



Análisis multicriterio de las áreas óptimas mediante SIG para la ubicación de un relleno sanitario en el cantón Chone, provincia de Manabí

Multicriteria analysis of the optimal areas using GIS for the location of a sanitary landfill in the Chone canton, province of Manabí

Análise multicritério das áreas ótimas utilizando SIG para a localização de um aterro sanitário no cantão Chone, província de Manabí

Melissa Bello ^I

mbello@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-4207-5226>

Manuel Cepeda ^{II}

mcepeda@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0007-5238-3903>

Fernando Cedeño ^{III}

fcedeño@uagraria.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-6481-1283>

Christian Burgos ^{IV}

cristhianarmando16@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-2494-9442>

Cristian Lara-Basantes ^V

arturo.lara@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-2646-6821>

Correspondencia: mbello@uagraria.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 07 de diciembre de 2024 * **Aceptado:** 30 de enero de 2025 * **Publicado:** 13 de febrero de 2025

- I. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador (UAE), Avenida 25 de Julio, Guayaquil Ecuador.
- II. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador (UAE), Avenida 25 de Julio, Guayaquil Ecuador.
- III. Carrera de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador (UAE), Avenida 25 de Julio, Guayaquil Ecuador.
- IV. Investigador Independiente, Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) sede Morona Santiago, Macas, Ecuador.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo la identificación de áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario en el cantón Chone. Por consiguiente, la metodología consistió en la aplicación de criterios de diseño para calcular las dimensiones que podría ocupar un relleno sanitario hasta el año 2040, dando como resultado una proyección poblacional de 130.696 habitantes para dicho año, con una generación per cápita de residuos sólidos de 0.58 kg/hab/día, necesitando un área total de 12.34 ha. Asimismo, se clasificaron y evaluaron 9 criterios ambientales mediante el Proceso de Jerarquía Analítica, donde se promediaron los criterios de 5 especialistas en el campo para crear una matriz única. Esto arrojó los porcentajes de influencia de cada criterio, siendo la distancia a áreas protegidas y la pendiente los de mayor influencia, con 29% y 21%, respectivamente. Una vez determinada la influencia de cada criterio, se aplicó el modelo multicriterio mediante SIG, que identificó 20 áreas óptimas para la construcción de un relleno sanitario, abarcando un total de 18.196.04 ha, lo que representa un 5.36 % de toda la extensión del cantón. Entre las áreas óptimas identificadas por el modelo multicriterio, se aplicó el Índice de Gravelius, para determinar cuál es la mejor área óptima según la forma de la superficie para ser aprovechada. Se identificó que el polígono más cercano a 1 es el número 16, con un valor de 1.19 y con un área de 1.198.70 ha.

Palabras clave: impacto ambiental; gestión de residuos; geoprocésamiento; criterios de idoneidad.

Abstract

The objective of this study was to identify optimal areas for the location of a sanitary landfill in the Chone canton. Consequently, the methodology consisted of the application of design criteria to calculate the dimensions that a landfill could occupy until the year 2040, resulting in a population projection of 130,696 inhabitants for that year, with a per capita generation of solid waste of 0.58 kg/inhabitant/day, requiring a total area of 12.34 ha. Likewise, 9 environmental criteria were classified and evaluated through the Analytical Hierarchy Process, where the criteria of 5 specialists in the field were averaged to create a unique matrix. This showed the percentages of influence of each criterion, with the distance to protected areas and the slope having the greatest influence, with 29% and 21%, respectively. Once the influence of each criterion was determined, the multicriteria model was applied using GIS, which identified 20 optimal areas for the construction of a sanitary landfill, covering a total of 18,196.04 ha, which represents 5.36% of the entire area of the canton. Among the optimal areas identified by the multicriteria model, the

Gravelius Index was applied to determine which is the best optimal area according to the shape of the surface to be used. It was identified that the polygon closest to 1 is number 16, with a value of 1.19 and an area of 1,198.70 ha.

Keywords: environmental impact; waste management; geoprocessing; suitability criteria.

Resumo

O objetivo deste estudo foi identificar áreas ideais para a localização de um aterro sanitário no cantão Chone. Consequentemente, a metodologia consistiu na aplicação de critérios de projeto para calcular as dimensões que um aterro sanitário poderia ocupar até o ano de 2040, resultando em uma projeção populacional de 130.696 habitantes para esse ano, com uma geração per capita de resíduos sólidos de 0,58 kg/habitante/dia, necessitando de uma área total de 12,34 ha. Da mesma forma, 9 critérios ambientais foram classificados e avaliados através do Processo de Hierarquia Analítica, onde foi calculada a média dos critérios de 5 especialistas da área para criar uma matriz única. Isso mostrou os percentuais de influência de cada critério, sendo a distância às áreas protegidas e a declividade os que tiveram maior influência, com 29% e 21%, respectivamente. Determinada a influência de cada critério, foi aplicado o modelo multicritério utilizando SIG, que identificou 20 áreas ótimas para a construção de aterro sanitário, abrangendo um total de 18.196,04 ha, o que representa 5,36% de toda a área do cantão. Dentre as áreas ótimas identificadas pelo modelo multicritério, foi aplicado o Índice de Gravelius para determinar qual a melhor área ótima de acordo com o formato da superfície a ser utilizada. Identificou-se que o polígono mais próximo de 1 é o número 16, com valor de 1,19 e área de 1.198,70 ha.

Palavras-chave: impacto ambiental; gestão de resíduos; geoprocessamento; critérios de adequação.

Introducción

A nivel global, la gestión de residuos sólidos es representada como un desafío tanto en entornos urbanos como rurales para todos los países. Esta problemática se origina a partir de una compleja interacción de factores sociales, políticos, legales, económicos y ambientales. La recolección, almacenamiento y disposición final de los desechos se convierten en un reto significativo, ya que los problemas derivados de una gestión deficiente afectan tanto al medio ambiente como a la salud.

En consecuencia, es imperativo abordar de manera integral y coordinada estas cuestiones a nivel mundial (Hussein et al.,2018).

La gestión de residuos sólidos se ha convertido en un reto notable a nivel mundial, y esta problemática tiende a agravarse con el transcurso del tiempo. Este fenómeno complejo se atribuye a varios factores clave, incluyendo la dinámica del crecimiento poblacional y las características socioeconómicas que influyen de manera significativa en los estándares de vida. En diversas comunidades, la falta de responsabilidad, expresada a través de la reticencia a modificar los hábitos de producción, consumo y disposición final de residuos, ha dado lugar a una generación descontrolada de estos desechos en todas las esferas de la vida cotidiana (Guerra, 2014).

El aumento poblacional en América Latina y el Caribe trae como una de sus consecuencias la problemática en el manejo de los residuos, lo que produce seguidamente una falta en la planificación de la recolección y deposición final de los desechos producidos. Una tercera parte de los residuos que son generados acaban en basurales o vertederos no legalizados, lo cual no da garantía a una propia protección a la salud y al ambiente (Sáez et al.,2019).

Cuando los procesos de fiscalización y control no están debidamente implementados, se propicia una recolección inadecuada de los desechos, dando lugar a la formación de vertederos que estarían a cielo abierto. Esta situación conlleva mayores riesgos, ya que existe la posibilidad de que los residuos sean arrojados en cuerpos hídricos, áreas desatendidas y sin supervisión, o incluso que se lleve a cabo la quema intencional de residuos con el objetivo de reducir su volumen (Sáez et al.,2019).

En Ecuador, concerniente a la producción per cápita (ppc) de los residuos sólidos no peligrosos generados por los cantones, llevó a cabo una proyección poblacional urbana y rural para el año 2022, en donde se ponderaron valores de ppc domiciliarios dando como resultado un valor medio de 0.57 kg/hab/día , a su vez se añadiendo otros valores de ppc que son generados por otro tipos de fuentes (barrido, comercios, centros educativos, mercados entre otros) dando un valor de 0.20 kg/hab/día a nivel nacional, consecuentemente se sumaron estos datos dando un ppc total de 0.77 kg/hab/día con una generación total de residuos sólidos de 13.981.61 ton/día (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023).

Dentro de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), que se encuentran en el Ecuador, solo el 51% realizan la disposición final de los residuos sólidos en rellenos sanitarios y/o celdas emergentes, y a su vez el 49% depositan los desechos en botaderos o

vertederos a cielo abierto, visualizando una gran problemática ambiental debido a la carencia en la capacidad técnica y en seleccionar lugares óptimos para la deposición de los desechos sin que presenten efectos nocivos al ambiente (MAATE, 2023).

En el cantón Chone según cifras del (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022), tomando como punto de partida el Censo Poblacional del año de 1990 se observa que poseía una población de 115.646 personas en total, de tal forma comparándolas con el último censo del año 2022 se enmarca el crecimiento con una cantidad de 128.166 individuos, siendo un valor aditivo de 12.520 habitantes en un rango de 32 años. El sector rural de este cantón cuenta con 73.537 habitantes representada en un 57.37%, a diferencia del sector urbanístico que posee 54.629 personas, equivalente al 42.62%.

