

Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay

Cobos Sandra¹, Solano José², Vera Andrés³, Monge Juan³

1 Unidad Académica de Ingeniería
Industria y Construcciones / Uni-
versidad Católica de Cuenca
General Torres y Ave. Américas/
Azuay/Ecuador
scobosm@ucacue.edu.ec

2 Unidad Académica de Ingeniería
Industria y Construcciones / Uni-
versidad Católica de Cuenca
General Torres y Ave. Américas/
Azuay/Ecuador
jsolano@ucacue.edu.ec

3 Estudiantes de la Unidad Aca-
démica de Ingeniería Industria
y Construcciones / Universidad
Católica de Cuenca
General Torres y Ave. Américas/
Azuay/Ecuador

RESUMEN

Los sitios de disposición final de desechos sólidos, se constituyen en piezas claves dentro de los procesos de gestión territorial por sus implicaciones ambientales, técnicas, sociales y económicas; más aún en municipios pequeños que no pueden financiar de forma directa este tipo de infraestructuras sanitarias, lo que ocasiona botaderos a cielo abierto, arrendamiento de rellenos sanitarios, o improvisación de lugares que responden a otros factores menos a factibilidad o aptitud del terreno. Tomando en cuenta estos antecedentes, el presente estudio tiene como objetivo identificar potenciales áreas para establecer un relleno sanitario mancomunado para la provincia del Azuay, mediante un análisis de decisión multicriterio (MCDA) con combinación lineal ponderada (WLC), basada en Sistema de Información Geográfica (GIS), de forma que satisfaga los requerimientos impuestos en la normativa vigente. Es así que el 11% de la superficie de la provincia presenta condiciones óptimas para establecer un relleno sanitario básico de 42 Ha., para lo que se contempló solo las ponderaciones más altas del MCDA, correspondientes a valores de 7,8 y 9. Estas zonas se encuentran distribuidas en 13 de los 15 cantones. Sin embargo, las áreas más grandes están en los cantones de Cuenca, Santa Isabel, Nabón, Gualaceo y Oña.

Palabras clave: **Sistemas de Información Geográfica, Análisis de decisión multicriterio (MCDA), Combinación lineal ponderada (WLC), Relleno sanitario mancomunado, Provincia del Azuay.**

ABSTRACT

The final solid waste landfill sites are key components of territorial management processes due to their environmental, technical, social and economic implications. Even more so in small municipalities that cannot directly finance this type of sanitary infrastructure, which leads to open pit dumps, landfill leases, or to the implementation of improvised sites in places that respond to other factors, but not to land feasibility or terrain suitability. With this background, the present study aims to identify potential areas for establishing a joint landfill for the Azuay province, by using a multi-criteria decision analysis (MCDA) with weighted linear combination (WLC) and by employing Geographic Information Systems (GIS) as a basic tool, in a way that satisfies the requirements imposed by the current legislation. It holds true that 11% of the province's area has suitable conditions to

establish a basic sanitary landfill of 42 hectares, for which only the highest MCDA weights corresponding to values of 7,8 and 9 were considered. This zones are distributed in 13 of the 15 cantons. Nevertheless, the largest areas are found in the cantons of Cuenca, Santa Isabel, Nabón, Gualaceo and Oña.

Keywords: Geographical Information Systems, Multicriteria Decision Analysis (MCDA), Weighted Linear Combination (WLC), Landfill Joint, Province of Azuay.

I. INTRODUCCIÓN

Los sitios de disposición final marcan el lugar de mayor trascendencia dentro de un sistema integrado de gestión de desechos sólidos, debido a que confluyen actividades que generan grandes impactos ambientales, tal es el caso de desbroce de cobertura vegetal, movimiento de tierra, cambio de uso de suelo, colocación de material de cobertura, manejo de lixiviados, control de emisión de gases, mitigación de impactos paisajísticos y riesgos para la salud pública (Zapata Muñoz & Zapata Sanchez, 2013). A ello se suma problemáticas de carácter global como el crecimiento poblacional, utilización de materiales no biodegradables y el consumo excesivo e innecesario de bienes y productos (Mirabal Silva & Mirabal, 2016). A más de hechos propios de realidades como la latinoamericana, donde se carece de procesos de reaprovechamiento, reciclaje y tratamiento de los residuos. Todo esto contribuye a la generación de una mayor cantidad de basura, que en el mejor de los casos llega a un relleno sanitario. Caso contrario, termina en botaderos a cielo abierto, sin ningún control técnico y ambiental (Sáez & Urdaneta, 2014). Producto de ello, se maximiza el impacto ambiental por contaminación de lugares sensibles con una alta diversidad biológica y de ecosistemas.

A pesar de las consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales que se evidencia, la ubicación del sitio de emplazamiento del relleno sanitario, en Latinoamérica, por lo general, no corresponde principalmente a la factibilidad y aptitud del terreno, sino más bien obedece a factores políticos y sociales, como los que se han discutidos en Quintero (2016). Sin embargo, esta realidad se contrarresta con otros sitios geográficos como por ejemplo España, en donde se cumple, en su mayoría, con las normativas correspondientes (Colomer Mendoza, Altabella, Ferrán García, Herrera Prats, & Robles Martínez, 2013).

Por todas estas implicaciones, una adecuada disposición final de los residuos sólidos urbanos, se contempla como una de las estrategias para alcanzar la sostenibilidad de un territorio, cristalizado a través de los Planes de Ordenamiento Territorial. En el Ecuador, de acuerdo a la Constitución de la República (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2008) su artículo 264 y al Código orgánico de organización territorial autonomía y descentralización (COOTAD) en su artículo 55, esta responsabilidad ha sido adjudicada a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) Municipales (Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados, 2011), quienes deben controlar, manejar y decidir sobre el uso de los recursos (suelo, aire y agua) de su espacio físico y garantizar la capacidad de enfrentar los conflictos que se deriven de él (Quintero Torres, 2016). Sin embargo, la falta de autonomía administrativa y financiera de estas entidades, ha producido un manejo incipiente de estos desechos (Organización Mundial de la Salud - OMS, 2002; Buenrostro, Mendoza, & López, 2005)

En la provincia del Azuay, se puede evidenciar algunos factores importantes dentro de esta problemática, entre los que se destacan: la aun inadecuada disposición final de los residuos sólidos, donde el 9.19% va a un botadero a cielo abierto,

0.27% va a un botadero controlado y 1.53% utiliza una celda emergente (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015). Cinco cantones de esta provincia y dos de provincias vecinas, contratan los servicios de disposición final con el GAD municipal de Cuenca a través de su empresa de aseo. Así también, cuatro cantones de la cuenca del Jubones se han organizado a nivel de mancomunidad y cuentan con un relleno sanitario en común.

En base a lo expuesto, la provincia cuenta con dos rellenos sanitarios con licencia ambiental que evidencia el cumplimiento de las normativas técnicas y legales dispuestas en el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TUL-SMA) (Ministerio del Ambiente, 2015). Uno de ellos con una vida útil hasta el 2031 (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca, 2016) y el otro hasta el 2023 (Empresa pública municipal mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones, s.f). Lo que genera la necesidad de establecer nuevas alternativas viables en favor de una planificación territorial adecuada.

Frente a este escenario, una premisa que se asume dentro de este estudio, es la generación de un relleno sanitario mancomunado que toma como actores principales a los GADs municipales de la provincia del Azuay. Hecho que además se fundamenta en el artículo 243 de la Constitución de la República del Ecuador, que menciona "Dos o más regiones, provincias, cantones o parroquias contiguas podrán agruparse y formar mancomunidades, con la finalidad de mejorar la gestión de sus competencias y favorecer sus procesos de integración..." (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2008). De la misma forma, la Organización Mundial de la Salud (2002), sugiere el trabajo mancomunado para la gestión de residuos sólidos en cantones que no superen los 30000 habitantes, característica que cumplen 13 de los 15 cantones analizados, excluyéndose Cuenca y Gualaceo. Esta estructura organizativa se ha sugerido también en otros países de América Latina (Buenrostro, Mendoza, & López, 2005) debido a beneficios como: reduce costos globales e individuales de gestión del servicio, optimiza y fortalece capacidades instaladas, genera una cultura de responsabilidad y transparencia en la gestión de recursos, mejora la calidad del servicio, estimula la inversión y genera fuentes de trabajo, autonomía técnica, administrativa, económico-financiera y de gestión, centraliza los residuos sólidos en un solo sitio, lo que favorece la operación y disminuye el impacto ambiental (Fundación IPADE, 2011; Solano Peláez, 2011).

