

Óptima ubicación de un relleno sanitario para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá empleando sistemas de información geográfica

Sergio Maximiliano Gascón

Estudiante de Ingeniería Ambiental
Universidad de San Buenaventura
ser.max.garo@gmail.com

Lina Marcela Jiménez

Ingeniera Ambiental
Docente de Cátedra
Universidad de San Buenaventura
marcelaj13@hotmail.com

Helena Pérez

Ingeniera Ambiental
Docente investigadora
Universidad de San Buenaventura
helenaperezg@gmail.com

(Tipo de Artículo: investigación. Recibido el 20/04/2015. Aprobado el 22/07/2015)

Resumen. El crecimiento poblacional y la gran cantidad de residuos generados hace cada vez más difícil encontrar terrenos óptimos que cumplan con todos los requerimientos legales. Con el fin de encontrar una ubicación óptima para un relleno sanitario en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, se realizó la revisión del marco legal colombiano el cual por medio del decreto 838 de 2005 estableció criterios a tener en cuenta para la identificación y selección de áreas para la localización de rellenos sanitarios, teniendo en cuenta estos criterios por medio del programa ArcGis se realizó análisis espacial que dio como resultado dos terrenos en el municipio de Barbosa, Antioquia con áreas de 99,109 Ha y 116,99 Ha.

Palabras clave: ArcMap, Densidad Poblacional, Expansión Urbana, Residuos Sólidos, Rellenos Sanitarios.

Optimal location of a landfill for the Metropolitan Area of the Aburrá Valley using Geographic Information Systems

Abstract. The population growth and the great amount of produced waste makes increasingly difficult to find optimal terrains that comply with all legal requirements. With the objective of finding an optimal location for a sanitary landfill in the metropolitan area of the Aburrá Valley (Antioquia), a review of the Colombian legal framework was performed, in Colombia by means of the Decree 838 of the year 2005 were established the criteria to be considered when selecting and identifying areas for sanitary landfills, given these criteria a spatial analysis was conducted by using ArcGIS program which resulted in two terrains selected which were located in the municipality of Barbosa (Antioquia-Colombia) covering 269.35 acres and 289.09 acres respectively.

Keywords. ArcGIS, Spatial analysis, Solid Waste, Sanitary landfill.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas ambientales es la generación de residuos. La actual sociedad de consumo y el crecimiento poblacional, sumado a la poca conciencia ambiental hacen cada vez más difícil el manejo y la disposición final de estos, dando así espacio a la presencia de vertederos ilegales aumentando más la problemática ya mencionada [1]. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá no es ajena a esta problemática, en ella se concentra la mayor población del departamento de Antioquia, con 2.219.861 habitantes [2] representando el 37% de la población del departamento [3], lo cual incide en la generación de grandes cantidades de residuos.

La disposición final de residuos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se realiza por medio del método de rellenos sanitarios [4], este método consiste en la disposición final de los residuos sólidos en el suelo sin causar molestias, ni peligros a la salud humana y el ambiente durante su operación ni después de ser clausurado [5]. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para disponer los residuos en el menor espacio posible, realizando compactación y cubriendo los residuos con capas de tierra diariamente [6] y [7] diseñados para grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias, lo cual con un control adecuado de

gases y lixiviados no representan peligro para el medio ambiente ni para la salud humana [8].

En el siguiente artículo se plantea una metodología para la óptima selección de terrenos para la ubicación de rellenos sanitarios en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Para la selección del sitio se tuvieron en cuenta los criterios establecidos en el decreto 838 de 2005, en combinación con las herramientas SIG del programa ArcGis [9], lo cual permitió visualizar las mejores opciones para la ubicación de los sitios de disposición final, cumpliendo la legislación. Estas herramientas han sido empleadas con éxito en la localización de sitios disponibles para un relleno sanitario en países donde este método es la única disposición final y/o tratamiento que se le da a los residuos sólidos [10]

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Generación de residuos en el Valle de Aburrá