Desde hace décadas hasta la actualidad se siguen presentando problemáticas y deficiencias en el manejo, recolección y disposición final de los residuos sólidos. Una de estas características son las rutas de recolección para los desechos sólidos dentro de las 9 parroquias pertenecientes al cantón, lo cual 2 son urbanas (Chone y Santa Rita) y 7 rurales (Boyacá, Canuto, Chibunga, Convento, Flavio Alfaro, Ricaurte y San Antonio). El inconveniente se irradia en la aplicación del servicio de recolección que mayoritariamente está en la parte urbana, abarcándola con un 75.82% de cobertura de servicio por carro recolector de basura, a diferencia de las parroquias rurales, siendo todas con un porcentaje inferior al 28% de cobertura del servicio y a su vez donde existe mayor población (GAD Municipal Chone, 2019).

Específicamente en la parte rural existe una carencia en la recolección de los residuos sólidos por medio del servicio municipal, constando solo con 18.89% de cobertura en esta parte del sector, por lo que se ven en la obligación de optar por eliminar estos desechos de otras formas como: Quema de basura con un 61.22% del sector rural que realiza esta actividad, un 14.20% descargan los desechos en terrenos o quebradas y un 2.62% la entierran, estas actividades no técnicas provocan severas contaminación al ambiente y generan enfermedades a la población.

Materiales y métodos

Metodología

Variables

Variable independiente

Población, expresado en número de personas.

Residuos sólidos generados (ton o m³, kg/día).

Precipitación (mm).

Tipo de suelo (m).

Pendiente (m).

Distancia de acuíferos (m).

Distancia a cuerpos hídricos (m).

Distancia a centros poblados (m).

Distancia a centros escolares (m).

Distancia a centros de salud (m).

Distancia a áreas protegidas (m).

Variable dependiente

Áreas óptimas para ubicación de relleno sanitario (ha).

Recolección de datos

Recursos

Los recursos que fueron utilizados en el estudio son:

Tabla 1
Recursos

Categoría	Recursos
Información	Datos relativos a la producción de residuos sólidos, expresados en kilogramos por habitante al día en el cantón.
Recursos de Oficina	Implementos básicos como bolígrafos, cuadernos de apuntes, laptops y acceso a Internet.
Material Bibliográfico	Fuentes de referencia, incluyendo libros, artículos científicos y artículos de periódico.
Software y Hardware	Herramientas digitales como el Sistema Nacional de Información, Geoportal del Instituto Geográfico Militar-Ecuador, SIGAGRO, INAHMI, paquete de Office y software SIG

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la

Tabla 1 se presenta una visión detallada de los diversos recursos empleados en el desarrollo de la investigación. Se destacan las categorías clave, como la obtención de información, los recursos de oficina, el material bibliográfico y el software/hardware utilizado. Esta clasificación proporciona una comprensión clara de los instrumentos y fuentes necesarios para llevar a cabo el estudio de manera efectiva.

Métodos y técnicas

La investigación se desarrolló en 7 fases, con el propósito de identificar áreas que sean óptimas para la ubicación de un relleno sanitario en el cantón Chone, perteneciente a la provincia de Manabí (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Este objetivo es conformado por las fases 1, 2 y 3, en donde se aplicó la metodología de Jaramillo (2002), de acuerdo con la cual se obtuvo los datos proyectados de la población, residuos sólidos generados y el área requerida para el relleno sanitario del cantón para el año 2040.

Fase 1. Cálculo Poblacional

En la presente fase de investigación se utilizó parte de la metodología de la Guía para el diseño, construcción y operación de relleno sanitarios manuales, elaborado por Jaramillo (2002), centrándose en la fase de diseño, se empleó una matriz compuesta de 15 criterios (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para determinar las dimensiones (ha) de un relleno sanitario. Uno de los criterios fundamentales para dar inicio a la matriz de diseño es la proyección de la población, para la cual es esencial aplicar las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1 - Criterio 1 (C1)

Para realizar el cálculo de la proyección poblacional, se implementó el método geométrico. Este enfoque se enmarcó en la estimación de la población a futuro, por lo tanto, comenzó con el cálculo del índice de crecimiento, esencial para determinar la variación en el número de habitantes a lo largo del tiempo.

$$r = \left(\left(\frac{P_t}{P_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) * 100$$

Donde

r: Índice de crecimiento anual (%)

P_t: Población obtenida del último censo

P_o : Población obtenida del antepenúltimo censo

n : Periodo entre censos (años)

Ecuación 2 - Criterio 1 (C1)

Teniendo el índice de crecimiento de la población, se aplicó la siguiente ecuación para determinar la población a proyectar.

$$P_d = P_a \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

Donde

P_d : Población de diseño (hab.)

P_a : Población actual (hab.)

r : Índice de crecimiento anual (%)

t : Periodo de diseño (años)

Se estimó la población en un periodo de 18 años (2023-2040), tomando en consideración que los últimos dos censos poblacionales a nivel nacional por parte del INEC (2022), fueron en los años 2010 y 2022. Añadiendo que se deben cumplir con los criterios del Acuerdo ministerial 061 (2015) y Jaramillo (2002) en referente al tiempo de vida del relleno sanitario que debe ser >10 años.

Fase 2. Cálculo para determinar la cantidad de residuos solidos

Siguiendo los criterios de la matriz de Jaramillo (2002), se establecen los siguientes cálculos correspondientes, que ayudan a determinar la cantidad de residuos sólidos generados por la población proyectada al 2040.

Criterio 2 (C2)

En esta sección se detalló la información de la producción per cápita promedio de residuos sólidos del cantón Chone, que se obtuvo de la base de datos del INEC- Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) 2023.

Ecuación 3 - Criterio 3 (C3)

$$RS_d = (C_1) \times (C_2)$$

RS_d : Cantidad de residuos sólidos diario

(C_1) : Población

(C_2) : Producción per Cápita de residuos sólidos

En la presente ecuación, se estableció la cantidad de residuos sólidos diarios (kg/día), obtenida al multiplicar la población (C_1) con la producción per cápita de residuos sólidos (C_2).

Ecuación 4 - Criterio 4 (C4)

$$RS_a = (C_3) \times 365$$

Dónde:

RSa: Residuos Sólidos Anual

(C₃): Cantidad de residuos sólidos diario

En la ecuación 4, se estableció la cantidad de residuos sólidos de forma anual (t/año), obtenida al multiplicar la cantidad de residuos sólidos diario (C₃) por 365 días correspondiente al año establecido.

Ecuación 5 – Criterio 5 (C5)

$$RC_{(ac)f} = RS_{(ac)0} + RS_{(an)f}$$

Dónde:

RC_{(ac)f} = Acumulado de residuos para el año proyectado

RS_{(ac)0} = Acumulado de residuos del último año

RS_{(an)f} = Residuos del año proyectado

La ecuación reflejó la suma del acumulado de residuos en el último año y los residuos generados en el año proyectado, de lo cual se obtuvo la cantidad acumulada de residuos totales en los años proyectados.

Fase 3. Cálculo para determinar volumen de residuos, material de cobertura y área del relleno sanitario

Se procedió a realizar cálculos mediante ecuaciones de Jaramillo (2002), con el fin de determinar el volumen correspondiente de los residuos sólidos generados, así como el volumen asociado al material de cobertura utilizado, y la extensión total del área requerida en el relleno sanitario.

Ecuación 6 – Criterio 6 (C6)

$$VRSC_{diario} = \frac{[(C_3) \times \frac{7}{6}]}{D_c}$$

Dónde:

VRSC_{diario}: Volumen diario de residuos sólidos compactados

C₃: Cantidad de residuos sólidos diario

7/6: 7 días de producción/ 6 días de recolección

D_c: Densidad de compactación de los residuos (kg/m³)

En la ecuación se calculó los residuos sólidos compactados utilizando la cantidad diaria de residuos sólidos (C_3) por la relación entre los días de producción y los días de recolección, y luego dividir ese valor por la densidad de compactación (D_c) para obtener el volumen diario de residuos sólidos compactados.

Ecuación 7 – Criterio 7 (C7)

$$VRSC_{\text{anual}} = (C_6) \times 365$$

Dónde

$VRSC_{\text{anual}}$ = Volumen anual de residuos sólidos compactados

(C_6): Volumen diario de residuos sólidos compactados

365: Días del año

En la ecuación 7, es el volumen anual de residuos sólidos, que se obtuvo de la multiplicación del volumen diario de residuos sólidos compactados por los 365 días del año.

Ecuación 8 – Criterio 8 (C8)

$$VMC_{\text{diario}} = (C_6) * 0.2$$

Dónde

VMC_{diario} : Volumen diario de material de cobertura

(C_6): Volumen diario de residuos sólidos compactados

0,2 = porcentaje del volumen de residuos compactados

La siguiente ecuación permitió determinar el volumen diario de material de cobertura, en términos simples, el cálculo toma el volumen diario de residuos sólidos compactados (C_6) y lo multiplica por 0.2, que representa el porcentaje del volumen de residuos compactados destinado al material de cobertura.

Ecuación 9 – Criterio 9 (C9)

$$VMC_{\text{anual}} = (C_8) \times 365$$

Dónde

VMC_{anual} : Volumen anual de material de cobertura

(C_8): Volumen diario de material de cobertura

365: Días del año

La fórmula proporcionó el volumen anual de material de cobertura requerido en un relleno sanitario. Se basa en la suposición de que la cantidad diaria (C_8) se mantiene constante a lo largo

del año y, por lo tanto, se multiplica por el número de días en el año para obtener el volumen total anual necesario para cubrir los residuos compactados de manera adecuada.

