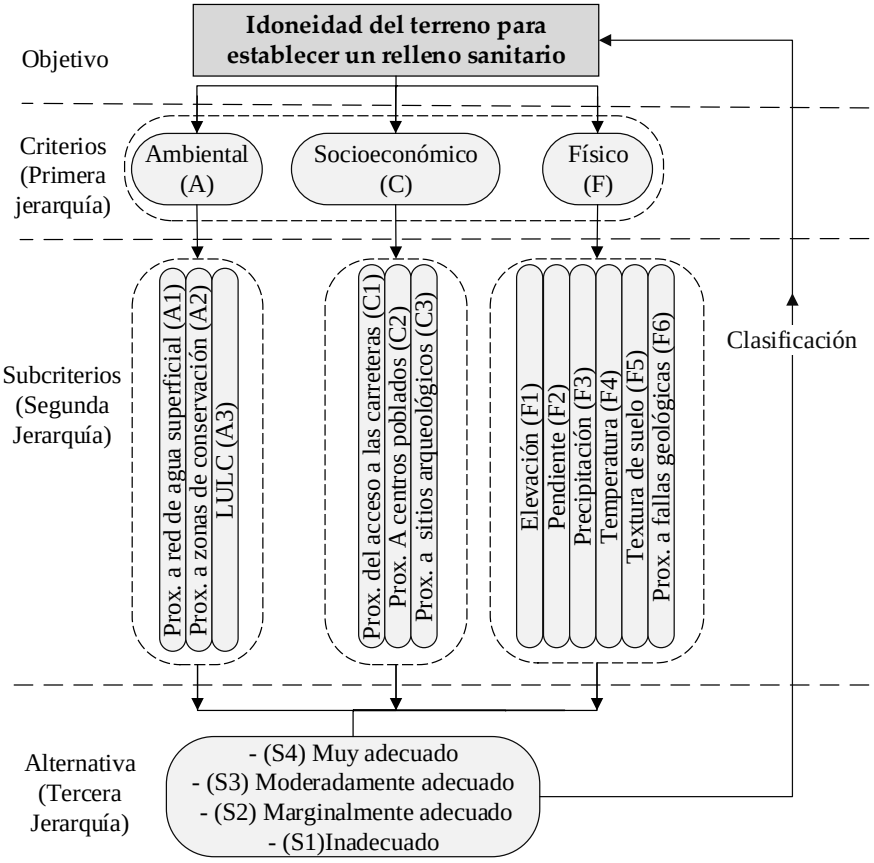

Figura 4. *Estructura jerárquica de criterios y sub criterios considerados en el análisis de la idoneidad del territorio para identificar sitios adecuados para establecer un RS*

Subcriterios Ambientales:

- → **Proximidad a la red de aguas superficiales (A1):** Los vertederos producen lixiviados y residuos de erosión (Afzali *et al*., 2011). Por lo tanto, lo ideal es ubicar un RS lo más lejos posible de las masas de agua superficiales (lagos, estanques, ríos, etc.) (Demesouka *et al*.,2019). Específicamente, en Perú la norma técnica indica que un relleno sanitario se debe instalar no menos a 500 m (MINAM, 2021b).

- → **Proximidad a áreas de conservación (A2):** Estas tienen valor ecológico en términos de protección para preservar, rehabilitar y restaurar la vida vegetal y animal (Barzehkar *et al*., 2019). Por lo tanto, cuanto más lejos de estas áreas, aumenta la idoneidad de la zona para ubicar un relleno sanitario con el fin de evitar futuros impactos ambientales para la flora y la fauna (Tercan *et al*., 2020).

- → **Uso y cobertura vegetal del suelo (LULC) (A3):** Esta permite compatibilizar el relleno sanitario con el uso del suelo y evitar conflictos socioambientales (Paredes, 2013). Para establecer un relleno sanitario, son preferibles los suelos con poca cobertura vegetal (Cobos *et al.*, 2017).

Subcriterios Socioeconómicos:

- → **Proximidad a las carreteras (C1):** Representa la facilidad de acceso al relleno sanitario (Alavi *et al*., 2013). Por tanto, el relleno sanitario debe estar cerca de la red de carreteras debido a los costos de construcción y transporte (Karimi *et al*., 2019).

- → **Proximidad a centros poblados (C2):** Los rellenos sanitarios cercanos o dentro de las zonas residenciales urbanas y rurales pueden causar problemas de salud, malestar social y malos olores (Mohammed *et al*., 2019). Por lo tanto, el relleno sanitario debe estar ubicado lejos de los centros poblados de la ciudad (Sisay *et al*., 2020). En Perú, para ubicar un relleno sanitario se considera un a distancia mayor a 500 m (MINAM , 2021b)

  Proximidad a sitios arqueológicos (C3): El relleno sanitario no debe ubicarse cerca de sitios arqueológicos para no afectar el patrimonio cultural y monumental de la zona (Şener *et al*., 2010). Así, cuanto más lejos de los sitios arqueológicos,

más adecuada será la zona para instalar un relleno sanitario (Alkaradaghi *et al*., 2020).

Subcriterios Físicos

- **Elevación (F1):** El término elevación se refiere a la altitud sobre el nivel del mar, que variará de una zona a otra (Kamdar *et al*., 2019). Las altitudes elevadas son inadecuadas para los vertederos (Şener *et al*., 2010).

- **Pendiente del terreno (F2):** Para un relleno sanitario la pendiente del terreno es importante para evitar que fluya lixiviado (Afzali *et al*., 2011). Por ello, las pendientes pronunciadas del terreno no son adecuadas para establecer un relleno sanitario (Gemitzi *et al*., 2007; Şener *et al*., 2010); mientras que, las áreas planas son más adecuadas (Alavi et al., 2013).

- **Precipitación (F3):** Dependiendo de su intervención, produciría o no lixiviados en el relleno sanitario (Rodas, 2019). Así como las filtraciones a las fuentes de agua más cercanas (Gómez *et al.*, 2015).

- **Temperatura (F4):** Debido a los lixiviados generados en los rellenos sanitarios y otros problemas como los olores, la temperatura abarca un rango inusual (Najjari & Shayesteh, 2019).

- **Textura del suelo (F5):** Las texturas finas con tamaños de poros pequeños favorecen la compactación, lo cual es deseable para establecer un Vertedero (Jevremovic & Djokanovic, 2016)

- **Proximidad a fallas geológicas (F6):** Las fallas son condiciones geológicas que provocan limitaciones para asentar un relleno sanitario (Gemitzi., *et al* 2007). También aumentan la probabilidad de que las aguas subterráneas sean contaminadas por los lixiviados (Barzehkar *et al*., 2019). Por lo tanto, las zonas situadas lejos de las fallas geológicas son áreas adecuadas para los rellenos sanitarios, tal y como lo indica la R.M. N° 165-2021-MINAM "No estar ubicado en zonas con presencia de fallas geológicas"

2.5. Base de datos espaciales para criterios y subcriterios

La gestión y procesamiento de datos espaciales (formato vectorial y ráster) para generar los mapas de los 12 sub criterios (3 ambientales, 3 socioeconómicos y 6 físicos) se

llevaron a cabo utilizando ArcGIS 10.5, QGIS 3.10, Google Earth Pro 7.3 y Google Earth Engine (GEE) (Swain *et al.*, 2020). Todos los mapas se homogeneizaron a formato ráster con resolución espacial de 30 m.

En tanto, la capa distancia a la red de agua se generó utilizando los ríos de la Carta Nacional 13g, 13 h, 14g y 14h (escala 1:100 000) del IGN (MINEDU, 2020), los ríos se actualizaron y complementaron mediante mapeo manual digital en Google Earth Pro y QGIS (ver 3.10). Adicionalmente, se utilizaron las ANP actualizadas a 2020 por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, 2021). La capa de LULC se generó mediante una clasificación supervisada de imágenes de la misión satelital Landsat 8, imágenes que están disponibles en el set de datos de Google Earth Engine (ee. ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T2_SR")). Para ello, se utilizó el algoritmo Random Forest mediante 42 puntos de entrenamiento.

Por otra parte, la capa distancia a carreteras se generó utilizando las capas que brinda el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2021), actualizando las capas mediante mapeo manual en Google Earth Pro y QGIS (ver 3.10). De modo similar, mediante digitalización manual se identificaron los sitios arqueológicos y centros poblados.

En tanto para la elevación topográfica y pendiente se generaron a partir de los datos DEM (Modelo Digital de Elevación) ALOS PALSAR RTC (terreno corregido radiométricamente) con una resolución espacial de 12.5 m (Logan *et al*., 2014). Se utilizó las herramientas de "pendiente" de QGIS 3.10 para obtener el mapa de pendientes, así mismo el DEM se reclasificó para obtener el mapa de elevación. El DEM se descargó del Centro de Datos de Archivo Activo distribuido de Alaska Satellite Facility (ASF DAAC) (https://asf.alaska.edu/). Las capas de los sub criterios precipitación y temperatura fueron generados a partir datos obtenidos de la geodatabase mundial de WorldClim 2.1 (http://worldclim.org), con resolución espacial de (~1 km) (Fick & Hijmans, 2017). Los datos para el obtener la capa del sub criterio textura del suelo se obtuvieron del sistema de cartografía digital global de suelos SoilGrids (https://soilgrids.org/), con una resolución espacial de 250 m (Hengl *et al*., 2017). La textura del suelo se generó en base a las capas de contenido de arena, limo y arcilla y promediando todas las capas de las profundidades de 0 a 5 cm, 5 a 10 cm y 10 a 15 cm. Los datos para la capa del subcriterio

fallas geológicas se obtuvieron de la Carta Geológica Nacional 13h y 14h (escala 1: 50 000) del INGEMMET.

2.6. Estandarización de las capas de subcriterios mediante umbrales de idoneidad

Las capas de los sub criterios se estandarizaron mediante la reclasificación dónde se generó una codificación de alternativas de idoneidad del territorio bajo umbrales (Biluca *et al*., 2020). Estos umbrales son determinados mediante revisión bibliográfica (**Tabla 2**). Los sub criterios se reclasificaron y puntuaron en 4 alternativas: (S1) "Inadecuado", (S2) "Menos adecuado", (S3) "Moderadamente adecuado" y (S4) "Muy adecuado" (Ajibade *et al*., 2019).

Tabla 2

Umbrales de idoneidad de los sub criterios para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU.

Subcriterios	S1	S2	S3	S4	Adaptado de
Ambiental					
A1 (km)	< 0.4	0.4-0.7	0.7-1	> 1	Ohri & Singh (2013) Kamdar *et al*. (2019)
A2 (km)	<0.5	0.5-2	2-3	>3	Jevremovic *et al*. (2016) Tercan *et al*. (2020)
A3 (clase)	Áreas Edificadas, Bosques, Cuerpos de agua	Matorrales	Cultivos y Pastizales	Suelo desnudo	Cobos *et al*., (2017)
Socioeconómico					
C1 (km)	<0.3	>2	1-2	0.3 - 1	Alanbari *et al*. (2014) Al-Anbari *et al*. (2016) Sisay *et al*. (2020)
C2 (km)	< 0.5	0.5-1	1-2	>2	Ohri & Singh, (2013) Ayaim *et al*. (2019) Mohammed *et al*. (2019)
C3 (km)	<1	1-2	2-3	>3	Ersoy & Bulut (2009) Alkaradaghi *et al*. (2020)
Físico					
F1 (m.s.n.m)	>3,300	2,800-3,300	1,000- 2,000	2,000- 2,800	Sener *et al*. (2006)
F2 (°)	>15	10-15	5- 10	< 5	Ersoy & Bulut (2009) Ajibade *et al*. (2019) Kamdar *et al*. (2019) Mohammed *et al*. (2019)
F3 (mm /año)	2,450 >	1,000 – 2,450	400 – 1,000	< 400	Cobos *et al*. (2017) Najjari & Shayesteh (2019) Rodas (2019)

F4 (°C)	< 11	11-14	14-17	17-21	Tercan *et al*., (2020)
F5 (Clase)	Arena, Arcilla arenosa, Franco Arenoso	Franco Arcilloso, Franco Arcilloso Limoso	Arcilla limosa, Limo	Arcilla	Jevremovic *et al*., (2016)
F6 (km)	< 0.3	0.3-1	1-2	> 2	Kamdar *et al*. (2019) Khorsandi *et al*., (2019)

2.7. Proceso de Jerarquía Analítica (AHP)

Los MCDA permiten tomar decisiones reales en función de un conjunto de criterios medibles (Kirimi & Waithaka, 2012), produciendo una solución significativa y relevante (Malczewski, 1997). Entre las técnicas más ampliamente utilizadas por los tomadores de decisiones e investigadores está el AHP (Russo & Camanho, 2015).

Al principio de cada proceso AHP, se define el objetivo, así como la selección de los criterios y sub criterios, y las alternativas (**Figura 4**) (Prieto *et al*., 2021). Seguidamente, se genera una matriz de comparaciones por pares (PCM) (Abdulhasan *et al*., 2019), permitiendo así a los tomadores de decisiones (expertos) a través de su experiencia y juicio favorecer la intensidad de importancia estableciendo prioridades de un criterio sobre otro (Javaheri *et al*., 2006), mediante una encuesta AHP virtual (https://pollahp.indes-ces.edu.pe/rellenosanitario/). Para la generación de las matrices se consideró una escala de valoración de 1 a 9 (**Tabla 3**) (Saaty, (1977, 1987, 1990)).

Tabla 3

Escala de valoración de juicios en Matriz de Comparación entre Pares (PCM) establecidas por Saaty, (1977).