Medellín como otras ciudades del mundo y de Colombia se vio en la necesidad de enfrentar sus problemas de generación de residuos sólidos con la implementación de un relleno sanitario para así evitar la mala disposición de estos en el río Medellín, quebradas, escombreras o lotes baldíos de la ciudad. Con el fin de acabar con esta problemática, se propuso llevar todos los residuos generados a un único lugar, Moravia, el cual debido al mal

manejo se convirtió en un botadero a cielo abierto. En el año de 1984 se inauguró el Relleno Sanitario Curva de Rodas, en el cual fueron dispuestos durante 18 años los residuos sólidos de los municipios del Valle de Aburrá, dando así una solución efectiva al problema de disposición final de los residuos sólidos [11]. En el periodo de 1999-2004 la cobertura del servicio de recolección de residuos sólidos paso de 94,5% a 97,8% lo cual demuestra la efectividad de la planeación como región que tiene el Valle de Aburrá [12] Desde el cierre del Relleno Sanitario Curva de Rodas hasta la actualidad, los residuos sólidos de los municipios del Valle de Aburra a excepción de Envigado son dispuestos en el Relleno Sanitario La Pradera, ubicado en el municipio de Don Matías, en el cual se disponen aproximadamente 73 ton/mes de residuos sólidos (Tabla 1). [13]. Este cuenta con una vida útil de 1,5 millones de metros cúbicos [14].

TABLA 1
Flujo de residuos generados. Fuente: Area Metropolitana del Valle de Aburra [15]

Flujo de residuos generados en el Valle de Aburrá (Ton/mes)	Flujo de Valle de Aburrá	de	Porcentaje
Disposición Pradera	55552		76,2%
Aprovechamiento	9,121		12,5%
Recogidos por empresas de aseo	4,664		6,4%
Recogidos para tratamiento	135,5		0,2%
Biomasa utilizada para la combustión de ladrilleras	1402,43		1,9%
Pérdidas	2059,99		2,8%
Generados	72904,96		100%

El lugar de disposición de los residuos incide directamente en los costos de operación del mismo ya que el trayecto es una de las variables a tener en cuenta para determinar el precio de la recolección de los residuos [16]. Actualmente el Relleno Sanitario La Pradera opera con los costos mostrados en la Tabla 2.

TABLA 2
Costos Emvarias. Fuente: Empresas Varias de Medellin [17]

Servicio	Costo julio 2014
Barrido y limpieza de vías (Km)	22.935,70
Recolección y transporte (Ton)	73.142,85
Tramo excedente ponderado (Ton)	27.822,21
Disposición final ponderado (Ton)	31.540,76
Comercialización del servicio (Ton)	926,78
Manejo de recaudo fijo (Ton)	355,06
Manejo de recaudo variable (Ton)	9.937,94

2.2 Marco legal

Dentro del marco legal, el decreto 838 de 2005 modifico el decreto 1713 de 2002, reformando así la disposición final de los residuos sólidos. En este, a lo largo de su estructura se definen los términos relacionados a los rellenos sanitarios, los lineamientos especificados por las diferentes entidades territoriales y el procedimiento, criterio y metodología para la localización de posibles áreas para la disposición de residuos.

El artículo 5° del decreto 828 de 2005 pone a disposición todos los criterios a ser tomados en cuenta para la adecuada disposición de un relleno sanitario en el territorio nacional, asignando un puntaje según las condiciones del terreno de acuerdo a los ítems a valorar en el análisis espacial, al final de este el lote con mayor puntaje corresponde al sitio ideal para implementar un relleno sanitario [18]. A continuación se muestran los diferentes ítems a tener en cuenta en el análisis espacial con su descripción y respectivo puntaje según el decreto 838 de 2005.

- 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 3):

TABLA 3
Puntaje según la ocupación

Puntos	Tipo de suelo
80	Suelo rural
40	Suelo suburbano o de expansión
20	Suelo urbano
0	Otro tipo de suelo

- Accesibilidad vial. (tablas 4, 5 y 6) 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. Este se divide en varios subcriterios:

TABLA 4
Distancia de la vía de acceso

Puntos	Distancia
20	0 a 5 km
12	5,1 a 10 km
4	10,1 a 15 km
0	mayor de 15 km

TABLA 5
Numero de vías de acceso

Puntos	Numero de vías
20	2 ó más vías
8	1 vía
0	No hay vías

TABLA 6
Pendiente promedio de la vía de acceso

Puntos	Numero de vías
20	0-3%
12	3,1-5%
8	5,1-7%
0	7,1 y mayores

- Condiciones del suelo y topografía. (tabla 7) Este criterio determina las facilidades de construcción, operación y trabajabilidad en el área en que se efectuará dicha disposición final, mediante la tecnología de relleno sanitario.