El presente estudio tiene como objetivo identificar sitios potenciales para un relleno sanitario mancomunado para la provincia del Azuay, mediante un análisis espacial multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica (GIS). Estos últimos, al ser herramientas poderosas de captura, almacenamiento, consulta, análisis y modelado de información espacial, es la base para estudios territoriales que además ha incluido el álgebra y la probabilidad para apoyar la planificación, el análisis y la toma de decisiones (Malczewski, 2004).

La selección de sitios óptimos, recae en un problema de decisión, ya que gira en torno a la evaluación de diversas varia-

bles que definen según los expertos la idoneidad de un sitio. Esta tarea, en un inicio, se reducía solo al análisis de criterios en el ámbito económico, pero ahora, responden también a factores de tipo técnico, ambiental, social, convirtiéndole al hombre en el factor más importante. Esto ha originado incremento en los volúmenes de información a procesar y en la complejidad del análisis. No obstante, puede ser resuelto en el menor tiempo posible mediante la implementación de la tecnología SIG (Rikalovic, Cosic, & Lazare, 2014)

II. MÉTODO

A. DATOS

Este estudio partió de información secundaria en el ámbito geográfico, de acuerdo a la Tabla I. Por otro lado, para la determinación del área del relleno sanitario, se obtuvo datos del Programa Nacional de Gestión de Desechos Sólidos del Ministerio del Ambiente del Ecuador (PNGIDS) y de los GADs municipales, quienes proporcionaron la producción per cápita y porcentaje de cobertura.

TABLA I
INSUMOS GEOGRÁFICOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

DATOS GEOGRÁFICOS	FUENTE	ESCALA	AÑO
Límites cantonales	IGM	25000	2016
Cuerpos Hídricos		25000	2016
Uso De Suelo		25000	2016
Zonas Edificadas		25000	2016
Isoyetas	ODEPLAN	25000	2002
Permeabilidad	SENPLADES	25000	2014
Material De Cobertura		25000	2014
Modelo Digital De Elevaciones		3m x 3 m	2014
Estabilidad	UDA	25000	2011
Vías	EERCS	2000/5000	2005
Centros Educativos	Ministerio de Educación	25000	2008
Zonas De Bosques Y Áreas Protegidas	MAE	25000	2015
Fallas Geológicas	Caminosca	500	2011

Nota: IGM = Instituto Geográfico Militar, ODEPLAN = Oficina de Planificación, SENPLADES=Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, UDA = Universidad del Azuay, EERCS = Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, MAE = Ministerio del Ambiente del Ecuador

B. ZONA DE ESTUDIO

La provincia del Azuay está ubicada al sur del Ecuador, limita al norte con la provincia de Cañar, al sur con Loja, al este con Morona Santiago y Zamora Chinchipe y al oeste con El Guayas y El Oro (Figura 1). Está conformada por 15 cantones divididos en dos demarcaciones hidrográficas (D.H). La D.H del Santiago conformada por los cantones de El Pan, Chordeleg, Gualaceo, Cuenca, Sevilla de Oro, Guachapala, Paute y Sigsig. La D.H del Jubones con los cantones de Oña, Camilo Ponce Enríquez, Nabón, Girón, Pucará, San Fernando y Santa Isabel.

La capital provincial es la Ciudad de Cuenca, Patrimonio Cultural de la Humanidad, que por su extensión territorial y su desarrollo económico, es la tercera ciudad en importancia del País. La provincia, por su ubicación, goza de varios pisos climáticos, lo que genera una alta variedad de ecosistemas y una alta riqueza en biodiversidad. Aquí se destaca el Parque Nacional el Cajas, considerado como reserva de la Biósfera y principal fuente hídrica de la zona.

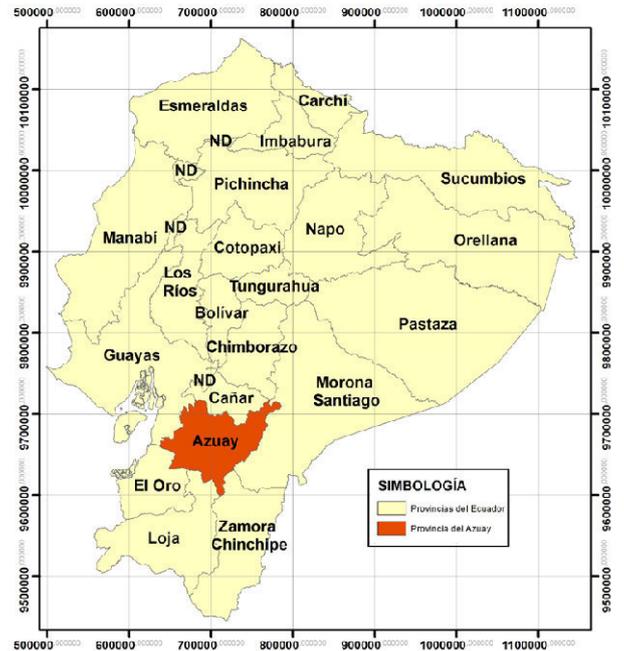


Figura. 1. Mapa de ubicación de la provincia del Azuay.

C. PROCESO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÁREA REQUERIDA

El cálculo del área del relleno sanitario se realizó contemplando únicamente los residuos sólidos generados a nivel domiciliario, debido a que representan entre el 80% (Ramos Sánchez, 2016) y 90% (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, 2016) de la producción total. El porcentaje restante se distribuye entre industrias, hospitales, comercios, mercados, establecimientos públicos y privados, residuos de barrido de calles, entre otros. Adicionalmente, no se han considerados los residuos peligrosos, puesto que, estos tienen un tratamiento especial de acuerdo a la normativa ecuatoriana vigente (Ministerio del Ambiente & Ministerio de Salud Pública, 2014).

El tiempo de vida útil para un relleno sanitario de acuerdo a la normativa ambiental ecuatoriana, debe ser de mínimo 10 años (Ministerio del Ambiente, 2015). Desde el punto de vista técnico, se gana estabilidad en la masa de basura a medida que pasan los años (Espinosa Silva & González García, 2011). Para este estudio, al manejarse el criterio de mancomunidad a nivel provincial, se contempla una vida útil de 20 años (Sanchez Bernal, Rodríguez León, Sandoval Orozco, Camacho Escobar, & Estrada Vázquez, 2015), partiéndose desde el 2025, lo que implica una proyección hasta el año 2045. El margen de 7 años (2017-2025) se contempla para la generación de espacios de diálogo con miras a la creación de la mancomunidad, estudios técnicos de viabilidad de las alternativas y la estructura técnico-administrativo del sistema de gestión (Consorcio Público de la Cuenca del Río Jubones, 2013; Alianza por la Solidaridad, 2014 (a,b)).

El cálculo del área necesaria (ARS) se realizó con la ecuación [1].

$$ARS = \left(\sum_{k=1}^{15} A(cub/cantón) \right) * A(adi) \quad (1)$$

Donde A(cub/cantón) es igual al área mínimo requerida para depositar los residuos sólidos de cada cantón hasta el año 2045. Se calculó por medio de la ecuación [2]. La sumatoria

de los 15 cantones, se multiplicó por A(adi) que es un valor referencial que se agrega para obras e infraestructura necesaria para la operación del relleno sanitario, tales como: vías, caseta de guardianía, área de pesaje de camiones, zona de recuperación de flora y fauna, entre otros. Valor que se recomienda entre un 20% y 40% (Carmona Merat, 2015). Para esta investigación se tomó un valor referencial del 20%.

$$A (\text{cub/cantón}) = \frac{\sum_{k=1}^n (V * MC)}{h} \quad (2)$$

En la ecuación [2], V representa el volumen de residuos sólidos que serán dispuestos anualmente en el cubeto y se calculó por medio de la ecuación [3]. MC equivale al porcentaje de material de cobertura, que se recomienda que por cada 4 a 5 m³ de desecho sólido, se emplee 1 m³ de material de cobertura (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016). Sin embargo, en la práctica y de acuerdo a la experiencia del cantón Cuenca en el manejo de su relleno sanitario, se puede considerar hasta un 12% (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, 2016), valor adoptado para este estudio.

