



**Construcción de un modelo para la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos usando la herramienta model builder de ArcGIS a partir de la normatividad vigente y (MCDA), caso de estudio Municipio de Támesis**

Jose Alejandro Sepúlveda Granda

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática

Asesor

Juan Jose García Duque, Especialista (Esp) en Medio Ambiente y Geoinformática

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Sepulveda Granda, 2022)
<b>Referencia</b>	Sepulveda Granda, Jose (2022) <i>Construcción de un modelo para la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos usando la herramienta model builder de ArcGIS a partir de la normatividad vigente y (MCDA), caso de estudio Municipio de Támesis</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática, Cohorte XVII.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

A Josué, Gonzalo y Diana Ivonne...

## 1. Tabla de contenido

1. Resumen.....	8
2. Abstract .....	9
3. Introducción .....	10
4. Objetivos .....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos.....	12
5. Marco teórico.....	13
Ordenamiento territorial y residuos solidos .....	14
Revisión del decreto 838 de 2005 .....	16
Herramienta ModelBuilder de ArcGIS .....	24
6. Metodología.....	25
Área de estudio.....	25
Método de estudio .....	28
Información cartográfica disponible .....	28
Diseño y calibración del Modelbuilder .....	29
7. Resultados .....	33
8. Conclusiones .....	36
9. Referencias.....	37

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b>	Asignación de puntos al criterio de Ocupación actual del suelo.....	16
<b>Tabla 2</b>	Asignación de puntos al criterio Condiciones de la vía principal .....	17
<b>Tabla 3</b>	Asignación de puntos a la pendiente promedio de la vía principal .....	17
<b>Tabla 4</b>	Asignación de puntos a la distancia de la vía de acceso .....	17
<b>Tabla 5</b>	Pendiente promedio de la vía de acceso.....	18
<b>Tabla 6</b>	Asignación de puntos al número de vías de acceso .....	18
<b>Tabla 7</b>	Asignación de puntos a las condiciones de la vía de acceso .....	18
<b>Tabla 8</b>	Asignación de puntos a la pendiente promedio del terreno .....	19
<b>Tabla 9</b>	Asignación de puntos a la facilidad de movimiento de tierras.....	19
<b>Tabla 10</b>	Asignación de puntos a la distancia al casco urbano .....	20
<b>Tabla 11</b>	Asignación de puntos a la distancia al material de cobertura .....	21
<b>Tabla 12</b>	Asignación de puntos a la calidad del material de cobertura .....	21
<b>Tabla 13</b>	Asignación de puntos a la densidad poblacional.....	21
<b>Tabla 14</b>	Asignación de puntos a la incidencia en la congestión de tráfico .....	22
<b>Tabla 15</b>	Asignación de puntos a la distancia a cuerpos hídricos .....	22
<b>Tabla 16</b>	Asignación de puntos a la dirección de los vientos.....	23
<b>Tabla 17</b>	Asignación de puntos al criterio de geoformas del terreno.....	23
<b>Tabla 18</b>	Asignación de puntos en el criterio de restricciones en el área.....	24
<b>Tabla 19</b>	Ajuste de calificación al criterio de distancia a las vías de acceso .....	30
<b>Tabla 20</b>	Ajuste de la calificación de las geoformas del terreno.....	31

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Municipio de Támesis, Antioquia.....	27
<b>Figura 2</b> Modelo de identidad relación para la determinación de áreas de disposición final de residuos solidos .....	32
<b>Figura 3</b> imagen resultado de la suma de todos los criterios de selección en el municipio de Támesis.....	33
<b>Figura 4</b> Áreas seleccionadas para la instalación de rellenos sanitarios en el municipio de Támesis.....	35

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>APA</b>	American Psychological Association
<b>Cms.</b>	Centímetros
<b>ERIC</b>	Education Resources Information Center
<b>Esp.</b>	Especialista
<b>MP</b>	Magistrado Ponente
<b>MSc</b>	Magister Scientiae
<b>Párr.</b>	Párrafo
<b>PhD</b>	Philosophiae Doctor
<b>PBQ-SF</b>	Personality Belief Questionnaire Short Form
<b>PostDoc</b>	PostDoctor
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

En la actualidad gran parte del enfoque de la investigación y la gestión de residuos se ha centrado en la recuperación de energía y el reciclaje de materiales valiosos de los desechos para reducir las cargas en los sitios de disposición, los rellenos sanitarios siguen siendo una parte inseparable de la gestión de desechos sólidos(Rezaeisabzevar et al., 2020). Además, que en el proceso de ordenamiento del territorio el definir las áreas de disposición final de residuos hace parte de las determinantes ambientales, que son normas de superior jerarquía expedidas por las corporaciones autónomas regionales.

El manejo y la disposición final de los residuos sólidos en los municipios de Colombia ha sido una preocupación y un tema de especial atención por parte de las administraciones municipales principalmente en las fases de ordenación de sus territorios, la mayoría de municipios no cuenta con un sitio de disposición final en sus jurisdicciones lo que actualmente genera sobrecostos en el transporte y la disposición final, opción es utilizar la metodología descrita en el decreto 838 de 2005 la cual impone un uso de variables y de criterios de selección que permite calificar cada uno de estos ítems en todo el territorio usando herramientas SIG para la identificación de las áreas potenciales para la disposición final.

*Palabras clave:* SIG, Residuos sólidos, ordenamiento territorial, rellenos sanitarios.

## **Abstract**

Today much of the focus of waste research and management has been on energy recovery and recycling of valuable materials from waste to reduce loads on disposal sites, landfills remain an inseparable part of solid waste management (Rezaeisabzevar et al., 2020). In addition, that in the land use planning process, defining the final waste disposal areas is part of the environmental determinants, which are higher-ranking standards issued by the regional autonomous corporations.

The management and final disposal of solid waste in the municipalities of Colombia has been a concern and a subject of special attention by the municipal administrations, mainly in the planning phases of their territories, most municipalities do not have a site of final disposal in their jurisdictions, which currently generates cost overruns in transportation and final disposal, the option is to use the methodology described in Decree 838 of 2005, which imposes a use of variables and selection criteria that allows each of these to be qualified. items throughout the territory using GIS tools to identify potential areas for final disposal.

*Keywords:* GIS, Solid waste, territorial ordering, landfill

## Introducción

El no contar con un sitio de disposición final para la correcta disposición de residuos sólidos mediante la tecnología de relleno sanitario es un problema con el que la gran mayoría de los municipios de Colombia tienen que lidiar debido a que se incrementan los costos de transporte y de disposición final, donde al final el usuario es el que debe asumir dichos sobre costos. En la normatividad colombiana se encuentra una metodología descrita en el decreto 838 de 2005, que se usa en la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos mediante la modalidad de relleno sanitario donde impone la utilización de variables y de criterios de selección que permite la calificación e de cada uno de estos ítems en todo el territorio

A través de una revisión bibliográfica de la literatura asociada a la selección de sitios de disposición final de residuos sólidos mediante el uso de la metodología conocida como Multi-criteria decision analysis (MCDA), combinada con sistemas de información geográfica lo convierte en una herramienta importantes mediante el procesamiento de datos espaciales y no espaciales disponibles para transformarlos en información útil que soporta la toma de decisiones para la ubicación de rellenos sanitarios, toda esta información será analizada a la luz de la normatividad colombiana vigente como lo es el decreto 838 de 2005, que tiene por objeto 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. Igualmente, reglamenta el procedimiento a seguir por parte de las entidades territoriales para la definición de las áreas potenciales susceptibles para la ubicación de rellenos sanitarios.