Ecuación 10 – Criterio 10 (C10)

$$VRSE_{anual} = \frac{[(C_3) \times \frac{7}{6}]}{D_e} \times 365$$

Donde

$VRSE_{anual}$: Volumen anual de residuos sólidos estabilizados

(C_3) : Cantidad de residuos sólidos diario

7/6: 7 días de producción / 6 días de recolección

D_e : Densidad de estabilización de los residuos (kg/m^3)

Se utilizó para calcular el volumen anual de residuos sólidos estabilizados, donde (C_3) representa la cantidad diaria de residuos sólidos generada, mientras que 7/6 es el ciclo de producción dividido para recolección durante una semana. La variable D_e se refiere a la densidad de estabilización de los residuos, indicando cuánto se han compactado y estabilizado los residuos sólidos, medida en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

Ecuación 11 – Criterio 11 (C11)

$$V_{RS} = (C_9) + (C_{10})$$

Dónde

V_{RS} : Volumen del relleno sanitario

(C_9) : Volumen anual de material de cobertura

(C_{10}) : Volumen anual de residuos sólidos estabilizados

Esta ecuación reflejó la simple suma de los volúmenes anuales de material de cobertura y residuos sólidos estabilizados para determinar el volumen total del relleno sanitario (m^3).

Ecuación 12 – Criterio 12 (C12)

$$(ac)_{RSf} = (ac)_{RS0} + V(an)_{RSf}$$

Dónde

$V(ac)_{RSf}$ = Acumulado de volumen del relleno sanitario para el año proyectado

$V(ac)_{RS0}$ = Acumulado de volumen del relleno sanitario del último año

$V(an)_{RSf}$ = Volumen del relleno sanitario del año proyectado

La ecuación representó el volumen acumulado del relleno sanitario para el año proyectado (m^3), siendo la suma del volumen acumulado del último año y el volumen proyectado para el mismo año.

Ecuación 13 – Criterio 13 (C13)

$$A_R = (C_{12}) / H$$

Dónde

A_R : Área del relleno sanitario (m^2)

(C_{12}) : Volumen anual de residuos sólidos estabilizados

H: Altura del relleno sanitario

Esta ecuación se utilizó para calcular el área del relleno sanitario en función del volumen anual de residuos sólidos estabilizados perteneciente al criterio 12 y la altura del relleno sanitario. De tal forma, proporcionó una estimación del espacio horizontal necesario para acomodar el volumen de residuos sólidos estabilizados a una altura específica en el relleno sanitario.

Ecuación 14 – Criterio 14 (C14)

$$A_r = (C_{13}) \times F$$

Dónde

A_r : Área total requerida (m^2)

(C_{13}) : Área por rellenar

F: Factor para estimar el área adicional

La ecuación 14 estimó el área total requerida para la disposición de residuos, tomando en cuenta el área del relleno sanitario perteneciente al criterio 13 y aplicando un factor de ajuste dado en la guía de diseño, operación y construcción para un relleno sanitario manual (Jaramillo, 2002).

Ecuación 15 – Criterio 15 (C15)

$$A_r = (C_{14}) \times 0,0001$$

Dónde

A_r : Área total requerida (hectáreas)

(C_{14}) : Área total requerida (m^2)

0,0001: Factor de conversión para convertir a hectáreas

El siguiente objetivo está conformado por las fases 4, 5 y 6, en donde se aplicó la metodología de Saaty (1987), para encontrar los valores de influencia de los criterios ambientales mediante el proceso de análisis jerárquico y consultas a expertos.

Fase 4. Selección y clasificación de los criterios necesarios para el proceso de análisis jerárquico.

Para la selección de los criterios se utilizó el proceso de análisis jerárquico que fue influenciado y guiados por la Norma general para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, para un relleno mecanizado (2015). En este proceso, se consideraron los siguientes factores con sus respectivas fuentes.

Tabla 2
Criterios y fuentes que se utilizó para (AHP)

Criterios	Fuentes	Año	Escala
Pendiente	SIGTIERRAS	2016	50.000
Precipitación	INAMHI	2016	50.000
Tipo de suelo	SIGTIERRAS	2016	50.000
Distancia a acuíferos	Instituto Geográfico Militar - IGM	2013	50.000
Distancia a cuerpos hídricos	Instituto Geográfico Militar - IGM	2013	50.000
Distancia a centros poblados	Instituto Geográfico Militar - IGM	2013	50.000
Distancia a centros escolares	Ministerio de Educación	2014	50.000
Distancia a centros de salud	Ministerio de Salud Pública - MSP	2014	50.000
Distancia a áreas protegidas	Instituto Geográfico Militar - IGM	2013	50.000

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Los siguientes criterios pasaron a ser utilizados en el método de proceso de análisis jerárquico en donde se le asignaron valores de importancia con la mediante el uso de matrices, que serán detalladas más adelante.

Fase 5. Cálculo para la ponderación de criterios

Para la ponderación de los criterios seleccionados, así como la establece la tabla 5, fue aplicado la metodología AHP. En donde, para poder desarrollar este método se realizó una matriz de criterios de comparación por pares (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en donde se determinarían los niveles de importancia de cada criterio seleccionado.

Para determinar el nivel de importancia entre los criterios, se utilizó la escala de Saaty (1987), en donde se evaluó cada criterio respectivamente para poder insertar cada valor en la matriz de comparación por pares, paso que es necesario para poder identificar el nivel de importancia de cada factor.

Tabla 3
Escala de Saaty

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igualmente importante	Dos criterios cumplen en igual medida el objetivo
3	Moderadamente importante	Preferencia leve de un criterio sobre otro
5	Fuertemente importante	Preferencia fuerte de un criterio sobre otro
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Mucha más preferencia de un criterio sobre otro, Predominancia demostrada
9	Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un criterio sobre el otro
2,4,6,8		Intermedio de los valores anteriores

Fuente: Saaty, 1987

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Tabla 3 se presenta la escala de numeración de Saaty del 1 al 9, en donde 1 representa igualmente importante, 3 indica moderadamente importante, 5 representa Fuertemente importante, 7 importancia muy fuerte, 9 establece que tiene una importancia extremadamente fuerte y por último valores que se encuentran intermedios a los anteriormente establecidos los cuales son, 2,4,6,8, tomando en consideración que esta escala se usará al momento de establecer las comparaciones entre los criterios establecidos.

Fase 6. Consulta a expertos

Esta fase ayudó a complementar la metodología de Jaramillo (2002) y Saaty (1987) por medio de consultas a expertos para tomar decisiones más precisas al momento de asignar valores en el nivel de importancia sobre los criterios. Se realizó una matriz de comparación por pares a cada uno de los especialistas pertenecientes al campo de estudio, en donde ellos dieron individualmente sus criterios al momento de determinar el nivel de importancia de un factor sobre otro, por consiguiente, se recolectó las matrices completadas por los especialistas para establecer valores promedios en una matriz única, gracias a la información proporcionada por los expertos que participan en la investigación.

En detalle, se utilizó suma de matrices en los valores dados por cada uno de los expertos para poder consolidar y compactar la información comprendida, y poder establecerla en una única matriz que represente de manera específica las preferencias y valoraciones. La suma de matrices facilita la

síntesis de relaciones entre criterios, facilitando el proceso de obtención de un promedio ponderado que refleje de manera más precisa el nivel de importancia relativa de cada criterio.

$$D = A + B + \dots + Z$$

Donde:

D: Matriz resultante.

A + B+...+ Z: Matrices del mismo orden (m×n).

La operación se realizó elemento por elemento para cada matriz involucrada. Es importante destacar que, para realizar la suma de matrices, todas deben tener el mismo orden, es decir, deben tener la misma cantidad de filas y columnas.

Una vez obtenida la matriz ponderada, es necesario normalizar los datos. La normalización es un proceso que transforma los valores a una escala común (generalmente entre 0 y 1), lo que facilita la comparación, especialmente cuando los criterios tienen unidades diferentes. En el método AHP, este paso es crucial para hacer comparables criterios como la distancia, el área o la pendiente en la selección de áreas óptimas para rellenos sanitarios.

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde:

X_{norm} : Valor normalizado.

X: Valor original del criterio.

X_{min} : Valor mínimo de la columna de criterios.

X_{max} : Valor máximo de la columna de criterios.

A su vez, los valores de la matriz normalizada fueron representados en porcentaje, determinado el nivel de importancia de los criterios, fundamentado en la necesidad de cuantificar de manera relativa la preferencia o peso de cada criterio en relación con los demás. Al expresar estas ponderaciones en forma de porcentaje, se proporciona una medida objetiva que permite comparar y entender la influencia relativa de cada criterio

Consecuentemente se aplicó el índice de consistencia a los resultados otorgados por la matriz de comparación por pares ponderada de los criterios establecidos, para poder evaluar la fiabilidad y coherencia de los valores establecidos por los especialistas.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Donde:

CI = Índice de consistencia

λ_{\max} = Máximo autovalor

n = Valor de la matriz de decisión

Por consiguiente, se empleó el Índice de consistencia aleatoria que tiene como función detectar posibles inconsistencias o incoherencias en las dediciones que establezcan los especialistas. Una baja consistencia aleatoria sugiere que la matriz de comparación por pares puede contener sesgos o inconsistencias, lo que podría afectar la confiabilidad de los resultados obtenidos a partir de estos métodos de toma de decisiones.

$$RI = \frac{1,98 (n - 2)}{n}$$

Donde:

RI = Índice de consistencia aleatoria

n= número total de observaciones

A su vez, se utilizó la razón de consistencia sobre los futuros datos otorgado por la matriz de comparación por pares de los criterios, teniendo en cuenta que esta ecuación necesita de los valores resultantes de los índices de consistencia y de consistencia aleatoria, en donde serán divididos para poder establecer la razón de consistencia y garantizar la validez y la fiabilidad de las comparaciones entre los criterios.