El producto de V * MC se realizó para toda la vida útil del relleno sanitario, con k = 1 y n = 20. La letra h hace referencia a la altura del cubeto, que en este caso se consideró de 15 m (Collazos Peñaloza, 2013).

$$V = \left(\frac{P(\text{Anual})}{\rho} \right) * (1 - \text{asentamiento}) \quad (3)$$

En la ecuación [3], P(Anual) es la producción anual de residuos sólidos que se calculó con la ecuación [4]. A fecha del estudio, la provincia del Azuay generaba aproximadamente 400 Tn. diarias de basura, enmarcándose en un relleno sanitario de tipo mecanizado, con valores de compactación que generan un peso específico de los residuos (ρ) entre 0.71 Tn/m³ y 1 Tn/m³ (Rondón et al., 2016). Con la utilización de equipos compactadores de basura especializados, maquinaria que es necesaria para la magnitud del relleno sanitario propuesto, el peso específico por ende, se puede establecer en 0.9 (Collazos Peñaloza, 2013), valor asumido para este estudio.

El valor por asentamiento representa el porcentaje de pérdida en el volumen de los residuos sólidos por los procesos químicos y biológicos de degradación, lo que puede llegar hasta el 40% (Ordoñez Ante & Villarraga Herrera, 2005). No obstante, aquí se tomó un valor de 15%, de forma conservadora.

$$P(\text{Anual}) = [P(\text{Servida}) * PPC] * 365 \quad (4)$$

En la ecuación [4], P(Servida) equivale al porcentaje de población que cuenta con el servicio de recolección de residuos sólidos y se calculó utilizando la fórmula [5]. PPC es igual a la producción per cápita de cada cantón, variable directamente relacionada con las condiciones socioeconómicas del país, razón por lo que dificulta proyectar su comportamiento a futuro. No obstante, Collazos (2013) y Zafra (2009) han estimado un crecimiento entre 0.5% y 1% anual. Es así que para esta investigación se utilizó un promedio de estos valores de 0.7% como crecimiento anual para todos los cantones, con el objetivo de no sub-dimensionar el área requerida.

$$P(\text{Servida}) = \frac{P * PCSR}{100} \quad (5)$$

En la ecuación [5], P es la población anual cantonal y PCSR representa el porcentaje de cobertura del servicio de recolección por cantón. El crecimiento anual del porcentaje de cober-

tura de recolección, depende de algunos factores como por ejemplo: la renovación de la flota vehicular, apertura de rutas de recolección, crecimiento poblacional, distancias entre centros poblados y otros factores económicos y sociales. En este estudio, se tomó como referencia el crecimiento en el nivel de cobertura del último año en Cuenca (1.27%), cantón con mayor desarrollo económico de la provincia. Por otro lado, en Latinoamérica llegar a un nivel de cobertura del 100% se ajusta al ámbito teórico más no práctico, por lo que se utilizó como umbral máximo de crecimiento, el 93.24% que presenta Cuenca para el año 2016 (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, 2016).

El número de habitantes para los años involucrados se tomaron del INEC, quienes tienen una proyección por cantón hasta el año 2030 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). Para los años faltantes, se usó fórmula de crecimiento exponencial especificada en la ecuación [6] aplicado por Bejarano (2005).

$$PF = PI * (e)^{r*(tf-ti)} \quad (6)$$

Donde PF es la población final para cada uno de los años siguientes al 2030; PI es la población inicial en el último año censal (2010); r representa la tasa de crecimiento entre los periodos proporcionados por el INEC (2010-2030); tf es el año al que se desea proyectar los datos y ti es el último año censal.

Para la determinación de la tasa de crecimiento (r), se utilizó como base el rango comprendido entre el año 2010 y 2030 y se calculó de acuerdo a la ecuación [7]

$$r = \ln \left(\frac{pf}{pi} \right) * \left(\frac{1}{tf - ti} \right) \quad (7)$$

En donde pf es la población del año del rango superior (2030); pi es la población del año del rango inferior (2010); tf es el año final y ti es el año inicial.

D. ANÁLISIS MULTICRITERIO BASADO EN GIS

Para la determinación geográfica de las áreas factibles para el emplazamiento del relleno sanitario, se utilizó un análisis de decisión multicriterio basado en GIS, conocido como GIS-MC-DA por sus siglas en inglés de GIS-bases multicriteria decision analysis. Técnica que permite estructurar, diseñar, evaluar y priorizar alternativas en problemas de decisión (Malczewski, 2006); mediante la evaluación de un conjunto de criterios cualitativos o cuantitativos previamente establecidos que inciden en el problema. Estos criterios pueden trabajar en sinergia con la asignación de valores ordinales o continuos comparables (Greene, Devillers, Luth, & Eddy, 2011). No obstante, una limitación importante radica en que la opción determinada como la mejor, no siempre es aquella que representa el mayor bienestar (Kylilia, Christoforou, Fokaidis, & Polycarpou, 2014).

En el ámbito espacial, se consideran dos tipos de criterios, que para la elección de sitios óptimos, trabajan conjuntamente. Estos criterios se definen como explícitos e implícitos. El primer tipo hace referencia cuando la condición está presente en el problema de decisión. En términos de búsqueda de lugares óptimos es el tamaño, la forma, la consolidación morfológica del área, entre otros. En cambio, un criterio implícito es aquel que necesita ser calculado en función a datos espaciales. Por ejemplo, costos de la disposición final de los residuos sólidos que se calcula en función a variables como: distancias y proximidad a otros elementos geográficos, pendientes, entre otros. (Malczewski, 2006).

A partir de GIS-MCDA, se han desarrollado una serie de métodos, que entre otros factores, dependen del contexto en el que se aplica, el tiempo y los datos disponibles, diferenciándose uno del otro principalmente en la forma de procesamiento de la información. Sin embargo, ninguno reemplaza ni se sobrepone a otro ya que en muchos de los casos trabajan en conjunto (Kyllilia et al., 2014). Es por ello, que para la elección del modelo a utilizarse, se debe contemplar factores como: número de tomadores de decisión, fases de decisión, tolerancia al riesgo, incertidumbre, capacidad de recursos computacionales, experiencia, unidades y escala de medición. Además, como parte fundamental para la elección del camino a seguir, se debe identificar el número de objetivos que se pretende abordar en el estudio (Greene et al., 2011).

Cuando se analiza varios objetivos, cada uno de ellos con sus propios criterios, se sigue el modelo multi-objetivo o MODM por sus siglas en inglés de multiple-objective decision making. Cuando se analiza un solo objetivo, en el que intervienen diversos atributos, como el abordado en este trabajo, se cuenta con el modelo multi-atributo o MADC por sus siglas en inglés de multiple-attribute decision making. Éste último, permite aplicar métodos compensatorios entre atributos, ya que lo que se pierde en un criterio, gana en otro, con el objetivo de ajustarse más a la realidad (Malczewski, 2004).

Además, en el marco de GIS-MCDA existen métodos que hacen referencia al análisis de los criterios y la ponderación que reciben cada uno de ellos. Así se tiene el caso del proceso analítico jerárquico (AHP) utilizado por Zafra Mejía, Mendoza Castañeda, & Montoya Varela (2012); Tavares, Zsigraiová, & Semiao (2011); Siddiqui, Everett, & Vieux (1996); Yalcin (2008). Otros métodos son: el de toma de decisiones borroso abordado por Chang, Parvathinathan, & Breed (2008); promedio ponderado ordenado (OWA) discutido en Malczewski & Liua (2014) y combinación lineal ponderada (WLC) utilizado por Al-Hanbali, Alsaaidh, & Kondoh (2011).

Este último modelo fue el más idónea para la problemática que aborda este estudio, debido a su fácil implementación y a lo intuitivo que resulta para los tomadores de decisión; a pesar de que se ha sugerido que subestima la complejidad del problema porque se centra en los factores y no en la combinación de los mismos (Malczewski, 2004). Su metodología consiste en normalizar la escala valorativa, para que todos los criterios puedan evaluarse de la misma forma y posteriormente aplicar un peso de importancia relativa para cada criterio, lo que permite la compensación de variables.

A pesar de que sus resultados pueden tornarse subjetivos, debido a que depende de los conocimientos previos del experto; WLC, por su gran flexibilidad, proporciona buenos resultados en la selección de sitios óptimos a escalas regionales (como la aplicada en este estudio) (Al-Hanbali et al., 2011; Yalcin, 2008).