Para lograr los resultados se propone revisar, analizar y aplicar esta metodología en la jurisdicción del municipio de Támesis, Antioquia, que en la actualidad se encuentra en el proceso de revisión y ajuste de su esquema de ordenamiento territorial, por lo tanto, poder incorporar un área de disposición de residuos sólidos es necesaria para ser incluido dentro de la ordenación de su territorio tal como lo exige la normatividad vigente.

A través de este producto se propondrá una metodología de incorporación de los criterios de selección de los sitios de disposición final de residuos sólidos aplicados a través de los sistemas de información geográfica y que cumpla con la normatividad vigente por medio de la construcción

de un modelo que arroje como resultado las áreas más apropiadas para la ubicación de rellenos sanitarios utilizando la herramienta de ModelBuilder de Arcgis.

## **1. Objetivos**

### **Objetivo general**

Construir un modelo que permita la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos utilizando la herramienta de Modelbuilder de ArcGIS, aplicado al municipio de Támesis, Antioquia.

### **Objetivos específicos**

- Revisar la bibliografía actualizada acerca de los métodos de selección de sitios para la instalación de Rellenos sanitarios aplicados en otros países
- Evaluar las variables que pueden tener en común los métodos multicriterio para la selección de sitios de disposición final desde el punto de vista del decreto 838 de 2005, con el fin de determinar que variables existen en común con la normatividad actual.
- Definir las áreas mas aptas para la instalación de rellenos sanitarios en el municipio de Támesis, Antioquia.

---

## 2. Marco teórico

En la gestión de residuos sólidos contar con un sitio potencial para la disposición de a través de la modalidad de relleno sanitario es una estrategia muy importante para su manejo en las poblaciones alrededor del mundo, no obstante, encontrar un sitio de disposición final de residuos sólidos es uno de los aspectos más desafiantes en la gestión de residuos sólidos en todo el mundo (Asefa et al., 2021), en el que se garantice la protección al medio ambiente además del cuidado a la salud pública.

La solución a la selección de los sitios de disposición final a través de la tecnología de relleno sanitario es mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) tal como lo plantean diversos especialistas que plantean el uso de la metodología de análisis multicriterio para la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos, Esto se debe a que los SIG analizan y describe los criterios al mismo tiempo convirtiendo datos en crudo en información valiosa, mientras que el método de análisis de decisión multicriterio (MCDA), por sus siglas en inglés *Multi-criteria decision analysis*; a su vez, aborda la clasificación y priorización de los vertederos considerando parámetros ambientales, socioeconómicos y físicos. (Barzehkar et al., 2019)

Por lo tanto el uso de los SIG se convierte en una herramienta poderosa ya que su capacidad de administrar y analizar una gran cantidad de datos distribuidos espacialmente obtenidos de diversas fuentes, esto se debe a la disponibilidad de un gran conjunto de datos de fuentes gratuitas y de fácil obtención cuando se refiere a información comercial (Adewumi et al., 2019). Según lo revisado bibliográficamente el MCDA debe ir acompañado de un enfoque diferenciador que permita realizar un análisis de jerarquía el cual priorice y unifique los criterios para facilitar la toma de decisiones, como por ejemplo el método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), desarrollado por Thomas Saaty, que es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite priorizar con base al juicio de los expertos manifestados por medio de comparaciones de a dos en dos según la escala de preferencia.

Debido a la importancia para la toma de la decisión para la ubicación es necesario desarrollar un sistema metodológico basado en MCDA, que permita incorporar todos los aspectos importantes que determinaran la ubicación de los rellenos sanitarios (Singh & Dubey, 2012). Los

principales factores mas utilizados para el proceso de selección de sitios para la instalación de rellenos sanitarios son los siguientes:

- **Accesibilidad al sitio:** cuyos principales atributos corresponde esencialmente las distancias a las vías de acceso, y las distancias a los centros poblados o ciudades donde se generan los residuos
- **Factores relacionados con los sitios receptores de residuos:** las principales características para tener en cuenta de estos factores es la proximidad a asentamientos humanos, la cercanía a fuentes abastecedoras de agua, los usos del suelo, áreas utilizadas como espacio público. En pocas palabras estos factores están relacionados con los impactos que se pueden generar en la población y en los servicios ecosistémicos del entorno.
- **Aspectos socioeconómicos:** donde se evalúan las condiciones de salud de la población asentada en inmediaciones a los sitios de disposición
- **Variables geológicas:** donde se incluyen características como la permeabilidad del suelo, la geotecnia, geomorfología, sismicidad y pendientes del terreno.
- **Condiciones ambientales:** donde se debe evaluar la hidrogeología (presencia de acuíferos y/o zonas de recarga), distancia a los cuerpos de agua mas cercanos, la calidad del aire, la calidad del suelo.
- **Gestion de integral de residuos sólidos:** cuyos componentes principales se encuentran la producción per cápita de residuos sólidos, las actividades asociadas al reciclaje y reutilización de residuos.

### **Ordenamiento territorial y residuos solidos**

La gestión integral de residuos solidos hacen parte de un componente estratégico desde la ordenación del territorio teniendo en cuenta que si bien el manejo integral de los desechos cada vez se buscan alternativas como el reciclaje y el reúso de materiales, la disposición final siempre será un componente indispensable dentro de la cadena de una gestión integral de residuos por lo que siempre es primordial incorporar en el ordenamiento del territorio los sitios de ubicación de los

---

rellenos sanitarios, donde los impactos generados por este tipo de tecnologías sean contenidos y/o mitigados al máximo donde no se alteren los ecosistemas ni la calidad de vida de la población.

En el decreto 1232 de 2017 en el artículo 2.2.2.1.2.1.3 Etapa de formulación, en el numeral 2.5 insta a realizar la definición de las áreas potenciales para la localización de la infraestructura para el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos y los equipamientos intermedios (estaciones de transferencia, centros de acopio y/o centros de aprovechamiento), en caso que se requiera, además de La infraestructura disponible y/o, la identificación de las áreas potenciales para para la ubicación de infraestructura para el manejo de residuos o desechos peligrosos y la definición de sitios potenciales para la disposición final de residuos de construcción y de residuos de demolición, sin embargo, no se especifica bajo que metodología se debe realizar dicha búsqueda (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).