Intensidad (Valor Numérico)	**Definición**	
1	Igual	Importancia
3	Moderada	
5	Fuerte	
7	Muy fuerte	
9	Máxima	
2,4.6,8	Importancia intermedia entre juicios adyacentes	

Pueden surgir algunas incoherencias una vez que se ha realizado un cierto número de comparaciones por pares. Por ello, el AHP actúa como un mecanismo útil para determinar la consistencia de los criterios de evaluación y así minimizar el sesgo en la toma de decisiones de los expertos (Samah *et al*., 2011), mediante la relación de consistencia (RC). Para calcular el RC, primero se calcula el índice de consistencia (IC) (Ecuación (1)) (Yal & Akgun, 2013).

$$CI = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} \quad (1)$$

dónde: n es el tamaño u orden de la matriz, y λ max es equivalente al vector de prioridad en la matriz de decisión (Arisman *et al*., 2013). Al final, el CR se calcula dividiendo el CI por el índice de consistencia aleatorio (IA). el IA depende únicamente del número de elementos comparados o criterios temáticos utilizados (Isalou *et al*., 2013), en esta investigación n=12 por lo que el valor de índice aleatorio (IA = 1,53) (**Tabla 4**). Para obtener el valor del CR, se utiliza la **ecuación (2)**.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (2)$$

Tabla 4

Valores del índice de consistencia aleatorio (IA) para el peso de los criterios 1-12 (Saaty, 1977, 2000; Kazuva et al., 2021).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IA	0.	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.53

El valor de CR debe tener un valor igual o inferior a 0.10 (CR ≤ 0.10) para obtener resultados significativos (Eastman, 2003) . Si CR > 0.10, para los valores de comparación por pares se debe realizar una nueva evaluación (Shahabi *et al*., 2014).

2.8. Generación de submodelos y modelos de idoneidad del territorio

Teniendo las capas de criterios normalizados (reclasificados) y los pesos de importancia de cada criterio, se aplicó la Superposición ponderada (WLC). El WLC, método de evaluación multicriterio espacial en la cual la idoneidad se basa en la importancia relativa de los criterios) (Jamshidi & Rezaei, 2017). La expresión matemática se presenta en la ecuación (3) (Malczewski & Rinner, 2015) . Por consiguiente, se generó los submodelos de idoneidad ambiental, socioeconómico y físico. Integrando estos submodelos se generó el modelo final de idoneidad.

$$S = WiXi \quad (3)$$

Dónde:

S: Idoneidad

Wi: Peso del factor

Xi: Puntuación del criterio del factor *i*.

2.9. Determinación de áreas idóneas en función a requerimientos futuros de área y forma

Todo relleno sanitario debe poder responder al entierro de los residuos sólidos en largos periodos (Silveira & Gonçalves, 2007; Mortazavi *et al*., 2019). Por tanto, se calcularon las áreas de los polígonos Muy Adecuados (S4) del mapa de idoneidad final y se compararon con el área mínima requerida para la disposición de los residuos sólidos generada por la MAU, con la proyección de un lapso de 20 años (Jaramillo, 2003; Silveira & Gonçalves, 2007; Mortazavi *et al*., 2019), con la dirección de priorizar la vida útil del RS. Para este estudio, los datos cuantitativos que se involucran en el cálculo (**Tabla 5**) se obtuvieron de (Bustamante, 2012; Silveira & Gonçalves, 2007; INEI, 2017, Mortazavi *et al*., 2019; Vásquez, 2020).

Tabla 5

Datos cuantitativos para calcular el área del relleno sanitario

Descripción	Valor	Basado en:
Población actual beneficiaria (Hab)(Po)	9750	(Vasquez, 2020)
Volumen de residuos en el 2022 (m^3)	1515	(Vasquez, 2020)
Taza de crecimiento poblacional anual (r) (%)	0.1	(INEI, 2017)
Generación per-cápita promedio (GCP) (Kg/ hab. día)	0.52	(Bustamante, 2012)
Años de vida útil (n)	20	(Jaramillo, 2003; Mortazavi et al., 2019; Silveira & Gonçalves, 2007)
Altura máxima del relleno sanitario (h)	6 m	(Silveira & Gonçalves, 2007)

Para el cálculo de la cantidad de residuos sólidos, volumen de los residuos que se generaran en un lapso de 20 años , y el área requerida según la proyección de residuos sólidos que se generan se siguió las ecuaciones de (**Tabla 6**) (Jaramillo, 2003; Silveira & Gonçalves, 2007).

Tabla 6

Requerimiento técnico para la infraestructura de un relleno sanitario

Descripción	Ecuación	Basado en:
Cantidad de RSM generados en un día	$Q_0 = P_0 \; x \; GCP$	Jaramillo (2003); Silveira & Gonçalves (2007)
Densidad de Residuos Sólidos ($\boldsymbol{\delta}$) (kg/m^3)	$\delta = Q_{2042}/V_{diario}$	
Población futura para 2042	$Pf_{2042} = Pa(1+r)^n$	
Cantidad de RSM generados en un día	$Q_{2042} = Pf_{2042} \; x \; GCP$	
Volumen total de RSM generados en un día	$V_{diario} = Q_{2042}/\,\delta$	
Volumen total de RSM generados en 20 años	$V_{2042} = V_{diario} \; x \; 365 \; x \; 20$	
Área mínima para un RS	$A_{min} = V_{2042}/\,h$	

Para más fiabilidad, para elegir los polígonos con mejor forma regular, se analizó la forma de los polígonos (S4) "Muy adecuado" usando el coeficiente de compacidad (Kc) (Palacios, 2018).

El Kc se calculó en base al perímetro (P) y el área (A) de cada polígono (**Ecuación 4**) (Silva *et al*., 2022). Valores de Kc aproximados a 1 indican que los polígonos se asemejan a un círculo, cuando los valores se aproximan a 1.75, los polígonos tienden a ser alargados y valores superiores a 2 indican polígonos irregulares (Adúriz *et al*,. 2003).

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \qquad (4)$$

2.10. Evaluación del modelo de idoneidad y publicación de resultados

En este estudio, la Curva Característica Operativa Del Receptor (ROC) y el Área Bajo La Curva (AUC) se utilizaron para evaluar el rendimiento y la capacidad de predicción del modelo de idoneidad (Vargas *et al*., 2020) para un relleno sanitario. La curva ROC como método útil representa la calidad de los sistemas de predicción y detección determinística y probabilística (Orhan, 2021).

En el análisis de la curva ROC, el AUC demuestra la precisión de un sistema de predicción describiendo la capacidad del sistema de esperar la ocurrencia o no ocurrencia de "eventos" definidos (Tien *et al*., 2012; Jaafari *et al*., 2014). Además, el rendimiento de predicción del modelo aumenta si el valor de AUC (que oscila entre 0,5 y 1) aumenta

(Reis *et al*., 2012). Así, un valor de 1 indica que el modelo creado funciona perfectamente (Fielding & Bell, 1997; Qin *et al*., 2017), mientras que 0,5 indica que el modelo tiene un bajo nivel de éxito (Swets, 1988; Fielding & Bell, 1997; Qin *et al*., 2017). Según Yesilnacar (2005), la relación cuantitativa-cualitativa entre el AUC y la precisión de la predicción se puede clasificar de la siguiente manera: 0,5-0,6 (pobre), 0,6-0,7 (media), 0,7-0,8 (buena), 0,8-0,9 (muy bueno) y 0,9-1 (excelente). Es por ello, que para validar se recurrió a registro de puntos mediante el apoyo de un GPS y Dron Mini Mavic (https://dji.pe/).

Por último, se utilizó QGIS Cloud para publicar el mapa de idoneidad final. QGIS Cloud, es una plataforma web GIS (complemento de QGIS) para publicar datos, mapas y servicios en QGIS Cloud (https://console.cloud.google.com/) con el público en general (Mohamad *et al*., 2022). Asimismo, se puede crear y editar mapas profesionales con todas las capacidades de QGIS (Balla *et al*., 2020).

III. RESULTADOS

3.1. Pesos de importancia de criterio y subcriterios

Los pesos de importancia medio de cada criterio y sub criterio fueron determinados por un panel de nueve expertos de distintas procedencias (**Figura 5a)** y con distintas especialidades (**Figura 5b)**. Estos pesos se muestran en la **Tabla 7**. Los sub criterios de mayor importancia respecto a su grupo jerárquico fueron LULC (45.7%), proximidad a centros poblados (54.3%) y pendiente (24.5%), mientras que los de menor importancia fueron la proximidad a áreas de conservación (19.8%), la proximidad a centros arqueológicas (22.8 %) y la elevación (5.4%).

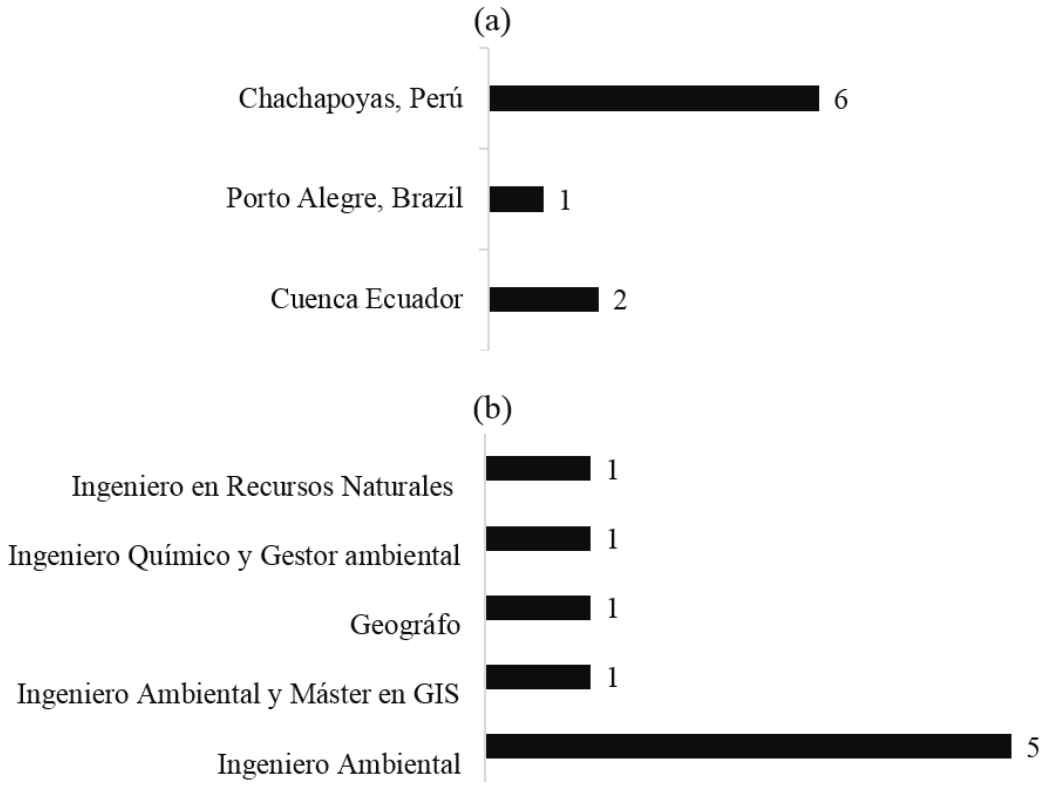

Figura 5. *(a) Procedencia del panel de expertos y (b) Especialidades del panel de expertos.*

Tabla 7

Pesos de importancia para cada criterio y sub criterios para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS.

Objetivo	Criterio	Peso (%)	Clasificación	Subcriterio	Peso (%)	Clasificación
Idoneidad para ubicar un relleno sanitario	A	49.0%	1	A1	38.2%	2
				A2	16.2%	3
				A3	45.7%	1
	C	19.8%	3	C1	22.9%	2
				C2	54.3%	1
				C3	22.8%	3
	F	31.2%	2	F1	5.4%	6
				F2	24.5%	1
				F3	21.6%	3
				F4	10.6%	5
				F5	23.4%	2
				F7	14.5%	4

3.2. Mapas de sub criterios de idoneidad del territorio con restricciones

La **Figura 6** muestra los mapas reclasificados de los sub criterios ambientales, socioeconómicos y físicos, según umbrales de idoneidad (**Tabla 1**) con restricciones. Específicamente el área que no estaba restringido es de 933.62 km^2. En todos los subcriterios se restringió (S0) el 12.4% (132.49 km^2) del área de estudio, correspondiente a áreas urbanas, carreteras, red hídrica superficial y áreas de conservación. Además, los sub criterios ambiental, socioeconómico y físico que poseen mayor área 'Muy adecuado' (S4) respectivamente fueron la Proximidad a áreas de conservación (78.6%), Proximidad a centros arqueológicos (80.0%) y Elevación (32.4%) **(Tabla 8)**. Por otra parte, los de mayor área 'Inadecuada' (S1) fueron la Proximidad a red de agua superficial (43.9%), Proximidad a centros poblados (22.4%) y Pendiente (73.8%). Por lo expuesto anteriormente se determina que, la Proximidad a áreas de conservación (78.6%) es el subcriterio que más beneficio le da a la selección del sitio para el establecimiento de un relleno sanitario, lo contrario que, la Pendiente, es la que más restringe el territorio.

Tabla 8

Áreas según niveles de idoneidad para cada sub criterio para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas.