TABLA 7
Pendientes

Puntos	Porcentaje de pendiente
40	0,1%-3%
30	3,1% -7%
20	7,1%-12%
10	12,1%-25%
0	Mayor de 25%

- Distancia entre el perímetro urbano. (tabla 8) 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 8
Distancia a perímetro urbano

Puntos	Distancia
140	2 km a 5 km
100	5,1 km a 10 km
60	10,1 km a 25 km
20	25,1 km a 50 km
0	Mayores a 50 km

- Distancias a cuerpos hídricos. (tabla 9) 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 9
Distancia a cuerpos de agua

Puntos	Distancia
60	Mayor de 2.000 metros
40	1.000 metros a 2.000 metros
20	500 metros a 999 metros
10	50 metros a 499 metros
0	menor de 50 metros

- Densidad poblacional en el área. (tabla 10) 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 10
Densidad poblacional del área de influencia

Puntos	Densidad poblacional
40	0 habitantes/hectárea a 2 habitantes/hectárea
20	2,1 habitantes/hectárea a 5 habitantes/hectárea
0	Mayor de 5 habitantes/hectárea

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la problemática por medio de las herramientas de los sistemas de información geográfica es necesario contar con shapefiles [19]. Para ello se digitalizó y geo referenció información geográfica análoga de las variables tomadas en cuenta para el estudio; ocupación actual, accesibilidad a vías, condiciones del suelo y topografía, distancia al perímetro urbano, distancia a cuerpos hídricos y densidad poblacional, con el fin de construir un sistema de información geográfica que sirvió de base para la realización del trabajo por medio de las herramientas de geo procesamiento Buffer y Clip para llevar dichas variables a al área de estudio que corresponde al Valle de Aburra.

Con el fin de hallar un terreno óptimo en el Área Metropolitana del Valle de Aburra, a cada uno de las variables se le asignó un puntaje según el decreto 838 de 2005 mencionados en las tablas anteriores, siendo 420 el puntaje máximo y 0 el puntaje mínimo para obtener un área o lote elegible que corresponde al de más alto puntaje, tal como se puede ver en la Fig. 1. Cabe resaltar que no fue posible trabajar todos los criterios incluidos en la norma debido a la poca información cartográfica análoga disponible, como dirección de los vientos, sin embargo este ítem es de gran importancia para la localización de un relleno sanitario ya que se debe evitar que los malos olores generados por la descomposición de los residuos afecte poblaciones cercanas, ubicando el relleno sanitario en un sitio donde las corrientes de aire soplen predominantemente hacia el lado contrario de la población más cercana [20]

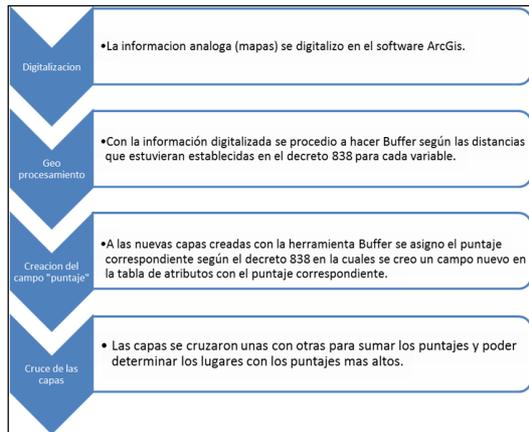


Fig. 1. Diagrama de flujo del método SIG. Fuente: Elaboración propia

3.1 Clasificación de uso del suelo

Se puede observar en la Fig. 2 como está distribuida la ocupación del suelo a lo largo del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, siendo el suelo rural el 75,54%, lo cual es ideal para la implementación de un relleno sanitario, ya que está menos intervenido que el suelo urbano o el suelo de expansión y el número de personas directamente afectadas por la implementación de un relleno sanitario es menor debido a la poca densidad poblacional en la ruralidad.

3.2 Vías de acceso

Según los resultados de las herramientas SIG tras realizar operaciones indican que la distancia entre las vías de acceso y un posible relleno sanitario dentro del mismo no supera una distancia de 5 Km por lo tanto es innecesario hacer las mismas operaciones para distancias mayores como se plantea en la normatividad, así como se observa en la Fig. 3.