Dentro de la normatividad aplicada para el país se cuenta actualmente con el decreto 838 de 2005 el cual establece *Procedimiento, criterios, metodología, prohibiciones y restricciones para la localización de áreas para la disposición final de residuos sólidos*, obliga a que los municipios seleccionen y establezcan, en el proceso de formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos - PGIRS, las áreas potenciales para la localización del sitio para la disposición final de residuos sólidos, para posteriormente realizar una evaluación de cada uno de las áreas potenciales definidas (Presidencia de la república de Colombia, 2005). Si bien el decreto 838 de 2005 impone el uso de variables y su correspondiente escala de valoración dependiendo de la variable, también permite calificar cada uno de los sitios; esta calificación solo se surte una vez se identifiquen los sitios; sin embargo, el decreto no contempla una metodología de selección previa de sitios. Con el uso de las herramientas SIG, esta metodología del decreto debió adaptarse para identificar los sitios potenciales, conjuntamente con los criterios de valoración, ya que el SIG permite calificar cada sitio del territorio con sus correspondientes variables, para la totalidad del territorio y posteriormente con el uso de análisis espacial, seleccionar en el territorio, la porción o porciones del mismo mejor calificadas (Valencia Londoño, Arias Muñoz, & Vanegas Ospino, 2010)

## Revisión del decreto 838 de 2005

A continuación, se enumeran los criterios descritos en el decreto 838 de 2005 en su artículo 5 donde se definen las variables aplicables en la metodología para la localización de áreas para la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario:

1. Capacidad. El área donde se ubicará el relleno sanitario debe ser suficiente para permitir que la vida útil de este sea compatible con la producción proyectada de residuos sólidos a disponer en el mismo, considerando tanto el municipio receptor como aquellos ubicados dentro de un radio de 60 kilómetros de este. Por lo tanto, este criterio se calificará en función de la cantidad de residuos sólidos que se puedan disponer dando 0 puntos para una capacidad igual o menor a 0.5 veces la producción de residuos producidos en treinta (30) años, hasta 200 puntos para una capacidad igual o mayor a 1.5 veces la producción de residuos sólidos producidos en treinta años (30) años, calificándose en forma lineal a partir de 0.5 veces la producción de residuos producidos en los treinta (30) años.
2. Ocupación actual del área. Determina las actividades que actualmente se vienen realizando con el objeto de prever posibles impactos sobre la comunidad o los recursos naturales dando un puntaje así:

**Tabla 1**

*Asignación de puntos al criterio de Ocupación actual del suelo*

Ocupación del suelo	Puntaje
Suelo rural	80 puntos
Suelo suburbano	40 puntos
Suelo urbano	20 puntos
Otros suelos de protección	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

3. Accesibilidad vial. Este criterio corresponde a la facilidad y economía que la persona prestadora del servicio público de aseo en el componente de recolección y transporte tiene para llevar los

residuos sólidos al área en que se efectuará dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario. El criterio se divide en los siguientes subcriterios:

3.1. Condiciones de la vía principal (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 2**

*Asignación de puntos al criterio Condiciones de la vía principal*

Condiciones de la vía principal	Puntaje
Vía pavimentada	20 puntos
Vía sin pavimentar	8 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

3.2. Pendiente promedio de la vía principal (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 3**

*Asignación de puntos a la pendiente promedio de la vía principal*

Pendiente promedio de la vía principal	Puntaje
0 - 3%	20 puntos
3.1 – 5%	12 puntos
5.5 – 7%	8 puntos
7.1 % y mayores	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

3.3. Distancia de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 4**

*Asignación de puntos a la distancia de la vía de acceso*

Distancia de la vía de acceso	Puntaje
0 a 5 km	20 puntos
5.1 a 10 km	12 puntos
10.1 a 15 km	8 puntos
Mayor a 15 km	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

### 3.4. Pendiente promedio de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 5**

*Pendiente promedio de la vía de acceso*

Pendiente promedio de la vía de acceso	Puntaje
0 - 3%	20 puntos
3.1 – 5%	12 puntos
5.5 – 7%	8 puntos
7.1 % y mayores	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

### 3.5. Numero de vías de acceso (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 6**

*Asignación de puntos al número de vías de acceso*

Numero de vías de acceso	Puntaje
2 o más vías	20 puntos
Una vía	8 puntos
No hay vías	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

### 3.6. Condiciones de la vía de acceso (puntaje máximo 20 puntos)

**Tabla 7**

*Asignación de puntos a las condiciones de la vía de acceso*

Condiciones de la vía de acceso	Puntaje
Pavimentada	20 puntos
Afirmado	12 puntos
Carreteable	8 puntos

Condiciones de la vía de acceso	Puntaje
Trocha / no existe	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

4. Condiciones del suelo y topografía. Este criterio determina las facilidades de construcción y trabajabilidad en el área en que se efectuara dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario, calificadas bajo los siguientes subcriterios:

4.1. Pendiente promedio del terreno

**Tabla 8**

*Asignación de puntos a la pendiente promedio del terreno*

Pendiente promedio del terreno	Puntaje
0.1 – 3%	40 puntos
3.1 – 7%	30 puntos
7.1 – 12%	20 puntos
12.1 – 25%	10 puntos
Mayor del 25%	0

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

- 4.2. Facilidad para el movimiento de tierras del área en que se efectuara dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario (puntaje máximo 40 puntos)

**Tabla 9**

*Asignación de puntos a la facilidad de movimiento de tierras*

Facilidad de movimiento de tierras	Puntaje
Muy fácil	40 puntos
Fácil	32 puntos
Regular	20 puntos
Difícil	12 puntos

Facilidad de movimiento de tierras	Puntaje
Imposible	0

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

5. Distancia entre el perímetro urbano, respecto del área para la disposición final de residuos sólidos, mediante la tecnología de relleno sanitario. Este criterio se asocia a los costos de transporte en que incurriría la persona prestadora del servicio público de aseo para llevar los residuos sólidos desde el perímetro urbano, incluida la zona de expansión urbana, al área en la que se efectuará la disposición final de residuos sólidos:

**Tabla 10**  
*Asignación de puntos a la distancia al casco urbano*

Distancia al casco urbano	Puntaje
2 km – 5 km	140 puntos
5.1 – 10 km	100 puntos
10.1 – 25 km	60 puntos
25.1 – 50 km	20 puntos
Mayores a 50 km	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

6. Disponibilidad de material de cobertura. Este criterio se asocia a los costos de transporte en que incurre la persona prestadora del servicio para obtener y llevar el material de cobertura necesario para dar cumplimiento a las especificaciones técnicas y ambientales en los procesos de operación diaria y cierre y clausura del relleno sanitario, calificado bajo dos subcriterios así:
- 6.1. Distancia del sitio de obtención de material de cobertura hasta el área de disposición final (puntaje máximo 60 puntos)

**Tabla 11**

*Asignación de puntos a la distancia al material de cobertura*

Distancia al material de cobertura	Puntaje
0 – 2 km	60 puntos
2.1 – 4 km	40 puntos
4.1 – 6 km	20 puntos
6.1 – 10 km	10 puntos
Mayores a 10 km	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

#### 6.2. Calidad del material de cobertura (puntaje máximo 40 puntos)

**Tabla 12**

*Asignación de puntos a la calidad del material de cobertura*

Calidad del material de cobertura	Puntaje
Recebo granular	40 puntos
Arcilla arenosa	32 puntos
Limo arenoso	20 puntos
Arcilla	16 puntos
Limo arcilla	8 puntos
Limos	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

7. Densidad poblacional en el área. Este criterio determina la posible afectación de la población ubicada en el área de influencia directa del área en la que se efectuará la disposición de residuos sólidos:

**Tabla 13**

*Asignación de puntos a la densidad poblacional*

Densidad poblacional	Puntaje
0 – 2 habitantes/hectárea	40 puntos

---

Densidad poblacional	Puntaje
2.1 – 5 habitantes/hectárea	20 puntos
Mayor a 5 habitantes/hectárea	0 puntos

---

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

8. Incidencia en la congestión de tráfico en la vía principal. Este criterio determina la incidencia que puede tener sobre el tráfico de la vía principal, el desplazamiento de los vehículos que transportarán desde el perímetro urbano hasta el del área en la que se efectuará la disposición de residuos sólidos, cuantificados así:

**Tabla 14**

*Asignación de puntos a la incidencia en la congestión de tráfico*

---

Incidencia en la congestión del tráfico	Puntaje
Ninguna	40 puntos
Moderada	20 puntos
Grande	0 puntos

---

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

9. Distancias a cuerpos hídricos. Este criterio establece la relación que tendrá el área en la que se efectuará la disposición final de residuos, respecto a las fuentes hídricas permanentes y superficiales existentes en la zona, cuantificándose de la siguiente forma:

**Tabla 15**

*Asignación de puntos a la distancia a cuerpos hídricos*

---

Distancia a cuerpos hídricos	Puntaje
Mayor a 2000 m	60 puntos
1000 a 2000 m	40 puntos
500 a 999 m	20 puntos
50 a 499 m	10 puntos
Menor a 50 m	0 puntos

---

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

10. Dirección de los vientos. Este criterio determina la incidencia que puede tener la dirección de los vientos con respecto al casco urbano, en la operación de la infraestructura instalada en el área en que se efectuará la disposición final de residuos:

**Tabla 16**

*Asignación de puntos a la dirección de los vientos*

Dirección de los vientos	Puntaje
Dirección en sentido contrario al casco urbano más cercano	40 puntos
Dirección en sentido al casco urbano más cercano	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

11. Geoformas del área respecto al entorno. Este criterio hace referencia a la incidencia que puede tener sobre el paisaje y el entorno, calificándose respecto a la zona urbana, la operación de la infraestructura ubicada en el área en que se efectuará la disposición final de residuos, así:

**Tabla 17**

*Asignación de puntos al criterio de geoformas del terreno*

Geoforma del terreno	Puntaje
Zona quebrada y encajonada	40 puntos
Zona en media ladera parcialmente encajonada	32 puntos
Zona en media ladera abierta	20 puntos
Zona plana y abierta	12 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

12. Restricciones en la disponibilidad del área. Este criterio hace referencia a las restricciones del área en que se efectuará la disposición final de residuos, con base en las definidas en el Artículo 6° Numeral 2 del presente decreto, calificándose de acuerdo con el número de posibles restricciones así:

**Tabla 18**

*Asignación de puntos en el criterio de restricciones en el área*

Restricciones en el área	Puntaje
No existen restricciones	60 puntos
Existe una restricción	40 puntos
Existen dos restricciones	20 puntos
Existen más de dos restricciones	0 puntos

*Fuente. Decreto 838 de 2005*

En el artículo 6 del decreto 838 de 2005 hacen referencia a las prohibiciones y restricciones, donde se enmarcan los sitios donde no es permitida o se considera realizar acciones previas para la instalación y operación de rellenos sanitarios, dentro del apartado de los lugares prohibidos para la instalación de rellenos sanitarios están las áreas protegidas en cualquier grado, los ecosistemas especiales y estratégicos como humedales, paramos y manglares, las zonas de recarga de acuíferos, las zonas de nacimiento de agua, en la franja mínima de retiro de 30 metros a fuentes superficiales de agua y a menos de 500 metros de fuentes abastecedoras de agua. En cuanto a los sitios con restricciones se enfatiza que se deben realizar acciones que permitan su construcción y operación de los sitios de disposición final mediante la tecnología de relleno sanitario las cuales son: proximidad a aeropuertos, distancia al suelo urbano menor a 1000 metros, aguas subterráneas o lugares donde el nivel freático sea inferior a 5 metros, áreas con amenaza sísmica alta.

### **Herramienta ModelBuilder de ArcGIS**

Con base a lo previamente explicado la ubicación de un relleno sanitario requiere una evaluación exhaustiva este proceso tiene la finalidad de la ubicación óptima disponible, cumpliendo con la normatividad vigente y a la vez reducir los costos ambientales, económicos y sociales. Al estimar un sitio como posible localización de un relleno sanitario se deben analizar muchos factores los cuales pueden ser analizados y representados de formas, sin embargo, la manera más útil para analizar y representar los datos e información evaluada es a través de

herramientas basadas en SIG (Sumathi et al., 2008), por consiguiente para este trabajo se consideró utilizar el lenguaje de ModelBuilder de la plataforma de ArcGIS.

Por lo tanto, ModelBuilder se define como un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. Los modelos de geoprocésamiento automatizan y documentan los procesos de análisis espacial y de administración de datos. Los modelos de geoprocésamiento se crean y modifican en ModelBuilder, donde un modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento, utilizando la salida de un proceso como la entrada de otro proceso. (Esri, 2022)

ModelBuilder en ArcGIS Pro permite hacer lo siguiente:

- Construir un modelo agregando y conectando datos y herramientas.
- Visualizar la secuencia de su flujo de trabajo como un diagrama fácil de interpretar.
- Ejecutar un modelo paso por paso, hasta un paso seleccionado, o ejecutar todo el modelo.
- Convertir su modelo en una herramienta de geoprocésamiento que puede compartirse o utilizarse en scripts de Python y otros modelos.

### **3. Metodología**

#### **Área de estudio**

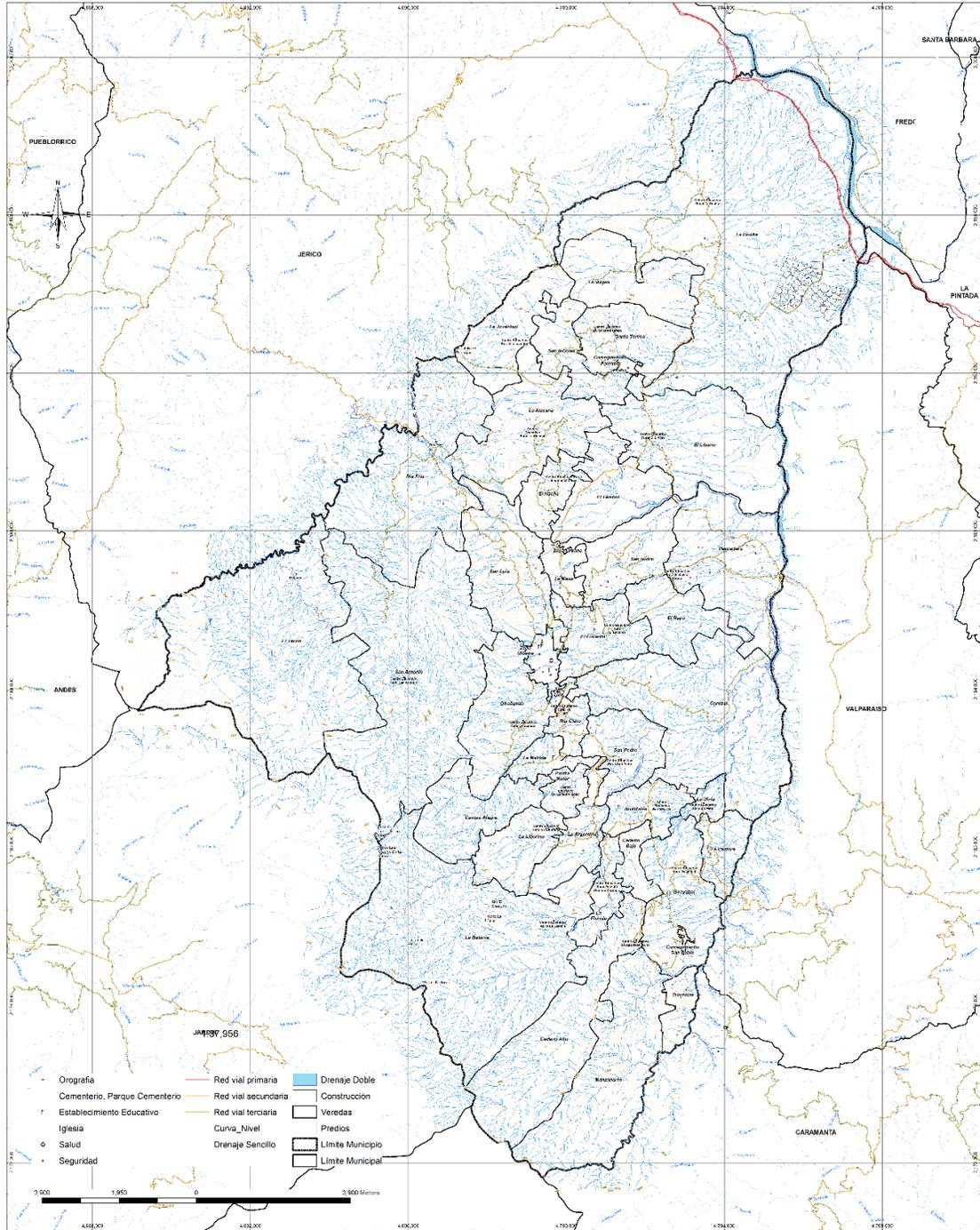
La aplicación de este modelo para la selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos el municipio de Támesis, debido a que en la actualidad se encuentra en el proceso de revisión y ajuste de su esquema de ordenamiento territorial, por lo que es pertinente en el instante en que se está realizando el presente estudio, además que se facilita la obtención de la información cartográfica requerida como insumo para generar de una manera correcta el diseño, montaje y ejecución del modelo.