Subcriterio	S1		S2		S3		S4	
	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%
Criterio Ambiental (A)								
A1	410.16	43.9	222.26	23.8	131.55	14.1	169.65	18.2
A2	26.57	2.8	93.37	10.0	80.30	8.6	733.38	78.6
A3	352.56	37.8	102.34	11.0	478.72	51.3	0.00	0.0
Criterio Socioeconómico (C)								
C1	105.61	11.3	492.33	52.7	167.62	18.0	168.06	18.0
C2	208.70	22.4	224.71	24.1	237.71	25.5	262.49	28.1
C3	22.14	2.4	67.48	7.2	97.25	10.4	746.75	80.0
Criterio Físico (F)								
F1	251.35	26.9	371.51	39.8	7.95	0.9	302.81	32.4
F2	689.09	73.8	136.67	14.6	82.31	8.8	25.56	2.7
F3	0.00	0.0	791.38	84.8	142.25	15.2	0.00	0.0
F4	172.90	18.5	455.55	48.8	282.59	30.3	22.58	2.4
F5	0.00	0.0	1.49	0.2	931.69	99.8	0.45	0.0
F6	127.95	13.7	264.33	28.3	259.14	27.8	282.21	30.2

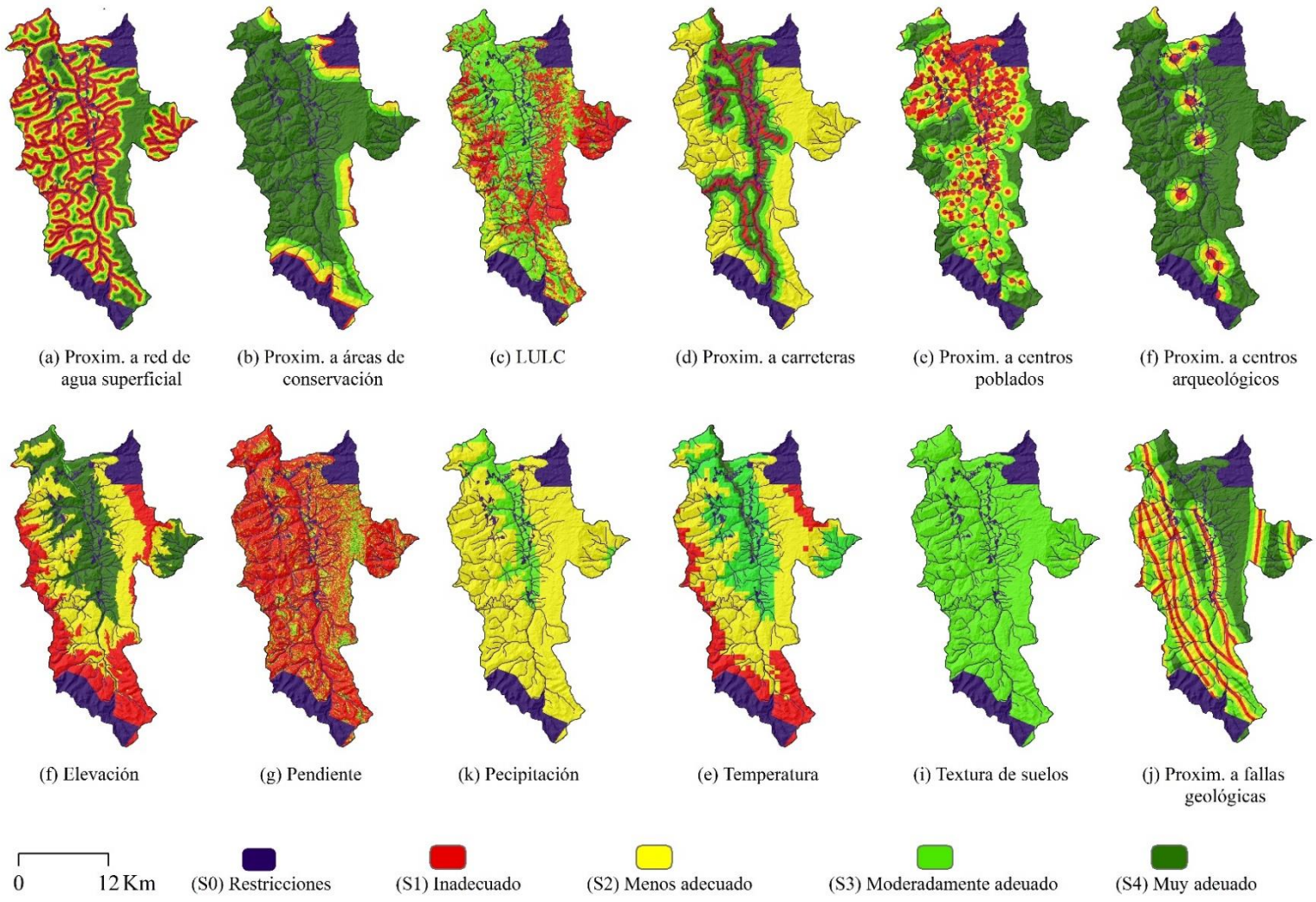

Figura 6. *Subcriterios según umbrales de idoneidad con restricciones para modelar la idoneidad del territorio para el establecimiento de un relleno sanitario en la mancomunidad del alto Utcubamba- Amazonas.*

3.3. Mapas de sub modelos y modelo final de idoneidad

La **Figura 7** muestra los mapas de los sub modelos de idoneidad ambiental con 5.94% (55.44 km^2), socioeconómico con 26.78% (250.06 km^2) y físico con 0.04% (0.34 km^2), los cuales estos alcanzaron un grado de "Muy adecuado" (**Tabla 9**) del área de estudio. Opuestamente se tiene que el criterio ambiental tiene la mayor área de "Inadecuado" (S1) con 16.3 % (152.43 km^2).

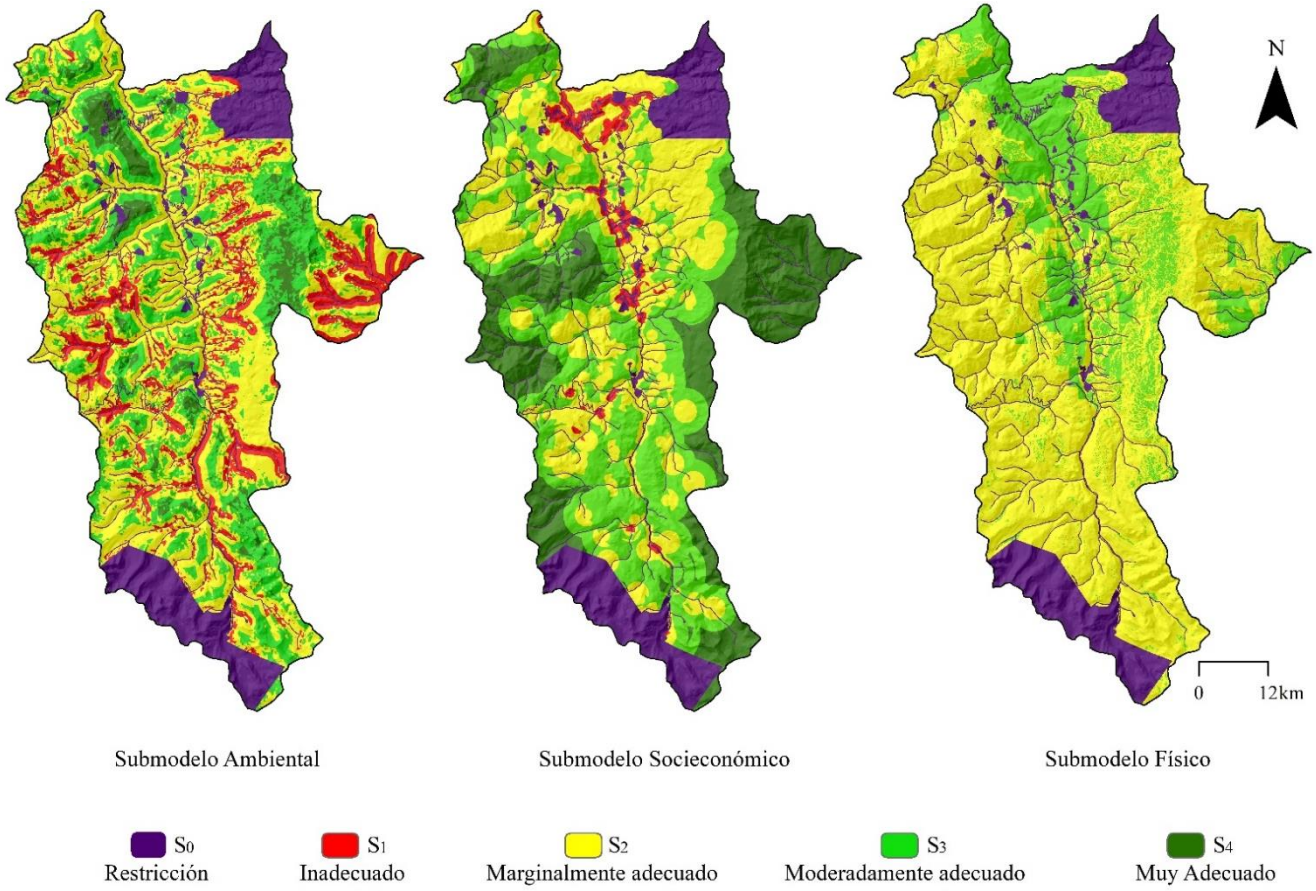

Figura 7. *Submodelos de idoneidad para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas.*

Tabla 9

Territorio de criterios por cada alternativa de idoneidad con potencial para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas.

Criterio	S1		S2		S3		S4	
	Km²	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**	**%**	**Km²**	**%**
Ambiental	152.43	16.3	468.71	50.2	257.04	27.5	55.44	5.9
Socioeconómico	30.98	3.3	323.24	34.6	329.34	35.3	250.06	26.8
Físico	0.00	0.0	671.76	72.0	261.52	28.0	0.34	0.0
Modelo Final	1.18	0.1	613.65	65.7	316.41	33.9	2.39	0.3

La **Figura 8** muestra el mapa de idoneidad final del territorio de la MAU, de las cuales el 0.3% (2.39 km^2) presentan condiciones de (S4) "Muy adecuado", el 33.9% (316.41 km^2) "Moderadamente adecuado" (S3), el 65.7% (613.65 km^2) (S2) "Menos adecuado" y 0.1% (1.18 km^2) (S1) "Inadecuado", para la instalación de un RS. Asimismo, la idoneidad final del territorio de la MAU se dividió en sus 7 distritos que lo conforman, de las cuales los que poseen menor área (S4) "Muy adecuado" son los distritos de La Jalca y San Francisco del Yeso con 0.2% (0.00 km^2) y el que posee mayor área (S4) "Muy adecuado" es el distrito de Montevideo con 67.5% (1.61 km^2) (**Tabla 10**). Por otra parte, el de mayor área (S1) "Inadecuada" es el distrito de Leymebamba con 57.6% (0.68 km^2) y los de menos área (S1) "Inadecuada" son los distritos de San Juan de Lopecancha, Santo Tomás y Mariscal Castilla con 0.0% (0.00 km^2).

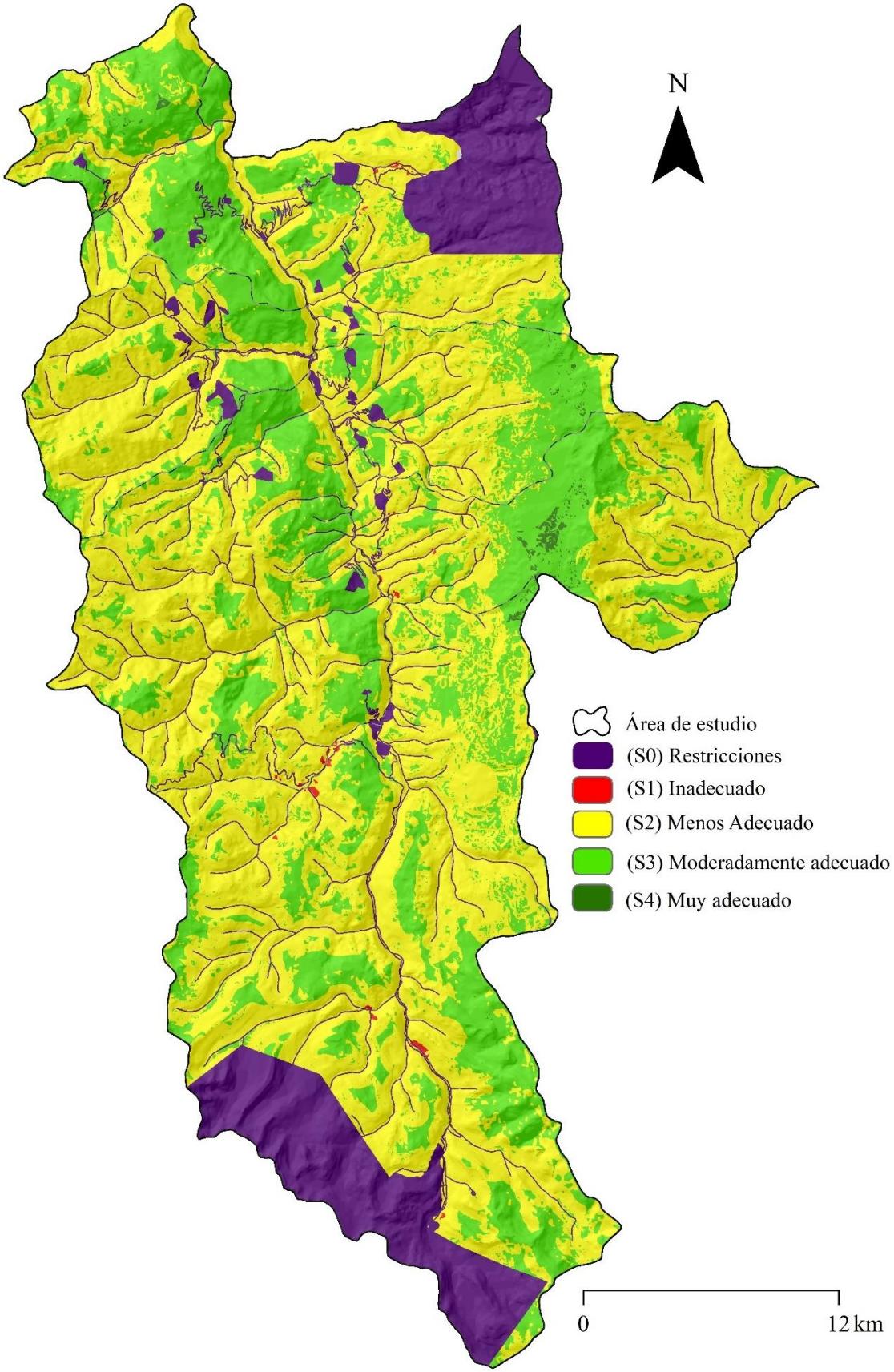

Figura 8. *Idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU-Amazonas.*

Tabla 10

Territorio de criterios por cada alternativa de idoneidad con potencial para el establecimiento de un RS por distrito de la MAU- Amazonas.