3.3 Pendientes

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá se caracteriza por ser un accidente geográfico formado por la cuenca del Río Medellín que recorre el Valle de Aburrá de sur a norte recibiendo a lo largo de su recorrido varios afluentes [23] Por eso es que las herramientas SIG muestran altas pendientes como se observa en la Fig. 4 dando como resultados pocos lugares dentro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá que aporten alguna cantidad significativa al puntaje total de elección de un terreno. Como se observa en la Fig. 5 donde se muestra el puntaje correspondiente según la pendiente de la zona.

3.4 Distancia a asentamientos urbanos

Para la elección de un relleno sanitario es importante no afectar a la comunidad con olores sensibles por esto es importante que quede ubicado lo suficientemente lejos de la mancha urbana, pero a la vez este cercano para que los costos de transporte de los residuos hasta su disposición final sean mínimos. Como se puede observar

en la Fig. 6 los rangos propuestos en la normatividad están dentro del Área Metropolitana.

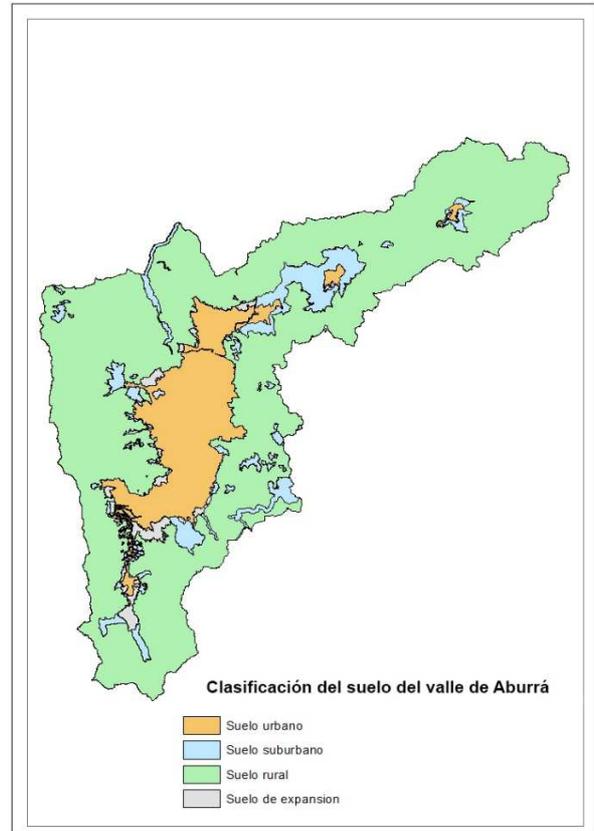


Fig. 2. Clasificación del suelo. Fuente: POMCA Ria Aaburra, 2007 [21]

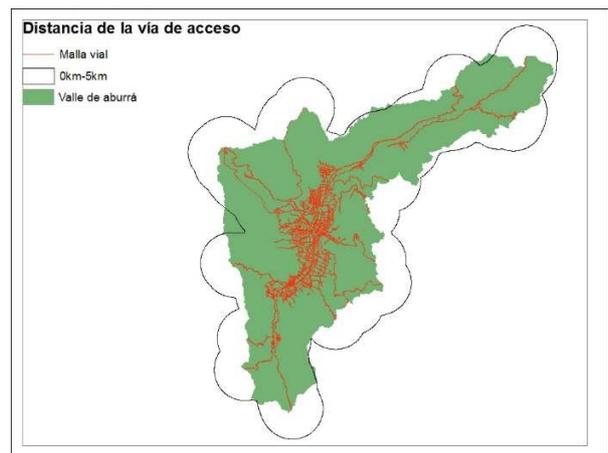


Fig. 3. Área de influencia de las vías de acceso. Fuente: BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá, 2011 [22] y elaboración propia