El municipio de Támesis se encuentra localizado en la subregión del suroeste del departamento de Antioquia, a unos 111 km de Medellín, al norte limita con los municipios de Jericó

y Fredonia, al sur con el municipio de Caramanta y el departamento de caldas, al oriente con el municipio de Valparaíso y al occidente con los municipios de Jericó y Jardín. Cuenta con un área total de 243 kilómetros cuadrados (24300 ha aprox), distribuidos en tres pisos térmicos así: zona caliente que corresponde al 19% del territorio con una temperatura promedio de 26°C, zona fría el 31% con una temperatura promedio de 16°C. a 18° C.; y la zona templada el 55% restante con una temperatura promedio de 20° C. a 21° C., zona donde se ubica la mayor parte de la población. (Municipio de Támesis , 2000)

El servicio de aseo tiene una cobertura del 100% en el área urbana, en la actualidad la continuidad del servicio de aseo es buena, se realiza una recolección selectiva: los lunes y jueves se recogen los residuos inservibles, martes y viernes se recogen los residuos orgánicos y el miércoles se recoge el material de reciclaje. El ruteo que se realiza en el municipio es programado para los diferentes sectores, sin tener en cuenta la estratificación, ni la fuente de generación. El servicio de recolección, transporte, barrido y disposición final es realizado por la administración municipal a través de la EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS DE TÁMESIS E.S.P. S.A.S. el municipio realiza la disposición final de los residuos sólidos en el Relleno sanitario Santa Teresa, ubicado en la vereda Río Claro a una distancia aproximada de 4 km del casco urbano, a 7 km del corregimiento San Pablo y 15 km del corregimiento Palermo. (Municipio de Támesis, 2017)

**Figura 1**  
*Municipio de Támesis, Antioquia.*



Fuente. Propia con información cartográfica base oficial del IGAC, 2013.

---

## **Método de estudio**

Para el desarrollo metodológico del plan de trabajo se estableció tres líneas de acción: la investigación bibliográfica referente del método multicriterio para la toma de decisiones (MCDA) para selección de sitios para la disposición final de residuos sólidos; el análisis de las metodologías aplicadas a la luz del decreto 838 de 2005; y el diseño y la calibración de un modelo aplicable para la selección de los sitios para la disposición final de residuos sólidos a través de la herramienta Modelbuilder empleado en la jurisdicción del municipio de Támesis, Antioquia.

Respecto a lo primero, la revisión bibliográfica se realizó mediante la consecución de artículos científicos de investigación y de revisión que permitieron conocer más acerca de cómo son aplicados los métodos MCDA, para la determinación de áreas para la disposición final de residuos sólidos, en diversos lugares del mundo.

Por otro lado, en la segunda línea de acción reviso, comparo y se analizaron los métodos de selección de lugares para la instalación de residuos sólidos aplicados en otros países a la luz de la normatividad vigente en Colombia, este caso el decreto 838 de 2005. Se pudo determinar que mientras en otras zonas los métodos MCDA son utilizados acompañado de una jerarquización de variables de a pares generando un peso según las cualidades de cada uno de los sitios, en el decreto vigente se opta por subdividir los criterios de selección por Accesibilidad al sitio de disposición, disponibilidad de material de cobertura, condiciones in situ de topografía y pendientes. Muchas de las características descritas en el decreto 838 de 2005 requieren un análisis en el terreno que limitan la escala en la cual se realiza el modelo ya que hacen referencia a condiciones locales cuando aun no se han determinado previamente los sitios de disposición, por lo que es consecuente aclarar que las áreas resultado del modelo que se diseña cuenta con las principales características idóneas para la instalación de rellenos sanitarios que en el caso de ser elegido alguno de estos polígonos se deben realizar los correspondientes estudios de detalle, previos al licenciamiento ambiental.

## **Información cartográfica disponible**

La información cartográfica básica y temática utilizada en este estudio fue la requerida para la elaboración de la fase diagnóstica y de formulación de la Revisión y Ajuste del EOT del

municipio de Támesis constituyó información primaria levantada en campo y secundaria recopilada en formato análogo y digital.

La cartografía básica en formato digital fue producto de varias fuentes, una de ellas es la información catastral urbana y rural del municipio, esta información fue suministrada por la Subsecretaría de Catastro Departamental y contiene la representación digital de las construcciones, lotes, manzanas entre otras de la zona rural y urbana del municipio de Támesis. La otra parte de la cartografía básica corresponde a la información suministrada por el CORANTIOQUIA (la cual contiene información referente a red hídrica, nacimientos, vertimientos, líneas de alta, poliducto, vía férrea y ejes viales a escala 1:25.000). Se obtuvo además información cartográfica básica 1:10.000 para suelo rural y 1:2.000 para suelo urbano, generada por IGAC (2010) para el Proyecto Cartografía de Antioquia “CartoAntioquia”, en el marco del Convenio interadministrativo 4085 de 2009 para la generación de la Cartografía del Departamento de Antioquia, suscrita entre el Departamento de Antioquia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, el Municipio de Medellín, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Empresas Públicas de Medellín –EPM-, el Instituto para el Desarrollo de Antioquia -IDEA- e ISAGEN. (Universidad EAFIT, 2022)

### **Diseño y calibración del Modelbuilder**

En esta etapa del estudio se realiza una verificación de la información disponible y aplicable teniendo en cuenta la escala de trabajo que para el suelo rural del municipio se cuenta con información de 1:10000 de detalle. Con base a lo anterior se analizan todas las variables contenidas en el decreto 838 de 2005 y se determina lo siguiente:

- El criterio de ocupación de área no se utilizará en el modelo de selección de sitios para la instalación de rellenos sanitarios debido a que solo se pretende ubicar la instalación en el suelo rural
- En la subcategoría de accesibilidad vial solo se toma el criterio de distancia a las vías de acceso, partiendo de la premisa de que todas las vías del municipio pueden ser utilizadas para el transporte de residuos sólidos, además a este criterio se le realiza un ajuste de longitud disminuyendo a un 10% lo planteado en el decreto debido a se pretende evaluar áreas que queden dentro del municipio, además que al momento de realizar las

adecuaciones para poner en funcionamiento los rellenos mientras menos cantidad de vías a construir será más favorable, por lo tanto, la evaluación ajustada de este criterio se muestra a continuación.