Distritos	S1		S2		S3		S2		Total	
	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%	km^2	%
SJL	0.00	0.0	33.81	5.5	50.03	15.8	0.31	13.0	84.15	9.0
LJ	0.18	15.2	56.57	9.2	20.51	6.5	0.00	0.2	77.26	8.3
ST	0.00	0.0	64.73	10.5	21.27	6.7	0.01	0.5	86.01	9.2
MC	0.00	0.0	44.95	7.3	30.87	9.8	0.21	8.8	76.03	8.1
SFY	0.15	13.1	120.82	19.7	56.57	17.9	0.00	0.2	177.55	19.0
M	0.17	14.1	75.31	12.3	43.62	13.8	1.61	67.5	120.71	12.9
L	0.68	57.6	217.45	35.4	93.54	29.6	0.23	9.8	311.90	33.4
total	1.18	1	613.65	1	316.41	1	2.39	1	933.62	100.0

3.4. Sitios candidatos altamente adecuados para RS

El área mínima requerida para instalar un RS en la MAU con una generación de RSU y una población proyectada al 2042; se estimó en 3.397 ha (**Tabla 11**). Por consiguiente, se contabilizaron 8 polígonos (S4) "Muy adecuado" (S4) ≥ 3.397 ha, de los cuales el Área (01) lo ocupa San Juan de Lopecancha (SJL) con 12.3% (18.61 ha), el Área (02) lo ocupa Mariscal Castilla (MC) con (3.60 ha), el área 08 lo ocupa Leymebamba (L) con 10.4% (15.78 ha) (**Figura 9a**), y las Áreas de (03) a (07) lo abarca el distrito de Montevideo (M) (**Figura 9b**).

Tabla 11

Estimación del área mínima con potencial par instala un RS a futuro para la MAU con un periodo de vida útil de 20 años.

Descripción	Resultado
Densidad de Residuos Sólidos	1221.485 kg/m^3
Población de la ciudad para 2042	65 593 hab.
Cantidad de RSU generados en un día	203842.862 kg/día
Volumen total de RSU generados en un día	27.925 m^3
Volumen total de RSU generados en 20 años	203842.862 m^3
Área mínima para un relleno sanitario	3.397 ha

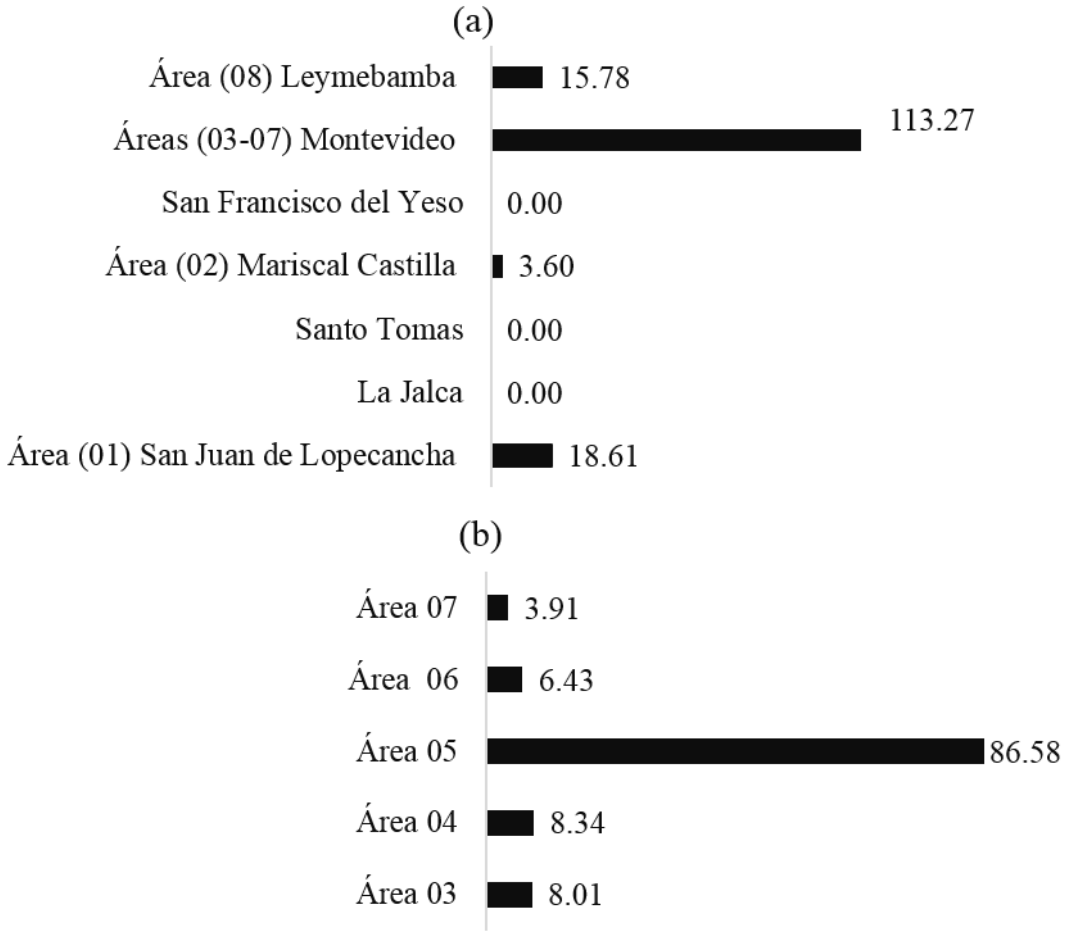

Figura 9. *(a) (S4) ≥ 3.397 ha, por cada distrito de la Mancomunidad y (b) Áreas (S4) ≥ 3.397 ha, del distrito de Montevideo.*

Se determinaron también 7 polígonos 'Muy adecuado' (S4) (**Figura 10**) que presentaron kc< 1.75 (**Tabla 12**) y están en la 'Clase de forma (I)' Se determinó también 1 Polígono 'Muy adecuado' (S4) con kc>2 ((Área (05) Montevideo) kc=9.14) (**Figura 11a**). Así también se seleccionó 3 áreas optimas de áreas (S4) 'Muy adecuado' de mejor forma, para validación en campo (**Figura 11b**).

Tabla 12

Áreas "Muy adecuado" (S4) según el índice de compacidad (kc) par instala un RS a futuro para la MAU – Amazonas.

Distritos	**kc**	**kc**		
		1-1.75	**1.75-2**	**≥2**
Área (01) San Juan de Lopecancha	1.34	I		
Área (02) Mariscal Castilla	1.02	I		

Área (03) Montevideo	1.00	I	
Área (04) Montevideo	1.31	I	
Área (05) Montevideo	9.14		III
Área (06) Montevideo	1.50	I	
Área (07) Montevideo	1.29	I	
Área (08) Leymebamba	1.68	I	

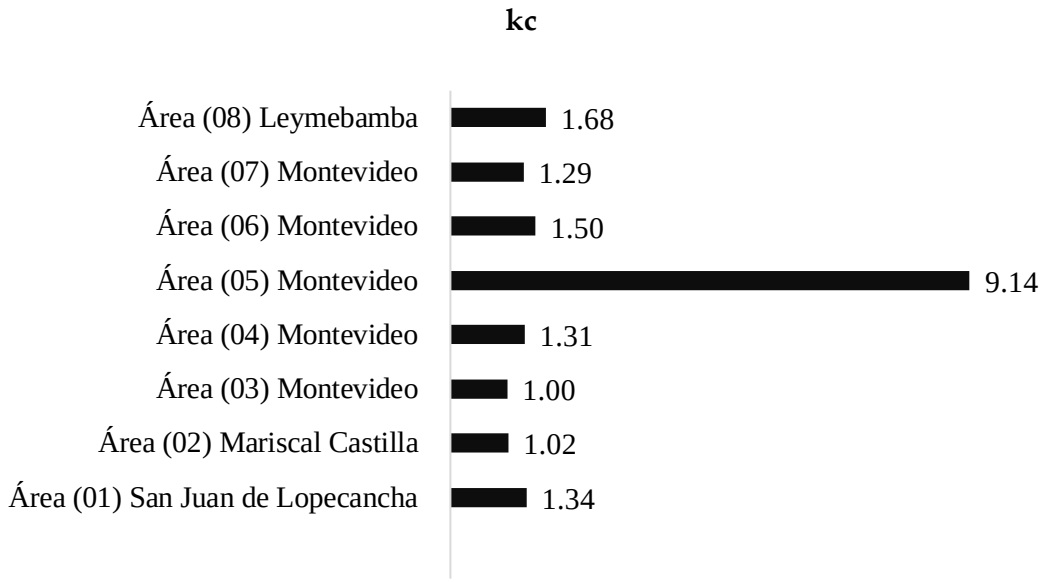

Figura 10. *Áreas (S4) "Muy adecuado" según el índice de compacidad (kc).*

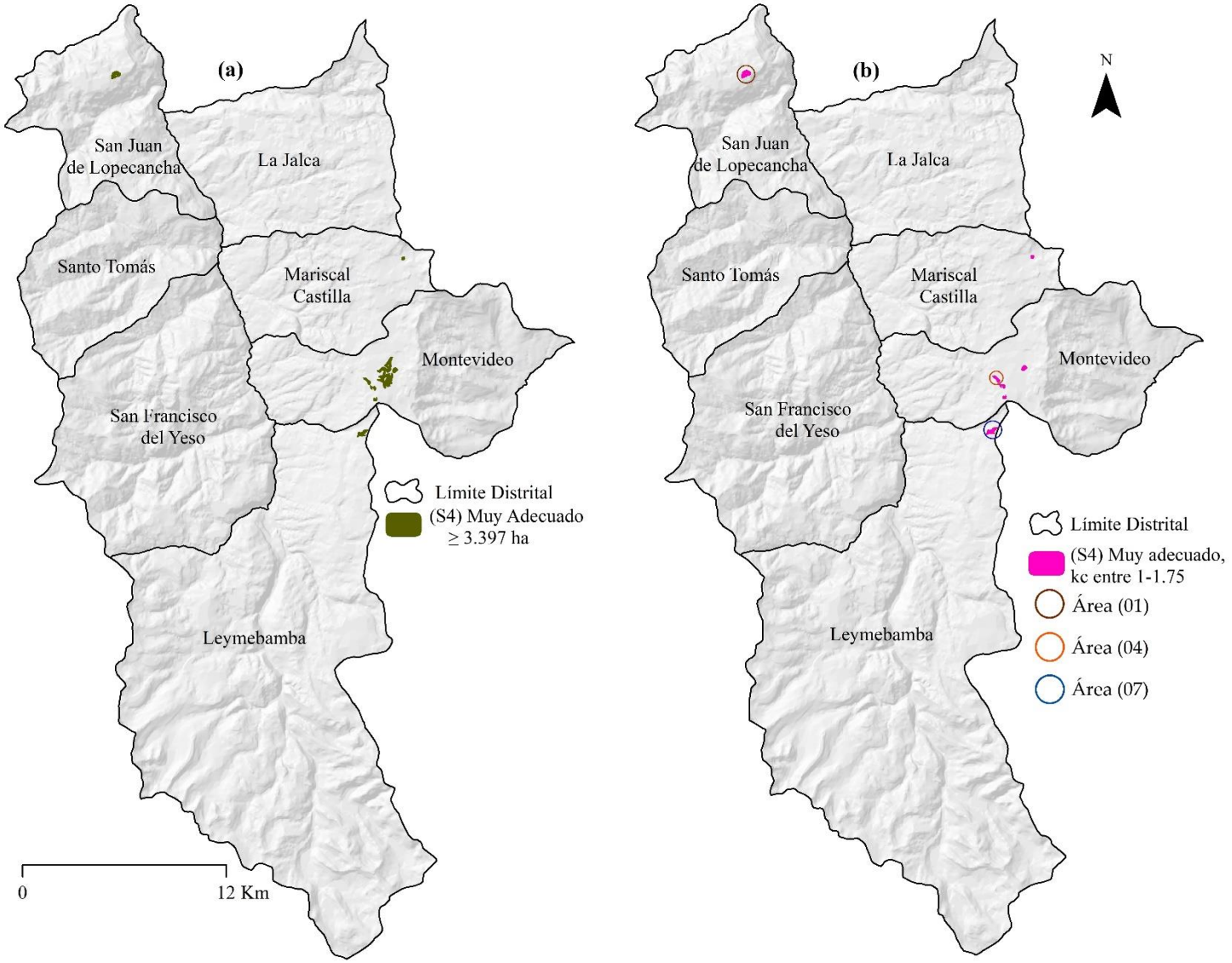

Figura 11. *a) Polígonos (S4) 'Muy adecuado' ≥ 3.397 ha y b) Polígonos (S4) 'Muy adecuado' que presentan kc < 1.75. .*

3.5. Modelo de idoneidad validado mediante AUC y ROC y publicado en QGIS Cloud

Mediante la visita a campo (Figura 12a y 12b) y puntos de validación mediante imágenes Planet se registraron 45 Puntos Georreferenciados (PG) (Figure 13) en la cual a cada punto se les asignó un código, ya sea 0 u 1. Cero se les asignó a aquellos puntos donde el área adyacente cumplía con los requisitos para instalar un relleno sanitario; por el contrario, 1 se les asignó a aquellos puntos que no cumplían con la idoneidad del territorio para instalar un relleno sanitario. Por consiguiente, con los PG se generó la AUC y ROC, demostrándose así una fiabilidad del 0.67 (Figura 14), encontrándose satisfactorio (0.6-0.7) como modelo de idoneidad desarrollado.

Figura 12. *Validación en campo: a) Inspección del relleno sanitario actual y b) Inspección visual de las áreas potenciales*.