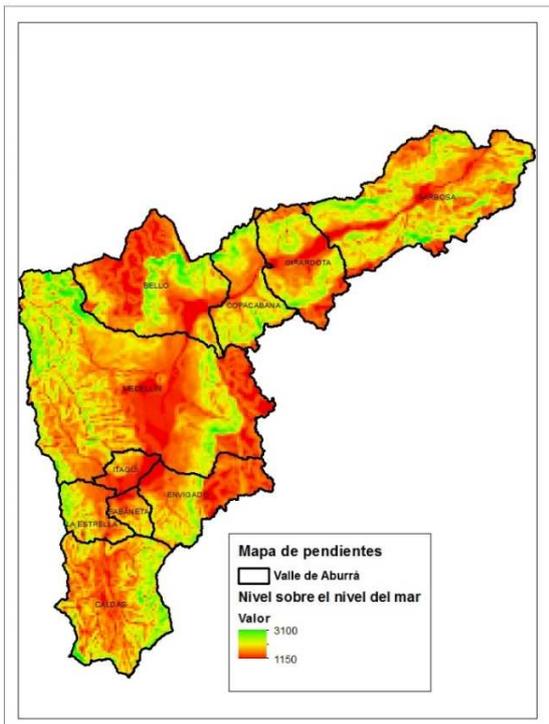


Fig. 4. Pendientes del Valle de Aburra. Fuente: Elaboración Propia.



Fig. 5. Puntajes criterio pendiente según normatividad. Fuente: BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá, 2011 [22] Elaboración Propia.

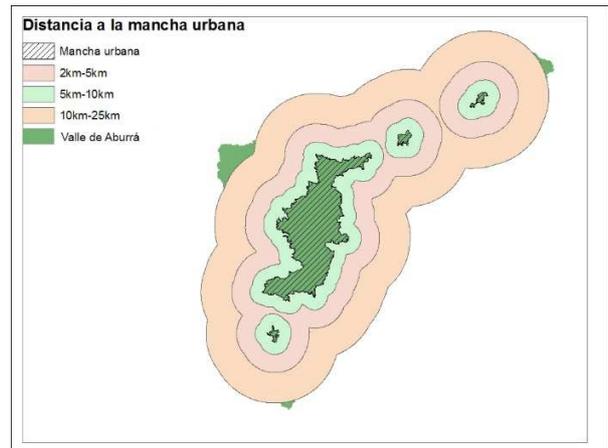


Fig. 6. Área de influencia del perímetro urbano. Fuente: BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá, 2011 [22] y elaboración propia

3.5 Distancia a cuerpos de agua

Las operaciones con las herramientas SIG dieron como resultados los siguientes rangos con respecto a las diferentes cuencas hidrográficas en el Área Metropolitana, como se observa en la Fig. 7. Este criterio muestra que la mayoría de las cuencas hidrográficas tienen un gran área de influencia en el suelo rural del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y que las zonas con más puntaje según el decreto 838 de 2005 son amplias. Según estos resultados se podría empezar a reconocer un posible lugar para la implementación del relleno sanitario.

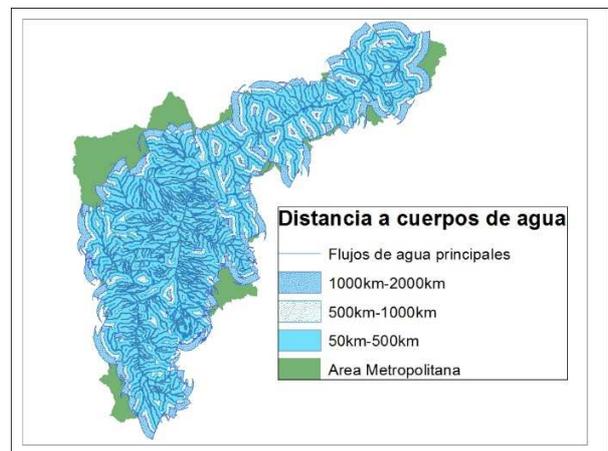


Fig. 7. Área de influencia de los cuerpos de agua. Fuente: POMCA Rio Aburrá, 2007 [21] y elaboración Propia.

3.6 Posible población afectada

Para hacer la disposición final de residuos sólidos es importante tener en cuenta la cantidad de personas que habitan en el área de influencia y escoger un lugar en el cual la densidad poblacional no sea significativa en comparación al número de personas que se pueden beneficiar por la implementación de un relleno sanitario en

un lugar cercano. Estas posibles poblaciones afectadas se pueden ver en la Fig. 8 y la densidad poblacional de las posibles comunidades se encuentra en la tabla 10. Lo anterior da como resultados que los posibles lugares para la implementación del relleno sanitario son: el suelo rural del municipio de Bello y Palmitas, corregimiento del municipio de Medellín; como se puede observar en la Fig. 9.