**Tabla 19**

*Ajuste de calificación al criterio de distancia a las vías de acceso*

Distancia de la vía de acceso	Puntaje
0 a 500 m	20 puntos
500 a 1000 m	12 puntos
1000 a 1500 m	8 puntos
Mayor a 1500 m	0 puntos

*Fuente. Propia con base en la información del Decreto 838 de 2005*

- En la subcategoría del decreto de Condiciones del suelo y topografía, no se incorporará en el modelo el criterio de Facilidad para el movimiento de tierras, puesto que son variables que se deben tener en cuenta en el momento de realizar el diseño del relleno, sin embargo, teniendo en cuenta que no se cuentan con áreas preliminares este criterio no se puede aplicar
- Para la disponibilidad del material de cobertura se puede determinar que esta tal como la anterior son variables de diseño por lo tanto no se pueden aplicar teniendo en cuenta la información disponible.
- Incidencia en la congestión vehicular: esta es una variable que no aplicaría debido a que las vías a evaluar todas pasan por el suelo rural.
- Por ultimo el criterio de Geoformas del entorno se realizara generando un ajuste en la evaluación contando con la información cartográfica disponible y que se puede incorporar fácilmente teniendo en cuenta la generación de curvaturas en el municipio a partir del modelo de elevación digital (Dem), donde se realiza una clasificación de las geoformas teniendo en cuenta los resultados de las curvaturas obtenidos (Nohani, Moharrami, Khosravi, & Pradhan, 2019), que incorporando al criterio de calificación se muestran en la siguiente tabla

**Tabla 20**  
*Ajuste de la calificación de las geoformas del terreno*

Geoforma del terreno	Calificación	Curvatura	Puntaje
Zona quebrada y encajonada	Muy convexa	Hasta -6	40 puntos
Zona en media ladera parcialmente encajonada	Convexa	-6 y -2	32 puntos
Zona en media ladera abierta	Medianamente convexa	-2 y -0.001	20 puntos
Zona plana y abierta	Plano	-0.001 y 0.001	12 puntos
Zona Cóncava ondulada, filos o cimas		Mayor a 0.001	0 puntos

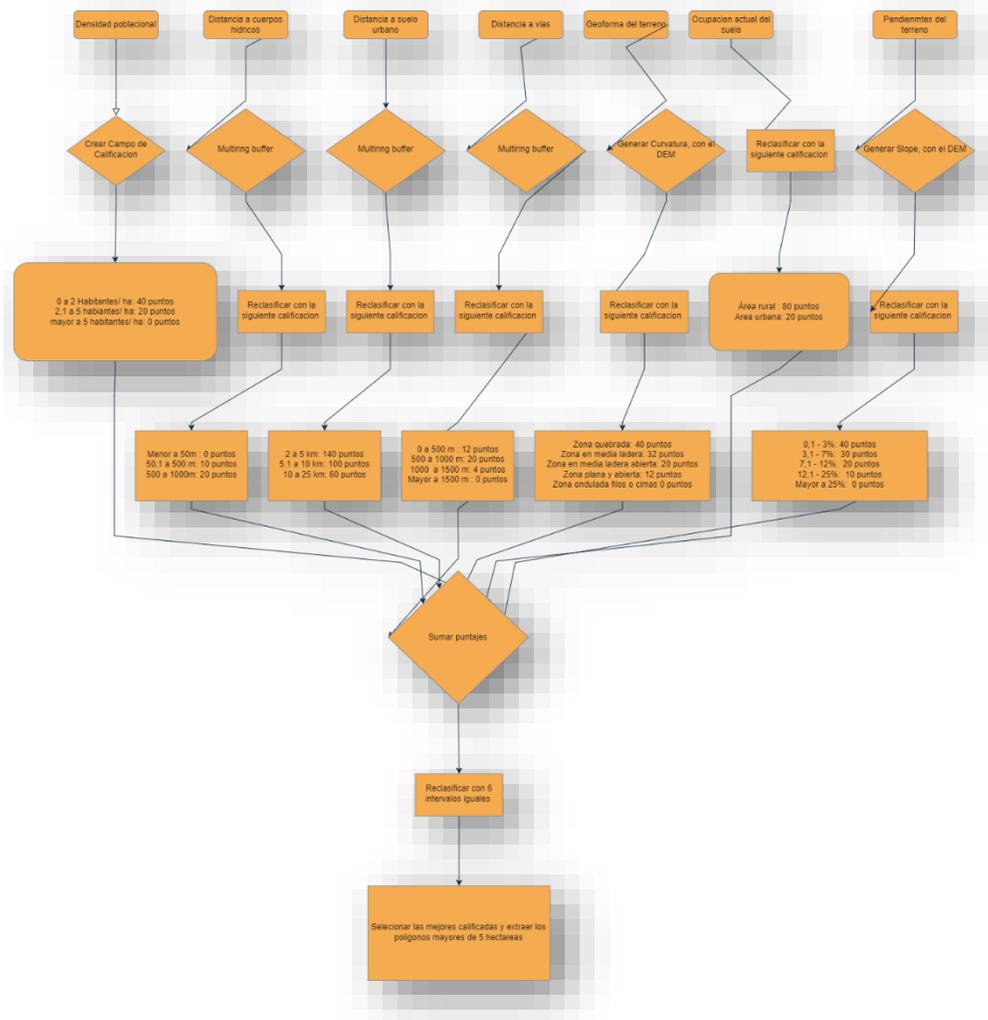
*Fuente. Propia con base en la información del Decreto 838 de 2005 y (Nohani, Moharrami, Khosravi, & Pradhan, 2019)*

- Por último, deben incorporar las prohibiciones y las restricciones, teniendo en cuenta lo estipulado e la normatividad vigente para este ejercicio se decide incorporar las áreas de restricción en la misma categoría de prohibiciones por lo que en estas zonas no se permitirá la instalación de rellenos sanitarios, dentro de la jurisdicción del municipio de Támesis se identificaron las siguientes áreas en las que excluirán para la instalación de sitios de disposición final de residuos solidos
  - Reserva de los recursos naturales zona ribereña del rio Cauca
  - Reserva Natural de la sociedad civil Providencia
  - Distrito regional de manejo integral Cuchilla Jardín Támesis
  - Reserva Natural de la sociedad civil El Globo
  - Reserva Natural de la sociedad civil La Virgen
  - Lek del Gallito de Roca
  - El ecosistema de bosque seco tropical
  - Zona del Escarpe Jericó Támesis
  - Cuencas abastecedoras
  - El retiro de 30m a las fuentes superficiales

○ Resguardo indígena La Mirla

Una vez realizados los ajustes a los criterios y la identificación de las áreas con prohibiciones siguiendo la directriz del decreto 838 de 2005 se procede con el diseño del modelo teniendo en cuenta los comandos, herramientas y procesos a incorporar en la herramienta del ModelBuilder de ArcGIS, y cuya estructura del modelo de entidad relación se muestra a continuación en la siguiente figura