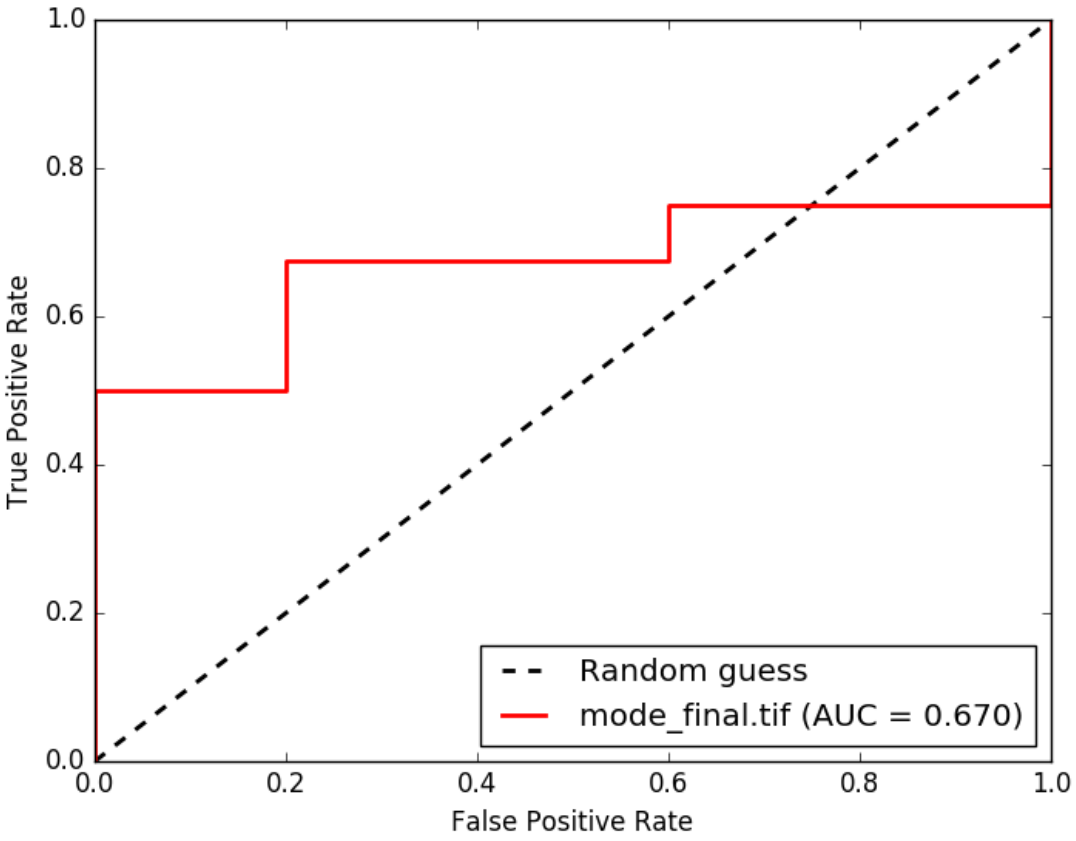

Figura 13. *Gráficos de UAC-ROC del modelo final de idoneidad*.

Por último, mediante QGIS Cloud se publicó el mapa de idoneidad final para disposición del público en general mediante el siguiente enlace https://qgiscloud.com/AntonyZS/Idoneidad_del_territorio_para_instalar_un_relleno_sanitario_en_la_mancomunidad_del_Alto_Utcumbamba/. De este modo, los resultados obtenidos estarán al alcance del público en general.

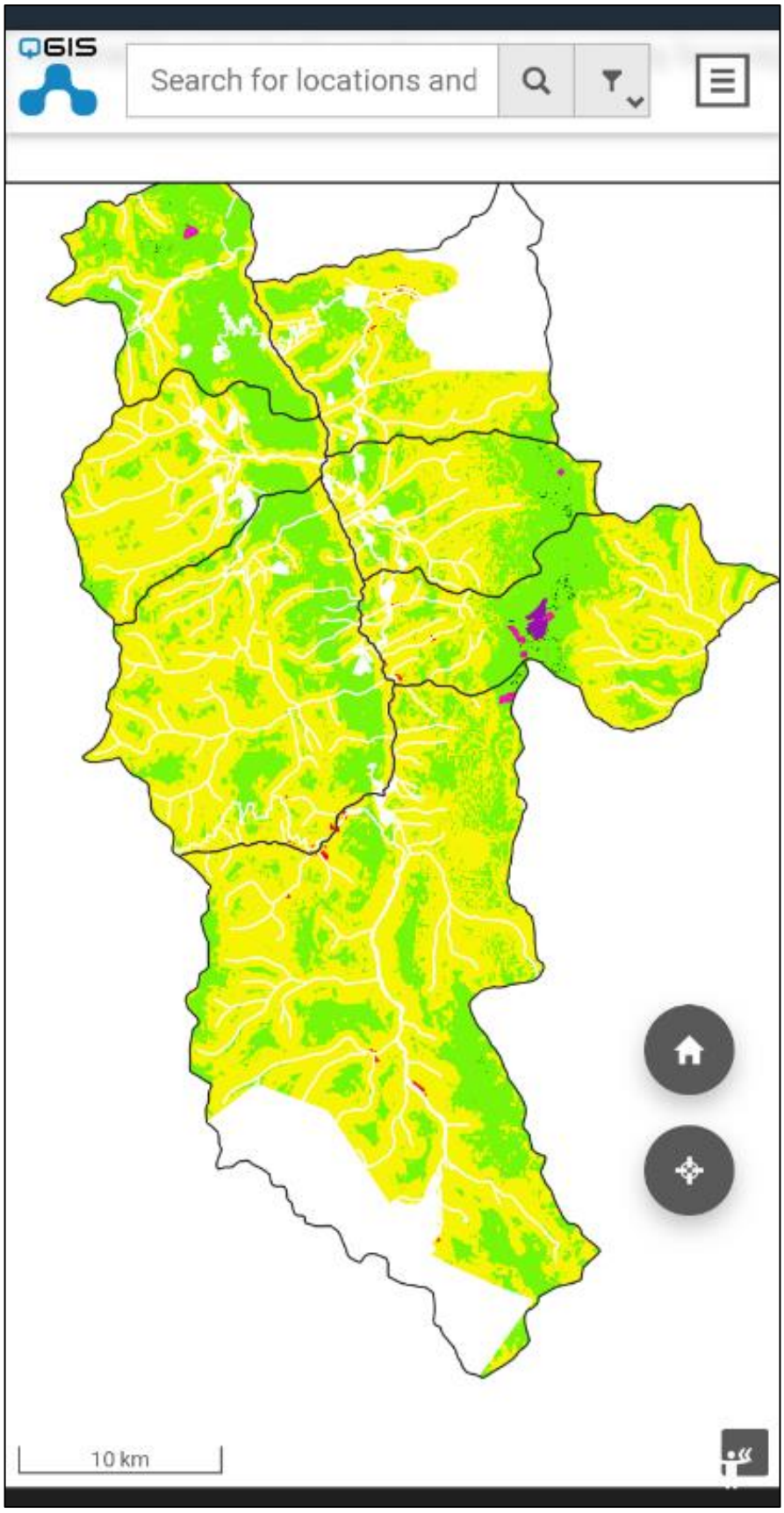

Figura 14. *Visualización en la web de la idoneidad del territorio para el establecimiento de un RS en la MAU- Amazonas subida en QGIS Cloud*.

IV. DISCUSIÓN

El relleno sanitario todavía se considera uno de los métodos más significativos y menos costosos para la eliminación de desechos (Ali et al., 2021). No obstante, encontrar el sitio adecuado para disponer los residuos sólidos es una tarea difícil para un municipio (Rahmat et al., 2017). En este sentido, la ubicación de este representa un punto crítico en el proceso de planificación urbana, debido a que involucra a los aspectos económicos, físicos y sociales (Redjem *et al*., 2021). Sumado a ello, los posibles impactos en al medio ambiente (Uyan, 2013).

Ante lo expuesto, la existencia de la metodología denominada AHP-SIG aplicada a la idoneidad territorial para establecer un RS se ha convertido en una herramienta útil y eficiente a nivel mundial (Rahmat et al., 2017; Khodaparast et al., 2018; Adewumi et al., 2019; Asefa & Mindahun, 2020; Musana *et al*., 2020; Jothimani et al., 2021; Khaldi et al., 2021; Makonyo & Msabi, 2021; Ahire et al., 2022; Tulun et al., 2021; Silva et al., 2022). Al mismo tiempo, en el ámbito nacional la aplicación de esta metodología en este tipo de investigaciones es limitado por la ausencia de criterios que se refleja en la guía metodológica del MINAM, (2021a). Esta limitación a permitido el desarrollo de nuevas propuestas para la gestión del territorio enmarcado a la gestión d ellos RSU. En el ámbito local, la metodología AHP-SIG se empleó para identificar áreas potenciales para un relleno sanitario para los distritos de Chachapoyas y Huancas (Silva et al., 2022). La metodología de este estudio es de gran importancia; puesto que, con los ajustes necesarios a su realidad local, y los requisitos que demanda el MINAM, (2021a) lograron identificar 12 áreas aptas para ubicar un RS. Estos ajustes pueden incluir otras variables socioeconómicas y ambientales detalladas a fin de ser más específicos. Este estudio aplicó la metodología AHP-SIG con los ajustes necesarios, añadiendo 14 subcriterios y 3 criterios, silimar a otros estudios de Rahmat et al. (2017), Khodaparast et al. (2018) y Musana et al. (2020).

Para la mancomunidad del Alto Utcubamba, a diferencia de estudios previos tales como los de Alavi et al. (2013); Al-Anbari et al. (2018); Asefa & Mindahun (2020); Barakat et al. (2017); Bouroumine et al. (2020); Damasceno et al. (2019); Musana et al. (2020); se empleó mayor cantidad de subcriterios (12 subcriterios), al igual que en Uyan (2013). No obstante, otras investigaciones como las de Ohri & Singh (2013); Alanbari et al. (2014); Kamdar et al. (2019); Alkaradaghi et al. (2020); Tercan et al. (2020); Dolui & Sarkar (2021); Ahire et al. (2022), aplicaron más subcriterios, debido a que, disponen de mayor

cantidad de datos espacializados disponibles, situación que fue limitante para el área de estudio. En concordancia con lo indicado; Dolui & Sarkar (2021), consideraron la distancia a vías férreas y Dolui & Sarkar (2021); Adewumi *et al*. (2019); tuvieron en cuenta líneas eléctricas. Asimismo, Alkaradaghi *et al*. (2020), consideraron la distancia a yacimientos de petróleo y gas; mientras que, Rezaeisabzevar et al. (2020) utilizaron criterios como el olor, la reducción del valor de la propiedad y el ruido. A razón, en este estudio no se consideró estos criterios ya que, en Perú, y particularmente en la región Amazonas, se tiene limitados datos espaciales de criterios ambientales, socioeconómicos y físicos, a escala local; así como, en nuestra área de estudio, no se tiene registros de yacimientos de petróleo y gas, por lo que dichos criterios no son relevantes.

Este estudio identificó áreas con potencialidad para un RS mancomunado y también contrastar la ubicación del actual del RS, similar al estudio de Najjari & Shayesteh (2019). Al analizar los criterios, para la MAU, el criterio ambiental (49.05%) es el más importante, seguido por el físico (31.19%) y socioeconómico (19.76%). Asimismo, para Silva et al. (2022) quienes utilizaron un subcriterio físico y socioeconómico más, los criterios ambientales son más importantes que los criterios socioeconómicos y físicos. De igual manera para Barakat et al. (2017); Spigolon et al. (2018); Pasalari et al. (2019) y Khorsandi et al. (2019), quienes en sus investigaciones consideraron a los criterios ambientales más importantes que los criterios socioeconómicos. Mientras que, para Najjari & Shayesteh (2019), los criterios físicos son más importantes que los criterios ambientales y socioeconómico. Por ello, las discrepancias en la importancia puede ser resultado de los criterios empelados que variarán de acuerdo a la cantidad y el tipo de subcriterios empleados, además de la experiencia y/o conocimiento promedio del panel de expertos.

Por otra parte, en los criterios ambientales, LULC (45.66%) y la proximidad a red de agua superficial (38.15%) fueron los más importantes. Por otra parte, la proximidad a áreas de conservación (16.19%) fue el de menor importancia de acuerdo a juicio de expertos. Asimismo se destaca al sub criterio "LULC" como criterio más importante (Khan & Samadder, 2015; Sisay et al., 2020). Además, Bilgilioglu et al. (2021) y Abdelouhed, et al. (2022) reputaron también como segundo criterio más importante a "proximidad a la red hídrica superficial". Mientras que Chabuk et al. (2017), valoraron a "proximidad a la red hídrica superficial" como el criterio ambiental más importante, enfatizando lo que establece el MINAM (2008), en la importancia de las fuentes hídricas para ubicar un RS.

En el caso de los subcriterios socioeconómicos, los de mayor importancia son la "Proximidad a centros poblados" (54.32%) y "proximidad a carreteras" (22.88%). Spigolon et al., (2018); Mohammed et al., (2019); Karabulut, et al., (2021) y Ahire et al., (2022) consideran a la "Proximidad a centros poblados" como la más importante, mientras que Mustafa & Bwadi, (2018) y por Silva et al. (2022) consideran a la "proximidad a carreteras" como la más importante. Además, se consideró al subcriterio "proximidad a centros arqueológicos" como en el estudio de Alkaradaghi et al. (2020), esto debido a que en el área de estudio existen áreas con restos arqueológicos.

De los subcriterios físicos, la pendiente (24.46%) y la textura de suelos (23.27%) presentaron mayor importancia. Randazzo et al. (2018) y Najjari & Shayesteh (2019) destacan a la pendiente como criterio más importante. Además Silva et al. (2022) ratifica la importancia de considerar la textura de suelo como criterio físico, esto se debe a la garantía del sitio para una construcción ingenieril segura.

Sobre la base de los criterios evaluados, se identificaron ocho sitios altamente adecuados con potencial para instalar un relleno sanitario, estos sitios tienen el área mínima (≥3.397 ha) requerida para su funcionamiento hasta 2042. De estos sitios identificados, siete presentan un factor de forma (kc ≤ 1.75) acorde a los parámetros de diseño, siendo seleccionadas tres áreas con los mejores kc, tal como lo realizó Silva-López *et al*. (2022). Así también, el análisis mínimo del área proyectada a futuro del relleno sanitario (Silveira & Gonçalves, 2007; MINAM, 2017) y el análisis de forma (Palacios, 2018) facilitaron la mejor selección del sitio que estudios previos que solo realizaron AHP y SIG. Así también, el análisis de confiabilidad que se realizó con la curva ROC-UAC de 0.67 de UAC siendo satisfactorio en el estudio (Vargas *et al*., 2020) . No obstante, para la selección final de un único sitio se deben realizar estudios detallados en campo (de suelo, dirección del viento y otros). Por tanto, aunque los estudios de MCDA-AHP y SIG no son definitivos, permiten minimizar tiempo y ahorrar costos (Silva-López *et al*., 2022).