El procesamiento de los datos disponibles se realizó en el paquete informático ArcGis en donde se llevó a cabo las siguientes fases:

Definición de criterios: De acuerdo al alcance de este estudio, se consideró criterios de idoneidad básicos a escala regional que se fundamentaron en la normativa nacional vigente, estudios previos y a la disponibilidad de información. Estos criterios encajan en tres de los cuatro factores estipulados por el Ministerio del Ambiente (2015), como son: ambientales, técnicos y sociales. En el primer grupo encajan distancia a cuerpos hídricos, precipitaciones y distancia a zonas edificadas. En el segundo grupo se tiene permeabilidad del suelo, estabilidad del

terreno, distancia a material de cobertura, pendientes y distancia a vías. En el tercer grupo se contempla el uso del suelo.

Distancia a cuerpos hídricos: es importante que el relleno sanitario se encuentre lo más lejos posible de un cuerpo de agua para evitar contaminación con los lixiviados. Este tipo de sustancias contaminantes contienen una importante carga de cloruros, nitratos y nutrientes como el nitrógeno y fósforo que provocan disminución en los niveles de concentración del oxígeno y la eutrofización del agua (Colomer et al., 2013). Esto repercute en la salud y calidad de vida de los habitantes (Mego, Pilco, Chávez, Leiva, & Cruz, 2016).

Precipitaciones: las condiciones climatológicas de los sitios en donde se ubican los rellenos sanitarios pueden influenciar en la hidrología e hidrogeología por la generación de lixiviados y su filtración a aguas subterráneas (de León-Gómez, Cruz-Vega, Dávila-Pórceles, Velasco-Tapia, & Chapa-Guerrero, 2015). En el caso de que los niveles de precipitaciones sean altos, aumenta el riesgo de que se contaminen los recursos hídricos por fugas, necesiándose de infraestructura de drenaje, cunetas de coronación y sistemas de control y vigilancia de la red de eliminación de aguas residuales. Todo esto repercute en aumento de los costos de implementación de rellenos sanitarios (Demesouka, Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2013).

Permeabilidad del suelo: Es uno de los factores más importantes dentro de la determinación de un sitio para un relleno sanitario, puesto que de esto depende el transporte de contaminantes a las aguas subterráneas, encontrándose en estrecha relación con el tipo de suelo (El Baba & Kayastha, 2014). En la actualidad, se utilizan capas impermeables de polímeros que ayudan a evitar la infiltración de lixiviados.

Estabilidad: Los suelos que gozan de mayor estabilidad, poseen una buena retención y circulación del agua, así como una baja separabilidad de partículas de los agregados, lo que concluye en una menor degradación física (Fernández, González, & Sáez Sáez, 2016). Este factor es importante debido a que, en etapas de construcción, operación y mantenimiento de un relleno sanitario, se desarrollan actividades de excavación y de movimiento de tierras que de una u otra forma alteran las unidades geotécnicas. (Zapata Muñoz & Zapata Sanchez, 2013)

Distancias a zonas edificadas (asentamientos humanos): Este criterio se lo considera en el marco de que, a mayor distancia de recorrido de los camiones recolectores, mayor es el costo de operación (Bernache Pérez, 2015). Además, se asocia otras problemáticas como el ruido, malos olores, material esparcido en la vía, entre otros impactos propios del traslado de desechos (Coronado Cárdenas, Sotelo Rojas, & Chávez Porras, 2011).

Distancia a material de cobertura: El material de cobertura actúa como barrera para impedir el contacto de los residuos sólidos con el ambiente y así controlar los impactos que se puedan generar. Es por ello, que se debe disponer de este tipo de material lo más cerca posible. De no ser así, implica costos de extracción y movilización (Collazos Peñaloza, 2013), (Sandoval Alvarado, 2008).

Pendientes: Las pendientes pronunciadas representan costos por actividades de excavación y de estabilización de la zona durante la etapa constructiva de un relleno sanitario (Fernandez Nascimento & Marco da Silva, 2014). A ello se suma el riesgo de contaminación de aguas superficiales por el derrame de residuos sólidos y flujo de lixiviados a zonas con menor pendiente (cuerpos de agua, poblados) (Demesouka, Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2014).

Distancia a vías: De acuerdo con análisis espaciales, los mejores sitios para emplazar un relleno sanitario están asociados a una buena accesibilidad vial (Ali Ashraf, Rezuanul Islam, & Gani Adnan, 2015). Este criterio en conjunto con el uso de suelo y la distancia a zonas edificadas, son atribuibles a ocasionar el menor impacto posible, pero al mismo tiempo, deben favorecer la ampliación del servicio con los años (Buenrostro et al., 2005). Además, es importante considerar que la construcción de nuevas vías genera impactos ambientales como activación de procesos erosivos y cambios en el paisaje (Zapata Muñoz & Zapata Sanchez, 2013)

Uso de suelo: Esta variable tiene por objetivo contribuir a la reducción de los impactos ambientales y los conflictos con la comunidad, de forma que se enmarque dentro de los procesos de planificación territorial al identificar áreas cuyo uso no está asociado a actividades productivas y permitan el emplazamiento de un relleno sanitario. (Cárdenas-Moreno, Robles-Martínez, Colomer Mendoza, & Piña-Guzmán, 2016) (De Feo & De Gisi, 2014).

Así también, se estipuló criterios de restricción para zonas no aptas para la construcción de un relleno sanitario. En este estudio se consideró todas aquellas áreas que pertenecen al sistema nacional de áreas protegidas (SNAP), zonas con fallas geológicas y un radio de 500 metros de centros educativos.

Asignación de puntajes normalizados (x): Para evaluar conjuntamente los diferentes criterios, es necesario que estos tengan la misma escala de valoración. En este estudio se utilizó 3 valores en una escala del 1 al 10 abordados por Erazo (2016), donde 1 representa la puntuación más baja en términos de idoneidad del sitio, 5 una puntuación intermedia y 10 es la más alta, tal como se indica en la Tabla II.

Ponderación relativa de los criterios (w): Otra fase importante dentro de WLC, consiste en determinar la importancia relativa de cada criterio en la problemática planteada y compensar el modelo mediante la asignación de pesos.

En este estudio, el orden de importancia asignado a cada criterio corresponde a los implementados para la localización del nuevo relleno sanitario para el cantón Cuenca realizado por EMAC et al., (2001). Estas ponderaciones fueron adaptadas a porcentajes sobre el 100%, ya que no se consideraron pesos a los factores como el caso del estudio mencionado. Es así que a distancias de cuerpos hídricos se le asignó 26%, precipitaciones 18%, permeabilidad del suelo 15%, estabilidad del terreno 15%, distancia a zonas urbanas 9%, distancia a material de cobertura 7%, pendientes 5%, distancia a vías de comunicación 3%, uso de suelo 2%.

TABLA II
VARIABLES Y PONDERACIONES PARA EL ANÁLISIS MULTICRITERIO

CRITERIOS	CLASIFICACIÓN	PONDERACIÓN
Distancia a las vías (tipo1-tipo2-calles)	0-5km	10
	5-10km	5
	10-15km	1
	> a 15km	1
Distancia a cuerpos hídricos perennes	0-49m	1
	50-499m	5
	500-999m	5
	1000-1999m	10
	> a 2000m	10

Distancia a zonas edificadas	2000-4999 m	10
	5000-9999 m	10
	10000-24999 m	5
	25000-49999 m	1
	> a 50000 m	1
Uso de suelo	Tierra sin vegetación	10
	Cultivos	5
	Matorrales	5
	Pastizales	5
	Bosques	1
	Pantanos	1
	Zonas edificadas	1
Zona sin información	1	
Permeabilidad	Alta	1
	Media	5
	Baja	10
Distancia de obtención del material de cobertura	0-1999m	10
	2100-3999m	10
	4000-5999m	5
	6000-10000m	5
	> a 10000m	1
Estabilidad del terreno	Estable	10
	Moderadamente	10
	Umbral	5
	Inestable	1
Precipitaciones	0-999 mm	10
	1000-2499 mm	5
	2500-4000 mm	1
Pendiente	0-3%	10
	3.1-7%	10
	7-12%	5
	12-25%	1
	> a 25%	1

Agregación de criterios (A): La combinación de los diversos factores de acuerdo a WLC, se realiza mediante la multiplicación de los valores de la escala normalizada con la ponderación relativa asignada a cada criterio y suma estos productos de todos los criterios para obtener la idoneidad final en cada celda (Ozturk & Batuk, 2011). Adicionalmente, a la capa resultante, se resta la máscara construida con las zonas restringidas (re) como se estipula en la ecuación [8].

$$A_i = \left(\sum_{k=1}^n x_i w_i \right) - re \quad (8)$$

Donde i representa la posición de los píxeles dentro de un vector y n es el número de criterios evaluados en el modelo.

