



LOCALIZACIÓN DE ÁREAS POTENCIALMENTE ADECUADAS PARA EL DESARROLLO DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

LOCATION OF SUITABLE AREAS FOR THE DEVELOPMENT OF A SANITARY LANDFILL FOR THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA

Juan Camilo Sierra Muñoz
Código 3101543
Profesión
Ingeniero Ambiental Esp.

Director:
Ing. Freddy León Reyes M.Ed

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
NOVIEMBRE DE 2021
BOGOTÁ-COLOMBIA**

LOCALIZACIÓN DE ÁREAS POTENCIALMENTE ADECUADAS PARA EL DESARROLLO DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

LOCATION OF SUITABLE AREAS FOR THE DEVELOPMENT OF A SANITARY LANDFILL FOR THE METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA

Juan Camilo Sierra Muñoz
Especialista en Evaluación Ambiental de Proyectos, Ingeniero Ambiental.
Facultad de Ingeniería.
Universidad Militar Nueva Granada.
Bogotá, Colombia
est.juanc.sierram@unimilitar.edu.co

RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad identificar zonas aptas y ambientalmente adecuadas para la localización de un relleno sanitario en donde se realice la disposición final de los residuos generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga que comprende los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, quienes presentan una problemática relacionada con su actual lugar de disposición final de residuos, el relleno sanitario el Carrasco. La identificación de las mencionadas zonas se efectuó de acuerdo a los criterios establecidos en el Decreto 835 de 2005, modificado por el Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019, que regulan los temas relativos al sector vivienda, ciudad y territorio y criterios formulados para el presente estudio, los cuales se tomaron para desarrollar la metodología del proceso de análisis jerárquico (AHP).

Respecto a la información geográfica empleada para el desarrollo de la investigación disponible en las páginas web de entidades como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y el Sistema de Información geográfica para la planeación y ordenamiento territorial (SIG-OT). Esta información se transformó en datos raster que definen cada una de las variables, con las que se va a efectuar un álgebra de mapas teniendo en cuenta las ponderaciones o pesos resultantes del proceso de análisis jerárquico, para así identificar las zonas aptas para la localización de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Palabras Clave: Proceso de análisis jerárquico (AHP), sistemas de información geográfica (SIG), relleno sanitario.

ABSTRACT

The purpose of this research is to identify suitable and environmentally adequate areas for the location of a sanitary landfill for the final disposal of waste generated in the Metropolitan Area of Bucaramanga, which includes the municipalities of Bucaramanga, Floridablanca, Girón and Piedecuesta, which present a problem related to their current place of final disposal of waste, the Carrasco sanitary landfill. The identification of the aforementioned areas was carried out according to the criteria established in Decree 835 of 2005, modified by Decree 1077 of 2015, Decree 1784 of 2017 and Resolution 938 of December 19, 2019, which regulate issues related to the housing, city and territory sector and criteria formulated for the present study, which were taken to develop the methodology of the hierarchical analysis process (AHP).

Regarding the geographic information used for the development of the research, available in the web pages of entities such as the Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), the Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, the Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), the Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) and the Sistema de Información geográfica para la planeación y ordenamiento territorial (SIG-OT). This information was transformed into raster coverages that define each of the variables, with which a map algebra will be made, taking into account the weightings or weights resulting from the hierarchical analysis process, in order to identify the areas suitable for the location of a sanitary landfill for the Metropolitan Area of Bucaramanga.

Keywords: Hierarchical analysis process (AHP), geographic information systems (GIS), landfill.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos es una de las actividades antrópicas que ha ocasionado mayores impactos ambientales a nivel mundial. Esto, generado principalmente, por su incorrecta disposición, el aumento progresivo de la población, que demanda mayores producciones industriales y agroalimentarias. (Puerta Echeverri, 2004)

En Colombia, la atención a la problemática generada por la disposición de residuos sólidos tuvo origen con la promulgación del Código Nacional de Recurso Naturales de 1974, donde se dispusieron reglas para su adecuado manejo. (Montes Cortés, 2018)

Asimismo, con la expedición de la Constitución Política del año 1991, se incentivaron una serie de normas de carácter ambiental y servicios públicos, como el decreto 1713 de 2002, mediante el cual se reglamentó la Ley 142 de 1994 y la Ley 9 de 1993, modificadas por el Decreto 838 de 2005, que se compiló en el Decreto 1077 de 2015, que a su vez fue modificado y adicionado por el Decreto 1784 de 2017, por medio del cual se busca “promover y facilitar la planificación, construcción y operación de sistemas de disposición

final de residuos sólidos, como actividad complementaria del servicio público de aseo mediante la tecnología de relleno sanitario”. (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017)

Un relleno sanitario se puede definir como una técnica en la que se realiza disposición y compactación de residuos sólidos sobre un suelo previamente impermeabilizado con el objetivo de evitar la contaminación de dicho elemento y los recursos hídricos subterráneos. (Ullca, 2006)

En Colombia, (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005), el Decreto 1077 de 2015, define un relleno sanitario como: “Es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.”

Pese a lo anterior, la normativa vigente en torno al tema de la prestación del servicio público de recolección y disposición final de residuos sólidos no ha sido suficiente para suplir las necesidades de la población y no define criterios concretos y específicos para determinar las áreas adecuadas técnica y ambientalmente adecuadas para la ubicación de rellenos sanitarios, instando a los entes territoriales a definir dentro de sus instrumentos de ordenamiento territorial a determinar estos criterios, sin embargo, estos entes no cuentan con la infraestructura necesaria para que este servicio se preste de manera eficiente, lo cual ha generado una seria problemática ambiental y de salud pública, en el departamento de Santander puntualmente, en el Área Metropolitana de Bucaramanga, integrada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta (Vanguardia, 2021).

La disposición final de los residuos sólidos generados por la población de los municipios antes mencionados se realiza en el relleno sanitario “El Carrasco”, localizado al suroccidente de la ciudad de Bucaramanga. Este relleno además de ser utilizado para la disposición final de basuras del área metropolitana de Bucaramanga sirve a otros trece (13) municipios del Departamento de Santander (Environmental Justice Atlas, 2021).

Actualmente El Carrasco enfrenta problemas relacionados con afectaciones debido a la generación de olores ofensivos por las deficiencias en las labores de cobertura diaria de los residuos, lixiviados, la quebrada El Carrasco, fuente que recibe gran porcentaje de lixiviados, no tiene residencia para asimilar los vertimientos del relleno sanitario, agrietamiento y fractura de taludes, asentamiento diferencial por extracción de lixiviados y el reacomodamiento de los materiales o el proceso de drenaje de las lagunas de lixiviados (Franco Antolinez, Meza Joya, & Almeida, 2018), y en general, deficiencias técnicas y ambientales, que han generado que su vida útil se termine en mayo de 2021, lo que genera gran incertidumbre, frente al sitio en el cual se efectuará la disposición final de los residuos generados por la capital del departamento de Santander y los demás municipios.

Así las cosas, surge la necesidad de identificar áreas potencialmente adecuadas para el desarrollo de un relleno sanitario para el área Metropolitana de Bucaramanga, conforme a los criterios establecidos en la normatividad de servicios públicos vigente, determinantes ambientales, que se encuentran en el plan de ordenamiento territorial y normatividad de carácter ambiental.

Con el fin de dar respuesta a la problemática planteada, se aplicarán técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG), que se definen como un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados. (Olaya, 2014)

De esta manera, en la presente investigación se realizó una evaluación multicriterio, en la cual se emplearon un conjunto de técnicas que serán utilizadas para la toma de decisiones. Dentro de estas técnicas se destaca el “Proceso de Análisis Jerárquico” – AHP (Analytic Hierarchy Process), el cual está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, en donde se requiere tomar decisiones que proporcionen evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios (Pinzón Ospina, 2015), para luego especificar su preferencia respecto a cada una de las alternativas. En todo caso, el resultado del AHP es una jerarquización de prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Osorio Gómez & Orejuela Cabrera, 2008). Así mismo el AHP, se destaca por ser una metodología para estructurar, medir y sintetizar, aplicada para la solución a problemáticas, cuando se tienen en consideración varios criterios, basado principalmente en que la experiencia y los conocimientos del investigador, son tan importantes como los datos utilizados en el proceso (Toskano Hurtado, 2005). El AHP utiliza comparaciones entre pares de elementos, construyendo matrices a partir de estas comparaciones, y usando elementos del álgebra matricial para establecer prioridades entre los elementos de un nivel, con respecto a un elemento del nivel inmediatamente superior (Osorio Gómez & Orejuela Cabrera, 2008).

Respecto a la evaluación multicriterio, es importante destacar que se han efectuado varios procesos de investigación y desarrollo para integrar estas técnicas con los sistemas de información geográfica, situación que resulta adecuada y óptima para la toma de decisiones en el territorio (Pinzón Ospina, 2015).