V. CONCLUSIONES

Esta investigación establece un marco metodológico de MCDA–AHP integrado con GIS para evaluar sitios adecuados para la instalación de un RS. Se consideraron 3 subcriterios ambientales, 3 subcriterios socioeconómicos y 6 subcriterios físicos. Además, el estudio contó con la participación de 9 especialistas entre nacionales y extranjeros con experiencias considerables en el tema de estudio, a fin de valorar las PCM de criterios. A razón de ello, del territorio de la Mancomunidad del Alto Utcubamba, se identificaron áreas de acuerdo a los niveles de idoneidad: el 0.26% (2.39 km^2) presentan condiciones de "Muy adecuado" (S4), el 33.89% (316.41 km^2) "Moderadamente adecuado" (S3), el 65.7% (613.65 km^2) "Menos adecuado" (S2) el 0.1% (1.18 km^2) "Inadecuado" (S1) y el 12.43% (132.49 km^2) se restringió, para un relleno sanitario. Así mismo, se identificaron 8 sitios "Muy adecuado" (S4) con un área mínima (≥3.39 ha), de estos 7 cumplen los requisitos de forma de acuerdo al índice de compacidad (Kc). De las 7 áreas se seleccionaron 3 áreas donde su kc se aproxima a 1.75, convenientemente para el funcionamiento del relleno hasta 2042. De los 7 distritos que abarca la mancomunidad del Alto Utcubamba, el distrito de Montevideo es el que más áreas idóneas contiene (5 áreas)

Este estudio proporciona una base científica para la MAU utilizando un análisis de idoneidad basado en criterios múltiples. Asimismo, la técnica aplicada AHP-SIG puede adecuarse al grado de influencia y el nivel de riesgo ponderado en los procesos de toma de decisiones para optimizar su adecuación a futuro. Además, este estudio demuestra que es factible utilizar el método de análisis de idoneidad para una amplia gama de problemas y entornos del mundo real, no solo para relleno sanitarios y problemas de gestión de desechos, sino también en una amplia gama de otras situaciones. Finalmente, se recomienda que, para elegir los sitios más apropiados para establecer un posible relleno sanitario, los hallazgos del estudio deben contrastarse con estudios de campo. Sería necesario realizar algunos estudios de campo complementarios en los sitios, incluidas investigaciones de campo de las características geológicas y geotécnicas, como determinar los materiales de préstamo apropiados como evaluar la permeabilidad de las unidades mediante experimentos de campo, revestimiento del RS, análisis hidrogeológicos para la protección de las aguas superficiales. así como aguas subterráneas (incluidos los lixiviados), derechos de propiedad, análisis de las características de discontinuidades en el relleno sanitario elegido (p. ej., dirección de buzamiento, apertura y presentación de conjuntos, etc.), entre otros.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelouhed, F., Ahmed, A., Abdellah, A., Yassine, B., & Mohammed, I. (2022). GIS and remote sensing coupled with analytical hierarchy process (AHP) for the selection of appropriate sites for landfills: a case study in the province of Ouarzazate, Morocco. *Journal of Engineering and Applied Science*, *69*(1), 1–23. https://doi.org/10.1186/s44147-021-00063-3

Abdulhasan, M. J., Hanafiah, M. M., Satchet, M. S., Abdulaali, H. S., Toriman, M. E., & Al-Raad, A. A. (2019). Combining gis, fuzzy logic, and ahp models for solid waste disposal site selection in Nasiriyah, Iraq. *Applied Ecology and Environmental Research*, *17*(3), 6701–6722. https://doi.org/10.15666/aeer/1703_67016722

Adeola, I., Atherton, W., Hashim, K., Kot, P., Alkhaddar, R., Ibitayo, B., & Shaw, A. (2019). An analyses of the status of landfill classification systems in developing countries : Sub Saharan Africa landfill experiences. *Waste Management*, *87*, 761–771. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.011

Aderoju, O. M., Dias, G. A., & Gonçalves, A. J. (2018). A GIS-based analysis for sanitary landfill sites in Abuja, Nigeria. *Environment, Development and Sustainability*, *22*(1), 551–574. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0206-z

Adewumi, J. R., Ejeh, O. J., Lasisi, K. H., & Ajibade, F. O. (2019). A GIS–AHP-based approach in siting MSW landfills in Lokoja, Nigeria. *SN Applied Sciences*, *1*(12). https://doi.org/10.1007/s42452-019-1500-6

Adúriz, M. A., Gargano, A. O., Chimeno, P., Saldungaray, M. C., & Conti, V. . (2003). Caracterización de los agrosistemas predominantes de la cuenca alta del río sauce grande. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, *32*(3), 3–25.

Afzali, A., Samani, J. M., & Rashid, M. (2011). Munucipal landfill site selection for Isfahan city by use of fuzzy logic anda analitic hierarchy process. *Iran. J. Environ. Health*, *8*(3), 274–284.

Ahire, V., Behera, D. K., Saxena, M. R., Patil, S., Endait, M., & Poduri, H. (2022). Potential landfill site suitability study for environmental sustainability using GIS-based multi-criteria techniques for nashik and environs. *Environmental Earth Sciences*, *81*(6), 0–15. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10295-y

Ajibade, F. O., Olajire, O. O., Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Lasisi, K. H., Alo, A. B.,

… Adewumi, J. R. (2019). Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*, *3–4*, 100010. https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100010

Ajim, S., & Ateeque, A. (2020). Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technique. *Environmental Earth Sciences*. https://doi.org/10.1007/s12665-020-08970-z

Al-Anbari, Mohammad A., Thameer, M. Y., & Al-Ansari, N. (2018). Landfill site selection by weighted overlay technique: Case study of Al-Kufa, Iraq. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(4), 1–11. https://doi.org/10.3390/su10040999

Al-Anbari, Mohammad Ali, Thameer, M. Y., Al-Ansari, N., & Knutsson, S. (2016). Landfill Site Selection in Al-Najaf Governorate, Iraq. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, (July). https://doi.org/10.17265/1934-7359/2016.06.003

Alanbari, M. A., Al-ansari, N., Jasim, H. K., & Knutsson, S. (2014). Modeling Landfill Suitability Based on GIS and Multicriteria Decision Analysis : Case Study in Al-Mahaweelqadaa. *Sicentific Research*, (July), 828–851.

Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Jaafarzadeh, N., & Hosseinzadeh, M. (2013). Municipal solid waste landfill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: A case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management and Research*, *31*(1), 98–105. https://doi.org/10.1177/0734242X12456092

Ali, S. A. (2018). Status of solid waste generation and management practice in Kolkata municipal corporation , West Bengal, (October). https://doi.org/10.6088/ijes.6112

Ali, S. A., Parvin, F., Al-Ansari, N., Pham, Q. B., Ahmad, A., Raj, M. S., … Thai, V. N. (2021). Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: a case study of Memari Municipality, India. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(6), 7528–7550. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11004-7

Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., & Laue, J. (2020). Landfill Site Selection Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making AHP and SAW Methods: A Case Study in Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Engineering*, *12*(04), 254–268. https://doi.org/10.4236/eng.2020.124021

Alrukaibi, D., & Alsulaili, A. (2017). GIS-based modeling for appropriate selection of landfill sites. *Journal of Engg. Research*, (June).

Alsarayreh, H. K., & Alsarayreh, D. W. (2021). Assessment and Suitability Study of Landfills in Jordan, Al-karak Using Geographic Information Systems (GIS). *International Journal of Geoinformatics*, *17*(3), 61–80. https://doi.org/10.52939/ijg.v17i3.1899

André, F. J., & Cerdá, E. (2015). Gestión de residuos sólidos urbanos : análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos Económicos de ICE*, (September).

Arisman, C. J., Johansen, C. T., Galuppo, W. C., & Mcphail, A. (2013). Nitric Oxide Chemistry Effects in Hypersonic Boundary Layers. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, 1–21.

Asefa, B., & Mindahun, W. (2020). Suitable Solid Waste Disposal Site Selection Using Geographical Information System: A Case of Debre Markos Town, Ethiopia. *Journal of Environment and Earth Science*, (May). https://doi.org/10.7176/jees/10-8-03

Asefi, H., Zhang, Y., Lim, S., & Maghrebi, M. (2020). An integrated approach to suitability assessment of municipal solid waste landfills in New South Wales, Australia. *Australasian Journal of Environmental Management*, *27*(1), 63–83. https://doi.org/10.1080/14486563.2020.1719438

Ayaim, M. K., Fei-Baffoe, B., Sulemana, A., Miezah, K., & Adams, F. (2019). Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana. *Heliyon*, *5*(10), e02537. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02537

Balla, D., Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., & Mester, T. (2020). Geovisualization techniques of spatial environmental data using different visualization tools. *Applied Sciences (Switzerland)*, *10*(19), 1–15. https://doi.org/10.3390/APP10196701

Barakat, A., Hilali, A., Baghdadi, M. El, & Touhami, F. (2017). Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, *76*(12), 1–13. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6757-8

Barakat, A., Hilali, A., El, M., & Fatima, B. (2017). Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation ´ ni Mellal-Khouribga Region , technique . A case study in Be. *Environmental Earth Sciences*. https://doi.org/10.1007/s12665-017-6757-8

Barzehkar, M., Dinan, N. M., Mazaheri, S., Tayebi, R. M., & Brodie, G. I. (2019). Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, *1*(9), 1–11. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1109-9

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2015). *Situación de la gestión de Residuos Sólidos en América Latina y el Caribe*.

Bilgilioglu, S. S., Gezgin, C., Orhan, O., & Karakus, P. (2021). A GIS-based multi-criteria decision-making method for the selection of potential municipal solid waste disposal sites in Mersin, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(4), 5313–5329. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15859-2

Biluca, J., Rodrigues, C., & Trojan, F. (2020). Sorting of suitable areas for disposal of construction and demolition waste using GIS and ELECTRE TRI. *Waste Management*, *114*, 307–320. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.007

Boggiano, M. L. (2021). Diagnóstico y caracterización de los residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Trujillo – Perú, 2019-2020. *Ciencia y Tecnología*, *17*(3), 61–72. https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2021.03.05

Bouroumine, Y., Bahi, L., Ouadif, L., Elhachmi, D., & Ait Errouhi, A. (2020). Sitting MSW landfill combining GIS and analytic hierarchy process (AHP), case study: Ajdir, Morocco. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, *11*(5), 318–328. https://doi.org/10.34218/IJARET.11.5.2020.033

Bustamante, C. (2012). Diagnóstico Ambiental Local de la Provincia de Luya – Lámud, 1–63.

Chabuk, A., Al-ansari, N., Pusch, R., & Laue, J. (2017). Combining GIS Applications and Method of Multi-Criteria Decision-Making (AHP) for Landfill Siting in Al-Hashimiyah Qadhaa , Babylon , Iraq. *Sustainability*. https://doi.org/10.3390/su9111932

Cobos, S., Solano, J., Vera, A. &, & Monge, J. (2017). Análisis multicriterio basado en

GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay. *Confibsig*, 12. Retrieved from http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/48

Damasceno, I., Ennes Cicerelli, R., de Almeida, T., Zandonadi Moura, L., & Contreras, F. (2019). Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy for the Brazilian municipalities in the State of Amazonas. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(1), 13. https://doi.org/10.1007/s10661-018-7146-9

Demesouka, O. E., Anagnostopoulos, K. P., & Siskos, E. (2019). Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. *European Journal of Operational Research*, *272*(2), 574–586. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.005

Djunaidi, M., Angga, & Setiawan, E. (2018). Disposal Site Selection Using TOPSIS in Wonogiri District Central Java. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, *24*(12), 9113–9117. https://doi.org/10.1166/asl.2018.12104

Dolui, S., & Sarkar, S. (2021). Identifying potential landfill sites using multicriteria evaluation modeling and GIS techniques for Kharagpur city of West Bengal, India. *Environmental Challenges*, *5*(August), 100243. https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100243

Dong, T. T. T., & Lee, B. (2009). Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea. *Waste Management*, *29*(5), 1725–1731. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.022

Eastman, J. R. (2003). IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. *Manual Version 14.00 Clark University Worcenter*, (April).

Eghtesadifard, M., Afkhami, P., & Bazyar, A. (2020). An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-Means and multi-criteria decision analysis. *Environmental Research*, *185*. https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109348

Ersoy, H., & Bulut, F. (2009). Spatial and multi-criteria decision analysis-based methodology for landfill site selection in growing urban regions. *Waste Management and Research*, *27*(5), 489–500. https://doi.org/10.1177/0734242X08098430

Ersoy, H., Bulut, F., & Berkün, M. (2013). Landfill site requirements on the rock environment: A case study. *Engineering Geology*, *154*(December 2017), 20–35. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.12.005

Ferronato, N., Torretta, V., Ragazzi, M., & Rada, E. (2017). Waste mismanagement in developing countries: A case study of environmental contamination. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering*, *79*(3), 185–196.

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *37*(12), 4302–4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, *24*(1), 38–49.

Gbanie, S. P., Tengbe, P. B., Momoh, J. S., Medo, J., & Kabba, V. (2013). Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): Case study Bo, Southern Sierra Leone. *Applied Geography*, *36*, 3–12. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.06.013

Gemitzi, A., Tsihrintzis, V. A., Voudrias, E., Petalas, C., & Stravodimos, G. (2007). Combining geographic information system, multicriteria evaluation techniques and fuzzy logic in siting MSW landfills. *Environmental Geology*, *51*(5), 797–811. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0359-1

Giménez, M., & Cardozo, C. (2012). Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitanta del Alto Paraná. *VII Congreso de Medio Ambiente*, 20.

Gómez, H., Cruz, C., Dávila, R., Velasco, F., & Chapa, J. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, *32*(3), 514–526.