Jerarquización de sitios: La capa raster resultante presentó una escala valorativa que va del 1 a 9. El valor más bajo representa el sitio menos apropiado para el emplazamiento del relleno sanitario en función de los criterios evaluados y el valor más alto indica las zonas más idóneas.

La elección de los sitios potenciales se realizó con las áreas ponderadas del 7 al 9, lo que indica un cumplimiento satisfactorio de los parámetros considerados, según discrecionalidad de los autores. Pero para ello, previamente se realizó una depuración de las zonas resultantes con el objetivo de eliminar pequeñas áreas aisladas y proveer zonas compactas, utilizando filtros y

refinamiento de bordes. Finalmente, se eliminaron áreas inferiores a la requerida para el relleno sanitario mancomunado.

III. RESULTADOS

A. TAMAÑO DE LA CELDA

El área proyectada para el relleno sanitario mancomunado de la Provincia del Azuay está en el orden de las 41.74 Ha. de terreno. De las cuales, 34.78 Ha. serían para el cubeto y 6.96 Ha. para obras complementarias, tal como se muestra en la Tabla III.

De acuerdo a un promedio de producción diaria de residuos sólidos, realizado entre el 2025 y 2045, se estarían receiptando 634.18 Tn. De las cuales, el 12.77% representa a la D.H del Jubones y 87.23% a la D.H del Santiago, considerándose que en esta última D.H se encuentra el cantón Cuenca, mayor productor de desechos de la provincia, que aporta con un 77.70% (Tabla IV)

B. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES

En la provincia del Azuay, aplicando el GIS-MCDA con el método WLC en donde se procesaron las variables de la Figura 2 y las restricciones de la Figura 3, se obtuvo como resultado 354000 Ha. valoradas en una escala que va del 2 al 9. De este total, el valor 6 es el más representativo ya que representa el 40.2% del territorio, a lo que le sigue el valor 7 con 25.8%. No obstante, las ponderaciones más altas de 8 y 9 representan tan solo un 2.7% y 0.1% respectivamente (Ver Figura 4). Cabe recalcar que el 51.70% del territorio azuayo fue considerado como restringido para este tipo de infraestructura, sumando áreas protegidas por el SNAP, fallas geológicas y un radio de influencia de 500 m. a centros educativos.

TABLA III
TAMAÑO DEL CUBETO DEL RELLENO SANITARIO POR AÑO

AÑO	T.R.S (TN./AÑO.)	V.R.S. + MC (MILES DE M ³)	A.R.S.A. (HA.)
2025	480.14	189.01	1.26
2026	492.82	194.00	2.55
2027	505.68	199.06	3.88
2028	518.73	204.19	5.24
2029	531.96	209.41	6.64
2030	545.33	214.67	8.07
2031	561.09	220.85	9.54
2032	576.82	227.04	11.05
2033	592.50	233.28	12.61
2034	608.63	239.61	14.21
2035	626.61	246.61	15.85
2036	643.47	253.25	17.54
2037	660.82	260.07	19.27
2038	678.66	267.39	21.06
2039	697.01	270.97	22.86
2040	715.88	278.34	24.72
2041	735.31	285.92	26.62
2042	755.29	293.72	28.58
2043	775.75	301.71	30.59
2044	796.80	309.93	32.66
2045	818.48	318.40	34.78
Área total del cubeto (Ha.)			34.78
Obras adicionales (20%)			6.96
Área total del relleno sanitario (Ha.)			41.74

Nota: R.D.R.S = Cantidad de residuos sólidos recolectados por año; V.R.S = Volumen de residuos sólidos; MC = Material de cobertura; A.R.S.A = Área del cubeto del relleno sanitario.

Se determinó que el 11% de la superficie del Azuay, presenta características idóneas para emplazar un relleno sanitario mancomunado. Para ello, se consideró, según se estipula en la metodología, los puntajes mayores o iguales a 7 en la escala valorativa y áreas superiores a las 40 Ha (Área mínimo del relleno sanitario). De esta superficie, apenas el 0.4% tiene una valoración de 9, lo que representa 322.40 Ha; el 10.6% tiene una valoración de 8 con 9306.62 Ha y el 89% presenta una valoración de 7, que equivale a 78317.14 Ha. Superficie distribuida en los cantones de Cuenca, Santa Isabel, Nabón, Gualaceo, Oña, Girón, Paute, Sigsig, San Fernando, Guachapala, Chordeleg, El Pan y Sevilla de Oro, enumeradas en orden descendente de acuerdo a la cantidad de superficie idónea que presenta el cantón. Lo que deja a los cantones de Camilo Ponce Enriquez y Pucará, sin área idónea.

De la lista anterior, los cinco primeros cantones representan el 75% del total de área idónea, distribuida en 28%, 19%, 13%, 8% y 7% respectivamente (Ver Figura 5).

En términos de idoneidad y utilizando una delimitación política administrativa más pequeña como la parroquial, se identificó mosaicos de áreas que sobresalen por su puntuación de 8 y 9. Es así que se tiene: Santa Isabel y Abdón Calderón para el cantón Santa Isabel; Gualaceo, Daniel Córdova Toral y Luis Cordero Vega para el cantón Gualaceo; Tarqui, Quingeo y Cumbe para el cantón Cuenca. Para el caso de Nabón y Oña, no se encontraron áreas con ponderaciones de 9.

TABLA IV
PROMEDIO DE PRODUCCIÓN DIARIA DE RESIDUOS SÓLIDOS POR CANTÓN

	CANTÓN	G.D. PROMEDIO (TN/DÍA)	PORCENTAJE (%)
D.H. DEL JUBONES	Oña	0.80	0.13
	Camilo Ponce	44.49	7.02
	Nabón	8.04	1.27
	Girón	6.04	0.95
	Pucara	5.38	0.85
	San Fernando	2.58	0.41
	Santa Isabel	13.59	2.14
	Total	80.93	12.77
D.H. DEL SANTIAGO	El Pan	0.99	0.16
	Chordeleg	4.86	0.77
	Gualaceo	21.75	3.42
	Cuenca	492.73	77.70
	Sevilla de Oro	4.46	0.70
	Guachapala	1.28	0.20
	Paute	9.97	1.57
	Sigsig	17.21	2.71
	Total	553.25	87.23
Total Provincial	634.18	100	