Por lo anterior, en la presente investigación se realizó un análisis de la información espacial existente del área de estudio con el fin de generar productos cartográficos como mapas, que permitan identificar áreas susceptibles para la construcción de un relleno sanitario para los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga y así plantear algunos criterios para la toma de decisiones a nivel administrativo, optimizar la prestación del servicio público de disposición de residuos sólidos y minimizar los impactos ambientales asociados a dicha disposición, con el fin de promover una mejor calidad de vida para los habitantes de la región, siendo consecuentes con lo que estipula

la constitución nacional de 1991 en su artículo 79, sobre el derecho al disfrute de un ambiente sano para la población en general.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Área De Estudio

La zona de estudio corresponde al Metropolitana de Bucaramanga, la cual está integrada por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Esta área metropolitana se sitúa al nororiente de Colombia, dentro de la cual se concentran alrededor de 1.122.945 habitantes en una superficie de 1,471 Km². (Observatorio Metropolitano de Bucaramanga, 2021).

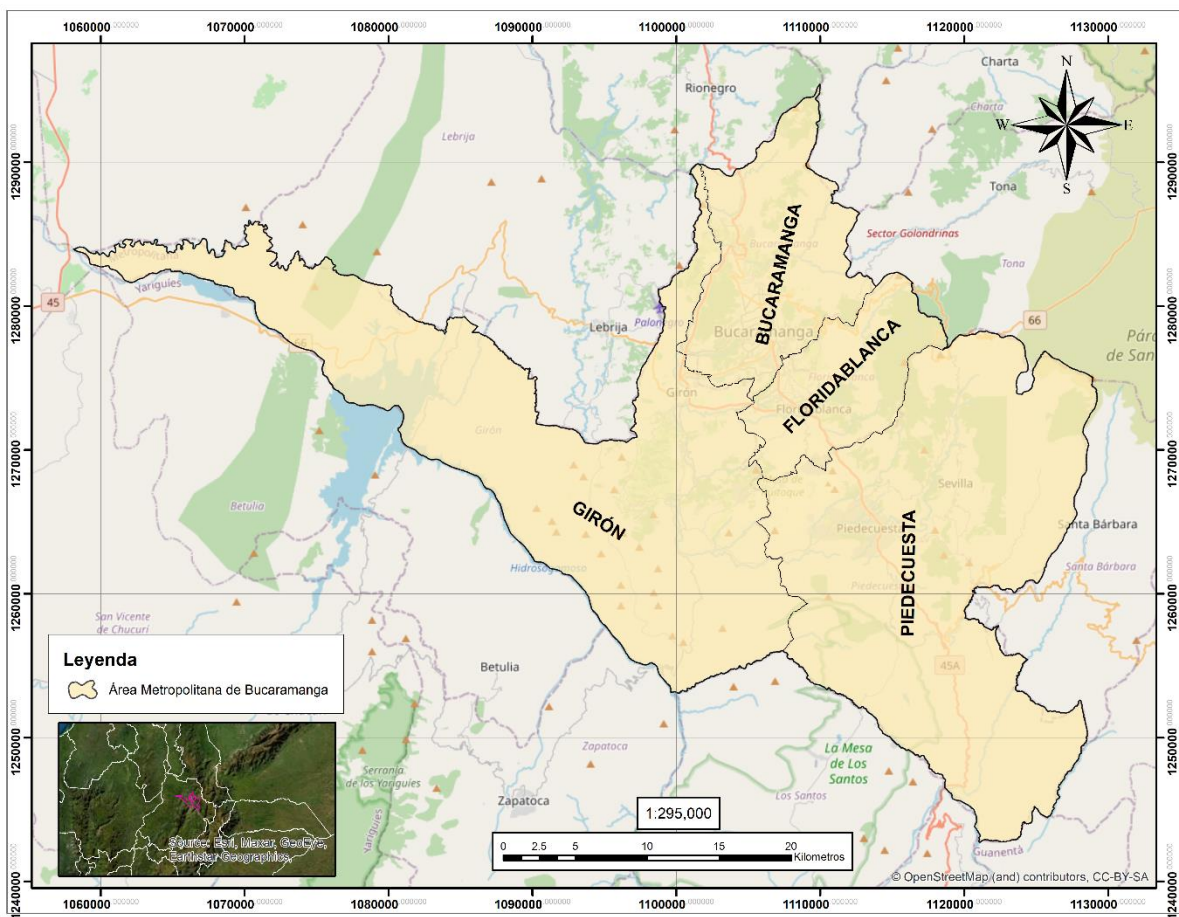


Ilustración 1 Mapa localización del área de estudio - Área Metropolitana de Bucaramanga
Fuente: Elaboración propia a partir de datos del DANE y mapa base del IGAC

1.2 Información Geográfica usada para el estudio

Con el fin de abordar la problemática planteada, se hizo uso de la información geográfica disponible en la página del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), de la Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, del

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) y del Sistema de Información geográfica para la planeación y ordenamiento territorial (SIG-OT).

La información, descargada y compilada para la presente investigación correspondió a la siguiente:

1. Áreas Urbanas.
2. Vocación del suelo.
3. Pendientes del terreno.
4. Vías.
5. Drenajes.
6. Litología.
7. Áreas protegidas.
8. Áreas de remoción en masa.

Dicha información se descargó y almacenó en formato shape file, en sistema de coordenadas Magna Sirgas Origen Bogotá. Asimismo, es importante mencionar que la escala de trabajo manejada para la información correspondió a 1:100.000.

1.3 Criterios definidos para la evaluación multicriterio

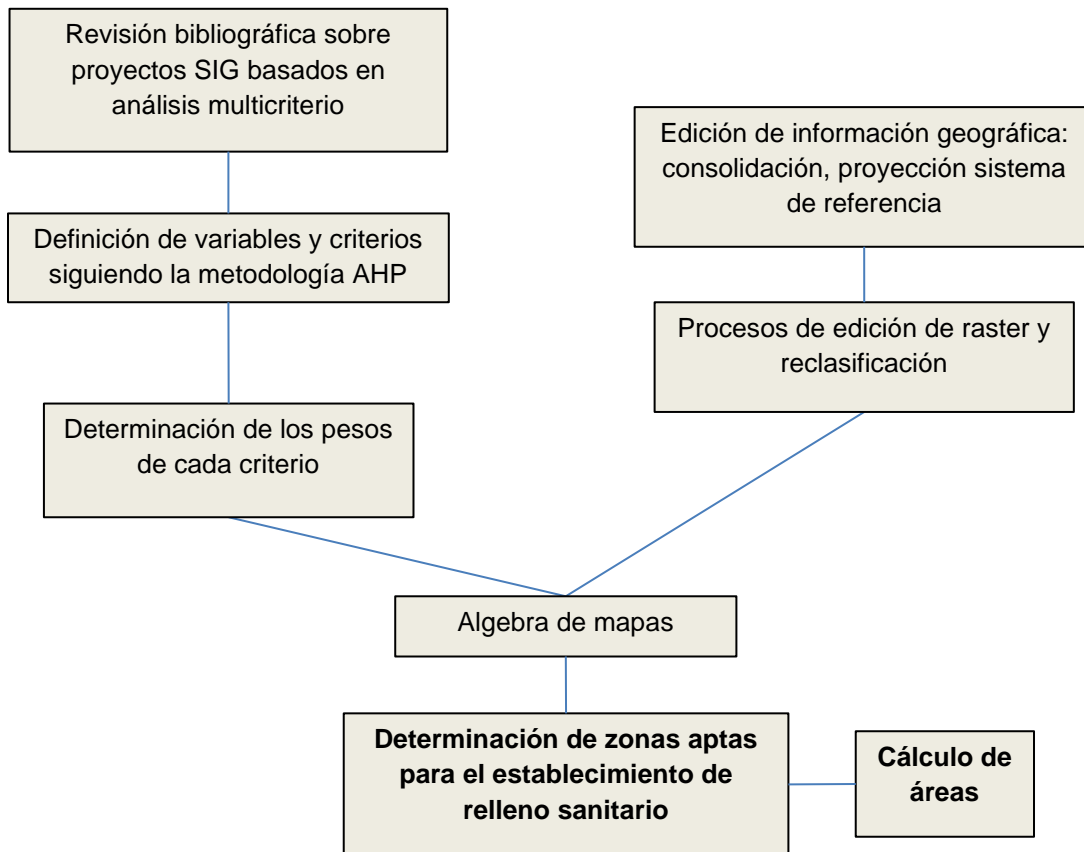
Con el fin de determinar áreas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario en el Área Metropolitana de Bucaramanga, se formularon un total de ocho (8) variables que responden a criterios técnicos sugeridos en la presente investigación y normativos referidos en el Decreto 835 de 2005, modificado por el Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019, que regulan los temas relativos al sector vivienda, ciudad y territorio.

De la revisión realizada a la normativa vigente, se logró determinar que, para la ubicación de rellenos sanitarios, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Descartarse las áreas de determinantes ambientales asociadas a categorías de protección que impidan el desarrollo de este tipo de proyectos y que se encuentren debidamente acogidas en la cartografía oficial por el correspondiente instrumento de planeación acorde con lo señalado en la Ley 388 de 1997.
2. Descartarse las zonas urbanas, las zonas de expansión y las zonas declaradas de riesgo no mitigable.
3. Distancias de vías de acceso.
4. Pendientes promedio del terreno.
5. Distancia a cuerpos hídricos.