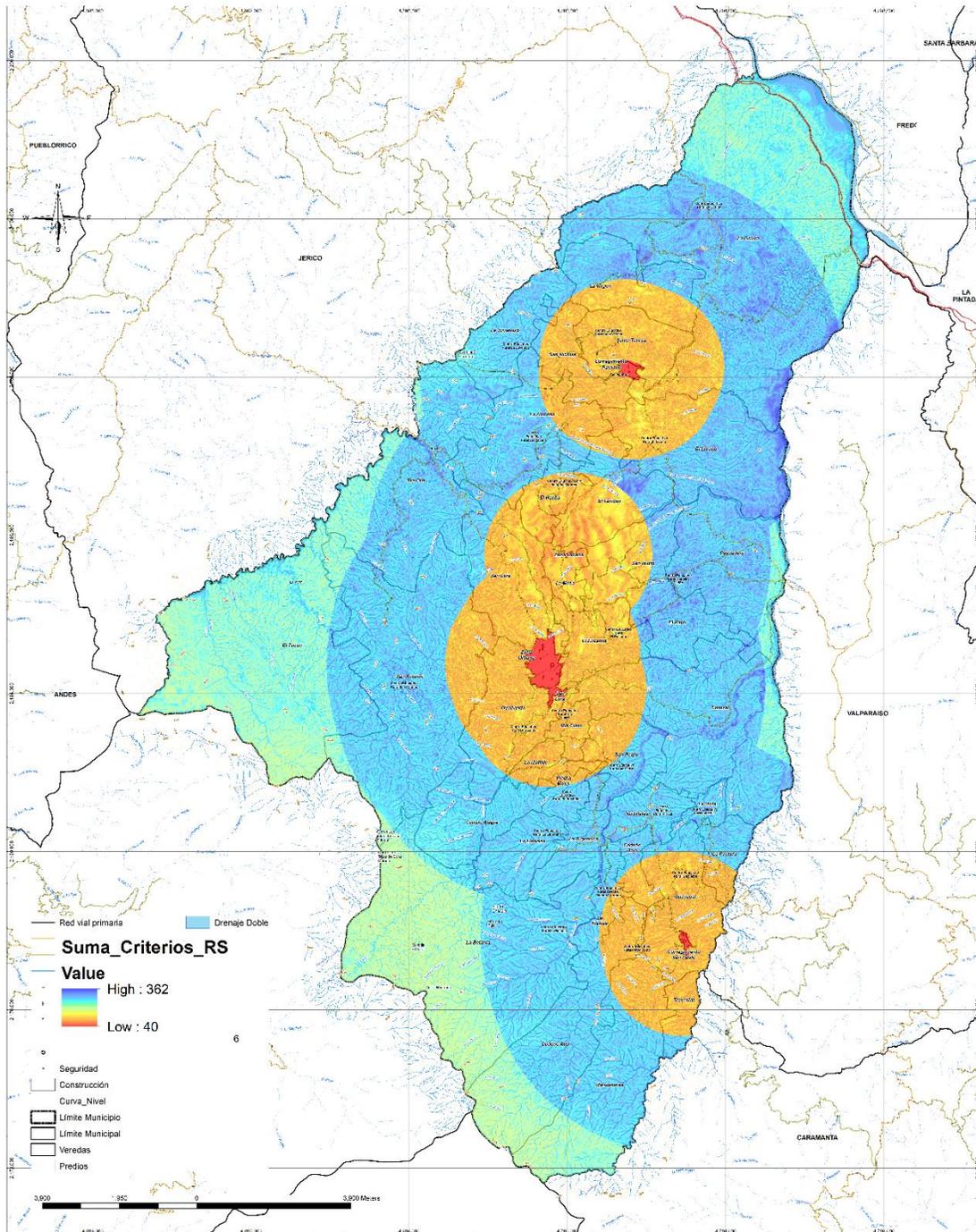
**Figura 2**  
*Modelo de identidad relación para la determinación de áreas de disposición final de residuos sólidos*



Fuente. Elaboración Propia

#### 4. Resultados

**Figura 3**  
*imagen de resultado de la suma de todos los criterios de selección en el municipio de Támesis*



Fuente. Elaboración Propia

---

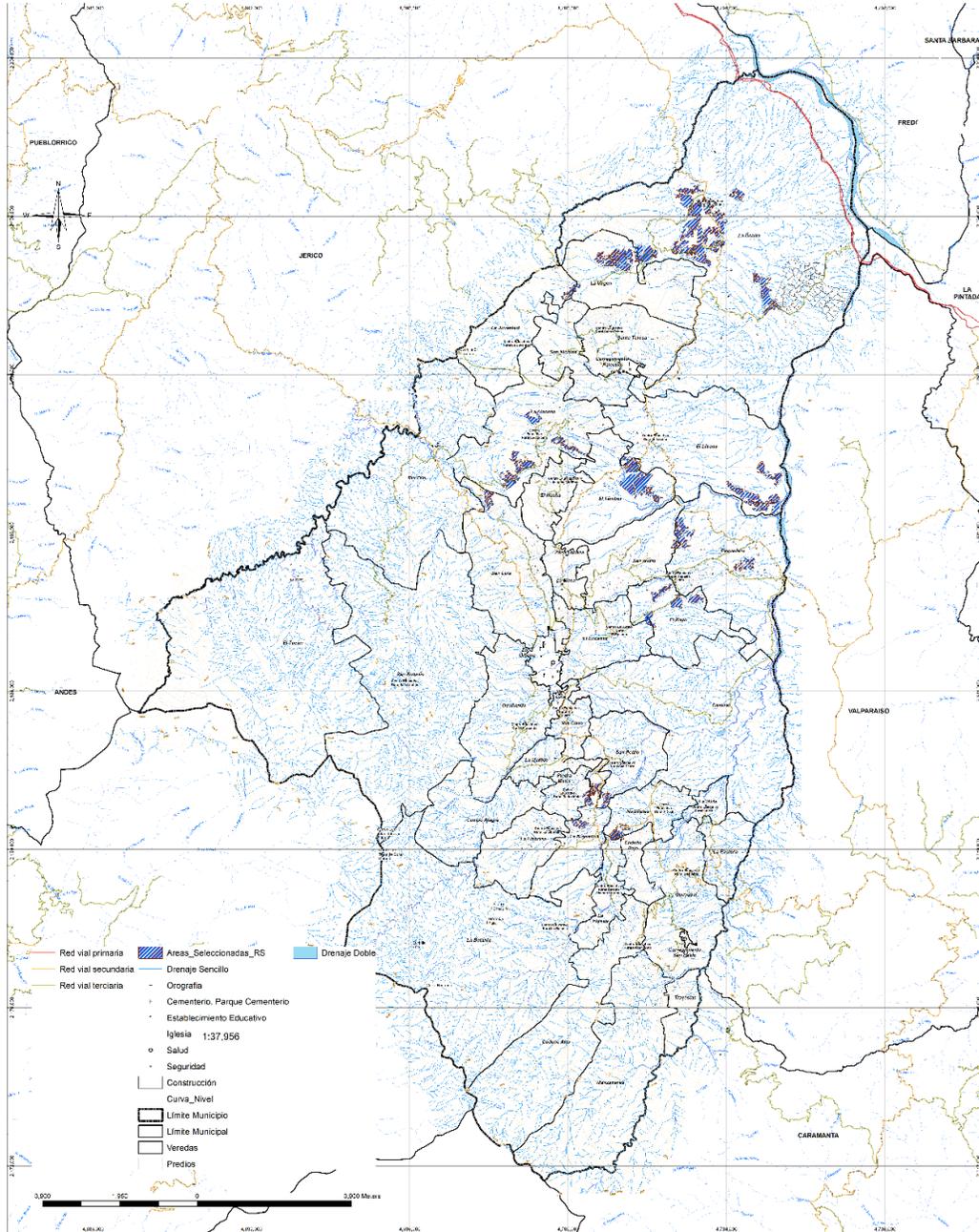
En la **Figura 3** muestra el mapa que representa el resultado de la suma de los criterios de selección de áreas para la instalación de rellenos sanitarios en la jurisdicción del municipio de Támesis, donde las áreas mas rojas corresponden al suelo urbano del municipio ya que corresponde a la cabecera municipal, el casco urbano del corregimiento de Palermo y de San Pablo, por lo cual el modelo diseñado muestra una tendencia a alejarse de estas áreas hasta el punto de descartarlas debido a su bajo puntaje. Se puede observar además que los valores máximos obtenidos corresponden a 362 puntos las áreas mas azules por lo que confirma el buen desarrollo del modelo debido a que el puntaje máximo que se puede obtener es de 380 puntos.