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde:

CR = Razón de consistencia

CI = Índice de consistencia

RI = Índice de consistencia aleatoria

El siguiente objetivo está conformado por la fase 7, en donde se aplicó la metodología Arévalo y Sandoya (2021), de acuerdo con la cual se obtuvieron los datos de las áreas óptimas para un relleno sanitario mediante el uso del modelo multicriterio SIG e Índice de Gravelius.

Fase 7. Modelo multicriterio basado en SIG

Para poder determinar áreas óptimas se utilizó un Sistema de información geográfica, en donde se insertarán todos los shapefiles de los criterios descargados en geoportales oficiales.

Para realizar la ponderación de los shapefiles de los criterios se utilizó los estándares utilizados por Arevalo y Sandoya (2021), en donde aplicaron valores de 1 al 5, estableciendo esta escala que: 1 será el área menos óptima, 2 a Poco optima, 3 a Moderamente optima, 4 a Bastante optima y 5 como Óptima.

Una vez identificado las áreas otorgadas por el modelo, se utilizó el índice de Gravelius como coeficiente de compacidad para ayuda evaluar la forma de las geometrías, determinando así las áreas como óptimas para la ubicación de un relleno sanitario.

$$\text{Indice de Gravelius} = \frac{P^2}{4\pi \times A}$$

Donde:

P: Perímetro

A: Área óptima

El índice de Gravelius se calculó considerando valores cercanos a 1, los cuales indican formas más circulares, compactas y eficientes, mientras que valores alejados a 1 determinan formas más irregulares y dispersas.

Por ende, mediante un diagrama de flujo (Ver Anexos Figura 2), se detalla de forma general la metodología del proceso de identificación de áreas óptimas para determinar la ubicación correcta para un relleno sanitario en el cantón Chone.

Resultados y discusión

Cálculo de las dimensiones del área necesaria para la disposición final de residuos generados por la población proyectada al año 2040 en el cantón Chone mediante criterios de diseño

Para el cálculo de las dimensiones necesarias del relleno sanitario se desarrolló una proyección del año 2023 al 2040 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), en donde se podrá observar los diferentes tipos de ecuaciones aplicadas para determinar geoméricamente el área (ha), tomando en cuenta los criterios de diseño para una población futura.

Tabla 4

Dimensiones del área necesaria para el relleno sanitario con proyección al año 2040

Códigos de criterios	Criterios Principales	Descripción de criterios	Valores proyectados al 2040
C1	Población	Población (hab)	130.696
C2	Producción Per Cápita de Residuos Sólidos	ppc (kg/hab/día)	0.58
C3	Cantidad de residuos sólidos	Diaria (kg/día)	75.803.94
C4		Anual (kg/año)	27.668.438.28
C5		Acumulado (kg)	493.478.472.39
C6	Volumen (m3)	Residuos sólidos Diaria (m ³)	189.51
C7		compactados Anual (m ³)	69.171.10
C8		Material de Diaria (m ³)	37.90
C9	Área requerida	cobertura Anual (m ³)	13.834.22
C10		Residuos sólidos estabilizados (m ³ /año)	55.336.88
C11		Relleno sanitario m ³	69.171.10
C12	Total Ar (m ²)	Acumulado	1.233.696.18
C13		Relleno AR (m ²)	411.232.06
C14		Total Ar (m ²)	123.369.62
C15	Total Ar (ha)		12.34

Notas: Los residuos sólidos compactados es un sumatorio año a año en kilogramos dentro del tiempo proyectado

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

La Tabla 4 se divide en 15 criterios donde se aplicaron fórmulas para obtener valores proyectados al año 2040. Por consiguiente, se obtuvo como resultado que la población en el cantón Chone será alrededor de 130 696 habitantes, con un ppc de residuos sólidos de 0.58 kg/hab/día.

Alrededor de 75.803.94 kg de residuos sólidos serán generadas diariamente, por lo que a su vez al año sería una cantidad 27 668 438.28 kg con un acumulado o arrastre de RSU de 493.478.472.39 kg. Para el volumen se generó un valor anual de 69 171.10 m³ en los residuos sólidos compactados, material de cobertura de 13.834.22 m³ y 55.336.88 m³ para los residuos sólidos estabilizados.

El volumen necesario para el relleno sanitario al año 2040 es de 1.233.696.18 m³, tomando en consideración el acumulado de residuos sólidos. Por consiguiente, se establece que el área requerida para los 18 años proyectados es de 12.34 ha.

Clasificación de los criterios que influyen en la selección de áreas óptimas para la asignación de pesos empleando el Proceso de Jerarquía Analítica

Para determinar áreas óptimas mediante un análisis jerárquico se usó diferentes tipos de criterios para cubrir con los factores diversificados que son necesarios en la toma de decisiones para la ubicación de un relleno sanitario.

En la Tabla 5 se realizó una codificación a los criterios que son evaluados mediante la metodología de AHP.

Tabla 5
Codificación de los criterios para AHP

Código	Criterios
C1	Pendiente
C2	Precipitación
C3	Tipo de suelo
C4	Distancia a acuíferos
C5	Distancia a cuerpos hídricos
C6	Distancia a centros poblados
C7	Distancia a centros escolares
C8	Distancia a centros de salud
C9	Distancia a áreas protegidas

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

La Tabla 5 presenta a los criterios con el respectivo código, lo cual es esencial para facilitar la comparación entre distintos factores que influyen en la selección de un sitio adecuado para la ubicación de un relleno sanitario.

En la Tabla 6 se presenta los datos en donde se evaluaron los criterios entre sí, con la finalidad de determinar el valor de importancia de cada uno.

Tabla 6
Matriz de comparación por pares

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	3	3	5	3	5	7	7	1/3
C2	1/3	1	3	2	1/2	5	5	5	1/3
C3	1/3	1/3	1	2	1/5	3	5	5	1/5
C4	1/5	1/2	1/2	1	1/3	5	5	7	1/5
C5	1/3	2	5	3	1	5	5	5	1/3
C6	1/5	1/5	1/3	1/5	1/5	1	1	1	1/7
C7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1	1	1	1/7
C8	1/7	1/5	1/5	1/7	1/5	1	1	1	1/7
C9	3	3	5	5	3	5	7	7	1
Sumatoria	5.69	10.43	18.23	18.54	8.63	31.00	37.00	39.00	2.83

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Para determinar los datos se promedió los criterios de evaluación de 5 especialistas en el campo para poder crear una matriz única, cada criterio fue evaluado por pares según la escala de Saaty, teniendo valores desde 9 como absolutamente importante hasta 1/9 que significa absolutamente menos importante, por consiguiente, se realizó la sumatoria en vertical de cada criterio dando valores de máxima de 39 que pertenece al criterio C8 siendo este la distancia a centros de salud y un valor mínimo siendo el criterio C9 perteneciente a distancia a áreas protegidas con 2.83.

Cada valor de la sumatoria en vertical sirve para determina la normalidad de cada criterio, así como se lo detalla en la Tabla 7

Tabla 7
Matriz de criterios normalizada

Criterios	Promedio										Influencia
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
Pendiente	0.18	0.29	0.16	0.27	0.35	0.16	0.19	0.18	0.12	0.21	21%
Precipitación	0.06	0.10	0.16	0.11	0.06	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	11%
Tipo de suelo	0.06	0.03	0.05	0.11	0.02	0.10	0.14	0.13	0.07	0.08	8%
Distancia a acuíferos	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04	0.16	0.14	0.18	0.07	0.08	8%
Distancia a cuerpos hídricos	0.06	0.19	0.27	0.16	0.12	0.16	0.14	0.13	0.12	0.15	15%
Distancia a centros poblados	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	3%
Distancia a centros escolares	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	2%
Distancia a centros de salud	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.02	2%

Distancia a áreas protegidas	0.53	0.29	0.27	0.27	0.35	0.16	0.19	0.18	0.35	0.29	29%
Sumatoria	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100%

Nota: El valor de promedio es la sumatoria de los pesos de forma horizontal dividido para el número de criterios

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Se presentan los datos de los criterios de forma normalizada en base a comparaciones por pares de la Tabla 6, se obtuvo dividiendo el valor individual de la matriz ponderada de cada criterio sobre la sumatoria total en cada columna, estos datos ayudan a determinar el peso de cada criterio evaluado.

Entre los 9 criterios evaluados, se establece que el criterio con mayor promedio es la distancia a áreas protegidas, con un valor de 0.29, lo que representa un 29% de influencia. Esto indica que, según los especialistas, este es el criterio más importante al momento de determinar áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario.

Otros criterios que tienen un peso significativo en la evaluación es la pendiente, con un valor de 0.21 que simboliza un 21% de influencia, y la distancia a cuerpos hídricos, con un 0.15 que equivale a un 15% de influencia. Estos componentes son cruciales para garantizar la estabilidad del terreno y evitar la contaminación de fuentes de agua. La precipitación también juega un papel importante, con un 0.11 que representa un 11% de influencia. En cambio, los criterios con menor peso, según los especialistas, son la distancia a centros escolares y a centros de salud, ambos con un valor de 0.02, significando solo un 2% de influencia cada uno, aunque su consideración sigue siendo relevante para proteger a la comunidad aledaña.