Hafezi Moghaddas, N., & Hajizadeh Namaghi, H. (2011). Hazardous waste landfill site selection in khorasan razavi province northeastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, *4*(1–2), 103–113. https://doi.org/10.1007/s12517-009-0083-8

Hazra, T., & Goel, S. (2009). Solid waste management in Kolkata , India : Practices and challenges. *Waste Management*, *29*(1), 470–478. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.023

Hengl, T., Jesus, J. M. De, Heuvelink, G. B. M., Ruiperez, M., Kilibarda, M., Blagoti, A., … Kempen, B. (2017). SoilGrids250m : Global gridded soil information based on machine learning. *RESEARCH ARTICLE*, 1–40. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748

Hoque, M., & Ur, M. T. (2020). Land fi ll area estimation based on solid waste collection prediction using ANN model and fi nal waste disposal options. *Journal of Cleaner Production*, *256*, 120387. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120387

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2017a). *Perfil Sociodemográfico*.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). (2017b). *Perú: Crecimineto y distribución de la población total, 2017*.

Isalou, A. A., Zamani, V., Shahmoradi, B., & Alizadeh, H. (2013). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environ Earth Sci*, 1745–1755. https://doi.org/10.1007/s12665-012-1865-y

Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *11*(4), 909–926. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0

Jamshidi, A., & Rezaei, M. (2017). Landfill site selection using combination of fuzzy logic and multi-attribute decision-making approach. *Environmental Earth Sciences*, *76*(13). https://doi.org/10.1007/s12665-017-6774-7

Jaramillo, J. (2003). *Guidelines for the Design, Construccction and Operation of Manual Sanitary Landfills a solution for the final disposal of municipal solid wastes in small Communities*. Retrieved from file:///C:/Users/leinny/Downloads/a85640.pdf

Javaheri, H., Nasrabadi, T., & Jafarian, H. (2006). Site Selection of Municipal Solid Waste Landfills Using Analytical Hierarchy Process Method in a Geographical Information Technology Environment in Giroft. *Iranian Journal of Environmental*

Health Science & Engineering, *3*(3), 177–184.

Jevremovic, D., Abolmasov, B., & Djokanovic, S. (2016). GIS application for landfill site selection : a case study in Panc Serbia. *Bull Eng Geol Environ*. https://doi.org/10.1007/s10064-016-0888-0

Jothimani, M., Geberslasie, A., & Duraisamy, R. (2021). Suitable Sites Identification for Solid Waste Disposal Using Geographic Information System and Analytical Hierarchy Process Method in Debark Town, Northwestern Ethiopia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *795*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/795/1/012016

Kahraman, C., Cebi, S., Cevik, S., & Oztaysi, B. (2018). Engineering Applications of Artificial Intelligence A novel trapezoidal intuitionistic fuzzy information axiom approach : An application to multicriteria landfill site selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *67*(September 2017), 157–170. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.09.009

Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., & Jutidamrongphan, W. (2019). Municipal solid waste landfill siting using an integrated GIS-AHP approach: A case study from Songkhla, Thailand. *Resources, Conservation and Recycling*, *149*(April 2020), 220–235. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027

Karabulut, A. İ., Yazici-karabulut, B., Derin, P., Yesilnacar, M. I., & Cullu, M. A. (2021). Landfill siting for municipal solid waste using remote sensing and geographic information system integrated analytic hierarchy process and simple additive weighting methods from the point of view of a fast-growing metropolitan area in GAP area of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*.

Karagüzel, R., Şener, Ş., & Sener, E. (2010). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: A case study in Senirkent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, *173*(1–4), 533–554. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1403-x

Kareem, S. L., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., Al-Dulaimi, M. Q., & Al-Ansari, N. (2021). Optimum location for landfills landfill site selection using GIS technique: Al-Naja city as a case study. *Cogent Engineering*, *8*(1), 18. https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1863171

Karimi, H., Amiri, S., Huang, J., & Karimi, A. (2019). Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*(11), 7305–7318. https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7

Kazuva, E., Zhang, J., Tong, Z., Liu, X. P., Memon, S., & Mhache, E. (2021). GIS- and MCD-based suitability assessment for optimized location of solid waste landfills in Dar es Salaam, Tanzania. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(9), 11259–11278. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11213-0

Khan, D., & Samadder, S. R. (2015). A simplified multi-criteria evaluation model for landfill site ranking and selection based on AHP and GIS. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, *23*(4), 267–278. https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1056741

Khorsandi, H., Faramarzi, A., Aghapour, A. A., & Jafari, S. J. (2019). Landfill site selection via integrating multi-criteria decision techniques with geographic information systems: a case study in Naqadeh, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, *191*(12). https://doi.org/10.1007/s10661-019-7863-8

Kirimi, F., & Waithaka, H. (2012). Determination of Suitable Landfill Site Using Geospatial Techniques and Multi-Criterion Decision Analysis: A Case Study of Nakuru Town, Kenya. *International Journal of Science and Research*, *3*(11), 500–505.

Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste Management*, *25*, 818–832. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002

Lawínska, O., Korombel, A., & Zajemska, M. (2022). Pyrolysis-Based Municipal Solid Waste Management in. *Energies*.

Liikanen, M., Havukainen, J., Viana, E., & Horttanainen, M. (2018). Steps towards more environmentally sustainable municipal solid ~ o Paulo , Brazil waste management e A life cycle assessment study of S a. *Journal of Cleaner Production*, *196*, 150–162. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.005

Logan, T. A., Nicoll, J., Laurencelle, J., Hogenson, K., Gens, R., & Buechler, B. (2014). Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR Data Available from the Alaska

Satellite Facility - NASA/ADS. Retrieved April 25, 2021, from https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014AGUFMIN33B3762L/abstract

Malczewski, J. (1997). Propagation of errors in multicriteria location analysis: a case study. *Fandel G, Gal T (Eds.) Multiple Criteria Deci- Sion Making*.

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*.

Manyoma, P. C., Vidal, C. J., & Torres-Lozada, P. (2020). Methodology for locating regional landfills using multi-criteria decision analysis techniques. *Journal Homepage*, *7*(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1776451

MEF (Ministerio de Economía y Finanzas); MINAM (Ministerio del Ambiente). (2020). Guía para el cumplimiento de la Meta 3 del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal 2020 (TIPO A). *Implementación de Un Sistema Integrado de Manejo de Residuos Sólidos Municipales*, 1–44.

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2008). Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. https://doi.org/ps://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos.

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2016). *Plan Nacional De Gestión Integral de Residuos Sólidos*. *Ministerio del Ambiente*. Retrieved from https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/IMPRIMIR-PLANRES-2016-2024-25-07-16.pdf

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *Diario Oficial El Peruano*, 32. Retrieved from https://sinia.minam.gob.pe/normas/reglamento-decreto-legislativo-ndeg-1278-decreto-legislativo-que-aprueba

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2019). infraestructuras de disposición final de residuos sólidos: Listado de rellenos sanitarios.

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2021a). Guia para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de dispocisión final de residuos sólidos municipales.

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2021b). Listado de Rellenos Sanitarios.

MINAM (Ministerio del Ambiente). (2021c). Resolución Ministerial N° 165-2021-MINAM.

MINEDU (Ministerio de Educación). (2020). Descarga de información espacial del Ministerio de Educación. Retrieved July 10, 2020, from http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/

Moeinaddini, M., Khorasani, N., & Danehkar, A. (2010). Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study : Karaj). *Waste Management*, *30*(5), 912–920. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.015

Mohamad, A. P., Mochammad, M. U., Muhammad, N. A., Novra, Y., Syawal, B. F., & Hari, S. (2022). Utilization of QGIS Cloud for Mapping Accident-Prone areas in Cirebon City. *Central Asia and The Caucasus*, *23*(1), 4770–4778.

Mohammed, H. I., Majid, Z., Yamusa, Y. B., Mohd Ariff, M. F., Idris, K. M., & Darwin, N. (2019). Sanitary Landfill Siting Using GIS and AHP: A Case Study in Johor Bahru, Malaysia. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *9*(3), 4100–4104. https://doi.org/10.48084/etasr.2633

Mohammed, Habiba I, Majid, Z., & Yamusa, Y. B. (2019). GIS based sanitary landfill suitability analysis for sustainable solid waste disposal GIS based sanitary landfill suitability analysis for sustainable solid waste disposal. https://doi.org/10.1088/1755-1315/220/1/012056

Mohammedshum, A. ., Gebresilassie, M. ., Rulinda, C. ., Kahsay, G. ., & Tesfay, M. . (2014). Aprication of Geograohic Information System and Remotesensing in effective solid waste disposan sites selection in Wukro Town, Tigray, Ethiopia. *ISPRS Technical Commission II Symposium*, *XL*(October), 6–8. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-115-2014

Mohd, M. Z., Mohamad, I. I., Maslinda Chek, O., & Mohd, M. B. (2014). Integrating and Utilizing AHP and GIS for Landfill Site Selection. *Applied Mechanics and Materials*, *773–774*(March 2015), 100–104. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.773-774.100

Mortazavi, M., Mohebbi Tafreshi, A., & Mohebbi Tafreshi, G. (2019). Utilizing GIS linked to AHP for landfill site selection in Rudbar County of Iran. *GeoJournal*, *8*.

https://doi.org/10.1007/s10708-019-10064-8

MPCH (Municipalidad Provincial de Chachapoyas). (2016). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Chachapoyas, 60.

MTC (Ministerio de Trasmportes y Comunicaciones). (2021). Descarga de Datos Espaciales-Transporte Terrestre por Carretera. Retrieved April 23, 2021, from https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html

Musana, F., Rucamumihigo, F., Nirere, D., & Mbaraka, S. (2020). Growth and yield performance of common bean (Phaseolus Vulgaris l.) as influenced by plant density at Nyagatare, East Rwanda. *African Journal Og Food, Agriculture, Nutrition Anf Development*, *20*(4), 16249–16261.

Mustafa, F. B., & Bwadi, B. E. (2018). Determination of Optimal Freshwater Prawn Farming Site Locations using GIS and Multicriteria Evaluation. *Journal of Coastal Research*, *82*, 41–54. https://doi.org/10.2112/SI82-006.1

Najjari, A., & Shayesteh, K. (2019). Site Selection for Hazardous Waste Using Fuzzy Logic Combined With Analytic Hierarchy Process : A Case study in Nahavand , Iran. *Hamadan University of Medical Sciences*, *6*(1), 8–15. https://doi.org/10.34172/ajehe.2019.02

Nas, B., Cay, T., Iscan, F., & Berktay, A. (2010). Selection of MSW landfill site for Konya, Turkey using GIS and multi-criteria evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment*, *160*(1–4), 491–500. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0713-8

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). (2018). OEFA identifica 1585 botaderos informales a nivel nacional. Retrieved September 21, 2021, from https://www.oefa.gob.pe/oefa-identifica-1585-botaderos-informales-nivel-nacional/ocac07/

Ohri, A., & Singh, P. K. (2013). GIS based environmental decision support system for municipal landfill site selection. *Management of Environmental Quality An International*, (September 2015). https://doi.org/10.1108/MEQ-08-2012-0056

ONU. (2017). Aumenta la generación de basuras en Latinoamérica y el Caribe. Retrieved May 14, 2021, from https://www.aa.com.tr/es/mundo/onu-aumenta-la-generación-de-basuras-en-latinoamérica-y-el-caribe/974785

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2017). La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030 | ONU DAES | Naciones Unidas Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Retrieved May 10, 2020, from https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html

ONU (Organización de las Naciones Unidas). (2021). Perspectivas de la Población Mundial. *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Población. Nueva York, Estados Unidos: ONU*, *1*, 1–4. Retrieved from https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf

Orhan, O. (2021). Land suitability determination for citrus cultivation using a GIS-based multi-criteria analysis in Mersin, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, *190*(September), 106433. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106433

Palacios, I. (2018). Relleno Sanitario En La Ciudad De Macas , a Través De La Ponderación De Sus Variables Con El Proceso. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, *III*(3), 83–94.

Pan, C., Tsun, K., & Ng, W. (2019). An integrated multivariate statistical approach for the evaluation of spatial variations in groundwater quality near an unlined landfill. *Environmental Science and Pollution Research*, (i).

Paredes, E. (2013). *Identificacion de áreas óptimas para relleno sanitario para residuos solidos de la ciudad de Sandía en Puno*. *Universidad Nacional del Altiplano*.

Pasalari, H., Farzadkia, M., Gholami, M., & Emamjomeh, M. M. (2019). Management of landfill leachate in Iran : valorization , characteristics , and environmental approaches. *Environmental Chemistry Letters*, *17*(1), 335–348. https://doi.org/10.1007/s10311-018-0804-x

Pasalari, H., Nodehi, R., Mahvi, A. H., Yaghmaeian, K., & Charrahi, Z. (2019). Landfill site selection using a hybrid system of AHP-Fuzzy in GIS environment: A case study in Shiraz city, Iran. *MethodsX*, *6*, 1454–1466. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.06.009

Prieto, J., Pinedo, A., Carlos, M., Valles, M., Ávares, A., & Villarreal, F. (2021). A regional gis-assisted multi-criteria evaluation of site-suitability for the development of solar farms. *Land*, *10*(2), 1–19. https://doi.org/10.3390/land10020217

Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., … Pei, S. (2017). Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of Thuja sutchuenensis Franch ., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, *10*, 130–139. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.02.004

Qureshi, S., Shorabeh, S. N., Samany, N. N., & Minaei, F. (2021). A New Integrated Approach for Municipal Landfill Siting Based on Urban Physical Growth Prediction : A Case Study Mashhad Metropolis in Iran.

Rahmat, Z. G., Niri, M. V., Alavi, N., Goudarzi, G., Babaei, A. A., Baboli, Z., & Hosseinzadeh, M. (2017). Landfill site selection using GIS and AHP: a case study: Behbahan, Iran. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *21*(1), 111–118. https://doi.org/10.1007/s12205-016-0296-9

Randazzo, L., Cusumano, A., Oliveri, G., Stefano, P. Di, Renda, P., Perricone, M., & Zarcone, G. (2018). Landfill site selection for municipal solid waste by using AHP method in GIS Envi-ronment : Waste management decision-support in Sicily (Italy). *Multidiciplinary Journal for Waste Resources y Residues*, *02*, 78–88.

Redjem, A., Benyahia, A., Dougha, M., Nouibat, B., Hasbaia, M., & Ozer □□, A. (2021). Combining the Analytic Hierarchy Process With Gis for Landfill Site Selection: the Case of the Municipality of M'Sila, Algeria. *Rev. Roum. Géogr./Rom. Journ. Geogr*, *65*(2), 171–186.