1.4 Metodología

El procedimiento ejecutado para dar respuesta a la problemática planteada en la presente investigación fue el siguiente:



*Ilustración 2 Metodología
Fuente: Elaboración propia*

1.4.1 Proceso de análisis jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process)

El AHP fue desarrollado a finales de los años 70 del siglo pasado, con el fin de apoyar la reducción del armamento nuclear de la Unión Soviética y los Estados Unidos, bajo el cual se propuso desarrollar una estructura jerárquica del problema de toma de decisión, con el objetivo de estructurar y ordenar todo el proceso (Pinzón Ospina, 2015).

El método de análisis multicriterio AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite que de una manera eficiente y gráfica se organice la información respecto a un problema, luego descomponerla y analizarla por partes y visualizar los efectos de cambios en los niveles, para finalmente unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión (Osorio Gómez & Orejuela Cabrera, 2008).

Por otra parte, el AHP se fundamenta principalmente en la estructuración del modelo jerárquico, en donde se realiza la representación del problema mediante la identificación de una meta general, criterios, subcriterios y alternativas posibles, la priorización de los elementos del modelo jerárquico, comparaciones binarias, evaluación de elementos mediante asignación de pesos, clasificación de las alternativas de acuerdo con los pesos dados, síntesis y análisis de sensibilidad (Toskano Hurtado, 2005)

Para el presente estudio se estableció la estructura jerárquica de (Saaty, 1980) de la siguiente manera, sugerido por (Pinzón Ospina, 2015):

- Objetivo general: identificar zonas aptas para la localización de un relleno sanitario en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Criterios: Basados en el Decreto 835 de 2005, modificado por el Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019 y propuestas para el estudio.
- Subcriterios: Distancia de áreas urbanas, vocación del suelo, distancia de vías principales, pendiente del terreno, distancia de cuerpos de agua, geología (permeabilidad) y distancia de Áreas protegidas.
- Alternativas: Supremamente apta, Moderadamente apta, Marginalmente apta y No apta.

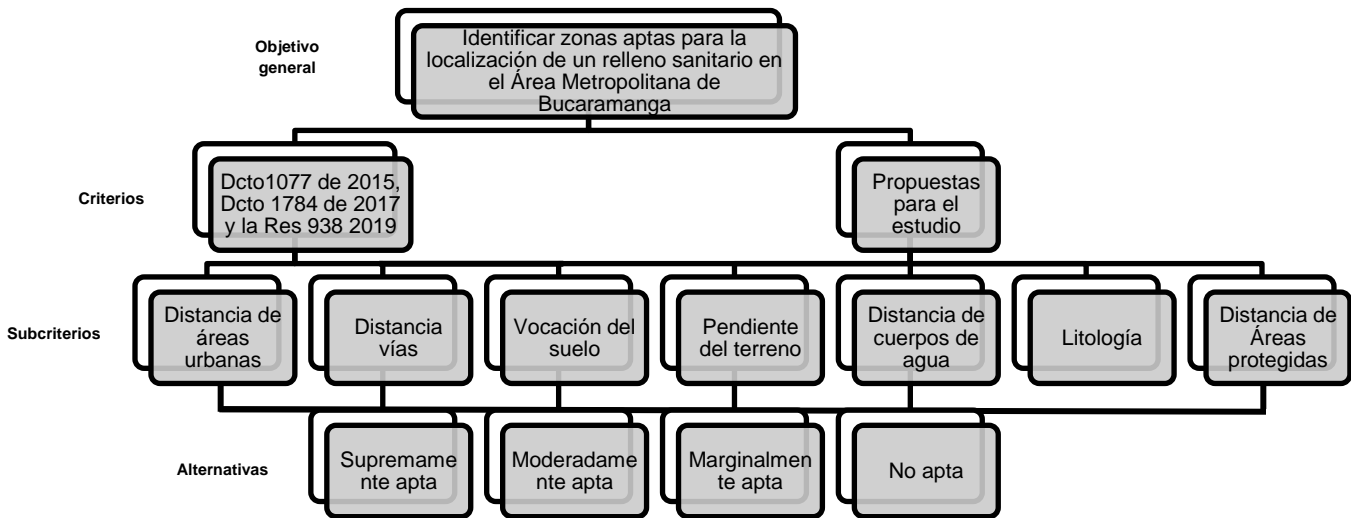


Figura 3: Estructura jerárquica para la determinación de una zona apta para la localización de un relleno sanitario en el Área metropolitana de Bucaramanga

Fuente: Elaboración propia partir de la metodología de AHP propuesta por Saaty.

Tabla 1 Rangos definidos para cada uno de los subcriterios (variables geográficas) en cuanto a las alternativas

Subcriterio	Supremamente apto	Apto	Marginalmente Apto	Muy poco Apto	No apto
Distancia de áreas urbanas	1 Km >	0.9 - 1 km	0.6- 0.9 km	0.3 - 0.6 Km	0 - 0.3 Km
Vocación del suelo	* Ganadera	* Agrícola	*Agroforestal *Forestal	* Conservación de suelos	* Zonas urbanas * Cuerpo de agua
Distancia de vías principales	2 - 4 Km	4 - 5 Km	5 - 6 Km	6 km >	0 - 2 Km6
Pendiente del terreno	0-3%	3-7%	7-12%	12-25%	25>
Distancia de cuerpos de agua	1.5 >	1 - 1.5 km	0.7 - 0.9 Km	0.5 - 0.7 km	0 - 0.5 Km
Litología	* Arcillolitas, arcillas calcáreas y no; lutitas, calizas y aluvial grueso * Arcillolitas, limolitas y arcillas * Arcillolitas, lutitas, areniscas y arcillas	* Areniscas, arcillolitas y calizas *Areniscas, arcillolitas, lutitas y limolitas *Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas * Areniscas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas	* Calizas, areniscas, arcillosas, alternancia de areniscas y arcillas *Calizas, areniscas y lutitas calcáreas	* Lutitas, calizas, areniscas y lutitas calcáreas	*Aluviales mixtos *Aluviones *Areniscas y calizas *Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas *Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis *Cuarzomonzonita y neis *Granodioritas, cuarzomonzonitas, caraneis, granitos y ceniza volcánica
Distancia de Áreas protegidas	0 - 0.3 Km	0.3 - 0.5 Km	0.5 - 0.7 km	0.7 - 0.9 km	0.9 Km>

Fuente: Elaboración propia basado en los criterios establecidos en Decreto 835 de 2005, modificado por el Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019 y propuestas para el estudio.

Definida la estructura jerárquica, se procede a realizar la matriz de comparación por pares de criterio (MCP), que permite analizar el nivel de importancia de cada subcriterio con respecto a los demás. Este grado de importancia se establece a partir de una cuantificación de importancia relativa entre los subcriterios a analizar en la investigación.

Tabla 2 Escala de Juicio

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en la práctica
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible

Fuente Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. (2019) Ingeniare. Revista chilena de ingeniería Vol. 27.

Con base a la escala de importancia mostrada en la anterior tabla se construyó la matriz de comparación por pares con los ocho (8) subcriterios definidos de manera previa.

Tabla 3 Matriz de comparación por pares (MCP) del estudio

		Subcriterio Y							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	Subcriterio	Distancia de áreas urbanas	Vocación del suelo	Distancia de vías principales	Pendiente del terreno	Distancia de cuerpos de agua	Litología	Distancia de Áreas protegidas	Remoción en masa
1	Distancia de áreas urbanas	1	7/1	7/1	5/1	1	3/1	3	5/1
2	Vocación del suelo	1/7	1	3/1	1/3	1/7	1/5	1/5	1/3
3	Distancia de vías principales	1/7	1/3	1	1/3	1/7	1/5	1/7	1/5
4	Pendiente del terreno	1/5	3/1	3/1	1	1/5	1/3	1/3	1
5	Distancia de cuerpos de agua	1	7/1	3/1	5/1	1	3/1	3/1	7/1

		Subcriterio Y							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	Subcriterio	Distancia de áreas urbanas	Vocación del suelo	Distancia de vías principales	Pendiente del terreno	Distancia de cuerpos de agua	Litología	Distancia de Áreas protegidas	Remoción en masa
6	Geología (permeabilidad)	1/3	5/1	5/1	3/1	1/3	1	1/3	3
7	Distancia de Áreas protegidas	1/3	5/1	7/1	3/1	1/3	3	1	5/1
8	Remoción en masa	1/5	3/1	5/1	1	1/7	1/3	1/5	1

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología AHP de Saaty.

Tabla 4: Matriz de comparación por pares (MCP) con calificación numérica.