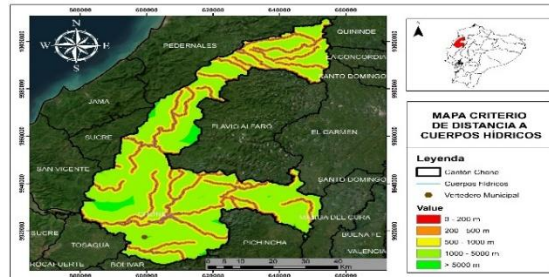
El índice de consistencia de la matriz es 0.11, lo que permite medir la coherencia de los datos. Por su parte, el índice de consistencia aleatoria presentó un valor de 1.54, que es necesario para evaluar las inconsistencias en las decisiones de los evaluadores. Finalmente, al dividir estos dos índices, se obtiene una razón de consistencia de 0.07, lo que indica que los datos proporcionados son coherente y consistente porque es un valor < 0.1 .

Elaboración de mapas criterio de las áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario mediante el modelo multicriterio y SIG

Para la elaboración de los mapas, se consideró la información del promedio y el nivel de influencia de cada criterio, tal como se detalla en la Tabla 7. Además, se integró la información presentada en el *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*, que incluye los datos de referencia para la ponderación de cada criterio.

Figura 1

Mapa criterio de distancia a cuerpos hídricos

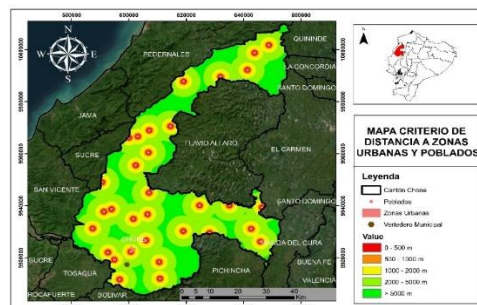


Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Figura 1 se presenta el mapa de distancia a cuerpos hídricos, donde se establece la lejanía del criterio hasta los límites del cantón. Los resultados, basados en la ponderación, muestran que las zonas de color rojo, que se encuentran entre 0 y 200 metros, son las menos óptimas para la ubicación de un relleno sanitario, abarcando un área de 29.769 hectáreas, según lo establecido en (*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*). Por otro lado, las zonas óptimas, representadas en color verde, se encuentran a más de 5.000 metros, y abarcan un área de 10.600 hectáreas.

Figura 2

Mapa criterio de distancia a zonas urbanas y poblados



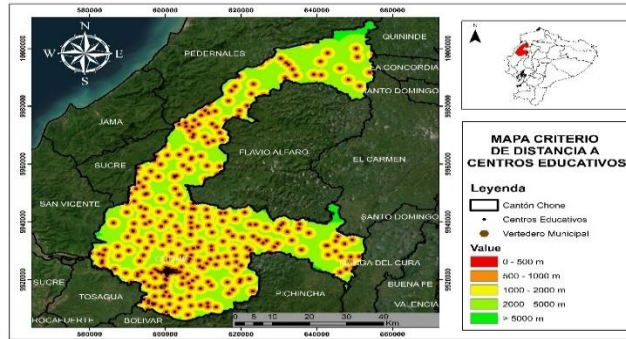
Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Figura 2 se ilustra el mapa de distancia a zonas urbanas y poblados. En donde se identifica que las áreas de color rojo representan las zonas menos óptimas para la ubicación de un relleno

sanitario, situadas a distancias de 0 a 500 metros y con un área de 10.778 hectáreas, según (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). Por otro lado, las zonas de color verde son las más óptimas, ubicadas a > 5.000 metros, con un área de 89.173 hectáreas. Además, se observa una distribución equilibrada de los poblados y zonas urbanas dentro del cantón.

Figura 3

Mapa criterio de distancia a centros educativos



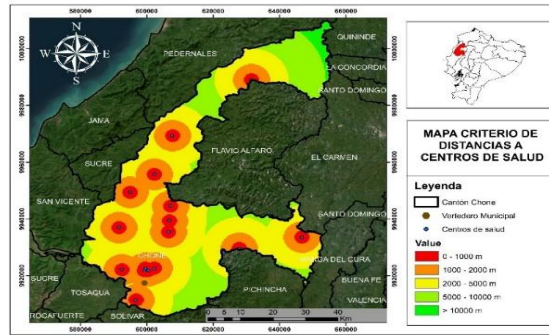
Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Por consiguiente, en la

Figura 3 se detalla el mapa de distancia a centros educativos. En donde se observa que las áreas marcadas en color rojo representan las zonas menos óptimas para la ubicación de un relleno sanitario, ubicadas a distancias de 0 a 500 metros y con una extensión total de 24.297 ha, según lo establecido en (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En contraste, las zonas de color verde son las más óptimas, ubicadas a > 5.000 metros, con un área de 7.224 ha. Además, se detalla una amplia distribución de los centros educativos en el cantón, lo que reduce la disponibilidad de áreas óptimas en base a este criterio

Figura 4

Mapa criterio de distancia a centros salud



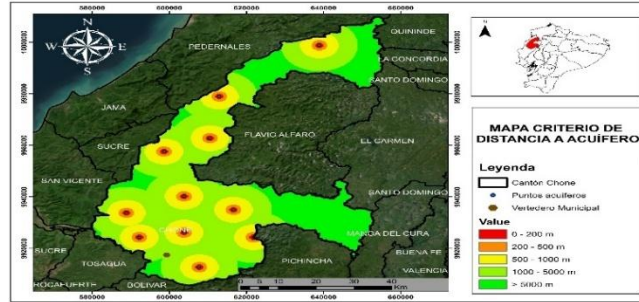
Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Por lo tanto, en la

Figura 4 se presenta el mapa del criterio de distancia a centros de salud. En él se destaca que las áreas menos óptimas están marcadas en color rojo, cubriendo una extensión de 23.490 hectáreas y situadas a una distancia de 0 a 1.000 metros según lo establecido en (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). En contraste, las zonas de color verde se consideran óptimas e ideales para la ubicación de un relleno sanitario, ya que se encuentran a más de 10.000 metros y abarcan una superficie de 1.290 hectáreas. Conforme a lo indicado, se enmarca que la distribución de los centros de salud se concentra mayoritariamente en la parte suroeste del cantón.

Figura 5

Mapa criterio de distancia a acuífero

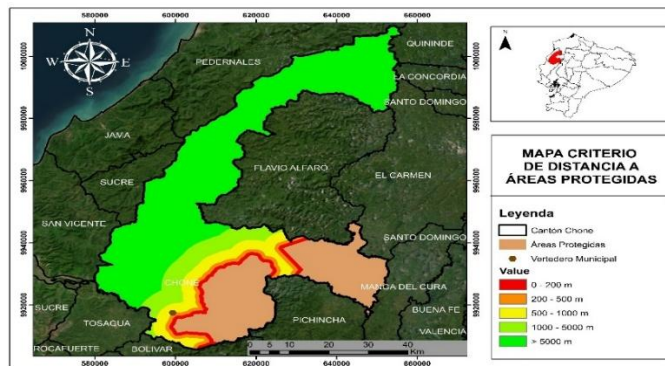


Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Figura 6 se detalla el mapa del criterio de distancia a acuíferos. En él se visualizan las áreas menos óptimas, representadas en color rojo, con una distancia de 0 a 200 metros, y una extensión de 3.950 hectáreas, según se detalla en (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.). A su vez, se observa que las áreas óptimas están representadas en color verde, cuya distancia ponderada es > 5.000 metros, abarcando una extensión de 92.790 hectáreas, las cuales son ideales para la ubicación de un relleno sanitario. Se visualiza que la distribución de los acuíferos se concentra mayoritariamente en la parte suroeste del cantón.

Figura 6

Mapa criterio de distancia a áreas protegidas

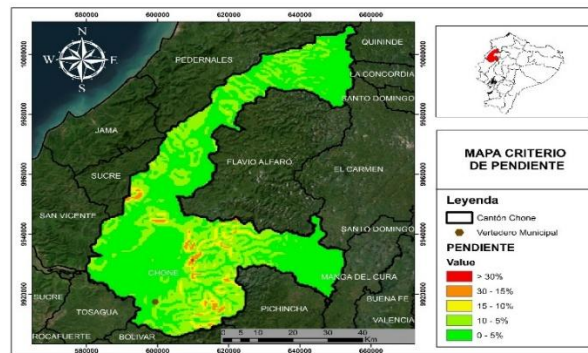


Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Por consiguiente, en la Figura 6 se detalla el mapa del criterio de distancias a áreas protegidas. Principalmente, se destaca, según la ponderación de (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), las zonas en color rojo son las menos óptimas, abarcando distancias de 0 a 500 metros y una extensión de 94.286

hectáreas. Las áreas que son óptimas están representadas en color verde, son ideales para la ubicación de un relleno sanitario, ya que se encuentran a más de 10.000 metros y cubren una superficie de 187.709 hectáreas. Se observa que las áreas protegidas están mayormente concentradas en la parte sureste del cantón, lo que constituye el criterio de mayor influencia al momento de la toma de decisiones.