Nota: G.D = Generación de residuos sólidos diarios

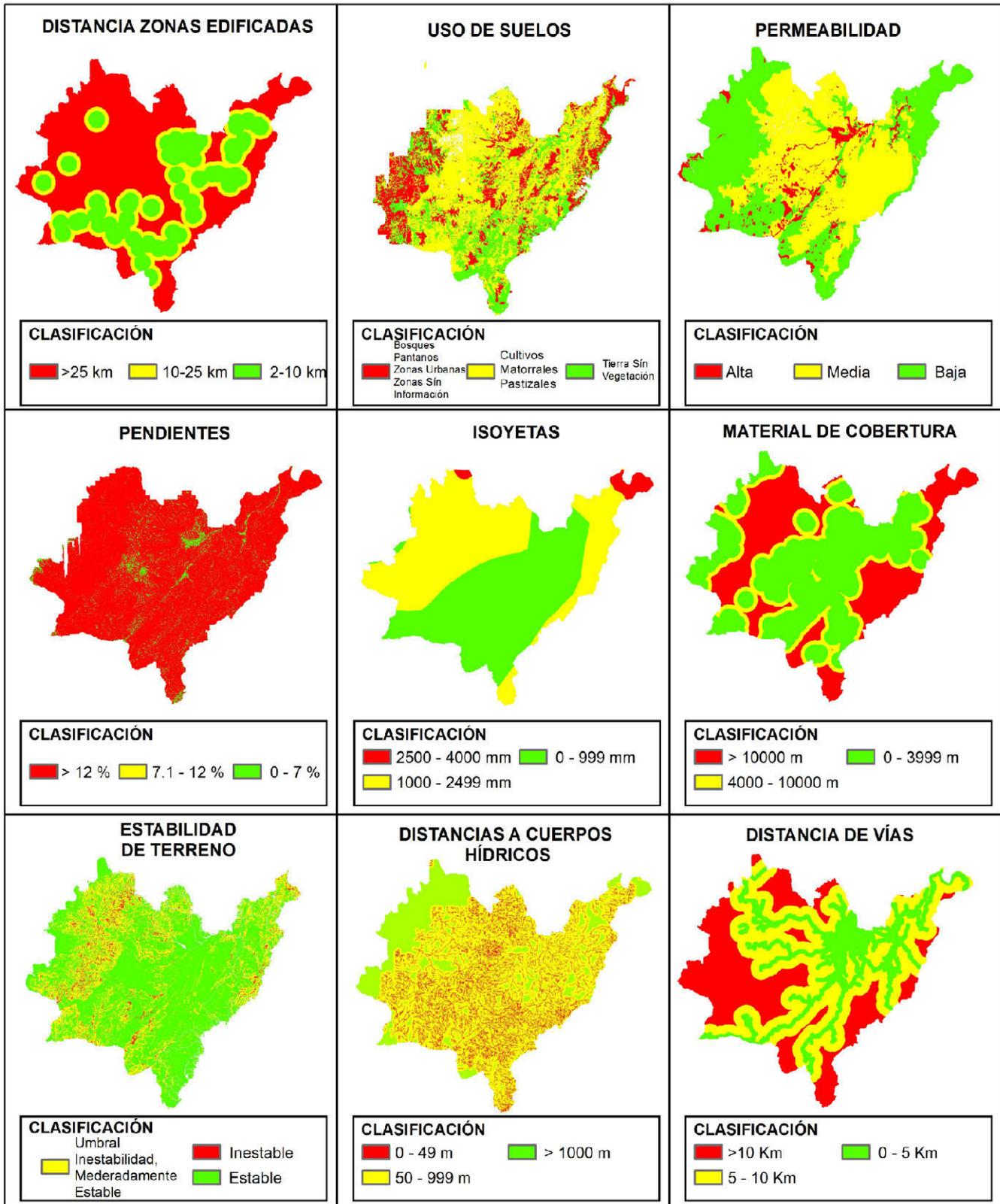


Figura. 2. Criterios de factibilidad

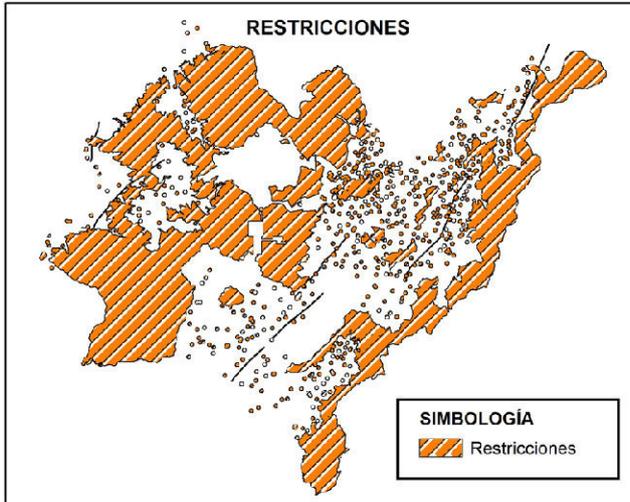


Figura 3. Restricciones

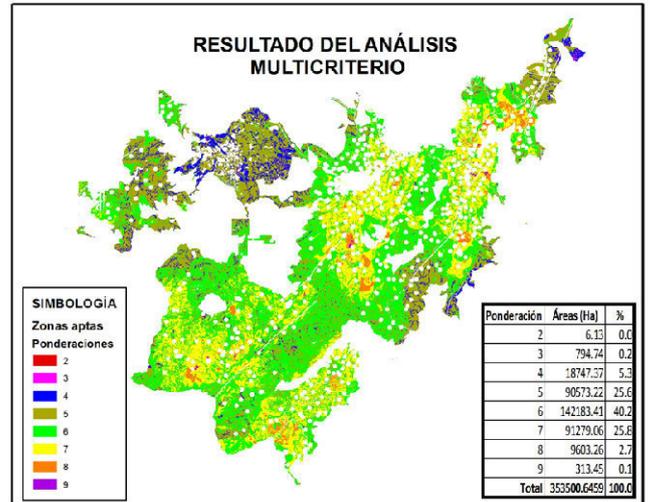


Figura 4. Resultado del análisis multicriterio

POTENCIALES ÁREAS DE EMPLAZAMIENTO DE UN RELLENO SANITARIO MANCOMUNADO EN LA PROVINCIA DEL AZUAY

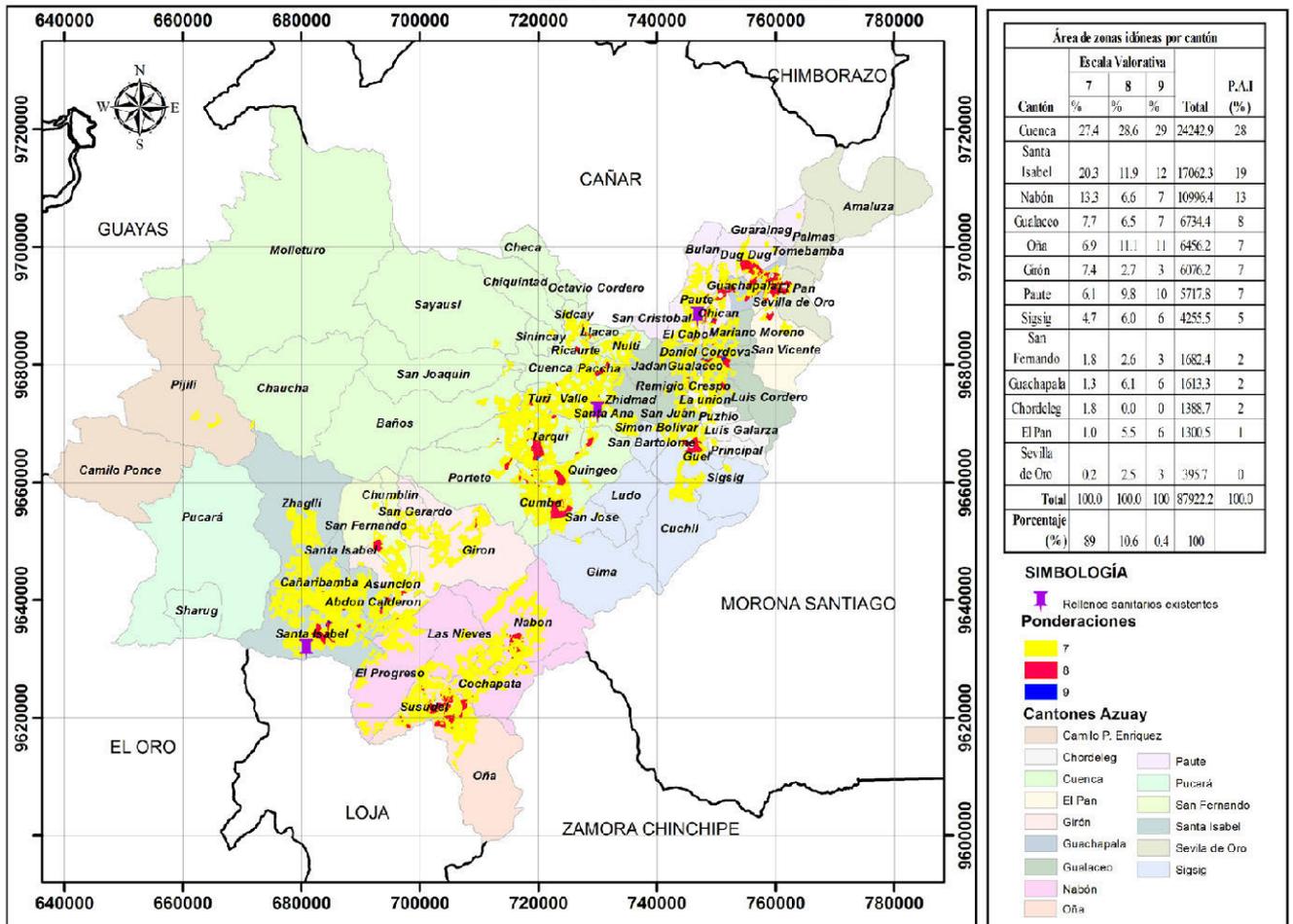


Figura 5. Mapa de potenciales áreas para la implementación de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay

IV. CONCLUSIONES

El resultado del análisis multicriterio proporcionó una gran cantidad de terreno con una puntuación de 6. Sin embargo, debido a que se encuentran por debajo del 70% en el cumplimiento de los criterios analizados, estas zonas fueron excluidas de las áreas identificadas como idóneas. Abordándose para el presente estudio, solo aquellas con valoraciones de 7, 8 y 9. De estas últimas, las áreas con puntuación de 7 tuvieron la mayor superficie, mientras que las categorizadas con 9, se presentaron en menor cantidad.

Al sobreponer las áreas obtenidas como idóneas con la ubicación de los rellenos sanitarios actualmente existentes en la provincia, se determinó que Pichacay (Cuenca) y el sitio de disposición final del cantón Paute, ubicado en el sector de San Ignacio, se asientan en sectores con mosaicos de valoraciones entre 7 y 8. Mientras que Huascachaca (Santa Isabel), está emplazado en un sector con una puntuación de 7.

En contraste con la metodología aplicada en la determinación de los sitios de disposición final ya existentes, que utilizaron matrices analógicas multicriterio, propias de la evaluación de impactos ambientales, caracterizadas en la experiencia de los técnicos más no en la incorporación de herramientas informáticas de apoyo a la toma de decisiones; el presente estudio, utilizó información digital en un análisis de decisión multicriterio basado en GIS que permitió un tratamiento simultáneo de datos espaciales como no espaciales de diferentes fuentes y escalas, cuyos resultados fueron evaluados de forma ágil y sencilla.

Con el fin de cumplir los objetivos de esta investigación, se partió de información secundaria generada por instituciones competentes en el campo o por aquellas que han realizado estudios sobre la temática. Las variables utilizadas corresponden a una escala regional con el fin de tener una primera aproximación de las zonas idóneas para establecer un relleno sanitario. Sin embargo, sobre estos sitios se debería proyectar estudios específicos con la inclusión de variables a escala local en el marco de factores sociales, técnicos, ambientales y económicos, que permitan aumentar el nivel de precisión en la delimitación de superficies de terreno y desestimar zonas como Tarqui, Portete y Cumbe por ser consideradas áreas productivas; Llaocao, Nulti y Paccha por riesgos de deslizamiento. Esto de acuerdo al plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cuenca. De igual forma, se tiene la parroquia El Valle donde estuvo operando el antiguo relleno sanitario del cantón Cuenca, lo que provocó conflictos sociales que no favorecería nuevamente la construcción de este tipo de infraestructura.

Por otro lado, variables a escala local, podrían destacar áreas donde ya se encuentran funcionando rellenos sanitarios por más de 8 años y que se han consolidado como experiencias exitosas. Estos son los casos de Huscachaca y Pichacay que, de acuerdo a la planificación territorial de Santa Isabel y Cuenca respectivamente, están consideradas como zonas in-

dustriales compatibles con este tipo de actividades. Además, ya tienen una connotación regional o de mancomunidad, debido a que reciben residuos sólidos de varios cantones. Por lo tanto, su viabilidad social ya ha sido manejada, disminuyendo conflictos en este orden. Sin embargo, las condiciones climáticas de estos dos lugares difieren drásticamente en cuanto a precipitación se refiere. Es así, que en Huscachaca se registra precipitaciones anuales promedio de entre 100 y 200 mm; mientras que Pichacay está en el rango de 1000 a 1500 mm. Criterio que mientras más bajo sea, facilita entre otros aspectos, la compactación de los residuos sólidos y de su material de cobertura, así como genera menor volumen en lixiviados.

De acuerdo a la generación diaria de residuos sólidos, el punto de gravedad está ubicado en el cantón Cuenca. Sin embargo, un análisis por demarcaciones hidrográficas, excluyendo a este gran productor, sesgaría mínimamente el centro de gravedad hacia la D.H del Jubones, al sur de la provincia. Es así, que teniendo en cuenta una cercanía al centro de gravedad, los sitios factibles para un relleno sanitario estarían en los cantones de Santa Isabel, Nabón y Oña.

Las variables empleadas para el análisis multicriterio, obedecieron a factores ambientales, técnicos y sociales, en los cuales primó la protección de la red hídrica, precipitaciones, geología e impermeabilidad del suelo. Esto, con el objetivo de disminuir la cantidad de lixiviados y su impacto sobre el ecosistema, aspecto ambiental crítico en la fase de operación y mantenimiento de un relleno sanitario. Además, estos criterios pueden servir como punto de partida para la implementación de otro tipo de infraestructura de similares características e impactos ambientales. Tal es el caso de estaciones de transferencia, escombreras y plantas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos.

Como conclusión, los SIG son herramientas tecnológicas que se han convertido en piezas fundamentales e ineludibles en estudios territoriales. Es así que su manejo se ha extendido a una diversidad de disciplinas y perfiles, por lo que se ha agregado diferentes modelos complementarios que soporten la planificación, el análisis y las decisiones.

Entre estos modelos, se encuentra el GIS-MCDA, enfocado en facilitar la decisión en temas complejos. De forma particular, ha permitido identificar potenciales zonas para establecer un relleno sanitario de 41.74 Ha para 20 años de vida útil y que servirá para la disposición final de los desechos sólidos de los 15 cantones, mediante la conformación de una mancomunidad.

La precisión en los resultados obtenidos, depende de la calidad de los insumos o información de partida. Para ello, se debe considerar factores como: actualización de datos para ajustarse a la realidad; escalas de trabajo en función a la superficie de estudio y al nivel de detalle deseado; equipos y metodología de obtención y procesamiento de datos que garanticen su veracidad.

REFERENCIAS

- Al-Hanbali, A., Alsaadeh, B., & Kondoh, A. (2011). Using GIS-Based Weighted Linear Combination Analysis and Remote Sensing Techniques to Select Optimum Solid Waste Disposal Sites within Mafraq City, Jordan. *Journal of Geographic Information System*, 267-278. doi:10.4236/jgis.2011.34023
- Ali Ashraf, M., Rezuanul Islam, M., & Gani Adnan, S. (2015). Gis and multi criteria decision method based approach of identifying appropriate landfill sites for the city of Chittagong. *International Journal of Environment*. doi:2091-2854
- Alianza por la Solidaridad. (2014 a). Como elaborar el diagnóstico financiero y la ordenanza de creación de una EMMAI. Guía, Alianza por la Solidaridad, Cuenca.
- Alianza por la Solidaridad. (2014 b). Como elaborar la planificación estratégica de una EMMAI. Alianza por la Solidaridad, Cuenca.

- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito: Registro oficial Nro. 449.
- Bejarano, C. (Junio de 2005). Modelos de simulación para el estudio de crecimiento poblacional exponencial. *Épsilon*(4), 69-81.
- Bernache Pérez, G. (junio de 2015). La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales. *Sociedad y Ambiente*, 1(7), 72-101. doi:2007-6576
- Buenrostro, O., Mendoza, M., & López, E. (2005). Análisis comparativo de tres modelos de soporte de decisiones espaciales en la selección de sitios para rellenos sanitarios en la cuenca del lago de Cuitzeo, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*(57), 21-38. doi:0188-4611
- Cárdenas-Moreno, P. R., Robles-Martínez, F., Colomer Mendoza, F. J., & Piña-Guzmán, A. B. (2016). Herramientas para la evaluación de riesgos sobre el ambiente y la salud, por la disposición final de residuos sólidos urbanos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 47-62. doi:10.20937/RICA.2016.32.05.04
- Carmona Merat, D. (2015). Desarrollo de una manual de construcción de un relleno sanitario piloto de residuos sólidos urbanos con sistema natural de alta velocidad. Escuela Superior Politécnica de Sevilla, I.T.I. Química.
- Chang, N.-B., Parvathinathan, G., & Breed, J. (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Management*, 139-153. Obtenido de www.elsevier.com/locate/jenvman
- Collazos Peñaloza, H. (2013). Diseño y operación de rellenos sanitarios (Cuarta ed.). Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. doi:9789588726120
- Colomer Mendoza, F., Altabella, J. E., Ferrán García, D., Herrera Prats, L., & Robles Martínez, F. (Agosto de 2013). Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental. Caso de España. *Revista Académica de la FI-UADY*, 141-151. doi:1665-529-X
- Consortio Público de la Cuenca del Río Jubones. (2013). El proceso mancomunado de los gobiernos autónomos descentralizados de la cuenca del Río Jubones 2000-2013. Quito: Creatibros.
- Coronado Cárdenas, O. L., Sotelo Rojas, H., & Chávez Porras, Á. (2011). Diseño y proyección logística de un centro de acopio y manejo de residuos sólidos para el relleno sanitario Doñar Juana. *Revista Gestion Integral en Ingeniería Neogranadina*, 3(1).
- De Feo, G., & De Gisi, S. (2014). Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. *Revista Elsevier*. doi:10.1016/j.wasman.2014.05.028
- de León-Gómez, H., Cruz-Vega, C., Dávila-Pórcel, R. A., Velasco-Tapia, F., & Chapa-Guerrero, J. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32(3), 514-526.
- Demesouka, O., Vavatsikos, A., & Anagnostopoulos, K. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Elsevier*, 33, 1190-1206.
- Demesouka, O., Vavatsikos, A., & Anagnostopoulos, K. (2014). GIS-based multicriterial municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented. *Waste Management & Research*, 1-27. doi:10.1177/0734242X14526632
- Díaz, A. (2015). Simulación de los cubetos 8 y 9 del relleno sanitario Q del DMQ, usando el modelo computacional Corenostós V3. Tesis, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito.
- El Baba, M., & Kayastha, P. (18 de Diciembre de 2014). Landfill site selection using multi-criteria evaluation in the GIS interface: a case study from the Gaza Strip, Palestine. doi:10.1007/s 12517-014-1736-9
- Empresa Municipal de Aseo de Cuenca. (2016). Proyección de la demanda de volúmenes de desechos sólidos y material de cobertura para el relleno sanitario de Pichacay. Cuenca.
- Empresa Municipal de Aseo de Cuenca; Municipio de Cuenca; Empresa de telefonía, agua potable y alcantarillado de Cuenca. (2001). Informe sobre la localización del nuevo relleno sanitario para el cantón Cuenca. Cuenca.
- Empresa pública municipal mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones. (s.f). EMMAICJ-EP. Recuperado el 25 de mayo de 2017, de <http://www.emmaicj.gob.ec/Home.aspx?idsbm=26>
- Erazo Tapia, N. R. (2016). Identificación de sitios potenciales para la construcción de un relleno sanitario a partir de un SIG en el municipio de Pupiales -Nariño. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Manizales.
- Espinosa Silva, A., & González García, A. (2011). La acumulación de basura como material geotécnico II: Comportamiento de las basuras. *Revista de Ingeniería*. doi:<http://dx.doi.org/10.16924/riua.v0i14.539>
- Fernandez Nascimento, V., & Marco da Silva, A. (2014). Identifying problems for choosing suitable areas for installation of a new landfill through GIS technology: A case study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(1), 80-88. doi:10.1080/10962247.2013.833558
- Fernández, L., González, M., & Sáez Sáez, V. (diciembre de 2016). Relación entre un índice de estabilidad estructural de suelo, la zona bioclimática y la posición fisiográfica en Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, 32(52), 139-149. doi:1012-7089
- Fundación IPADE. (2011). Como construir empresas municipales mancomunadas de aseo integral (EMMAI). Cuenca.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca. (23 de Junio de 2016). Cuenca Alcaldía. Recuperado el 25 de Mayo de 2017, de <http://www.cuenca.gov.ec/?q=content/alcalde-suscribi%C3%B3-convenio-para-que-relleno-sanitario-funcione-hasta-el-2031-en-pichacay>
- Greene, R., Devillers, R., Luth, J., & Eddy, B. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 5/6(10), 412-432. Obtenido de 1749-8198.2011.00431.x
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Fascículo Provincial Azuay. Quito: INEC. Recuperado el 16 de Abril de 2017

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). INEC. Recuperado el 26 de Abril de 2017, de <http://www.ecuadorcencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2015). INEC. Recuperado el 16 de Abril de 2017, de <http://www.ecuadorcencifras.gob.ec/municipios-y-consejos-provinciales/>
- Kyllia, A., Christoforou, E., Fokaides, P., & Polycarpou, P. (Febrero de 2014). Multicriteria analysis for the selection of the most appropriate energy crops: the case of Cyprus. *International Journal of Sustainable Energy*. doi:10.1080/14786451.2014.898640
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*. doi:10.1016/S0305-9006(03)00079-5
- Malczewski, J. (Agosto de 2006). GIS based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7). doi:10.1080/13658810600661508
- Malczewski, J., & Liua, X. (2014). Local ordered weighted averaging in GIS-based multicriteria analysis. *Annals of GIS*, 20(2), 117-129. doi:10.1080/19475683.2014.904439
- Mego, J., Pilco, J., Chávez, J., Leiva, D., & Cruz, M. O. (11 de 01 de 2016). Impacto en la calidad del agua de la quebrada "El Atajo" ocasionado por el botadero de rondón de la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Indes*, 2(1), 80-87. doi:2310-0664
- Ministerio de Coordinación de la Política y Gobiernos Autónomos Descentralizados. (Febrero de 2011). Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización. Quito, Pichincha, Ecuador: V&M Gráficas. Obtenido de http://www.ame.gob.ec/ame/pdf/cootad_2012.pdf
- Ministerio del Ambiente & Ministerio de Salud Pública. (2014). Reglamento interministerial para la gestión integral de desechos sanitarios. En P. C. Ecuador, Registro Oficial Nro 379 (Vol. 2, págs. 13 - 30). Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Quito: Registro Oficial.
- Mirabal Silva, L. M., & Mirabal, J. J. (Noviembre de 2016). Problemática de los desechos sólidos en el municipio San Fernando estado Apure. *Novum Scientiarum*, 1(3), 48-59.
- Ordoñez Ante, C. A., & Villarraga Herrera, M. R. (Diciembre de 2005). Asentamientos en el relleno sanitario Curva de Rodas de la ciudad de Medellín, Colombia. *Politécnica*, 2, 57-72.
- Organización Mundial de la Salud - OMS. (Mayo de 2002). ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS - ECUADOR. Obtenido de <http://www.cepis.ops-oms.org/residuos>
- Ozturk, D., & Batuk, F. (2011). Implementation of GIS-Based Multicriteria decision analysis with VB in ArcGis. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 6(10), 1023-1042. doi:10.1142/S0219622011004695
- Quintero Torres, D. I. (Diciembre de 2016). El papel de la gestión territorial en la ubicación de rellenos sanitarios. Caso. *Perspectiva Geográfica*, 21(2), 251-276. doi:10.19053/01233769.5852
- Ramos Sánchez, J. M. (Octubre de 2016). Evaluación del uso de biogas en rellenos sanitarios: el caso de Mallasa. *DE-LOS - Desarrollo Local Sostenible*, 9(27). doi:1988-5245
- Rikalovic, A., Cosic, I., & Lazare, D. (2014). GIS Based multi-criteria analysis for industrial site selection. *Procedia engineering*, 69, 1054-1063. doi:10.1016/j.proeng.2014.03.090
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Santiago, Chile: Publicación de las Naciones Unidas. doi:2518-3923
- Sáez, A., & Urdaneta, J. (Diciembre de 2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. (e. C. Red de Revistas Científicas de América Latina, Ed.) *Omnia*(3), 121-135. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- Sanchez Bernal, E., Rodríguez León, A., Sandoval Orozco, G., Camacho Escobar, M., & Estrada Vázquez, C. (2015). Generación de residuos sólidos municipales en San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca. Impactos ambientales y alternativas. *The Revista Internacional de Ciencia y Sociedad*, 2(1). doi:2340-9991
- Sandoval Alvarado, L. (2008). Guía de: Diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. San Isidro, Lima, Perú: Red de instituciones especializadas en capacitación para la gestión integral de los residuos sólidos.
- Siddiqui, M., Everett, J., & Vieux, B. (1996). Landfill siting using geographic information systems: a demonstration. *ASCE*. doi:122:515-523
- Solano Peláez, J. L. (2011). Estructura de un modelo de gestión y calidad para el manejo de residuos peligrosos y hospitalarios de la empresa pública municipal mancomunada de aseo integral de la cuenca del Jubones "EMMAICJ-EP". Sangolquí.
- Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V. (2011). Multi-criteria GIS-based siting of a incineration plant for municipal solid waste. *Waste Management*. doi:10.1016/j.wasman.2011.04.013
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *ScienceDirect*, 1-12.
- Zafra Mejía, C. A., Mendoza Castañeda, F. A., & Montoya Varela, P. A. (27 de Febrero de 2012). Metodología para la localización de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica. Un caso regional colombiano. *Revista Ingeniería e Investigación*, 32(1), 64-70. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/260767427>
- Zafra Mejía, C. A. (Agosto de 2009). Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistema de caja fija (SCF). *Revista Ingeniería e Investigación*, 19(2), 119-126.
- Zapata Muñoz, A., & Zapata Sanchez, C. (Agosto de 2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 105-120. doi:0124.177X.