		1	2	3	4	5	6	7	8
	Subcriterio	Distancia de áreas urbanas	Vocación del suelo	Distancia de vías principales	Pendiente del terreno	Distancia de cuerpos de agua	Litología	Distancia de Áreas protegidas	Remoción en masa
1	Distancia de áreas urbanas	1.00	7.00	7.00	5.00	1.00	3.00	3.00	5.00
2	Vocación del suelo	0.14	1.00	3.00	0.33	0.14	0.20	0.20	0.33
3	Distancia de vías principales	0.14	0.33	1.00	0.33	0.14	0.20	0.14	0.20
4	Pendiente del terreno	0.20	3.00	3.00	1.00	0.20	0.33	0.33	1.00
5	Distancia de cuerpos de agua	1.00	7.00	7.00	5.00	1.00	3.00	3.00	7.00
6	Geología (permeabilidad)	0.33	5.00	5.00	3.00	0.33	1.00	0.33	3.00
7	Distancia de Áreas protegidas	0.33	5.00	7.00	3.00	0.33	3.00	1.00	5.00
8	Remoción en masa	0.20	3.00	5.00	1.00	0.14	0.33	0.20	1.00
Totales		3.35	31.33	38.00	18.67	3.29	11.07	8.21	22.53

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología AHP de Saaty.

De acuerdo con la metodología AHP, el cálculo del vector propio de la matriz MCP, define la ponderación de cada uno de los subcriterios. En términos prácticos, los componentes

del vector propio de la matriz MCP representan los pesos de cada uno de los subcriterios sobre la toma de decisión final. (Pinzón Ospina, 2015)

Así, para calcular el vector propio de la matriz, se genera la matriz normalizada (MCN); que se obtiene dividiendo cada valor de cada una de las columnas por la suma total de la columna.

Tabla 5 Matriz de comparación por pares normalizada (MCN).

	1	2	3	4	5	6	7	8
Subcriterio	Distancia de áreas urbanas	Vocación del suelo	Distancia de vías principales	Pendiente del terreno	Distancia de cuerpos de agua	Litología	Distancia de Áreas protegidas	Remoción en masa
Distancia de áreas urbanas	0.30	0.22	0.18	0.27	0.30	0.27	0.37	0.22
Vocación del suelo	0.04	0.03	0.08	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01
Distancia de vías principales	0.04	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01
Pendiente del terreno	0.06	0.10	0.08	0.05	0.06	0.03	0.04	0.04
Distancia de cuerpos de agua	0.30	0.22	0.18	0.27	0.30	0.27	0.37	0.31
Geología (permeabilidad)	0.10	0.16	0.13	0.16	0.10	0.09	0.04	0.13
Distancia de Áreas protegidas	0.10	0.16	0.18	0.16	0.10	0.27	0.12	0.22
Remoción en masa	0.06	0.10	0.13	0.05	0.04	0.03	0.02	0.04

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología AHP de Saaty.

Luego de obtener la matriz normalizada, se genera el vector de prioridad para cada subcriterio; el cual se determina generando la suma ponderada de cada fila de la matriz y calculando su promedio.

Tabla 6 Vector de prioridad para los subcriterios

Subcriterio	Ponderación	%
Distancia de áreas urbanas	0.267037129	27
Vocación del suelo	0.033891001	3
Distancia de vías principales	0.022998944	2

Subcriterio	Ponderación	%
Pendiente del terreno	0.057979776	6
Distancia de cuerpos de agua	0.278131804	28
Litología	0.114593279	11
Distancia de Áreas protegidas	0.165011609	17
Remoción en masa	0.060356459	6
Total	1	100

Fuente: Elaboración propia basado en la metodología AHP de Saaty.

El resultado obtenido en el vector de prioridad representa la ponderación en porcentaje o peso que se asigna a cada uno de los subcriterios analizados, y que su vez se convierten en variables geográficas para el álgebra de mapas que se realiza posteriormente. Después de obtener la ponderación de cada una de las variables, fue necesario el cálculo del cociente de consistencia (RC), que permite determinar que, los resultados obtenidos en el vector de prioridad son adecuados para optimizar los resultados. Según la metodología AHP, el RC debe ser inferior a 0,1 para matrices mayores de 5x5, si el resultado es mayor deben ser reconsiderados y modificados los valores de la matriz de comparación por pares. (Pinzón Ospina, 2015)

Para este caso el RC obtenido fue de 0,060; considerando que es una matriz de tamaño 8x8, se determinan como aceptables los valores obtenidos y se validan los resultados del análisis matricial y del vector prioridad.

1.4.2 Generación de las variables geográficas (Subcriterios).

Los criterios planteados y desarrollados en la presente investigación correspondieron a: (i) distancia de áreas urbanas, (ii) distancia a vías de acceso, (iii) pendientes del terreno, (iv) distancia a cuerpos de agua, (v) áreas de remoción en masa (vi) distancia de áreas protegidas, (vii) litología y (viii) vocación del suelo; para los cuales se establecieron dominios y un valor correspondiente, el cual varía entre uno (1) y cinco (5), donde este último valor se refiere a que la variable presenta una muy buena condición para el establecimiento del relleno y uno, condiciones muy malas para tal fin.

Tabla 7 Rangos definidos para los subcriterios

Variable	Rangos	Valor
Distancia de Áreas urbanas	0 - 0.3 Km	1
	0.3 - 0.5 Km	2
	0.5 - 0.7 km	3
	0.7 - 0.9 km	4
	0.9 >	5
Pendiente del terreno	0-3%	5
	3-7%	4
	7-12%	3

Variable	Rangos	Valor
	12-25%	2
	25>	1
Distancia de Áreas protegidas	0 - 0.3 Km	1
	0.3 - 0.5 Km	2
	0.5 - 0.7 km	3
	0.7 - 0.9 km	4
	0.9 >	5
Distancia de Drenajes	0 - 0.5 Km	1
	0.5 - 0.7 km	2
	0.7 - 0.9 Km	3
	1 - 1.5 km	4
	1.5 >	5
Remoción en masa	Baja	5
	Media	3
	Alta	1
Litología	Aluviales mixtos	1
	Aluviones	1
	Arcillolitas, arcillas calcáreas y no; lutitas, calizas y aluvial grueso	5
	Arcillolitas, limolitas y arcillas	5
	Arcillolitas, lutitas, areniscas y arcillas	5
	Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas	2
	Areniscas y calizas	1
	Areniscas, arcillolitas y calizas	4
	Areniscas, arcillolitas, lutitas y limolitas	4
	Areniscas, conglomerados y lutitas calcáreas	1
	Areniscas, limolitas, lutitas, granodiorita, cuarzomonzonita, riolita, esquistos y neis	1
	Areniscas, lutitas, calcáreas o no; calizas, limolitas y cenizas volcánicas	2
	Calizas, areniscas y lutitas calcáreas	3
	Calizas, areniscas, arcillosas, alternancia de areniscas y arcillas	3
	Cuarzomonzonita y neis	1
	Granodioritas, cuarzomonzonitas, caraneis, granitos y ceniza volcánica	1
	Lulitas, calizas, areniscas y lutitas calcáreas	2
Zona urbana	1	
Distancia vías de acceso	0 - 5 Km	5
	5 - 10 Km	4
	10 - 13 Km	3
	13 - 15 Km	2

Variable	Rangos	Valor
	15 km >	1
Vocación del suelo	Agroforestal	3
	Cuerpo de agua	1
	Agrícola	4
	Conservación de suelos	2
	Forestal	3
	Ganadera	5
	Zonas urbanas	1

Fuente: Elaboración propia a partir de los criterios establecidos en Decreto 835 de 2005, modificado por el Decreto 1077 de 2015, Decreto 1784 de 2017 y la Resolución 938 de 19 de diciembre de 2019 y propuestas para el estudio.

Tabla 8 Escala de ponderación

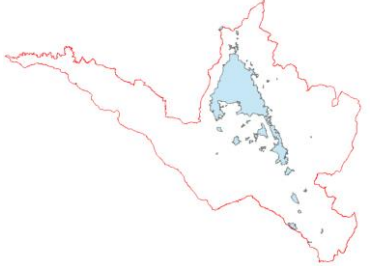
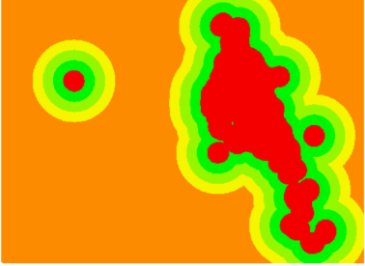