TABLA 10
Puntaje de acuerdo a la densidad poblacional

Densidad poblacional (Hab/Ha)	Municipio
24,96	Bello
0,76	Palmitas
2,1	Barbosa
5,5	Girardota

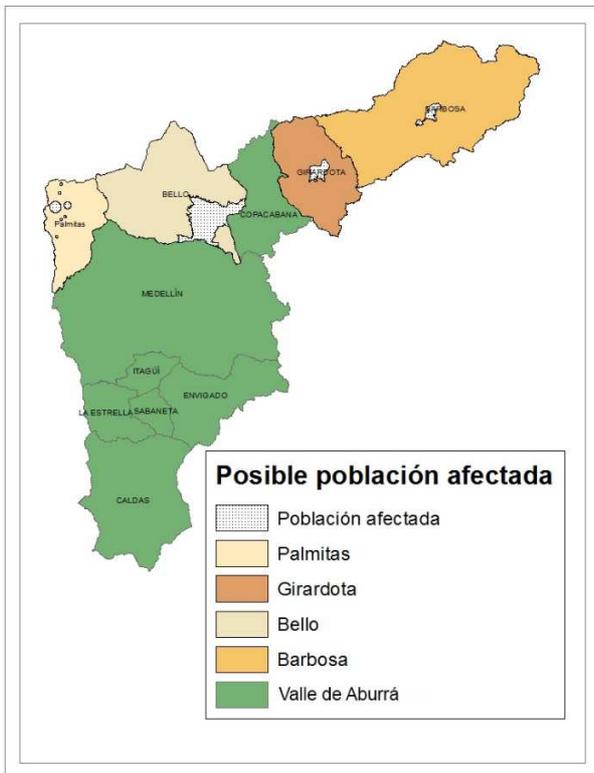


Fig. 8. Posibles poblaciones afectadas. Fuente: POMCA Rio Aburrá, 2007 [21] y elaboración Propia.



Fig.

9. Posibles municipios para implementar un relleno sanitario. Fuente: POMCA Rio Aburrá, 2007 [21] y elaboración Propia.

4. RESULTADOS

4.1 Sumatoria de resultados

Para poder hacer la elección del lugar más apto para la disposición de un relleno sanitario se procede a sumar puntos según el decreto 838 de 2005 como se muestra en la tabla 11.

TABLA 11
Puntaje de los posibles terrenos

Criterio	Palmitas	Bello	Girardota	Barbosa
Ocupación del suelo	80	80	80	80
Acceso a vías	20	20	20	20
Numero de vías	20	8	8	20
Pendiente de la vía	0	20	20	20
Pendiente	0	40	40	40
Distancia a la mancha urbana	60	100	0	140
Distancia a los cuerpos de agua	60	10	10	10

Densidad poblacional	40	0	0	20
Puntaje total	280	278	178	350

Según la tabla 11 el municipio de Barbosa en su suelo rural es el lugar más apto para la implementación de un relleno sanitario. Los lugares donde se podría llegar a implementar un relleno sanitario se muestran en la Fig. 10 con el nombre de lotes en la tabla de convenciones del mapa, los cuales corresponden a los posibles lugares donde se puede implementar un relleno sanitario según el análisis espacial y sus respectivas áreas se presentan en la tabla 12.

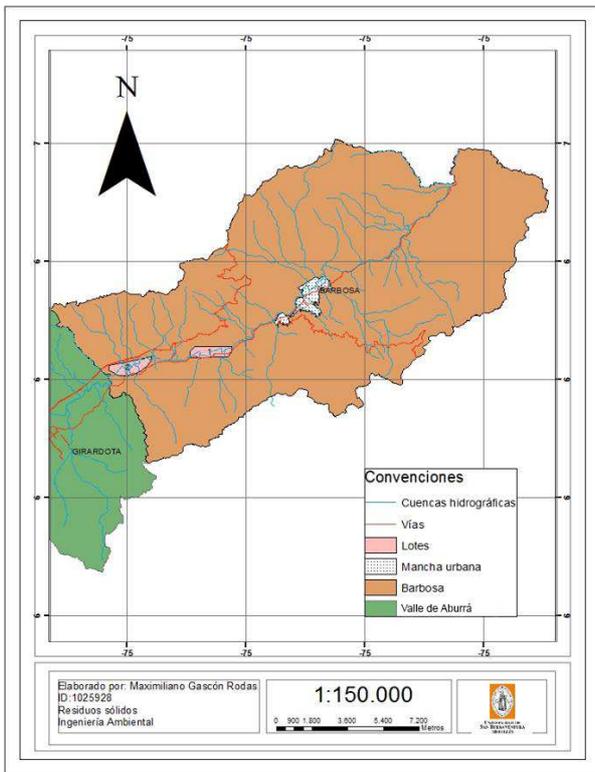


Fig. 10. Mapa del posible terreno. Fuente: BIO 2030 Plan Director Medellín, Valle de Aburrá, 2011 [22] y elaboración Propia.