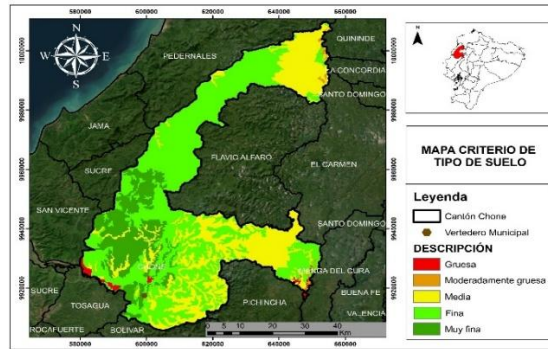
Figura 7
Mapa criterio de Pendiente



Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Figura 8 se presenta el mapa criterio de grado de pendiente del cantón, en el que se utiliza la ponderación de (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) como base. Se demuestra que las áreas menos óptimas para la ubicación de un relleno sanitario son las de color rojo, y se presenta el requisito de que tengan un grado mayor al 30% con una extensión de 72 hectáreas. Además, se observa que las zonas de color verde son áreas óptimas que presentan un grado de pendiente de 0 a 5%, representando una extensión de 212.704 hectáreas. Se detalla que las partes con mayor grado de pendiente se encuentran en el sur y el centro del cantón.

Figura 8
Mapa criterio de tipo de suelo G

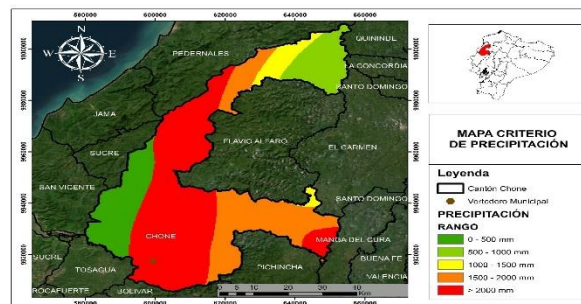


Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Por consiguiente, en la

Figura 8 se presenta el mapa de criterios de tipo de suelo de la zona de estudio, en donde se toma como referencia la ponderación de (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) para la clasificación. Se establece que las zonas menos óptimas son las áreas de color rojo, que presentan una tipología de suelo gruesa, con una superficie de 3.650 ha. Además, existen áreas moderadamente gruesas que están representadas por el color anaranjado, con una extensión de 1.970 ha, siendo áreas poco óptimas para la ubicación de un relleno sanitario. Las áreas de color verde oscuro son óptimas, ya que presentan un tipo de suelo muy fino, con una extensión de 50.594 ha. Se identifica que las zonas con un tipo de suelo muy fino se encuentran en la parte oeste del cantón.

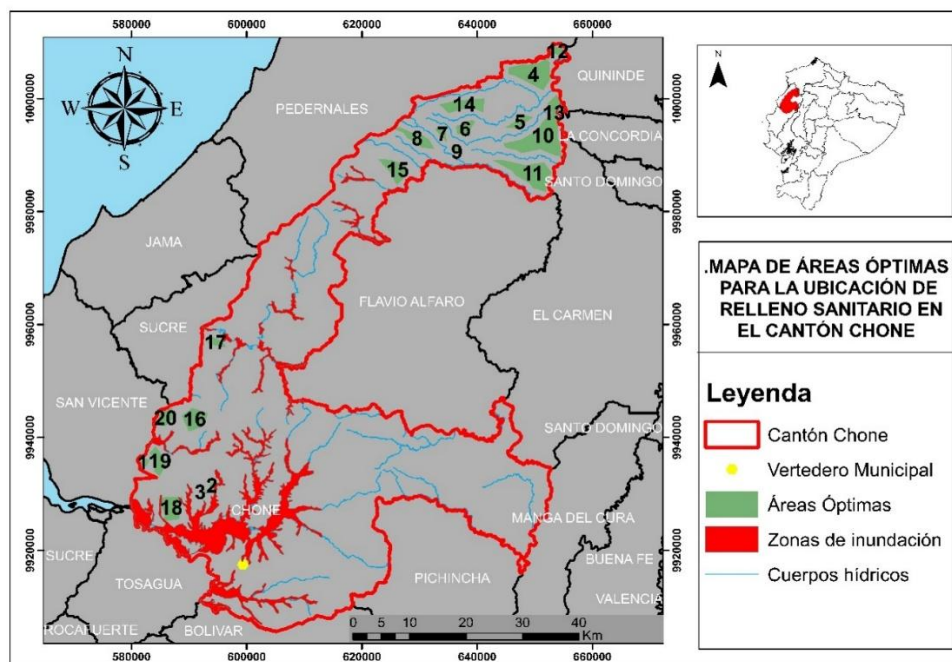
Figura 9
Mapa criterio precipitación



Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

En la Figura 10 se detalla el mapa de criterios de precipitación de la zona de estudio. Se toma en cuenta la ponderación según los datos de (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), en donde se establece que las áreas menos óptimas están enmarcadas en color rojo, con precipitaciones > 2.000 mm y una extensión de 48.714 hectáreas, seguido de las zonas de color anaranjado que van de 1.500 a 2.000 mm con una superficie de 160.230 hectáreas, siendo partes en donde no se puede establecer un relleno sanitario. Por consiguiente, las áreas de color verde son óptimas e ideales, ya que presentan precipitaciones de 0 a 500 mm, con una extensión de 33.270 hectáreas.

Figura 10
Mapa de áreas óptimas del cantón Chone



Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Como se visualizó en la Figura 11, se identificaron las áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario en el cantón Chone. Estas zonas fueron evaluadas e interceptadas utilizando todos los criterios para garantizar que no interfirieran con ninguna área no óptima, cumpliendo con la Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

Se identificaron un total de 20 áreas óptimas, principalmente ubicadas en el norte del cantón. Esta distribución se debe a la presencia de condiciones ideales, conforme a los criterios establecidos, que hacen de esta zona la más adecuada para la ubicación de un relleno sanitario.

Estas áreas evitaron las zonas urbanas y los poblados. Esto reduce significativamente el impacto negativo en las comunidades cercanas, minimizando la exposición de la población a posibles olores, ruidos y la proliferación de vectores asociados al manejo de residuos. Además, al situarse lejos de las áreas urbanas, se protege la salud pública y se asegura que la operación del relleno sanitario no interfiera con el desarrollo y expansión de las ciudades.

Por otro lado, se observó que el vertedero municipal del cantón no se encontraba en una de las áreas óptimas identificadas. Esto podría haber sugerido una posible deficiencia en la gestión al momento de establecer la ubicación para la deposición final de los desechos sólidos, según la metodología utilizada en el presente proyecto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los municipios suelen realizar estudios exhaustivos, incluyendo análisis geológicos, para determinar la ubicación de los rellenos, por lo que no se puede asegurar con certeza que el relleno estuviera en un sitio inadecuado sin un análisis más profundo.

Las áreas óptimas se encuentran en zonas con pendientes moderadas o bajas. Esto es clave, ya que los terrenos con inclinaciones pronunciadas presentan un alto riesgo de deslizamientos y erosión, lo que podría afectar la estabilidad del relleno sanitario. Además, un terreno más plano facilita las operaciones diarias del relleno, evitando que los desechos se dispersen y reduciendo los costos de mantenimiento. Por estas razones, las zonas con menor porcentaje de inclinación fueron priorizadas para minimizar riesgos y garantizar la seguridad de la infraestructura.

Tabla 8

Polígonos de áreas óptimas e Índice de Gravelius determinados mediante geoprocamiento

Área óptima requerida para el 2040	Polígono	Área (ha)	Índice de Gravelius
Cantón Chone: 12.34 ha	1	150.29	1.29
	2	103.45	2.22

3	27.64	1.87
4	2.308.72	1.63
5	456.51	2.24
6	554.31	1.51
7	201.09	2.12
8	927.89	2.41
9	132.67	1.81
10	3.705.63	3.99
11	2.522.46	2.13
12	226.72	1.38
13	278.49	1.95
14	1262.60	2.31
15	1128.03	1.61
16	1.198.70	1.19
17	328.81	1.66
18	1316.14	1.47
19	783.79	1.64
20	582.00	1.37

Total de áreas óptimas (ha) 18.196.04

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Dentro de la zona de estudio una vez aplicado el modelo se evaluaron los 9 criterios, y se determinó que existen 20 áreas óptimas en donde se puede ubicar un relleno sanitario con un total de 18.196.04 ha. Según la extensión, todos los polígonos cumplen con la demanda del área proyectada para la deposición de residuos sólidos al año 2040.

Tabla 9
Coordenadas UTM de Polígonos de áreas óptimas

ÁREAS ÓPTIMAS	COORDENADAS	
	UTM	
	X	Y
1	583183.92	9935966.74
	582628.405	9934849.18
	581577.234	9935061.39
	581972.229	9936350.35
	583183.92	9935966.74
2	594778.405	9932149.18
	593448.107	9930165.38
	593612.202	9931965.38
	594778.405	9932149.18

	592798.161	9930921.82
	592978.405	9929899.18
3	592393.546	9930149.46
	592798.161	9930921.82
	652624.699	10006486.4
	652576.654	10005274.2
	652621.245	10004149.2
	652585.917	10003258
	651478.405	10001449.2
	646557.059	10004071.5
	645450.482	10004340.4
4	645450.482	10005493.1
	646779.574	10005794.5
	647357.246	10005925.5
	650361.982	10006165.6
	651244.829	10006632.8
	652559.938	10007253.4
	652243.548	10006649.5
	652624.699	10006486.4
	647162.2	9994965.38
	646978.405	9994699.18
	644787.292	9994894.09
5	646344.611	9995782.98
	648086.507	9997132.98
	649740.08	9996701.3
	647162.2	9994965.38
	638573.995	9994123.52
	638878.405	9993349.18
	636544.309	9993745.69
6	636339.475	9995131.79
	639171.74	9996245.21
	639604.554	9995831.97
	638573.995	9994123.52
	634523.439	9994344.38
7	634692.058	9992245.86
	632578.405	9994699.18
	634523.439	9994344.38
	626502.097	9994984.65
	628888.397	9993903.12
8	629709.498	9994087.19
	631702.256	9992711.32
	632578.405	9991099.18

	630481.139	9991285.74
	627812.203	9993082.98
	627182.436	9993995.1
	625644.608	9994570.52
	626502.097	9994984.65
	<hr/>	
	636807.888	9991729.84
	637238.826	9990019.46
9	635955.053	9991090.82
	635728.405	9991999.18
	636807.888	9991729.84
	<hr/>	
	653968.557	9995000.54
	653243.565	9997487.04
	652476.781	9996493.63
	653457.057	9994000.05
	654004.218	9993847.68
	653929.256	9993112.25
	654424.218	9991794.99
	654628.405	9989749.18
	653482.593	9989953.37
	650951.227	9991032.71
	647770.197	9990324.56
10	646774.218	9990894.99
	644932.593	9991303.37
	644524.218	9992054.65
	647597.245	9992736.09
	650222.325	9994239.57
	651682.593	9996294.99
	653019.238	9997405.29
	652117.741	9998979.3
	653797.111	10000753.4
	654586.088	9998934.15
	653784.937	9996802.02
	653968.557	9995000.54
	<hr/>	
	644128.662	9989196.7
	648324.086	9988224.54
	651591.29	9988707.36
	652950.985	9986873.41
11	652124.436	9985503.15
	651928.405	9983449.18
	651282.375	9983703.15
	649743.671	9984131.62
	649032.375	9985053.15
	646724.436	9986345.21

	646063.148	9987201.94
	642732.375	9989066.63
	644128.662	9989196.7
	<hr/>	<hr/>
	655072.727	10008720.3
	654628.405	10007749.2
12	652660.919	10007951
	653491.382	10009266.7
	655072.727	10008720.3
	<hr/>	<hr/>
	653968.557	9995000.54
	654045.141	9994249.18
	654004.218	9993847.68
13	653457.057	9994000.05
	652476.781	9996493.63
	653243.565	9997487.04
	653968.557	9995000.54
	<hr/>	<hr/>
	641231.47	10000071.8
	641125.637	9997531.77
	638797.299	9998484.27
14	635093.124	9997425.93
	633399.788	9998960.52
	636045.626	9999595.52
	641231.47	10000071.8
	<hr/>	<hr/>
	628091.795	9986763.2
	626067.728	9984699.45
	624703.505	9987143.86
15	622773.659	9989303.21
	625154.914	9989144.46
	627496.481	9988271.33
	628091.795	9986763.2
	<hr/>	<hr/>
	592399.431	9941903.01
	589965.26	9941056.34
	588695.257	9943808.01
16	590547.344	9945226.18
	593299.017	9944294.85
	592399.431	9941903.01
	<hr/>	<hr/>
	595632.794	9957182.38
	596489.785	9955918.35
	593734.334	9956445.3
17	593238.31	9956732.59
	593615.342	9957903.37
	595632.794	9957182.38
	<hr/>	<hr/>
18	588230.428	9925557.1

	585412.61	9925080.85
	585779.02	9926315.89
	584614.908	9929349.69
	588825.742	9929486.17
	588230.428	9925557.1
	<hr/>	<hr/>
	586208.775	9935601.14
	584878.796	9933116.18
	583863.811	9934096.16
19	584248.805	9934901.15
	583163.822	9937246.11
	584178.807	9938401.1
	586208.775	9935601.14
	<hr/>	<hr/>
	587123.452	9943355.58
	585983.149	9941987.22
20	584249.889	9942215.28
	584979.683	9944176.6
	587123.452	9945316.9
	587123.452	9943355.58
	<hr/>	<hr/>

Elaborado por: Bello Melissa, Cepeda Manuel, Cedeño Fernando, Burgos Christian, Lara Christian 2025

Conclusiones

En el presente estudio, se calculó el área necesaria para la disposición final de los residuos sólidos generados en el cantón Chone hasta el año 2040, utilizando criterios de diseño específicos. La proyección de población para ese año es de 130.696 habitantes, quienes se estima que generarán un total de 493.478.47 ton de residuos sólidos. Para manejar esta cantidad, se determinó que se requiere un área geométrica de 12.30 hectáreas para el relleno sanitario, con una vida útil estimada de 18 años.

Se evaluaron nueve criterios clave que influyen en la selección de áreas óptimas para la ubicación del relleno sanitario. Estos criterios se agruparon en tres categorías principales: social, geológico e hidrológico. Mediante una matriz de ponderación jerárquica, basada en la información proporcionada por especialistas en el campo, se determinó que los criterios con mayor influencia fueron el C9, relacionado con la distancia a áreas protegidas, con un peso del 29%, y el C1, relacionado con las precipitaciones, con un 21%. En contraste, los criterios con menor influencia fueron el C7 y C8, relacionados con la distancia a centros de salud y centros escolares, ambos con un peso del 2%.

La mayor influencia del criterio C9 puede atribuirse a la necesidad de minimizar el impacto ambiental y proteger ecosistemas vulnerables. Las áreas protegidas suelen albergar especies en peligro, recursos naturales valiosos, y tienen funciones críticas en el equilibrio ecológico, como la regulación hídrica o la conservación de la biodiversidad. La proximidad de un relleno sanitario a estas zonas podría generar contaminantes como lixiviados y gases que, a largo plazo, podrían alterar irreversiblemente los hábitats naturales.

La aplicación del análisis multicriterio mediante SIG permitió identificar 20 áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario dentro del cantón Chone, abarcando un total de 18.196.04 hectáreas. Este resultado confirma la hipótesis planteada de que existen al menos tres áreas óptimas que pueden satisfacer las necesidades de disposición final de residuos para la población proyectada al año 2040.

Entre las 20 áreas óptimas identificadas, se aplicó el Índice de Gravelius para evaluar la forma de los polígonos, determinando que el polígono 16, con un valor de 1.19 y una extensión de 1.198.70 hectáreas, es morfológicamente el más adecuado para la ubicación de un relleno sanitario. Además, se observó que el vertedero municipal actual no se encuentra dentro de ninguna de las áreas óptimas designadas por el modelo, lo que sugiere la necesidad de una reevaluación de su ubicación para mejorar la gestión de los residuos en el cantón.

Referencias

1. Acuerdo ministerial 061. (2015). Registro Oficial N°856 Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria 4 de mayo del 2015. Quito.
2. Ajim, A., Kausar, S. S., Ahmad, A., y Mohd, M. (2022). A GIS-based novel approach for suitable sanitary landfill site selection using integrated fuzzy analytic hierarchy process and machine learning algorithms. *Environ Sci Pollut Res*, 29, 31511–31540. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17961-x>
3. Ali, A., Farhana, P., Al-Ansari, N., y Van Nam, T. (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(8), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11004-7>

4. Arevalo, y Sandoya. (2021). Determinación de áreas óptimas para un relleno sanitario en Lomas de Sargentillo, Isidro Ayora y Pedro Carbo, provincia del Guayas. Guayaquil: [Tesis de Pregado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/index.php>
5. Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., y Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201-206. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=486755023011>
6. Belalcázar, U. I. (2019). Identificación de áreas óptimas para la localización de un relleno sanitario en las subregiones norte y oriente del Valle del Cauca. *Entorno Geografico*, 18, 46-78. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i18.8626>
7. Charpentier, A. A., Freire, M. J., Carrera, V. D., y Haro, R. M. (2018). Modelamiento espacial en la ubicación de un relleno sanitario para la zona de Intag, cantón Cotacachi, Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(2), 36-42. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8529793>
8. Cobos, M. S., Solano, P. J., y Gárate, R. C. (2021). Criterios de selección para un sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos. Revisión de normas ambientales latinoamericanas y su contraste con la norma Ecuatoriana. *Rev. Int. Contam. Ambiente*, 37, 39-53. <https://doi.org/10.20937/RICA/53660>
9. Cobos, Solano, J., Vera, A., y Monge, J. (2017). EJE 02-02 Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay. *Memorias Y Boletines De La Universidad Del Azuay*, 14(1), 51-62. <https://doi.org/10.33324/memorias.v1iXVI.48>
10. Código Orgánico del Ambiente. (2018). Registro Oficial Orgáno del Gobierno del Ecuador. Quito: Ley 0; Registro Oficial Suplemento 983.
11. Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito: Decreto Legislativo; 2008., Registro Oficial 449 de 20 de octubre del 2008.
12. De La Cruz-Cabrera, V., Carrillo, S., y González, M. (2020). Manejo y disposición de residuos sólidos en la comunidad de Portobelo, Colón. *Revista Científica Orbis Cognitiona*, 4(2), 1-23. <https://doi.org/10.48204/j.orbis.v4n2a1>
13. Díaz, G. M. (2022). Revisión de técnicas de análisis demográficos y aplicación a datos reales. Granada, España: [Tesis de Maestría, Universidad de Granada]. <https://masteres.ugr.es/estadistica-aplicada/docencia/trabajo-fin-master/antiguo>

14. Digambar, C. P., Lakshmikanthan, Papiya, M., Sunil, K., y Rakesh, K. (septiembre de 2019). Determination of ignition temperature of municipal solid waste for understanding surface and sub-surface landfill fire. *ScienceDirect*, 97(2), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.002>
15. Duque, C. M., Durango, V. C., y Carvajal, H. V. (2020). Propuesta de un método de evaluación multicriterio como herramienta para determinar zonas óptimas de ubicación de rellenos sanitarios utilizando sistemas de información geográfica. *Sello Editorial Tecnológico de Antioquia*. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/1123>
16. Estacio, V. J., Tinoco, G. Ó., Díaz, T. V., y Moore, T. R. (2021). Sistemas de Información Geográfica y Localización de un Relleno Sanitario en Cerro de Pasco. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 24(48), 217-227. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21774>
17. GAD Municipal Chone. (2018). Ordenanza para la gestión y manejo externo de los desechos sanitarios generados en el cantón chone. Chone: GADM Chone. <https://www.chone.gob.ec/?gc=37>
18. GAD Municipal Chone. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Chone. <https://www.chone.gob.ec/index.php>
19. GAD Municipal Chone. (2023). Geografía. <https://www.chone.gob.ec/?gc=19>
20. García, C. M., Mussi, R., Paiva, D., Fariña, V., y Villalba, T. (2020). Capacidad de acogida del territorio para la ubicación óptima de rellenos sanitarios en el Departamento de Itapúa, Paraguay. VIII Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, 3, 2-9. https://www.researchgate.net/publication/339212901_Capacidad_de_acogida_del_territorio_para_la_ubicacion_optima_de_rellenos_sanitarios_en_el_Departamento_de_Itapua_Paraguay/citations
21. Giménez, V. M., y Cardozo, C. C. (2012). Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del Alto Paraná. *Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM*, 2(1), 4. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26832>
22. González, B. M., García, L., y Adolfo, I. (2023). Análisis de la ubicación óptima de un relleno sanitario a través de una metodología multicriterio, en el municipio de León,

- Guanajuato, México. Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero, 10(7), 800-820. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9094806>
23. Guerra, E. (2014). Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili , Timor Leste. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000200011
24. Hazhir, K., Hooshyar, H., y Abdulfattah, A. A. (2022). Chapter 16 - Municipal landfill site selection and environmental impacts assessment using spatial multicriteria decision analysis: A case study. *Computers in Earth and Environmental Sciences*, 3(2), 235-244. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89861-4.00030-0>
25. Hernández. (2022). El estudio del crecimiento de las poblaciones humanas. *Papeles De Población*, 3(10), 17-20. <https://rppoblacion.uaemex.mx/article/view/18438>
26. Hernández, C. D., Aldo, M. J., de Carvalho, H., y Pérez, d. M. (2018). Aplicación del software VENSIM para el auxilio del dimensionamiento de depósitos de residuos sólidos. Matanzas, Cuba: Universidad de Matanzas. <http://monografias.umcc.cu/monos18.htm>
27. Herrera, J., Rojas, M. J., y Anchía, L. D. (2016). Tasas de generación y caracterización de residuos sólidos ordinarios en cuatro municipios del área metropolitana Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(57), 235-260. <https://doi.org/10.15359/rgac.57-2.9>
28. Hussein, I., Shafy, A., y Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
29. INEC. (2022). Base de Datos de Censo Poblacional y Vivienda. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNWUzMjQwOWMtZjFhOS00Njc2LTk0YTItNjcwZmRmY2YxMjkyIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMtNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTEyMiJ9>
30. Jain, R., Lloyd, U., Balbach, H., y Webb, M. D. (2012). Chapter Two - Environmental Laws and Regulations. *Handbook of Environmental Engineering Assessment*, 19-65. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-388444-2.00002-6>
31. Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en

- pequeñas poblaciones (Vol. 1). Universidad de Antioquia y Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/55275>
32. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, U. y. (2016). Ley s/n (Suplemento del Registro Oficial 790, 5-VII-2016).
33. Ley Orgánica de Salud. (2022). Última Reforma: Segundo Suplemento del Registro Oficial 53, 29-IV-2022.
34. Loor, G. I., Rezabala, E. A., Sánchez, B. Y., y Pozo, R. J. (2020). El método Delphi: Una aproximación a su utilización en la evaluación del desempeño en Ecuador. *Dominio de las ciencias*, 6(4), 1462-1483. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i4.1560>
35. López, D. P. (2009). *Diseño relleno sanitario manual Huanuni*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andres. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/12802>
36. Lozano-Caballero, .. G.-R.-G.-H., Martínez-Salinas, R. I., y Nájera-Aguilar, H. A. (2016). Remoción de carga orgánica en lixiviados por medio de un biofiltro empacado con residuos estabilizados. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 5(12). <https://doi.org/doi.org/10.31644/IMASD.12.2016.a01>
37. MAATE. (2023). Proyecto de Gestión de residuos sólidos y economía circular inclusiva (GRECI). <https://www.ambiente.gob.ec/c1-plan-nacional-de-residuos-solidos-no-peligrosos-desarrollado/>
38. Mena, F. C., Morales, H. Y., Ormazábal, R. Y., y Gajardo, V. J. (2015). Localización de un relleno sanitario en la comuna de parral, chile, a través de evaluación multicriterio. *Localización de un relleno sanitario en la comuna de Parral, Chile, a través de evaluación multicriterio*, 35(9), pp. 684-689. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33914212009>
39. Mençik, D., Pehlivan, H., Aytakin, A., y Mençik, V. (2022). SOFTWARE IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AND CLOUD GIS SOFTWARE. *International Informatics Congress (IIC2022)*, 82-88. <https://www.upv.es/entidades/I2T/info/890613normalc.html#:~:text=Software%20libre%3A%20Es%20aque%20software,usuarios%20que%20lo%20han%20adquirido.>
40. Montes, C. C. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. Universidad Externado de Colombia. U. Externado de Colombia.: <https://publicaciones.uexternado.edu.co/gpd-estudio-de-los-residuos-solidos-en-colombia-9789587729245.html>

41. Nantes, E. (2019). El método Analytic Hierarchy Process para la toma de decisiones. Repaso de la metodología y aplicaciones. Departamento de Ciencias de la Administración, 27(46), 54-73. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/26474>
42. Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos. (2015). Anexo VI, Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.
43. Oteng-Ababio, M., Annepu, R., Bourtsalas, A., Intharathirat, R., y Charoenkit, S. (2018). Urban Solid Waste Management. 'Thanos' Bourtsalas, 5(1). <https://search.sites.columbia.edu/pages/Chapter-15-Urban-Solid-Waste>
44. Palacios, I. F. (2018). Evaluación multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario en la ciudad de Macas, a través de la ponderación de sus variables con el Proceso Analítico Jerárquico, AHP. Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, 3(3), 87. <https://doi.org/10.24133/rcsd.V3N3.2018.07>
45. Pizarro, G. G. (2022). Determinación de la cantidad de lixiviados en el relleno sanitario del cantón gonzalo pizarro, ecuador. Revista Ciencia UNEMI, 15(38), 24-33. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8377306>
46. Pon, J. (2019). Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo. ONU: <https://www.cepal.org/es/eventos/taller-regional-instrumentos-la-implementacion-efectiva-coherente-la-dimension-ambiental-la>
47. Portilla, R. L. (2018). Métodos de estimación de poblaciones futuras. <https://www.scribd.com/document/380499351/metodos-de-poblacion-futura>
48. Saaty, T. L. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. Mathematical Modelling, 9, 161-176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
49. Sáez, A., Urdaneta, G., y Joheni, A. (3 de septiembre de 2019). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Omnia, 20(3), 121-135. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=73737091009>
50. Saldaña, D. C., y Nájera, G. O. (2019). Identificación de sitios con potencial para la disposición final de residuos sólidos urbanos en el municipio de Tepic. Rev. Int. Contam. Ambie, 35(5), 69-77. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.esp02.07>
51. Sanu, D., y Sumana, S. (2021). Identificación de posibles sitios de vertedero utilizando modelos de evaluación multicriterio y técnicas SIG para la ciudad de Kharagpur en Bengala

- Occidental, India. Retos ambientales, 7(2), 2-4.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021002225>
52. Tesfaye, D. W., Zelalem, A. A., y Zemed, M. F. (2023). Optimized landfill site selection for municipal solid waste by integrating GIS and multicriteria decision analysis (MCDA) technique, Hossana town, southern Ethiopia. *Heliyon*, 11(3), 9.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21257>
53. Torri, S. (2017). ¿Qué es un relleno sanitario? Publicación on-line del Centro de Estudios y Desarrollo de Políticas, CECePP:
https://www.researchgate.net/publication/319624681_Que_es_un_relleno_sanitario
54. Yue, W., Li, J., An, D., Tang, J., y Wang, Y. (2018). Site selection for municipal solid waste landfill considering environmental health risks. *Resources, Conservation and Recycling*, 138(1), 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.008>
55. Zamora, J., y Arteaga, M. (2023). El impacto de la inflación y su repercusión en la canasta básica mediante el Índice de Precios de Consumo en Ecuador. *ECA Sinergia*, 14(3), 77-90.
<https://doi.org/10.33936/ecasinergia.v14i3.5741>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).