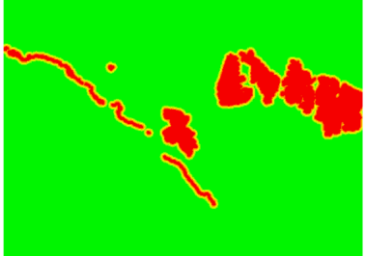

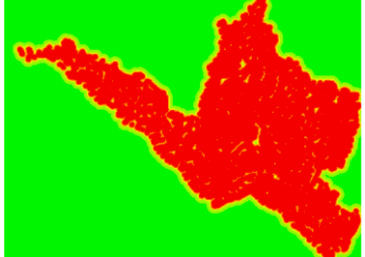
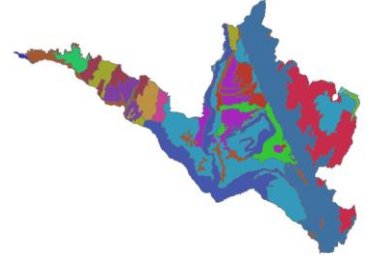
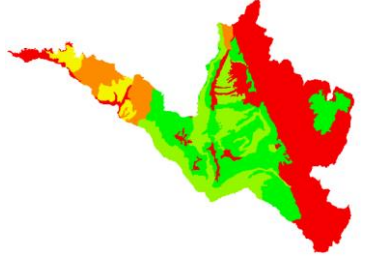
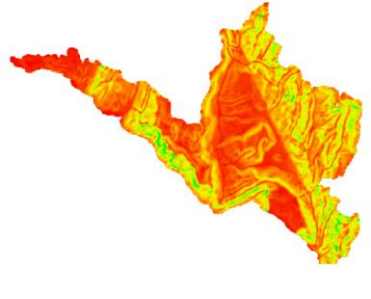
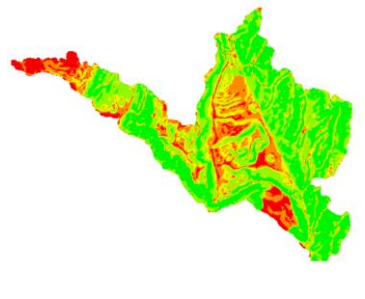
Escala ponderación	
Calificación	Puntaje
No apto	1
Muy poco apto	2
Moderadamente apto	3
Apto	4
Supremamente apto	5


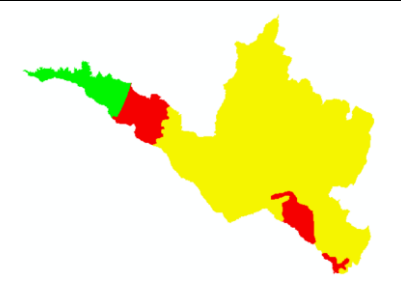
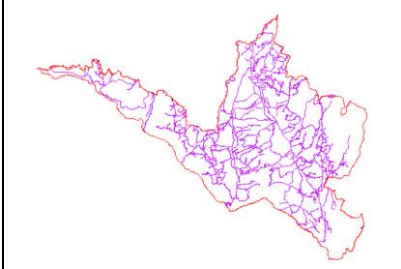
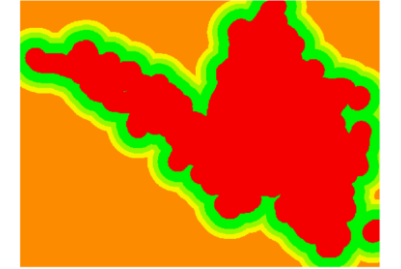
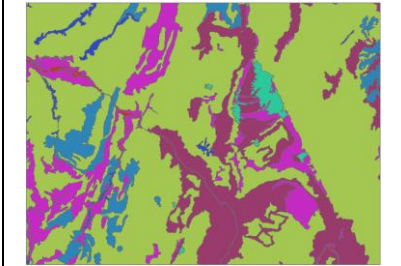
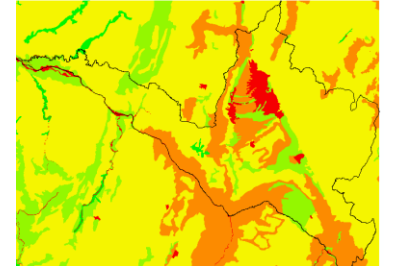
Una vez establecidos las variables, dominios y escala de ponderación, se realizó un análisis de superposición ponderada por medio de la herramienta Weighted overlay del software ArcGIS 10.7.1.

Es importante mencionar que, la información geográfica utilizada en la presente investigación se proyectó bajo el sistema de referencia MAGNA SIRGAS origen Bogotá.

A continuación, se resumen cada una de las herramientas ejecutadas para la generación de las variables cartográficas, donde los tonos rojos representan zonas no aptas, mientras que los colores amarillos y verdes evidencian zonas moderadamente aptas, aptas y supremamente apto.

Tabla 9 Generación de capas intermedias para la el algebra de mapas

Subcriterio	Insumo cartográfico	Reclasificación	Generación del subcriterio
Áreas urbanas			<p>Se genera dato tipo raster a partir del método de distancia euclidiana con los dominios establecidos en la tabla 1.</p>
Áreas protegidas			<p>Se genera dato tipo raster a partir del método de distancia euclidiana con los dominios establecidos en la tabla 1.</p>
Drenajes			<p>Se genera dato tipo raster a partir del método de distancia euclidiana con los dominios establecidos en la tabla 1.</p>
Geología			<p>Se genera reclasificación de la información tipo vector, a partir de los dominios establecidos en la tabla 1.</p>
Pendientes del terreno			<p>Se genera raster de pendientes a partir de un modelo digital de elevación de 30 m. Luego, se genera reclasificación a partir de los dominios establecidos en la tabla 1.</p>

Subcriterio	Insumo cartográfico	Reclasificación	Generación del subcriterio
Remoción en masa			Se genera reclasificación de la información tipo vector, a partir de los dominios establecidos en la tabla 1.
Vías			Se genera dato tipo raster a partir del método de distancia euclidiana con los dominios establecidos en la tabla 1.
Vocación uso del suelo			Se genera reclasificación de la información tipo vector, a partir de los dominios establecidos en la tabla 1.

1.4.3 Álgebra de mapas a través de la herramienta weighted overlay

Una vez generadas y reclasificadas cada uno de los subcriterios (variables) del estudio en formato raster, conforme lo establecido en la Tabla 7 y, establecidos los valores o pesos para la ponderación, se realizó el procedimiento de álgebra de mapas, con el fin de obtener una representación gráfica con las aptitudes del terreno para la construcción de rellenos sanitarios.

Cabe resaltar que la herramienta utilizada para la superposición de capas o álgebra de mapas correspondió a weighted overlay, la cual permite realizar una suma de coberturas, teniendo en cuenta los pesos o ponderaciones diferentes para cada una de las coberturas. (Pinzón Ospina, 2015)

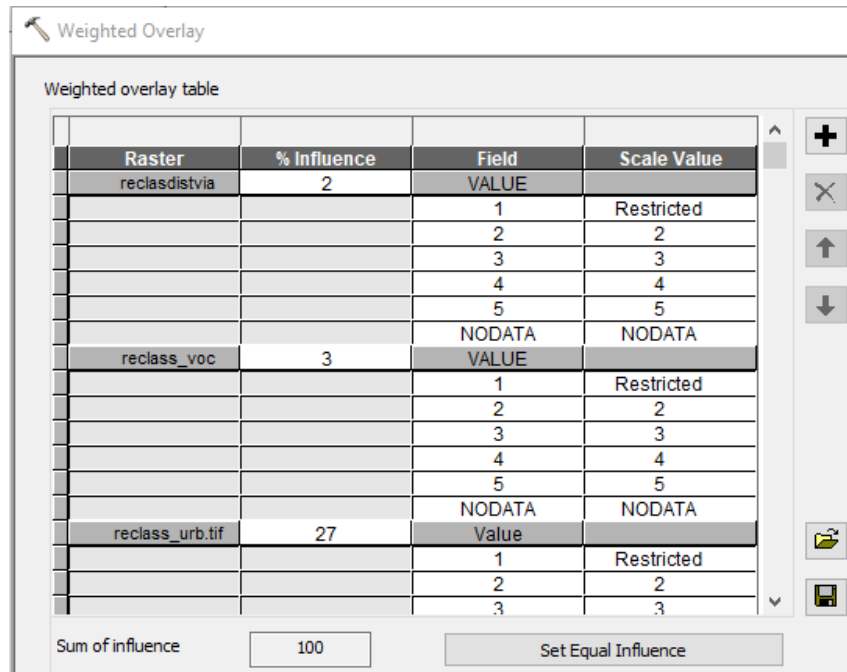


Ilustración 4 Ponderación de los subcriterios evaluados con el uso de la herramienta de la herramienta Weighted Overlay.

Fuente: Ventana del software ArcGIS 10.7.1 en ejecución de la herramienta Weighted Overlay

1.4.4 Cálculo de áreas para el establecimiento del relleno sanitario

Es importante resaltar que, otro de los factores fundamentales para el establecimiento de un relleno sanitario, supone la determinación de área útil disponible, conforme a la proyección de población y generación residuos sólidos.

En tal sentido, una vez definidas las áreas óptimas a partir de la herramienta de superposición ponderada, se definieron cuáles de estas cuentan con la extensión suficiente para la implantación de un relleno sanitario de residuos sólidos para el área metropolitana de Bucaramanga. Para esto, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

- Censo de población de los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga, de los años 2005 y 2018.
- Producción de residuos sólidos per cápita.
- Densidad de los residuos compactados.
- Altura de la celda.
- Cobertura del servicio de aseo.

A continuación, se relacionan los datos de población de los años 2005 y 2018, para los municipios de Girón, Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga, tomando como referencia, los censos realizados por el DANE. (DANE, 2021)

Tabla 10 Población censada en el área metropolitana

Municipio	Población censo 2005	Población censo 2018
Girón	133.904	150.610
Floridablanca	251.652	275.109
Piedecuesta	116.183	157.425
Bucaramanga	501.113	528.855

Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane)

Asimismo, en la siguiente tabla, se resumen los valores asociados a cada una de las variables que influyeron en el cálculo del área necesaria para la implantación del relleno sanitario, relacionando las fuentes bibliográficas que sirvieron como base para su inclusión.