TABLA 12
Área en hectárea de los terrenos elegibles

Terreno	Área (Ha)
1	99.109
2	116.99

5. ANÁLISIS

Los resultados arrojados por el programa ArcGis señalan que la implementación de un relleno sanitario

mecanizado en el Valle de Aburra es complicado debido a que las condiciones de altas pendientes, a esto se le suma que los terrenos encontrados aunque son los más óptimos están situados cerca de grandes asentamientos urbanos, como lo es el municipio de Barbosa, que puede generar inconformidades con la población debido a los olores. La cercanía a las cuencas hídricas también es considerado un problema debido a la generación de lixiviados con alta carga de contaminantes que se produce en un relleno sanitario durante su vida útil e incluso después de su clausura [24]. No obstante, se puede ver la importancia del uso de las herramientas SIG para facilitar la búsqueda de las ubicaciones óptimas, teniendo en cuenta los criterios deseados.

6. CONCLUSIONES

- El área metropolitana del valle de aburra debido a su relieve montañoso de altas pendientes como se observó en la Fig. 6, es un área que no permite la fácil implementación de un relleno sanitario. Debido a esto se puede concluir que la tendencia de los rellenos sanitarios del área metropolitana es alejarse cada vez más del área de influencia.
- Teniendo en cuenta que los rellenos sanitarios tienen poca aceptación por parte de algunos municipios, se tiene como segunda opción, de acuerdo al puntaje en la tabla 11, el corregimiento de Palmitas ubicado en el municipio de Medellín, el cual consta de una población menor.
- El análisis espacial no se realizó por completo según el decreto 838 de 2005 con las herramientas del sistema de información geográfica, debido a que no se tuvo acceso a todos los shapefiles pertinentes para el estudio; como los son direcciones del viento y material parental del suelo. Por lo que el resultado puede variar con respecto a la realidad. Dichos ítems pueden tenerse en cuenta para futuras investigaciones o propuestas para implementar un relleno sanitario dentro del Valle de Aburra cuando Relleno Sanitario La Pradera deje de funcionar.
- Como se puede observar en la Fig. 10, los terrenos denominados como lotes en la tabla de convenciones corresponden a los potenciales terrenos donde se podría implementar un relleno sanitario, estos se encuentran cercanos al eje principal del Río Aburra (Río Medellín) y a algunos de sus efluentes, lo cual podría traer complicaciones con la autoridad ambiental competente, para hacer el vertimiento de lixiviados en una cuenca hidrográfica.

7. AGRADECIMIENTOS

Primero, me gustaría agradecer a mi madre: Martha Nelly Rodas sin la cual, con su constante apoyo y sus valiosos consejos nunca hubiera podido llegar hasta este punto de mi carrera universitaria. Agradezco a la Universidad de San Buenaventura que puso en mi camino a profesores tan valiosos durante mi proceso de formación.

8. REFERENCIAS

- [1] R. Jordá-Borrell, "Factor analysis and geographic information system for determining probability areas of presence of illegal landfills," *Ecological Indicators*, Vol. 37, pp. 151-160, 2014.
- [2] DANE. (2005, febrero 19). *Censo general 2005*. [Online]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-demografia/censos>
- [3] Dirección de Planeación Departamental. Gobernación de Antioquia. (2015, marzo 15). Principales indicadores Colombia-Antioquia. [Online]. Available: <http://antioquia.gov.co/index.php/planeacion/6865-antioquia-estadisticas-e-indicadores->
- [4] G. F. Simões. Monitoring and modeling of long-term settlements of an experimental landfill in Brazil. ELSEVIER, 2013.
- [5] C. Robayo. (2015, julio 16). *Diseño de Rellenos Sanitarios*. [Online]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358045/Diseno_de_Rellenos_Sanitarios.pdf
- [6] F. J. Garcia. