

Áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Chota, Cajamarca

Potential areas for the installation of a sanitary landfill applying multicriteria evaluation in the district of Chota, Cajamarca

José Dany Vásquez Oblitas^{1*}  Yuli Anabel Chávez-Juanito¹  Azucena Chávez Collantes² 
Rosi Yanini Vasquez Cadenillas¹  Leyla Catherine Alarcón Alarcón¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú

² Instituto Nacional de Innovación Agraria, EEA-Baños del Inca, Cajamarca

* Autor de correspondencia [e-mail: jdanyvasquez1@gmail.com]

RESUMEN

En el distrito de Chota, la disposición final de residuos sólidos es inadecuada, actualmente, no cuenta con un relleno sanitario. En ese sentido, el objetivo en este estudio fue identificar áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario a través de la evaluación multicriterio en el distrito de Chota-Cajamarca; se utilizaron herramientas de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica (SIG) para procesar los datos y validar las áreas seleccionadas en campo. Se combinó líneas de ponderación tomando en cuenta la influencia de cada criterio tanto de restricción (pendiente, hidrología, fallas geológicas, distancia a la ciudad de Chota zona urbana y textura de suelos) y exclusión (comunidades campesinas, concesiones mineras y centros arqueológicos) de acuerdo con la normativa vigente, estos criterios fueron procesados en el software ArcGIS 10.8, obteniendo como resultado 5 áreas validadas en campo como alternativas para la instalación de un relleno sanitario (Área 3, Área 4, Área 5, Área 6A y Área 6C) estas áreas tienen 468,25 ha ; 17,59 ha; 171,25 ha ; 18,91 ha y 42,8 ha, superando el área requerida para la infraestructura en el distrito de Chota; se concluye que el distrito de Chota cuenta con 5 áreas potenciales como alternativas para el emplazamiento de un relleno sanitario para realizar una adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales.

Palabras clave: Análisis espacial, disposición final, Sistemas de Información Geográfica (SIG), Restricciones, residuos sólidos municipales.

ABSTRACT

In the Chota district, the final disposal of solid waste is inadequate. Currently, they do not have a landfill. In this sense, the objective of this study was to identify potential areas for the installation of a sanitary landfill through multi-criteria evaluation in the district of Chota-Cajamarca. Multi-criteria evaluation tools and geographic information systems (GIS) were used to process the data and validate the selected areas in the field. Weighting lines were

combined taking into account the influence of each criterion of both restriction (slope, hydrology, geological faults, distance to the city of Chota urban area and soil texture) and exclusion (farming communities, mining concessions and archaeological centers) in accordance with current regulations, these criteria were processed in the ArcGIS 10.8 software, resulting in 5 areas validated in the field as alternatives for the installation of a sanitary landfill (Area 3, Area 4, Area 5, Area 6A and Area 6C) these areas have 468.25 ha; 17.59 ha; 171.25 ha; 18.91 ha and 42.8 ha, exceeding the area required for infrastructure in the district of Chota; it is concluded that the district of Chota has 5 potential areas as alternatives for the location of a sanitary landfill and carrying out an adequate final disposal of municipal solid waste.

Keywords: Spatial analysis, final disposal, Geographic Information Systems (GIS), Restrictions, municipal solid waste.

INTRODUCCIÓN

Los rellenos sanitarios son instalaciones altamente tecnológicas con sistemas de protección ambiental de gran complejidad; en cual se combinan cuatro barreras: ubicación adecuada, diseño de ingeniería sanitaria, libre de residuos peligrosos, y monitoreo de operación a corto y largo plazo. Estas infraestructuras deben ser ubicados en lugares donde los riesgos al medio ambiente y la sociedad sean bajos, incluso si hay un mal diseño, construcción u operación, el riesgo resultante debe ser minimizado (Mihelcic y Zimmerman, 2012).

Para determinar su ubicación, la selección de áreas potenciales se debe realizar con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), son herramientas importantes que ayudan a evaluar y seleccionar los lugares adecuados para la disposición final de residuos sólidos mediante el procesamiento de datos mediante la evaluación multicriterio (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental [AIDIS], 2018).

La evaluación multicriterio es una herramienta muy importante cuando se trabaja con SIG, por ejemplo, con el análisis de capacidad o de aptitud se

pretende encontrar zonas que cumplan con ciertas condiciones para emplazar cualquier infraestructura o para realizar cualquier actividad. Es una herramienta que usa diferentes criterios que están influenciando en la ocurrencia o afectación de cualquier fenómeno, actividad u objeto sobre la superficie terrestre, y que permite cuantificar la medida de manera positiva o negativa (Olaya, 2020).

La evaluación multicriterio sigue un proceso de ponderación, que consiste en la asignación de pesos de acuerdo con su importancia. Estos criterios al final se combinan según las reglas de decisión para obtener las alternativas y tomar decisiones (Del Bosque et al., 2012).

Los criterios de selección del área se encuentran establecidos en la R.M N° 124-2021-MINAM, estos están divididos en restricciones y exclusiones; la cantidad de criterios aplicables dependerá de las características, geográficas, ambientales y socioeconómicas de cada lugar (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2021). En el Perú para el año 2020, de los 1874 distritos, solamente 318 de las municipalidades distritales tienen un relleno sanitario, es decir el 17%. En la

región Cajamarca, de las 127 municipalidades, 19 disponen de estas infraestructuras, representando apenas el 15% (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022).

De otro lado, el distrito de Chota no cuenta con una infraestructura adecuada para la disposición final de residuos sólidos municipales; estos son trasladados a un botadero a tajo abierto y en lugares inapropiados, poniendo en riesgo la calidad ambiental y la salud pública. Por tanto, es indispensable realizar una correcta gestión de los residuos mediante el diseño de ingeniería sanitaria de un relleno. En ese sentido, el objetivo en este estudio fue identificar áreas potenciales

para la instalación de un relleno sanitario a través de la evaluación multicriterio en el distrito de Chota, Cajamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio fue realizado en el distrito de Chota; es uno de los 19 distritos y capital de la provincia que lleva el mismo nombre, pertenece a la región Cajamarca, se encuentra localizado en las coordenadas: $6^{\circ}33'41.77''S$ y $78^{\circ}39'0.81''O$ y a una altitud de 2 399 m.s.n.m. (Figura 1). La temperatura y precipitación pluviométrica promedio anual es de $17,8^{\circ}C$ y 634 mm, respectivamente.

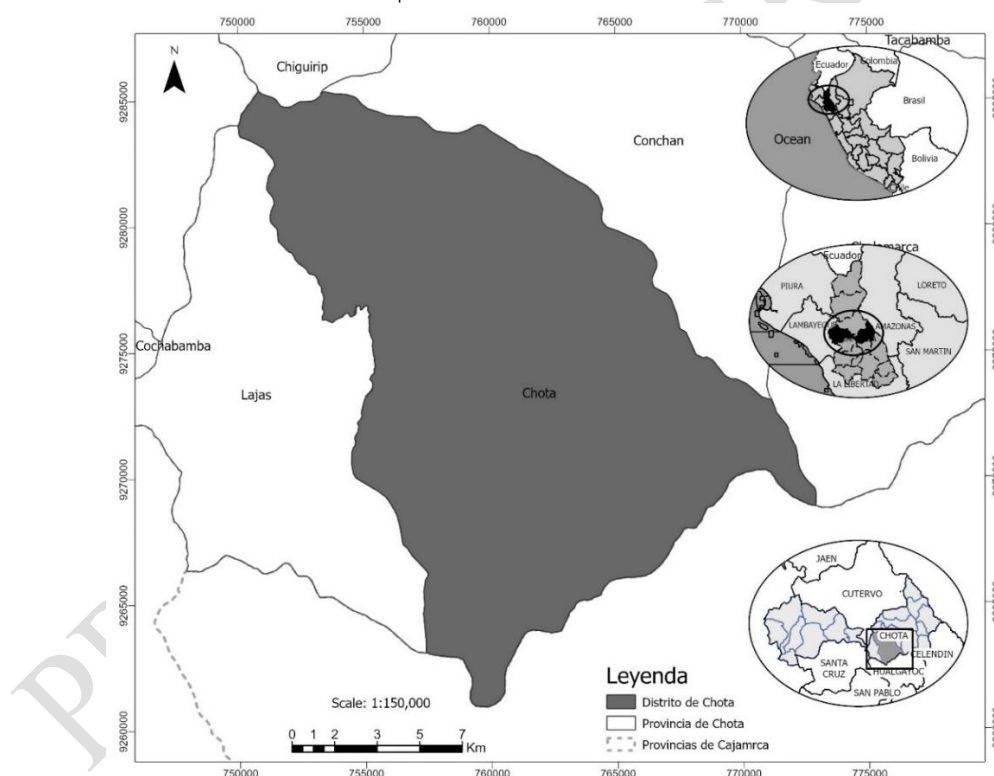


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio para identificar áreas potenciales para instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota.

Tipo y nivel de investigación

Este trabajo es de tipo descriptiva debido a que los resultados fueron obtenidos mediante la evaluación multicriterio teniendo en cuenta los parámetros

establecidos, como: criterios de restricción y exclusión, en la cual para optimizar su evaluación y tener resultados sobre los parámetros establecidos.

Colecta de datos

Se utilizó información espacial obtenidas de las bases de datos como: ZEE-Cajamarca, GEOCATMIN, GeogpsPerú, Copernicus para la descarga del DEM y Earth Explorer para imagen satelital. Previamente, se realizó trabajos de gabinete donde se aplicó la técnica de evaluación multicriterio (EMC) que pueden tomar distintos pasos, como: definición de los criterios, ponderación (asignación de pesos) y determinación de alternativas (Rezaeisabzevar et al., 2020).

Los criterios fueron definidos de acuerdo con lo establecido en la R.M N° 24-2021-MINAM; para los criterios de restricción se consideró los límites para cada variable temática en tres categorías, representadas en tres escalas y cada una de ellas con su respectivo valor para su estandarización (Tabla 1). Para los criterios de exclusión los límites fueron representados en 2 categorías, considerando dos alternativas y cada una de ellas asignadas (Tabla 2).

Tabla 1. Criterios de restricción y su estandarización que son utilizados en la evaluación multicriterio para su análisis espacial.

Criterio	Categoría	Escala	Valor
Pendiente	No apta	> 50 %	0
	Aceptable	25-50%	1
	Óptima	0-25%	2
Hidrología	No apta	<500 m	0
	aceptable	500-1000m	1
	Óptima	>1000m	2
Fallas Geológicas	No apta	<500m	0
	Aceptable	500-1000 m	1
	Óptima	>1000 m	2
Distancia a la Ciudad de Chota (km)	No apta	<1km y >16 km	0
	Aceptable	1 km-2 km	1
	Óptima	2km-16 km	2
Textura de suelos	No apta	Moderadamente gruesa	0
	Aceptable	Media	1
	Óptima	Moderadamente fina	2

Fuente: elaborado basado en el MINAM

Tabla 2. Criterios de exclusión y su estandarización que son utilizados en la evaluación multicriterio para su análisis espacial.

Criterio	Categoría	Descripción	Valor
Patrimonio cultural	Excluyente	Superficie que ocupa	0
	No excluyente	Fuera de la superficie	1
Comunidades campesinas	Excluyente	Superficie que ocupa	0
	No excluyente	Fuera de la superficie	1
Concesiones mineras	Excluyente	Superficie que ocupa	0
	No excluyente	Fuera de la superficie	1

Fuente: elaborado basado en el MINAM

Con el software ArcGIS 10.8 se hizo la espacialización para cada criterio de restricción de acuerdo con la estandarización que se muestra en la Tabla 1, utilizando la herramienta distancia euclidiana, que convierte de un formato de almacenamiento de la información vectorial a ráster de acuerdo con la influencia de cada categoría.

En seguida, con la herramienta Overlay se integró las 5 capas haciendo una superposición y asignando una ponderación del mismo peso o de igual importancia para cada criterio, y para la categoría no apta con valor 0 se definió como restringido; como salida se tuvo una sola capa de restricciones en tres categorías (no apta, aceptable y óptima), donde esta última capa se integró a las tres capas de los criterios de exclusión para categorizar a zonas restringidas.

Además, se realizó un análisis más detallado al calcular el área necesaria según el volumen de residuos sólidos generados y la vida útil estimada de la infraestructura. Esto se basó en las directrices establecidas en la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario. Durante este proceso, se estimaron los residuos generados por la población y se consideró el crecimiento poblacional para determinar el área óptima para ubicar el relleno sanitario. Para este tipo de estudios es fundamental conocer la población existente y la cantidad de residuos sólidos que generan. Además, se debe tener en cuenta que anualmente varía anualmente según la tasa de crecimiento poblacional.

Tomando en cuenta los datos del último censo, el distrito de Chota cuenta con 49 863 habitantes y una tasa de crecimiento

poblacional de 1% (INEI, 2017), además, la producción per cápita (ppc) de residuos sólidos es de 0,4 kg/hab/día (Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos [SIGERSOL], 2018). Utilizando la Ecuación 1, podemos calcular el crecimiento poblacional.

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

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población actual distrito de Chota

r = Tasa de crecimiento poblacional:

n = $t_{final} - t_{inicial}$ (intervalo en años): Vida útil veinte años.

Asimismo, con la ecuación 2 se determina la cantidad de residuos sólidos generados por día por la población calculada, de acuerdo con su producción per cápita.

$$DS_d = pob \times ppc \quad (2)$$

Donde:

DS_d = Cantidad de residuos sólidos generados por día en kg/día

Pob = Población total

ppc = Producción per cápita (0.4 kg/hab/día)

Una vez que se conoce la cantidad de residuos generados diariamente por toda la población, se puede utilizar las ecuaciones 3 y 4 para calcular el volumen de residuos sólidos compactados, tanto diario como anualmente. Para el cálculo del volumen compactado, consideramos una densidad de 400 kg/m³, según la guía mencionada.

$$V_{diario \text{ compactado}} = \frac{DS_p}{D_{rsm}} \quad (3)$$

$$V_{anual \text{ compact.}} = V_{diario \text{ compactado}} \times 365 \quad (4)$$

Donde:

DS_p = Cantidad de residuos sólidos generados (kg/día)

D_{rsm} = Densidad de los residuos sólidos recién compactados (400 kg/m^3).

Continuando, en la ecuación 5, se presenta el cálculo del volumen de material de cobertura. Después de disponer los residuos sólidos, se cubren con este material, y se considera que representa el 20% del volumen anual compactado.

$$m.c. = V_{\text{anual compactado}} \times 0.20 \quad (5)$$

Donde:

m.c. = Material de cobertura

En la ecuación 6, se presenta el cálculo del volumen de residuos sólidos anual estabilizado, a medida que pasa el tiempo, los residuos se descomponen y, por lo tanto, pierden volumen. En este caso, consideramos una densidad de 500 kg/m^3 para los residuos sólidos estabilizados según el manual.

$$V_{\text{anual estabilizado}} = \frac{DS_p}{D_{rsm}} \times 365 \quad (6)$$

Donde:

DS_p = Cantidad de residuos sólidos generados en kg/día.

D_{rsm} = Densidad de los residuos sólidos estabilizados (500 kg/m^3)

Una vez que se ha estimado el volumen anual estabilizado y el volumen del material de cobertura, se procede a sumar los valores para determinar el volumen anual del relleno sanitario (expresado en $\text{m}^3/\text{año}$). Esta suma debe realizarse para cada uno de los años, de acuerdo con la vida útil de la infraestructura considerada. La ecuación 7 permite calcular el volumen.

$$V_{RS} = V_{\text{anual estabilizado}} + m.c \quad (7)$$

Donde:

V_{RS} = Volumen anual de relleno sanitario ($\text{m}^3/\text{año}$)

m.c. = Material de cobertura.

De seguido en la ecuación 8, se presenta el cálculo del área requerida para el volumen de relleno sanitario de cada año. En este cálculo, se considera una profundidad de la trinchera o celda de 4 metros, según las directrices establecidas.

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}} \quad (8)$$

Donde:

A_{RS} = Área requerida por cada año (m^2)

V_{RS} = Volumen anual de relleno sanitario ($\text{m}^3/\text{año}$)

h_{RS} = Profundidad promedio de un relleno sanitario (4m).

Y para el cálculo de la estimación del área requerida, se utiliza la ecuación 9, sumando el área requerida por cada año más el 30 % equivalente para elementos adicionales, como: vías, servicios higiénicos, casetas de vigilancia, etc., y en seguida, se realiza la sumatorias de todos los años considerados.

$$A_T = \sum_i^n (A_{RS} + A_{RS} \times F) \quad (9)$$

Donde:

A_T = Área total que se requerida (m^2)

A_{RS} = Área requerida por cada año (m^2)

F = Factor de aumento para las áreas adicionales (30%)

Por otro lado, para excluir las áreas de cobertura natural y presencia de viviendas se utilizó la imagen sentinel 2A (21/01/2023). En la fase de campo se validó las posibles áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario, verificando la presencia de agua y pendiente promedio del terreno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado de los criterios de restricciones

En el mapa de localización de las categorías, para el criterio de restricción

de la pendiente, se identificaron las áreas con pendientes superiores al 50%; estas zonas, que representan la menor extensión superficial se consideran no aptas, debido a su inclinación pronunciada. Las pendientes entre 25 y 50% son aceptables y menor a 25% son óptimas; esta última representando la mayor extensión superficial (Figura 2). Al respecto, el MINAM (2021) afirma que, si bien es posible diseñar y operar un relleno sanitario en cualquier tipo de terreno, se recomienda elegir las de menor pendiente para que se pueda aprovechar al máximo el volumen disponible por hectárea. Categorizaciones espaciales similares determinó Velasco et al. (2013), trabajando con 2 categorías, considerando pendientes menores a 30 % óptimas y mayores a 30% no óptimas.

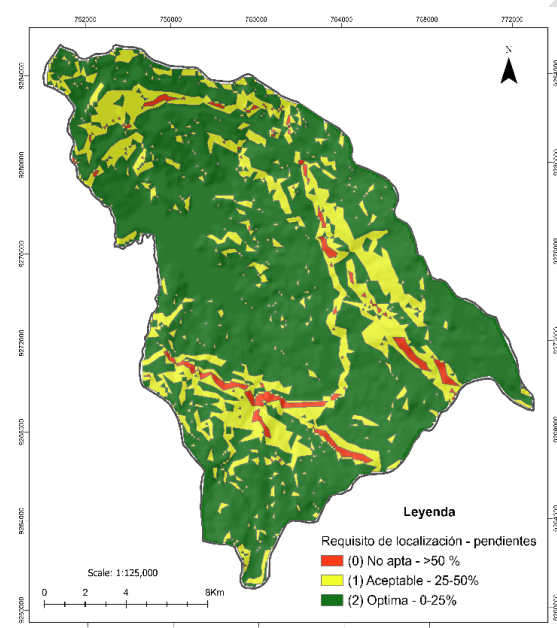


Figura 2. Mapa de localización de las categorías, para el criterio de restricción de la pendiente.

Para el criterio de restricción de la distancia a la red hídrica, se identificaron las áreas no aptas que se encuentran

cerca de la red hídrica, siendo menor a los 500 m; las áreas entre 500 y 1000 m son aceptables y mayores a 1000 m óptimas (Figura 3). Estos resultados son importantes porque permiten inferir que, cuanto más lejano se ubique un relleno sanitario de la red hídrica menor es el riesgo ambiental. Al respecto, el MINAM (2008) menciona que, la mala captación de agua de escurrimiento es una causa común de problemas operativos en la disposición de desechos sólidos. Por tanto, es crucial seleccionar sitios alejados de corrientes superficiales y cuerpos de agua.

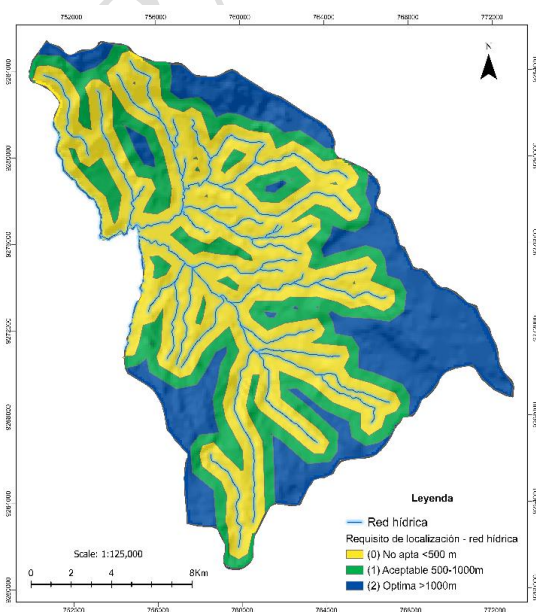


Figura 3. Mapa de localización de las categorías para el criterio de restricción de distancia a la red hídrica.

En relación con los rangos de influencia de las fallas geológicas, se identificaron áreas no aptas aquellas que fueron menores a 500 m, de 500 a 1000 m como aceptables y mayor a 1000 m como óptimas (Figura 4). Este resultado es importante porque permite inferir que, cuanto más lejano se ubique un relleno

sanitario de las fallas geológicas menor será el riesgo de daño a la infraestructura. Al respecto, el MINAM (2021) indica que es fundamental evaluar si el terreno está expuesto a desastres naturales, de ser así los rellenos sanitarios no deberán ubicarse en estas áreas.

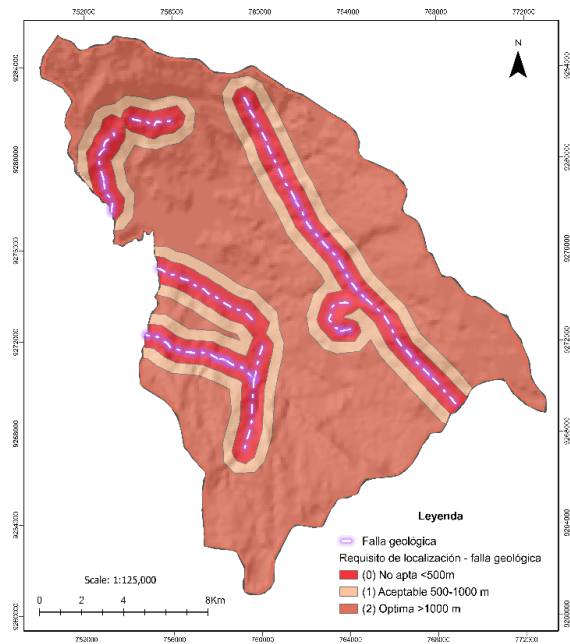


Figura 4. Mapa de localización de las categorías, para el criterio de restricción de distancia a las fallas geológicas.

De otro lado, los rangos de influencia para el requisito de localización, en función de la distancia a la zona urbana; las áreas menores a 1 km y mayores a 16 km de la ciudad de Chota fueron consideradas no aptas, el primero porque no garantiza la seguridad de la población y la aceptación social y lo segundo, porque afecta la accesibilidad. Las distancias de 1 km a 2 km son aceptables, y las áreas entre 2 y 16 km de distancia son óptimas, dado que, a mayor distancia de la zona urbana

garantiza la seguridad de salud pública (Figura 5).

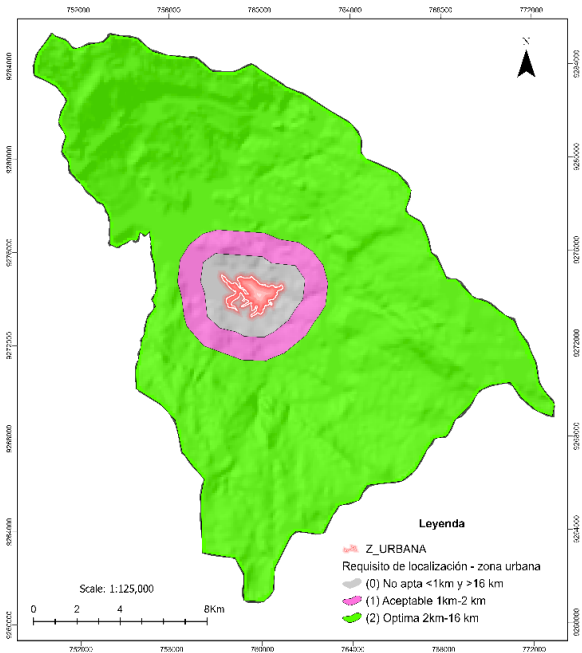


Figura 5. Mapa de localización de las categorías para el criterio de restricción de distancia a la zona urbana.

En relación con el criterio de restricción de las características del suelo (textura); las áreas con textura moderadamente gruesa, no son aptas, debido a la rápida filtración de los lixiviados, lo que podría contaminar rápidamente los suelos cercanos; las áreas con textura media son aceptables, pero requiere mayor esfuerzo en el aislamiento de los lixiviados; las áreas con textura moderadamente fina son óptimas, puesto que la filtración sería lenta en caso de falla en el sistema (Figura 6). Clasificaciones espaciales similares fueron determinados por Velasco et al. (2013) en el municipio de Chiapas, México, donde identificaron que, el tipo de textura de suelo moderada es la más idónea porque es poco permeable.

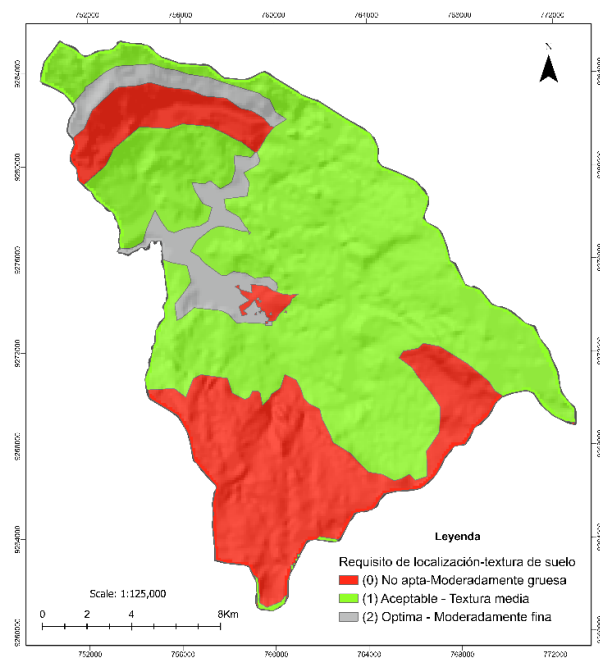


Figura 6. Mapa de localización de las categorías, para el criterio de restricción de textura del suelo.

Integración de las capas de los criterios de restricción

La integración de los cinco criterios de restricción resultó en una única capa de salida, que permitió distinguir entre las tres categorías establecidas. Las áreas no aptas son las más extensas y representativas, seguidas por las áreas óptimas, y, por último, las áreas aceptables (Figura 7). Estos resultados permiten inferir que las áreas no aptas deben excluirse de análisis posteriores más detallados. Las áreas aceptables presentan limitaciones según los cinco criterios, pero al concentrar esfuerzos, se garantiza la seguridad del relleno sanitario.

Resultados similares fueron verificados por López (2019) al integrar cuatro criterios de restricción, categorizados en cinco niveles, desde áreas con menor

grado de afectación hasta las áreas con mayor grado de afectación.

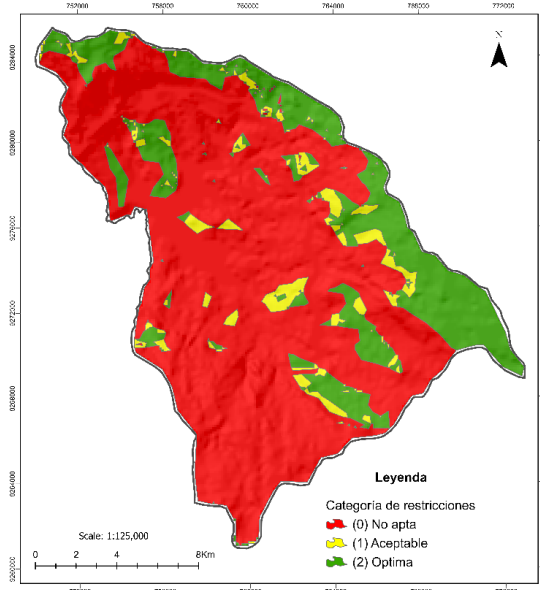


Figura 7. Mapa de restricciones integradas espacialmente en tres categorías, para el distrito de Chota

Criterios de exclusión de áreas para relleno sanitario

Para el distrito de Chota, se consideraron tres criterios de exclusión: comunidades campesinas, concesiones mineras y patrimonio cultural. Estas áreas se excluyen directamente debido a la inviabilidad de implementar infraestructura para un relleno sanitario. La exclusión se realizó con el resultado de la integración de restricciones.

El mapa de exclusión por comunidades campesinas en el distrito de Chota identifica cinco comunidades consideradas por el Ministerio de Cultura: Chulacmache, Cunuat, Lingan Pata, Lingan Grande y Moran Pata (Figura 8). Al respecto, el Instituto Latinoamericano de Capacitaciones Jurídicas [ILCJ] (2020) afirma que, las comunidades campesinas

son organizaciones de interés público que se caracterizan por estar unidas por vínculos ancestrales, sociales, económicos y culturales, expresados en la propiedad comunal de la tierra. Por lo tanto, se excluye la ubicación de un relleno sanitario en estas comunidades debido a que podría afectar la propiedad comunal de la tierra y su forma de vida tradicional.

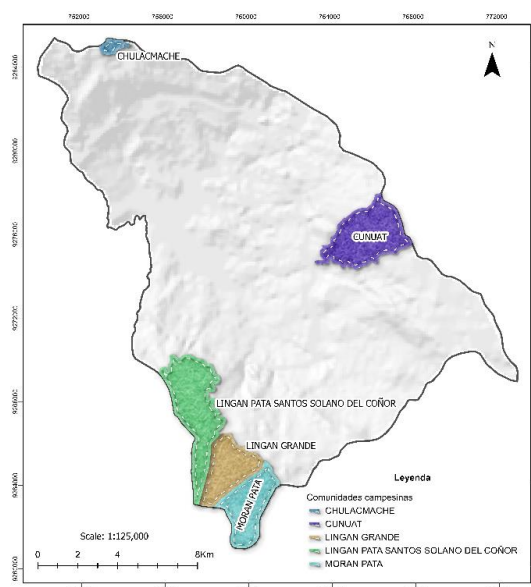


Figura 8. Espacialización del criterio de comunidades campesinas del distrito de Chota, para su exclusión.

Para la exclusión de acuerdo con las concesiones mineras, en el distrito de Chota existen nueve concesiones mineras, de las cuales cuatro son de sustancia metálicas (Tantahuatay 32, Muki n° 2, Constructora de los Andes y Constructora de los Andes I) y cinco de no metálicas (Señor de los milagros, Piedra Tuca, Huapal 1, Venel y Doñana) (Figura 9). Al respecto, CEPAL (2019) menciona que, las concesiones mineras están sujetas a leyes y regulaciones específicas relacionadas con la actividad minera, estas normativas

pueden limitar o prohibir otras actividades como la construcción de rellenos sanitarios.

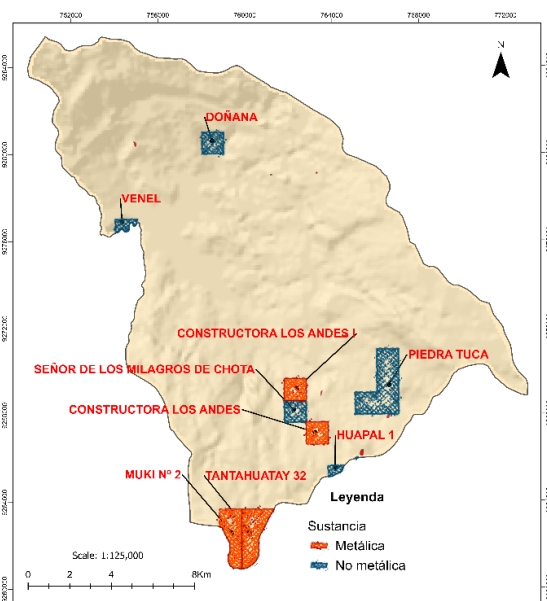


Figura 9. Espacialización del criterio de concesiones mineras presentes en el distrito de Chota, para su exclusión.

En el mapa, se observa que las áreas excluidas para relleno sanitario fueron: la Cueva de los gentiles, Piedra grande, El gavián, Grutas de Negropampa, Chulpas de Negropampa, Abrigo Peralta y Huaca el Suro (Figura 10). Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2022) indica que, los sitios arqueológicos albergan vestigios históricos, como estructuras, artefactos y restos humanos, que son esenciales para comprender y preservar la historia y patrimonio cultural. Estos lugares se consideran recursos culturales únicos e irremplazables. En ese sentido, se excluye la instalación de rellenos sanitarios en sitios arqueológicos.

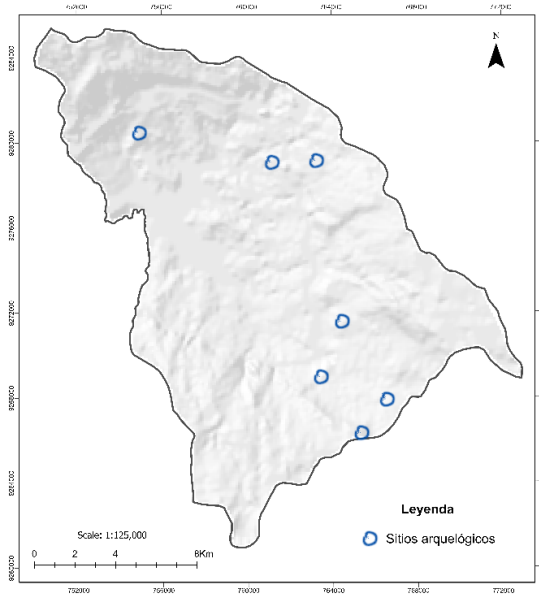


Figura 10. Espacialización del criterio de sitios arqueológicos presentes en el distrito de Chota para su exclusión.

Integración de capas de restricción y exclusiones.

En el análisis de restricciones y exclusiones, se observó que la categoría “no apta” ocupa el 77,27% del territorio, seguida por la categoría “óptima” con un 18,73%, y finalmente la categoría “aceptable” con 3,99% (Figura 11, Tabla 3). Este hallazgo sugiere que el distrito de Chota tiene áreas potenciales para la

instalación de un relleno sanitario, abarcando el 22,72% del territorio. Resultados diferentes encontraron Ajibade et al. (2019) en Ondo, Nigeria. Donde utilizaron criterios ambientales (geología, tipos de suelo y distancia a cuerpos de agua) y socioeconómicos (uso de suelo, pendiente y distancia a construcciones).

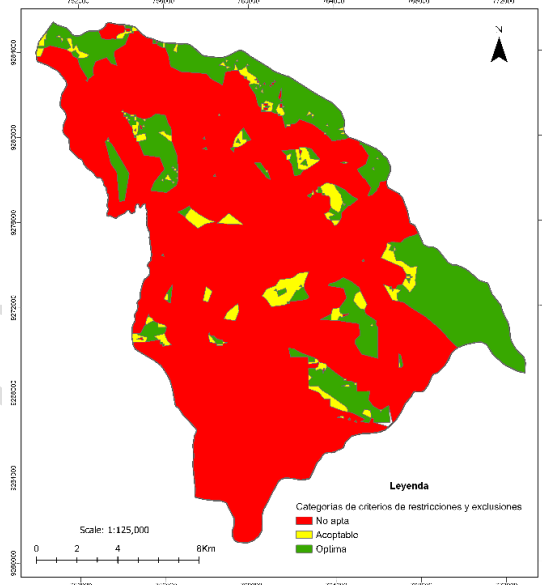


Figura 11. Categorizaciones de las posibles áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota.

Tabla 3. Extensión superficial por categoría de las posibles áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota.

Categoría	Valor	Área (ha)	%
No apta	0	20615,90	77,27
Aceptable	1	1067,02	3,99
Optima	2	4996,89	18,73
Total		26679,81	100

Determinación del área requerida para el relleno sanitario

El área requerida fue estimada en función al volumen de residuos sólidos generados, para un tiempo de vida útil de 20 años (2025-2045), una la población de 65,884 habitantes y con una generación per cápita de residuos sólidos de 0.49 kg/hab/día al 2045. Se necesitaría una superficie mínima de 17.21 hectáreas (Tablas 4 y 5).

Tabla 4. Cantidad de residuos sólidos en toneladas/ año para el periodo de tiempo de vida útil del relleno sanitario en el distrito de Chota.

Año	Población (hab)	Ppc (kg/hab/día)	Cantidad de residuos sólidos	
			Diaria (kg/día)	Anual (ton/año)
2025	53994	0,44	23702,65	8651,47
2026	54534	0,44	24059,37	8781,67
2027	55080	0,44	24421,47	8913,84
2028	55631	0,45	24789,01	9047,99
2029	56187	0,45	25162,09	9184,16
2030	56749	0,45	25540,78	9322,38
2031	57316	0,45	25925,16	9462,68
2032	57889	0,45	26315,34	9605,1
2033	58468	0,46	26711,38	9749,66
2034	59053	0,46	27113,39	9896,39
2035	59644	0,46	27521,45	10045,33
2036	60240	0,46	27935,64	10196,51
2037	60842	0,47	28356,08	10349,97
2038	61451	0,47	28782,83	10505,73
2039	62065	0,47	29216,02	10663,85
2040	62686	0,47	29655,72	10824,34
2041	63313	0,48	30102,04	10987,24
2042	63946	0,48	30555,07	11152,6
2043	64585	0,48	31014,93	11320,45
2044	65231	0,48	31481,7	11490,82
2045	65884	0,49	31955,5	11663,76
Total			-	-

Tabla 5. Área requerida para relleno sanitario en el distrito de Chota para 20 años de vida útil.

Volumen m ³				Área requerida (m ²)		
Residuos sólidos compactados		material de cobertura	Residuos sólidos estabilizados	Relleno sanitario	Relleno AR	Total AT
Diaria (m ³)	Anual (m ³)	Anual (m ³)	(m ³ /año)	(m ³)		
6	7	9	10	11	13	14
59,26	21628,67	4325,73	17302,93	21628,67	5407,17	7029,32
60,15	21954,18	4390,84	17563,34	21954,18	5488,54	7135,11
61,05	22284,59	4456,92	17827,67	22284,59	5571,15	7242,49
61,97	22619,97	4523,99	18095,98	22619,97	5654,99	7351,49
62,91	22960,4	4592,08	18368,32	22960,4	5740,1	7462,13
63,85	23305,96	4661,19	18644,77	23305,96	5826,49	7574,44
64,81	23656,71	4731,34	18925,37	23656,71	5914,18	7688,43
65,79	24012,75	4802,55	19210,2	24012,75	6003,19	7804,14
66,78	24374,14	4874,83	19499,31	24374,14	6093,53	7921,59
67,78	24740,97	4948,19	19792,77	24740,97	6185,24	8040,81
68,8	25113,32	5022,66	20090,66	25113,32	6278,33	8161,83
69,84	25491,28	5098,26	20393,02	25491,28	6372,82	8284,66
70,89	25874,92	5174,98	20699,94	25874,92	6468,73	8409,35
71,96	26264,34	5252,87	21011,47	26264,34	6566,08	8535,91
73,04	26659,61	5331,92	21327,69	26659,61	6664,9	8664,37
74,14	27060,84	5412,17	21648,67	27060,84	6765,21	8794,77
75,26	27468,11	5493,62	21974,49	27468,11	6867,03	8927,14
76,39	27881,5	5576,3	22305,2	27881,5	6970,38	9061,49
77,54	28301,12	5660,22	22640,9	28301,12	7075,28	9197,86
78,7	28727,05	5745,41	22981,64	28727,05	7181,76	9336,29
79,89	29159,39	5831,88	23327,51	29159,39	7289,85	9476,8
					Sumatoria	172100,44
					Total (ha)	17,21 ha

Resultados diferentes fueron reportados por Espejo (2018) en el distrito de Chachapoyas, siendo 3,2 hectáreas el área requerida, consideró un tiempo de vida útil de la infraestructura de 10 años (2015-2025). Obteniendo que, para el año 2025 la población proyectada sería de 30275 habitantes, con una generación per cápita de residuos sólidos de 0.52 kg/hab/día. Se puede inferir que la

diferencia se debe a que, el rango de tiempo de vida útil de la infraestructura, la población estimada, la ppc son distintas en cada lugar.

Todas las áreas menores a 17, 21 ha, junto a las áreas de cobertura vegetal y de densidad poblacional son excluidas, resultando 6 áreas potenciales preliminares (Figura 12).

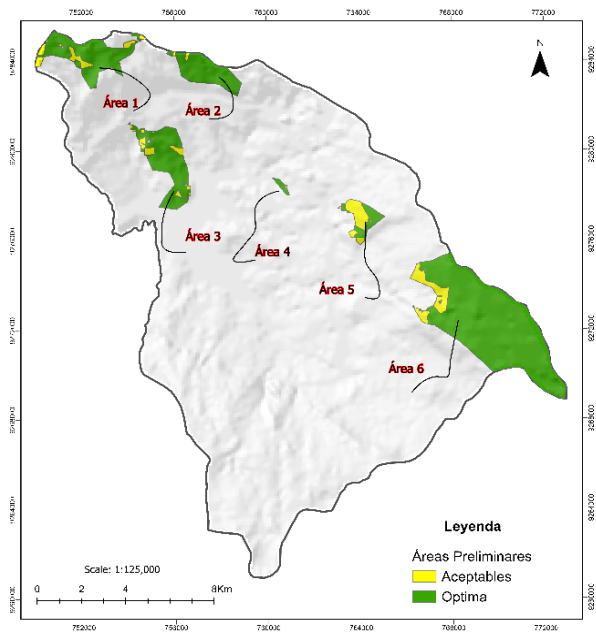


Figura 4. Áreas potenciales preliminares para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales del distrito de Chota.

Fase de campo

Se validaron las seis áreas preliminares, las cuales cumplieron con todos los requisitos ("Área 3", "Área 4", "Área 5" y "Área 6A" y "Área 6C"). Cabe mencionar que, el área 6 se dividió en tres subáreas de acuerdo con la cercanía a las vías de acceso (Figura 13).

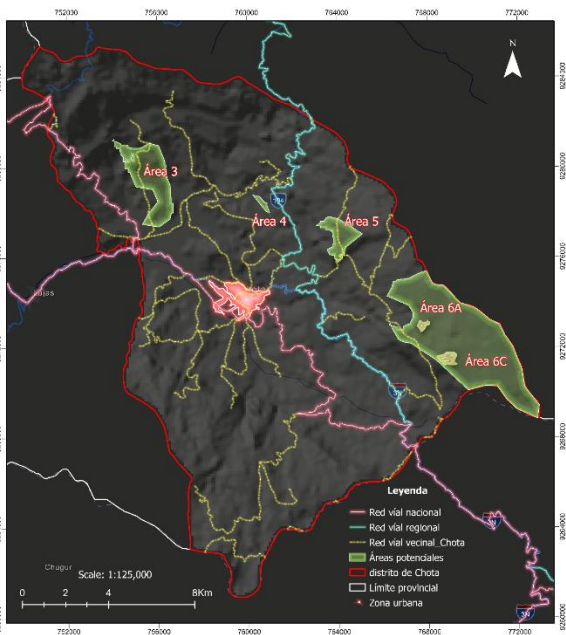


Figura 5. Áreas potenciales validadas en campo para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota.

Las 5 áreas potenciales validadas en campo quedan como alternativas para la instalación de relleno sanitario para que se realice una adecuada disposición final de residuos sólidos municipales. Estas áreas como alternativas se encuentran ubicados en algunos centros poblados, que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Características espaciales de las áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota.

Área potencial	Este	Norte	Altitud	Superficie (ha)	Centros poblados (CC. PP)
Área 3	756300	9278325	2404	468.25	Llasvilca Centro y Llasvilca Bajo
Área 4	760660	9278418	2434	17. 59	Colpa Pampa
Área 5	764364	9276898	3141	171.25	Choctapata
Área 6 ^a	767777	9272924	3469	18.91	Progreso Pampa
Área 6c	768182	9272315	3606	42.8	Progreso Pampa

Resultados similares fueron reportados por Majid y Mir (2021), en Srinagar, India,

donde consideraron los siguientes criterios: líneas ferroviarias, aeropuertos,

cuerpos de agua, áreas agrícolas y afines, áreas residenciales, áreas urbanizadas y sus zonas de amortiguamiento asociadas; Así determinaron cinco áreas potenciales, y para elegir la más adecuada, utilizaron el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP). De igual manera, Kamdar et al. (2019) en Songkhla, Tailandia identificaron un área de 560, 59 ha como aptas para rellenos sanitarios; 993,19 ha como muy aptas y 180,72 ha como moderadamente aptas, siendo el resto del área no apta para vertedero.

Además, Sharifi et al. (2009) en la provincia de Kurdistán, Irán utilizaron esta técnica para seleccionar áreas para rellenos de seguridad, consideraron 21 criterios de exclusión donde obtuvieron un mapa superpuesto final que representa 15 áreas potenciales para disponer desechos peligrosos. Y en Beijing, China también utilizaron la técnica de evaluación multicriterio combinado con conjuntos neutrosóficos de valor único para seleccionar sitios óptimos para una planta de conversión de residuos sólidos en energía (Meng et al., 2023) Con ello se afirma que la definición de criterios es variable y dependerá de sus características intrínsecas de cada lugar. Además, que la técnica de evaluación multicriterio es muy amplia y que se puede combinar con otros procesos para la toma de decisiones.

CONCLUSIONES

Se identificaron cinco áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chota ubicadas en los centros poblados de Llasavilca Centro, Llasavilca Bajo, Colpa Pampa, Choctapata y Progreso pampa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la escuela profesional de ingeniería forestal y ambiental de la universidad nacional autónoma de Chota, y al laboratorio de Geomática por facilitar los equipos para trabajos en campo, y al señor Elmer Guevara por el apoyo con transporte a zonas de validación en campo.

Financiamiento

Los autores no recibieron financiamiento o patrocinio para ejecutar el trabajo de investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses con los contenidos del artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ajibade, F. O., Olajire, O. O., Ajibade, T. F., Nwogwu, N. A., Lasisi, K. H., Alo, A. B., Owolabi, T. A., y Adewumi, J. R. (2019). Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3–4(May), 100010. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100010>
- Asociacion Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). (2018). *Gestion integral de residuos solidos urbanos* (P. Tello Espinoza, D. Campani, & D. R. Sarafian (eds.)). <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- CEPAL. (2019). Planificación para el desarrollo territorial sostenible en América Latina y el Caribe. *Instituto*

- Latinoamericano y Del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES)*, 59.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44731/1/S1900439_es.pdf
- Del Bosque, I., Fernández, C., Forero, L., y Pérez, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*.
[http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los SIG y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigacion%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf)
- Espejo, A. (2018). Localización óptima de un relleno sanitario empleando sistemas de información geográfica distrito de Chachapoyas Amazonas-2017. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(3), 71–77.
<https://doi.org/10.25127/ucni.v1i3.429>
- Instituto Latinoamericano de Capacitaciones Jurídicas. (2020). *Las comunidades campesinas en Perú*.
<https://ilcj.edu.pe/las-comunidades-campesinas-en-peru-que-son-y-como-estan-reguladas/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2022*.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf
- Kamdar, I., Ali, S., Bennui, A., Techato, K., y 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), 220–235.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.027>
- Majid, M., y Mir, B. (2021). Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India. *Environmental Challenges*, 3, 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100031>
- Meng, Q., Pang, N., Zhao, S., y Gao, J. (2023). *Optimal two-stage site selection for a waste to energy conversion plant using single value neutrophic assemblies and a multicriteria decision-making approach based on a geographic information System: a case study from Beijing, China*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.05.025>
- Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2012). *Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad y diseño*.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2021). *Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales*.
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2020314/ANEXO RM.124-2021-MINAM - Guía Identificación de Zonas para IDF.pdf.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2020314/ANEXO_RM.124-2021-MINAM_-_Guia_Identificacion_de_Zonas_para_IDF.pdf.pdf)
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*.
<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20130703125736.pdf>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica. In Composites Part A: Applied Science*

- and Manufacturing.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2014.07.001>
<https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.12.003>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.024>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2022). *Siete importantes logros de la UNESCO en su labor de preservación del patrimonio cultural*.
- Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A., y Zohourian, B. (2020). Landfill site selection using multi criteria decision making: Focus on influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.02.030>
- Sharifi, M., Hadidi, M., Vessali, E., Mosstafakhani, P., Taheri, K., Shahoie, S., y Khodamoradpour, M. (2009). Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill sitting in Kurdistan Province, western Iran. *Waste Management*, 29(10), 2740–2758. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.010>
- Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL). (2018). *Consulta de Datos Sigersol Municipal 2008-2018*. <https://sigersolreporte.minam.gob.pe/sigersolreporte/>
- Velasco, J., Vásquez, I., Nájera, H., Aguilar, L., y Mendoza, S. (2013). Los sig aplicados a la localización de zonas potenciales para la disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Revista de Ciencias de La Unicach*, 7(2), 109–114. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12753/1878>

Contribución de autoría

1. José Dany Vásquez Oblitas: Concepción y elaboración del manuscrito: Ideas, formulación o evolución de los objetivos y metas generales de la investigación.
2. Yuli Anabel Chávez-Juanito: Validación: Reproducción general de los resultados y verificación de la investigación.
3. Azucena Chávez Collantes: Adquisición y ordenamiento de los datos.
4. Rosi Yanini Vasquez Cadenillas: Desarrollo de software ArcGis Desktop.
5. Leyla Catherine Alarcón Alarcón: Cartografía.

Recibido: 26-10-2023

Aceptado:

15-07-2024

Publicado: 31-07-2024