Se puede ver además que es muy marcada la restricción por cercanía a los suelos urbanos del municipio que corresponde a un anillo de 2km alrededor de cada uno de estos polígonos, por lo que se puede además identificar que las áreas con mejor puntaje se encuentran en las veredas La Alacena, El Tambor, El Líbano y La Oculta, principalmente en zonas donde las pendientes no exceden el 15%. Luego de este proceso se debe reclasificar en intervalos iguales con el fin de escoger solo las áreas con mejor puntaje para lo que se propone un rango de 6 intervalos para escoger solo los mayores a 300 puntos. Por último, se procede a eliminar de las áreas con restricciones y prohibidas además de los polígonos resultantes con un área inferior a 5 ha, con el fin de procurar que los polígonos seleccionados tengan una vida útil prolongada.

Tal como se puede ver en la **Figura 4**, se identifican las áreas mas aptas para la instalación de rellenos sanitarios mediante la metodología descrita en el decreto 838 de 2005, donde se generaron 32 zonas aptas ambientalmente para la ubicación de sitios de disposición final de residuos sólidos, además es evidente que se encuentran zonas con mayor extensión en las veredas La Oculta, El Tambor y el Líbano, mientras que en la vereda La Alacena se observan varios polígonos pero de menor tamaño y mas dispersos, por lo que se puede considerar que el modelo arroja los resultados esperados.

**Figura 4**

*Áreas seleccionadas para la instalación de rellenos sanitarios en el municipio de Támesis*



*Fuente. Elaboración Propia*

## 5. Conclusiones

Para determinar la ubicación de los futuros sitios para la instalación de residuos sólidos las herramientas SIG cada vez se demuestra lo eficaz que pueden ser ya que es utilizada ampliamente en varios rincones del mundo, ya sea mediante métodos como el MCDA combinados con el uso de jerarquización de variables, debido a la capacidad que tienen los SIG para relacionar y analizar gran cantidad de datos de diversas variables lo que permite una visualización más organizada.

En términos normativos el decreto 838 de 2005 es una metodología que aun puede ser utilizada para facilitar la ubicación de los rellenos sanitarios de una manera preliminar teniendo en cuenta las áreas preseleccionadas tienen un alto porcentaje de poder ser aceptadas como futuros sitios de disposición final, sin embargo la aplicación de esta metodología no lo exime de la realización de estudios de detalle, diseño y los procesos de licenciamiento ambiental correspondientes, ya que una vez aplicada la metodología se tienen los lugares donde aplicarlos.

La herramienta ModelBuilder utilizada en este estudio fue la mas acertada debido a que facilita la aplicación de la metodología asignada y es concordante al momento de ser usada para cualquier otro territorio, por ultimo se encontraron 32 áreas con condiciones técnicas evaluadas desde la escala de ordenamiento territorial para la instalación de rellenos sanitarios o sitio de disposición de residuos de demolición y construcción o según tenga la necesidad el municipio.

## 6. Referencias

- Adewumi, J. R., Ejeh, O. J., Lasisi, K. H., & Ajibade, F. O. (2019). A GIS–AHP-based approach in siting MSW landfills in Lokoja, Nigeria. *SN Applied Sciences*, *1*(12). <https://doi.org/10.1007/S42452-019-1500-6/FULLTEXT.HTML>
- Asefa, E. M., Damtew, Y. T., & Barasa, K. B. (2021). Landfill Site Selection Using GIS Based Multicriteria Evaluation Technique in Harar City, Eastern Ethiopia. *Environmental Health Insights*, *15*. <https://doi.org/10.1177/11786302211053174>
- Barzehkar, M., Dinan, N. M., Mazaheri, S., Tayebi, R. M., & Brodie, G. I. (2019). Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz Region located in Gilan Province in Iran). *SN Applied Sciences*, *1*(9). <https://doi.org/10.1007/S42452-019-1109-9/FULLTEXT.HTML>
- Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A., & Zohourian, B. (2020). Landfill site selection using multi criteria decision making: Influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *93*, 170–184. <https://doi.org/10.1016/J.JES.2020.02.030>
- Singh, A. P., & Dubey, S. K. (2012). Optimal Selection of a Landfill Disposal Site Using a Modified Fuzzy Utility Approach. *Fuzzy Information and Engineering*, *4*(3), 313–338. <https://doi.org/10.1007/S12543-012-0118-9>
- Sumathi, V. R., Natesan, U., & Sarkar, C. (2008). GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill. *Waste Management*, *28*(11), 2146–2160. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2007.09.032>
- Esri. (2022). *ArcGIS Pro*. Obtenido de ArcGIS Pro: <http://bit.ly/3OnwYYP>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (14 de Septiembre de 2020). Decreto 1232 de 2020. *Por medio del cual se adiciona y modifica el artículo 2.2. 1. l' del Título 1, se modifica la Sección 2 del Capítulo 1 del Título 2 y se adiciona al artículo 2.2.4.1.2.2 de la sección 2 del capítulo 1 del Título 4, de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 107*. Santa fé de Bogotá, Colombia: Presidencia de la Republica de Colombia.
- Municipio de Támesis . (2000). *Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Támesis*. Támesis : Municipio de Támesis.
- Municipio de Támesis. (2017). *Plan de Gestion Integral de Residuos Solidos (PGIRS)*. Municipio de Támesis: Municipio de Támesis.

Nohani, E., Moharrami, M., Khosravi, K., & Pradhan, B. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models. *ResearchGate*, 1-22.

Presidencia de la republica de Colombia. (2005). *DECRETO 838 DE 2005*. Santa fe de Bogota: PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA.

Universidad EAFIT. (2022). *Revision y ajuste de largo plazo del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Tamesis, componente cartografico*. Medellín: Municipio de Támesis.

Valencia Londoño, D. E., Arias Muñoz, C., & Vanegas Ospino, E. (2010). METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE UN PARQUE DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS DE TIPO REGIONAL DESDE UNA PERSPECTIVA MULTIDIMENSIONAL. *Revista de Ingenierias Universidad de Medellin*, 63-74.