Tabla 11 Parámetros para el cálculo de área

Parámetro	Valor estimado	Fuentes
Producción per cápita	1.76 kg/día	Lineamientos estratégicos del banco interamericano de Desarrollo para el sector de residuos sólidos (Terraza, 2009)
Cobertura por servicio de aseo	65%	Identificar, publicar y disponer información de áreas potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios mediante herramientas SIG en el departamento de Boyacá. (Rodriguez & Trujillo, 2018)
Densidad de los residuos compactados	800 Kg/m ³	Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica – Cesar. (Díaz & Vallejo, 2017)
Altura de celda	3 m	Identificar, publicar y disponer información de áreas potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios mediante herramientas SIG en el departamento de Boyacá. (Rodriguez & Trujillo, 2018)

Para el cálculo del área necesaria para el establecimiento de un relleno sanitario de residuos sólidos, en primera instancia, fue necesario determinar el periodo de diseño, el cual, de acuerdo con el Artículo 40 de la Resolución 330 de 2017, corresponde a 25 años. (Ministerio de vivienda, 2017)

Conforme a lo anterior, se procedió a calcular la población de los municipios que conforman el área metropolitana desde el año 2021 hasta el año 2045, para lo cual se implementó el método geométrico.

$$P_f = P_{uc} \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} X(T_f - T_{uc})$$

Donde:

P_f = población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} = Población (habitantes) correspondientes al último año censado con información.

P_{ci} = Población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

Tuc= Año correspondiente al último censo con información.
Tci = Año correspondiente al censo inicial con información.
Tf = Es el año al cual se requiere proyectar la información.

Ahora bien, una vez calculada la población para el año 2045 y, teniendo en cuenta que, según el banco interamericano de desarrollo, la producción per cápita de residuos sólidos municipales y domésticos corresponde a 1.76 Kg/hab/día, se calculó el volumen de residuos generados año por año, así:

$$\text{Residuos generados}_{\text{año}} = \text{Población}_{\text{año}} \times \text{Producción}_{\text{per cápita}} \times 365_{\text{días}}$$

Ahora, para el cálculo del volumen, se tomó como referencia la densidad de residuos sólidos comprimidos en relleno, sugerido de 800 kg/m³, tal y como lo recomienda (Diaz Benavides & Vallejo Valles, 2017).

$$\text{Volumen}_{\text{año}} = \text{Residuos}_{\text{año}} \times \text{Densidad}_{\text{r compactados}}$$

Por último, para determinar el área necesaria para el establecimiento del relleno sanitario, se utilizó el volumen acumulado año a año, por la altura de celda recomendada en la literatura, que corresponde a 3m. (Rodriguez Torres & Trujillo Guayara, 2018)

$$\text{Área} = \text{V}_{\text{acumulado}} \times \text{Altura}_{\text{celda}}$$

Por último, con el fin de verificar que las áreas resultantes como “aptas” en la metodología de superposición ponderada, cuenten con la extensión necesaria para el establecimiento de un relleno sanitario en el área metropolitana de Bucaramanga, se realizó un proceso de conversión del resultado raster a vector, para así, utilizar la herramienta de cálculo de geometría, que determina la extensión de cada área clasificada como “apta”.

2. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Una vez ejecutado el álgebra de mapas con datos tipos raster, se obtuvo una salida gráfica, donde se logra evidenciar que en el área de los municipios que conforman el Área Metropolitana de Bucaramanga, se presentan zonas “no aptas”, “muy poco aptas”, “moderadamente aptas” y “aptas”, para la construcción de un relleno sanitario.

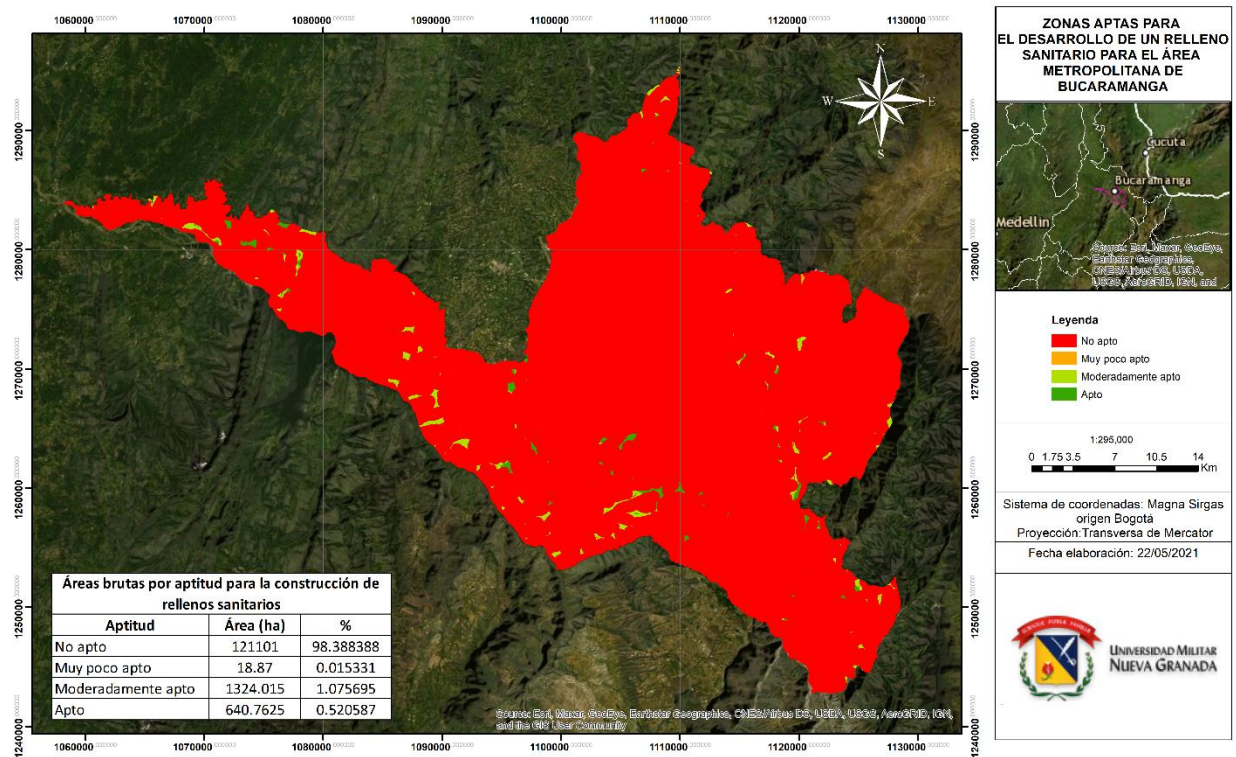


Ilustración 5 Mapa de zonas con aptitudes para la localización de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Fuente: Elaboración propia generado a partir de la herramienta de superposición ponderada en ArcGIS 10.7.1

Como bien se logra evidenciar en la ilustración anterior, la aptitud que presenta mayor extensión dentro del área de estudio corresponde a “No apto” con 121.101 ha que corresponden a 98% del área total del Área Metropolitana de Bucaramanga (en adelante AMB), seguido por “moderadamente apto” con 18.87 ha equivalente a un 1%, “apto” con 640.76 ha (0.5% del área del AMB) y “muy poco apto” con 18.87 ha.

Cabe resaltar que, no se obtuvieron áreas con aptitudes “supremamente aptas”, esto probablemente se debe a condiciones propias del área de estudio, que suponen restricciones para la ubicación de un relleno, como un alto número de cuerpos de agua y una topografía con pendientes muy altas, lo cual se logró constatar en el tratamiento de las capas de hidrología y pendientes en esta investigación.

Teniendo en cuenta que, el objetivo de la presente investigación consistió en determinar zonas aptas para la construcción de un relleno sanitario en el AMB, se realizó la extracción de dichas áreas para la representación gráfica que se presenta en la siguiente

de ilustración. En total, como resultado de la superposición, se obtuvieron en total 6 zonas catalogadas como “aptas”, así:

Tabla 12 Zonas aptas

ID Zona apta	Área (ha)
1	38.4574
2	39.4426
3	41.8991
4	51.0266
5	52.1537
6	52.8589