Reis, S., Yalcin, A., Atasoy, M., Nisanci, R., Bayrak, T., Erduran, M., … Ekercin, S. (2012). Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). *Environ Earth Sci*, 11. https://doi.org/10.1007/s12665-011-1432-y

Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A., & Zohourian, B. (2020). Landfill site selection using multi criteria decision making: Focus on influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*. https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.02.030

Rodas, L. C. (2019). *Localización de un relleno sanitario en el Cantón Naranjál, mediante Proceso de Análisis Jerárquico basados en Sistemas de Información Geográfica*. *Universidad de Guayaquil*.

Russo, R., & Camanho, R. (2015). Criteria in AHP : a Systematic Review of Literature.

Procedia Computer Science, *55*, 1123–1132. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081

Saaty, R. W. (1987). THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT AND HOW IT IS USED. *Mathl Modelling*, *9*(3–5), 161–176.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, *15*(3), 234–281. https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5

Saaty, T. L. (2000). Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. *RWS Publications, Pittsburgh*.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, *20*(03). https://doi.org/10.5860/choice.44-1347

Samah, M. A., Manaf, L. A., Aris, A. Z., & Sulaiman, W. N. (2011). Solid Waste Management : Analytical Hierarchy Process (AHP) Ppplication of Selecting Treatment Technology in Sepang Municipal Council , Malaysia. *Current World Environment*, *6*(1), 1–16.

Santhosh, L. G., & Sivakumar, G. L. (2018). Landfill site selection based on reliability concepts using the DRASTIC method and AHP integrated with GIS – a case study of Bengaluru city, India. *Georisk*, *0*(0), 1–19. https://doi.org/10.1080/17499518.2018.1434548

Sarkar, S. K., Ansar, S. Bin, Ekram, K. M. M., Khan, M. H., Talukdar, S., Naikoo, M. W., … Mosavi, A. (2022). Developing Robust Flood Susceptibility Model with Small Numbers of Parameters in Highly Fertile Regions of Northwest Bangladesh for Sustainable Flood and Agriculture Management. *Sustainability*, *14*(7), 3982. https://doi.org/10.3390/su14073982

Sener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology*, *49*(3), 376–388. https://doi.org/10.1007/s00254-005-0075-2

Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste Management*, *30*(11), 2037–2046.

https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.024

SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado). (2021). Visor de las Áreas Naturales Protegidas. Retrieved April 22, 2021, from http://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/

Shahabi, H., Keihanfard, S., Ahmad, B. Bin, Javad, M., & Amiri, T. (2014). Evaluating Boolean , AHP and WLC methods for the selection of waste landfill sites using GIS and satellite images. *Environ Earth Sci*, 4221–4233. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2816-y

Silva López, J. O., Salas López, R., Rojas Briceño, N. B., Gómez Fernández, D., Terrones Murga, R. E., Iliquín Trigoso, D., … Barrena Gurbillón, M. Á. (2022). Analytic Hierarchy Process (AHP) for a Landfill Site Selection in Chachapoyas and Huancas (NW Peru): Modeling in a GIS-RS Environment. *Advances in Civil Engineering*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/9733322

Silveira, J., & Gonçalves, A. (2007). Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete-RS. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)), 5491–5498.

Sisay, G., Gebre, S. L., & Getahun, K. (2020). GIS-based potential landfill site selection using MCDM-AHP modeling of Gondar Town, Ethiopia. *African Geographical Review*, *00*(00), 1–20. https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1770105

Soltani, A., Hewage, K., Reza, B., & Sadiq, R. (2015). Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: A review. *Waste Management*, *35*, 318–328. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.010

Spigolon, L. M. G., Giannotti, M., Larocca, A. P., Russo, M. A. T., & Souza, N. da C. (2018). Landfill siting based on optimisation, multiple decision analysis, and geographic information system analyses. *Waste Management and Research*, *36*(7), 606–615. https://doi.org/10.1177/0734242X18773538

Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood Susceptibility Mapping through the GIS-AHP Technique Using the Cloud. *International Journal of Geo-Information*. https://doi.org/doi:10.3390/ijgi9120720

Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, *240*(4857), 1285–1293. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/1701052?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

Tercan, E., Ali, M., & Serkan, D. (2020). A GIS - based multi - criteria evaluation for MSW landfill site selection in Antalya , Burdur , Isparta planning zone in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 1–17. https://doi.org/10.1007/s12665-020-08974-9

Tien Bui, D., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., & Dick, O. B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. *Computers and Geosciences*, *45*, 199–211. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.10.031

Uyan, M. (2013). MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya , Turkey. *Environ Earth Sci*. https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9

Vargas, G., Valdez, R. D., Armando, L., Flores, A., & Hern, N. S. (2020). Current and Future Potential Distribution of the Xerophytic Shrub Candelilla (Euphorbia antisyphilitica) under Two Climate Change Scenarios. *Forests*. https://doi.org/doi:10.3390/f11050530

Vasquez, D. (2020). *Informe N° 024-2020-GOB.REG.AMAZONAS/U.E.PROAMAZONAS/DOVP*.

WBG (World Bank Group). (2020). What a Waste 2.0. A global Snapshot of Solid Waste Mana- gement to 2050. Retrieved October 15, 2020, from https://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/978-1-4648-1329-0

Yal, G., & Akgun, H. (2013). Landfill Site Selection and Landfill Liner Design for Ankara , Turkey. *Environmental Earth Sciences*, (2016). https://doi.org/10.1007/s12665-013-2334-y

Yesilnacar, E. (2005). *The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey*. Department of Geomatics the University of Melbourne.

Yılmaz, A., & Atmaca, E. (2006). Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: A case study in Sivas, Turkey. *Environmental Geology*, *50*(5), 677–689. https://doi.org/10.1007/s00254-006-0241-1

VII. ANEXOS

Anexo 2. Matrices originales de expertos

Experto 1

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	A3)
(A1)	1	5	0.25
(A2)	0.2	1	0.11
(A3)	4	9	1
SUMA	5.2	15	1.11

SUB-C Socioeconómico	(S1)	(S2)	(S3)
(S1)	1	4	1/5
(S2)	1/4	1	1/8
(S3)	5	8	1
SUMA	6.25	13	1 1/3

SUB-C Físico	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/7	1/8	1/7	1/9	1/8
(F2)	7	1	2	3	2	2
(F3)	8	1/2	1	2	2	3
(F4)	7	1/3	1/2	1	1/4	1/2
(F5)	9	1/2	0.5	4	1	3
(F6)	8	1/2	0.33333333	2	1/3	1
SUMA	40	3	4 1/2	12 1/7	5 2/3	9 5/8

Criterios	(A)	(S)	(F)
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 2

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	(A3)
(A1)	1	3	1/2
(A2)	1/3	1	1/3
(A3)	2	3	1
SUMA	3.333333333	7	1 5/6

SUB-C Socioeconómico	(S1)	(S2)	(S3)
(S1)	1	1/4	3
(S2)	4	1	8
(S3)	1/3	1/8	1
SUMA	5.33333333	1.375	12

SUB-C Físico	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/4	1/9	1/7	1/8	1/4
(F2)	4	1	3	3	2	6
(F3)	9	0.33333333	1	2	1/2	2
(F4)	7	0.33333333	1/2	1	1/5	2
(F5)	8	1/2	2	5	1	4
(F6)	4	1/6	0.5	0.5	0.25	1
SUMA	33	2 4/7	7.11111111	11 2/3	4.075	15.25

Criterios	(A)	(S)	(F)
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 3

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	(A3)
(A1)	1	1/4	1/3
(A2)	4	1	3
(A3)	3	1/3	1
SUMA	8	1.58333333	4.33333333

SUB-C Socioeconómico	(F1)	(F2)	(F3)
(F1)	1	1/8	1/3
(F2)	8	1	5
(F3)	3	1/5	1
SUMA	12	1.325	6.33333333

SUB-C Físico	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/5	1/3	1/3	1/5	1/2

(F2)	5	1	3	4	3	4
(F3)	3	0.33333333	1	3	1/4	3
(F4)	3	0.25	1/3	1	1/3	1/2
(F5)	5	1/3	4	3	1	5
(F6)	2	1/4	0.33333333	2	0.2	1
SUMA	19	2 3/8	9	13 1/3	4.98333333	14

Criterios	**(A)**	**(S)**	**(F)**
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 4

SUB-C Ambiental	**(A1)**	**(A2)**	**(A3)**
(A1)	1	5	1/3
(A2)	1/5	1	1/8
(A3)	3	8	1
SUMA	4.2	14	1.45833333

SUB-C Socioeconómico	**(S1)**	**(S2)**	**(S3)**
(S1)	1	8	4
(S2)	1/8	1	1/4
(S3)	0.25	4	1
SUMA	1.375	13	5.25

SUB-C (F)	**(F1)**	**(F2)**	**(F3)**	**(F4)**	**(F5)**	**(F6)**
(F1)	1	4	2	1/2	6	6
(F2)	1/4	1	1/4	1/5	3	3
(F3)	0.5	4	1	2	3	8
(F4)	2	5	0.5	1	8	7
(F5)	0.16666667	1/3	0.33333333	0.125	1	3
(F6)	0.16666667	1/3	0.125	0.14285714	0.33333333	1
SUMA	4.08333333	14 2/3	4.20833333	4	21.3333333	28

Criterios	**(A)**	**(S)**	**(F)**
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1

SUMA	2	5	3 1/2

Experto 5

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	(A3)
(A1)	1	2	1/2
(A2)	1/2	1	1/2
(A3)	2	2	1
SUMA	3.5	5	2

SUB-C Socioeconómico	(S1)	(S2)	(S3)
(S1)	1	1/5	3
(S2)	5	1	8
(S3)	0.33333333	1/8	1
SUMA	6.33333333	1.325	12

SUB-C Físicos	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/5	1/3	1/2	1/7	1/6
(F2)	5	1	2	3	2	2
(F3)	3	0.5	1	2	2	1/3
(F4)	2	0.33333333	0.5	1	1/5	1/3
(F5)	7	1/2	0.5	5	1	2
(F6)	6	1/2	3	3	0.5	1
SUMA	24	3	7.33333333	14 1/2	5.84285714	5.83333333

Criterios	(A)	(S)	(F)
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 6

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	(A3)
(A1)	1	7	5
(A2)	1/7	1	1/3
(A3)	1/5	3	1
SUMA	1.342857143	11	6.33333333

SUB-C Socioeconómico	(S1)	(S2)	(S3)

(S1)	1	1/8	1/5
(S2)	8	1	3
(S3)	5	1/3	1
SUMA	14	1.45833333	4.2

SUB-C Físicos	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/4	1/5	1/2	1/6	1/4
(F2)	4	1	3	4	2	8
(F3)	5	0.33333333	1	4	1/2	5
(F4)	2	1/4	1/4	1	1/3	2
(F5)	6	1/2	2	3	1	5
(F6)	4	1/8	0.2	0.5	0.2	1
SUMA	22	2 1/2	6.65	13	4.2	21.25

Criterios	(A)	(S)	(F)
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 7

SUB-C Ambiental	(A1)	(A2)	(A3)
(A1)	1	4	1/4
(A2)	1/4	1	1/6
(A3)	4	4	1
SUMA	5.25	9	1.41666667

SUB-C Socioeconómico	(S1)	(F2)	(F3)
(S1)	1	1/6	1/4
(S2)	6	1	3
(S3)	4	1/3	1
SUMA	11	1.5	4.25

SUB-C Físicos	(F1)	(F2)	(F3)	(F4)	(F5)	(F6)
(F1)	1	1/5	1/4	2	1/3	1/6
(F2)	5	1	1/4	4	3	1/3
(F3)	4	4	1	6	4	3
(F4)	0.5	1/4	1/6	1	1/3	1/6

(F5)	3	1/3	0.25	3	1	1/4
(F6)	6	3	0.33333333	6	4	1
SUMA	19.5	8 7/9	2.25	22	12.6666667	4.91666667

Criterios	**(A)**	**(S)**	**(F)**
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2

Experto 8

SUB-C Ambiental	**(A1)**	**(A2)**	**(A3)**
(A1)	1	3	1/3
(A2)	1/3	1	1/3
(A3)	3	2	1
SUMA	4.333333333	6	1 2/3

SUB-C Socioeconómico	**(S1)**	**(S2)**	**(S3)**
(S1)	1	1/4	3
(S2)	4	1	7
(S3)	1/3	1/7	1
SUMA	5.33333333	1.39285714	11

SUB-C Físico	**(F1)**	**(F2)**	**(F3)**	**(F4)**	**(F5)**	**(F6)**
(F1)	1	1/4	1/5	1/5	1/8	1/8
(F2)	4	1	1/4	1/3	1/7	1/3
(F3)	5	4	1	2	1/3	1/3
(F4)	5	3	1/2	1	1/3	1/3
(F5)	8	7	3	3	1	1/3
(F6)	8	3	3	3	3	1
SUMA	31	18 1/4	7.95	9 1/2	4.93452381	2.45833333

Experto 9

SUB-C Ambiental	**(A1)**	**(A2)**	**(A3)**
(A1)	1	5	7
(A2)	1/5	1	3

(A3)	1/7	1/3	1
SUMA	1.342857143	6.33333333	11

SUB-C Socioeconómico	**(S1)**	**(S2)**	**(S3)**
(S1)	1	1/3	3
(S2)	3	1	4
(S3)	0.33333333	1/4	1
SUMA	4.33333333	1.58333333	8

SUB-C Físico	**(F1)**	**(F2)**	**(F3)**	**(F4)**	**(F5)**	**(F6)**
(F1)	1	1/5	1/3	1/2	1/7	1/6
(F2)	5	1	3	4	1/4	2
(F3)	3	0.33333333	1	2	1/3	1/6
(F4)	2	0.25	0.5	1	1/5	1/3
(F5)	7	4	3	5	1	2
(F6)	6	1/2	6	3	0.5	1
SUMA	24	6 2/7	13.8333333	15 1/2	2.42619048	5.66666667

Criterios	**(A)**	**(S)**	**(F)**
(A)	1	2	2
(S)	1/2	1	1/2
(F)	1/2	2	1
SUMA	2	5	3 1/2