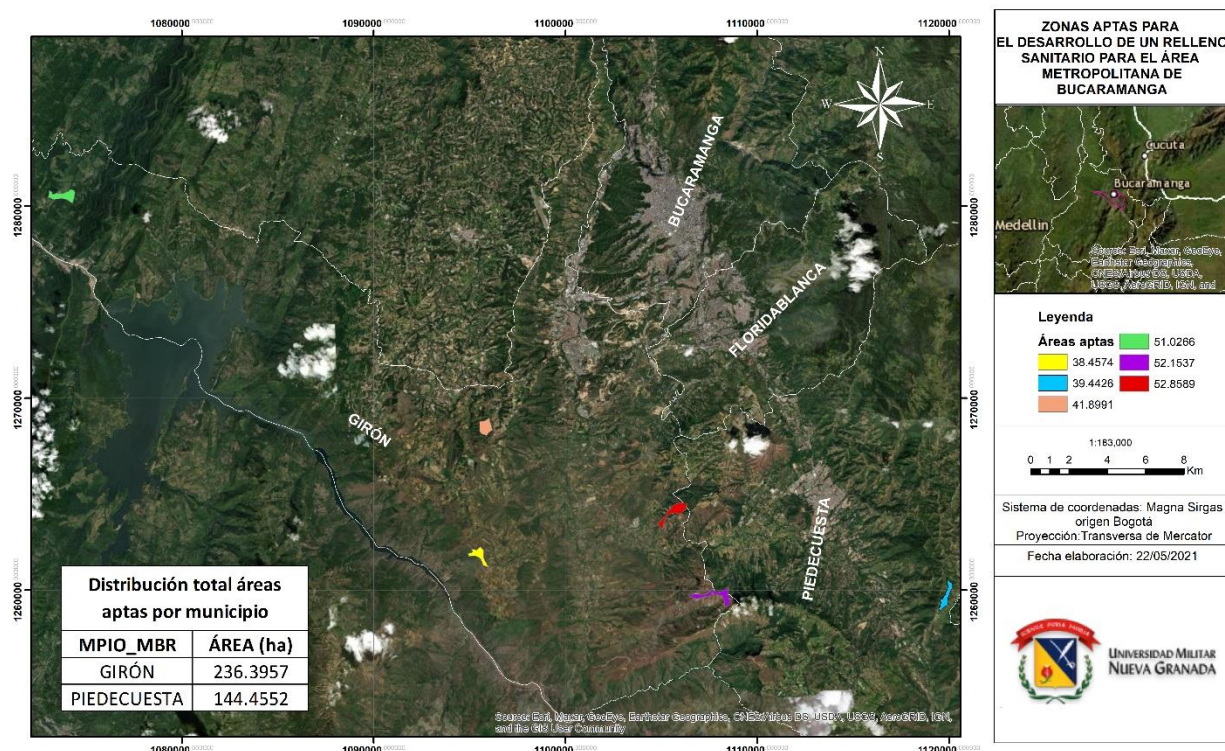


Ilustración 6 Mapa de zonas aptas para la localización de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Fuente: Elaboración propia generado a partir de la herramienta de superposición ponderada en ArcGIS 10.7.1

Ahora bien, teniendo en cuenta que la selección de las zonas aptas para la implantación del relleno sanitario depende de la extensión requerida para la disposición de residuos a partir de la proyección de la población del AMB a 2045, según lo dispuesto en el Artículo 40 de la Resolución 330 de 2017.

Conforme a lo anterior, se calculó que el total de población del AMB para el año 2045 corresponde a 1.338.688,92 habitantes. Asimismo, considerando que la producción per cápita de residuos sólidos obedece al orden de 1.76 kg/día, según lo establecido por el Banco Interamericano de Desarrollo, se logró

determinar que, para el año 2045, el total de residuos acumulados, generados en el AMB, corresponden 2.626.773,6 Kg, tal y como se evidencia a continuación.

Tabla 13 Proyección de población

	Año	Girón	Floridablanca	Piedecuesta	Bucaramanga	Población total
1	2021	154465.23	280522.15	166942.38	535257.00	1137186.77
2	2022	155750.31	282326.54	170114.85	537391.00	1145582.69
3	2023	157035.38	284130.92	173287.31	539525.00	1153978.62
4	2024	158320.46	285935.31	176459.77	541659.00	1162374.54
5	2025	159605.54	287739.69	179632.23	543793.00	1170770.46
6	2026	160890.62	289544.08	182804.69	545927.00	1179166.38
7	2027	162175.69	291348.46	185977.15	548061.00	1187562.31
8	2028	163460.77	293152.85	189149.62	550195.00	1195958.23
9	2029	164745.85	294957.23	192322.08	552329.00	1204354.15
10	2030	166030.92	296761.62	195494.54	554463.00	1212750.08
11	2031	167316.00	298566.00	198667.00	556597.00	1221146.00
12	2032	168601.08	300370.38	201839.46	558731.00	1229541.92
13	2033	169886.15	302174.77	205011.92	560865.00	1237937.85
14	2034	171171.23	303979.15	208184.38	562999.00	1246333.77
15	2035	172456.31	305783.54	211356.85	565133.00	1254729.69
16	2036	173741.38	307587.92	214529.31	567267.00	1263125.62
17	2037	175026.46	309392.31	217701.77	569401.00	1271521.54
18	2038	176311.54	311196.69	220874.23	571535.00	1279917.46
19	2039	177596.62	313001.08	224046.69	573669.00	1288313.38
20	2040	178881.69	314805.46	227219.15	575803.00	1296709.31
21	2041	180166.77	316609.85	230391.62	577937.00	1305105.23
22	2042	181451.85	318414.23	233564.08	580071.00	1313501.15
23	2043	182736.92	320218.62	236736.54	582205.00	1321897.08
24	2044	184022.00	322023.00	239909.00	584339.00	1330293.00
25	2045	185307.08	323827.38	243081.46	586473.00	1338688.92

Tabla 14 Proyección generación de residuos

	Año	Residuos generados (Kg/año)	Acumulado Kg/año
1	2021	1298290.4	1298290.4
2	2022	1298932.8	2597223.2
3	2023	1299575.2	2598508
4	2024	1300217.6	2599792.8
5	2025	1300860	2601077.6
6	2026	1301502.4	2602362.4
7	2027	1302144.8	2603647.2
8	2028	1302787.2	2604932
9	2029	1303429.6	2606216.8

Año		Residuos generados (Kg/año)	Acumulado Kg/año
10	2030	1304072	2607501.6
11	2031	1304714.4	2608786.4
12	2032	1305356.8	2610071.2
13	2033	1305999.2	2611356
14	2034	1306641.6	2612640.8
15	2035	1307284	2613925.6
16	2036	1307926.4	2615210.4
17	2037	1308568.8	2616495.2
18	2038	1309211.2	2617780
19	2039	1309853.6	2619064.8
20	2040	1310496	2620349.6
21	2041	1311138.4	2621634.4
22	2042	1311780.8	2622919.2
23	2043	1312423.2	2624204
24	2044	1313065.6	2625488.8
25	2045	1313708	2626773.6

De acuerdo con la información obtenida anteriormente, se determinó que el área requerida para el establecimiento de un relleno sanitario con periodo de diseño a 25 años, es decir hasta el año 2045, corresponde a 71,43 ha. Sin embargo, para esta investigación, se asumió que la cobertura de servicio de aseo corresponde al 65% de los residuos generados anualmente, tal y como se recomienda por (Rodríguez Torres & Trujillo Guayara, 2018), razón por la cual, el área definitiva requerida para el establecimiento del relleno sanitario para el AMB corresponde a 46,435 ha.

Tabla 15 Volumen acumulado y área requerida para el relleno sanitario

Año	V acumulado (m3/año)	Área m2	Área (ha)	Área (ha) definitiva	
1	2021	913160.9757	304386.9919	30.43869919	19.78515447
2	2022	1833063.878	611021.2925	61.10212925	39.71638402
3	2023	1846547.73	615515.91	61.551591	40.00853415
4	2024	1860031.583	620010.5275	62.00105275	40.30068429
5	2025	1873515.435	624505.145	62.4505145	40.59283443
6	2026	1886999.287	628999.7625	62.89997625	40.88498456
7	2027	1900483.14	633494.38	63.349438	41.1771347
8	2028	1913966.992	637988.9975	63.79889975	41.46928484
9	2029	1927450.845	642483.6149	64.24836149	41.76143497
10	2030	1940934.697	646978.2324	64.69782324	42.05358511
11	2031	1954418.55	651472.8499	65.14728499	42.34573525
12	2032	1967902.402	655967.4674	65.59674674	42.63788538
13	2033	1981386.255	660462.0849	66.04620849	42.93003552
14	2034	1994870.107	664956.7024	66.49567024	43.22218566
15	2035	2008353.96	669451.3199	66.94513199	43.51433579

Año	V acumulado (m3/año)	Área m2	Área (ha)	Área (ha) definitiva	
16	2036	2021837.812	673945.9374	67.39459374	43.80648593
17	2037	2035321.665	678440.5548	67.84405548	44.09863607
18	2038	2048805.517	682935.1723	68.29351723	44.3907862
19	2039	2062289.369	687429.7898	68.74297898	44.68293634
20	2040	2075773.222	691924.4073	69.19244073	44.97508648
21	2041	2089257.074	696419.0248	69.64190248	45.26723661
22	2042	2102740.927	700913.6423	70.09136423	45.55938675
23	2043	2116224.779	705408.2598	70.54082598	45.85153689
24	2044	2129708.632	709902.8773	70.99028773	46.14368702
25	2045	2143192.484	714397.4947	71.43974947	46.43583716

En tal sentido, de las seis (6) áreas clasificadas como aptas en el proceso de superposición ponderada, únicamente tres (3), cuentan con la extensión en área necesaria para el establecimiento del relleno sanitario, según lo determinado en la Tabla 15.

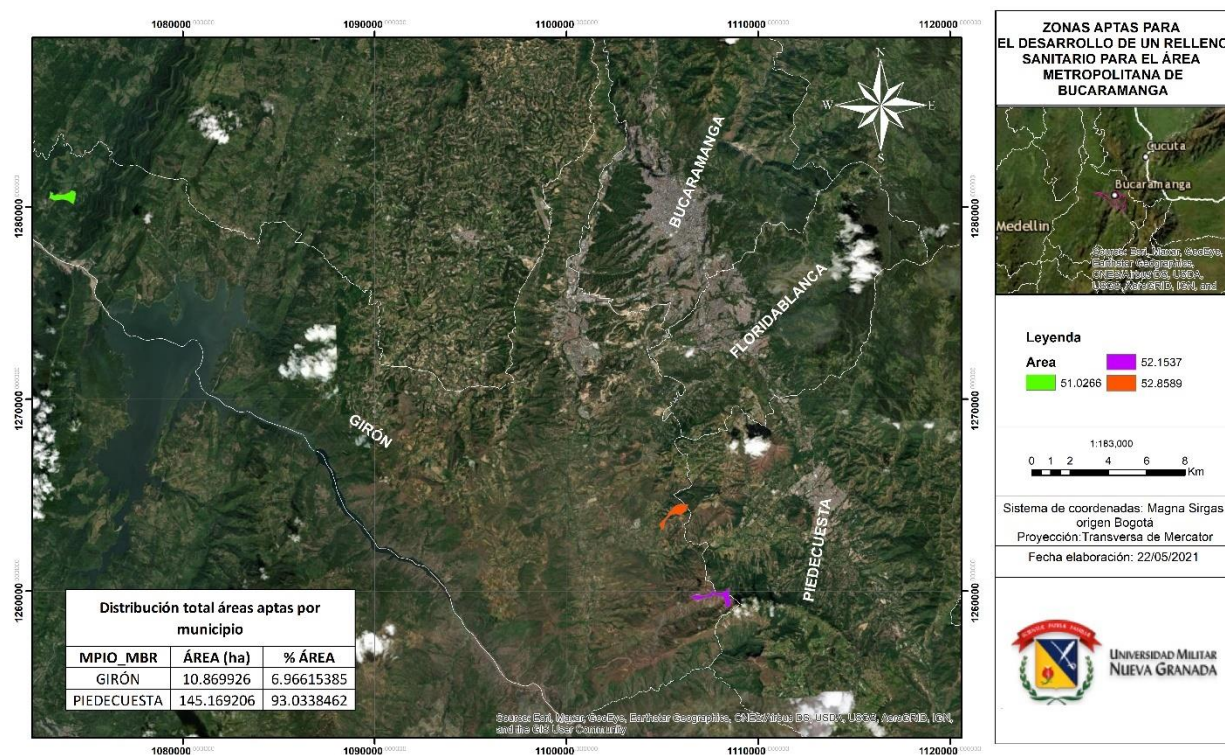


Ilustración 7 Mapa de zonas aptas en área para la localización de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Fuente: Elaboración propia generado a partir de la herramienta de superposición ponderada en ArcGIS 10.7.1

Cabe resaltar que, las zonas “aptas” con el área necesaria para el establecimiento del relleno en el AMB, se concentran en el municipio de Piedecuesta y Girón, distribuidas con un total de 145,169 ha y 10 ha, respectivamente.

3. CONCLUSIONES

- El proceso de Análisis Jerárquico AHP (Analytic Hierarchy Process), permitió priorizar los subcriterios determinados para esta investigación y definir su importancia dentro del método de superposición ponderada.
- El método de análisis multicriterio se constituye, junto con la integración de herramientas SIG, como un instrumento que contribuye a la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento territorial y la gestión ambiental.
- Las condiciones del medio físico, evaluadas en el proceso del análisis multicriterio para el Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB, como hidrología, pendientes, y áreas de remoción en masa, generan restricciones para el establecimiento de un área para un relleno sanitario, teniendo en cuenta que 121.101 ha, que corresponden al 98% del área total de estudio, se clasificaron como “No aptas”.
- De acuerdo con la información obtenida anteriormente, se determinó que el área requerida para el establecimiento de un relleno sanitario con periodo de diseño a 25 años, es decir hasta el año 2045, corresponde a 71,43 ha. Sin embargo, para esta investigación, se asumió que la cobertura de servicio de aseo corresponde al 65% de los residuos generados anualmente, tal y como se recomienda por (Rodríguez Torres & Trujillo Guayara, 2018), razón por la cual, el área definitiva requerida para el establecimiento del relleno sanitario para el AMB corresponde a 46,435 ha.
- Las condiciones del medio físico y sociales, evaluadas en el proceso del análisis multicriterio para el Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB, como hidrología, pendientes, áreas de remoción en masa, áreas protegidas y zonas urbanas, por su concentración al oriente del AMB (Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta), generaron restricciones para el establecimiento de un área de un relleno sanitario en dicha zona y, por ende las áreas “aptas” se centralizan principalmente en el municipio de Girón, con un total de 145 ha, correspondientes al 96% de las áreas denominadas como “aptas”.
- Los subcriterios establecidos para la presente investigación se plantearon a partir de normatividad relacionada con la prestación de servicios públicos. Actualmente, no existen criterios específicos para determinar zonas aptas para el establecimiento de rellenos sanitarios, ya que es función de las entidades administrativas determinarlos en los planes de ordenamiento territorial, a partir de estudios técnicos previos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Área Metropolitana de Bucaramanga. (2011). *Evaluación de alternativas de reubicación del sitio de disposición final*. Universidad Industrial de Santander . Obtenido de file:///C:/Users/Lina%20Maria%20Ramirez/Downloads/EVALUACION-DE-ALTERNATIVAS-DE-REUBICACION-DEL-SITIO-DE-D.F.pdf
- Arias Rey, J. L., & Buitrago Rey, J. A. (2012). corresponde a la facilidad y economía que la persona de la ubicación de un relleno sanitario (caso Área Metropolitana e Bucaramanga). *Revista DIXI Vol 14 núm 15*, 82-102.
- Cadena radial colombiana S.A. (05 de enero de 2021). Alacladía de Ciénaga propone construir relleno sanitario regional. Santa Marta, Colombia.
- DANE, D. a. (Octubre de 2021). Censo poblacional. Bogotá, Colombia.
- Diaz Benavides, L. Y., & Vallejo Valles, A. C. (2017). Propuesta para el diseño dle nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica - Cesar. Colombia.
- Díaz, Y., & Vallejo, C. (2017). *Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica - Cesar*. Bogotá.
- Environmental Justice Atlas. (6 de marzo de 2021). Obtenido de <https://www.ejatlas.org/conflict/relleno-sanitario-landfill-el-carrasco-bucaramanga-colombia>
- Franco Antolinez, L. J., Meza Joya, M. A., & Almeida, J. E. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso relleno sanitario El Carrasco (revisión). *Avances en Ingeniería* , 180-193.
- Giménez Vera, M., & Cardoza Carrera, C. R. (2012). Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del alto Paraná. *7° Congreso de Medio Ambiente*.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (23 de mazo de 2005). Decreto 838. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Orientaciones para la definición y actualización de los determinantes ambientales por parte de las autoridades ambientales y su incorporación en los planes de ordenamiento territorial. *Grupo de ordenamiento Ambiental Territorial SINA*.
- Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2 de noviembre de 2017). Decreto 1784. Bogotá, Colombia.

- Ministerio de vivienda, c. y. (8 de junio de 2017). Resolución 330. Bogotá, Colombia.
- Montes Cortés, C. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*,. Bogotá, Colombia: Universidad Externado de Colombia.
- Observatorio Metropolitano de Bucaramanga. (6 de marzo de 2021). Obtenido de <http://www.observatorio-metropolitano.com.co/>
- Olaya, V. (16 de octubre de 2014). *Sistemas de información geográfica*,.
- Osorio Gómez, J. C., & Orejuela Cabrera, J. P. (2008). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de Aplicación. *Scientia et Technica Año XIV, No 39*, 247 - 251.
- Pinzón Ospina, E. (2015). Determinación de zonas aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de Suba, partiendo de métodos de análisis multicriterio y herramientas SIG.
- Puerta Echeverri, S. M. (1 de junio de 2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de investigación*.
- Rodriguez Torres, Á. M., & Trujillo Guayara, L. A. (2018). Identificar, publicar y disponer información de áreas potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios mediante herramientas sig en el departamento de Boyacá. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodriguez, Á., & Trujillo, A. (2018). Identificar, publicar y disponer información de áreas potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios mediante herramientas SIG en el departamento de Boyacá. Bogotá, Colombia.
- Saaty, T. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. *McGraw-Hill*, 287.
- Terraza, H. (2009). *Lineamientos estratégicos del Banco Interamericano de Desarrollo para el sector de residuos sólidos*. Washington.
- Toskano Hurtado, G. B. (2005). El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. Investigación Operativa*.
- Ullca, J. (2006). Los rellenos sanitarios. *La granja. Revista de ciencias de la vida*, 17.

Vanguardia. (7 de marzo de 2021). Obtenido de vanguardia.com/cronologia/-/meta/relleno-sanitario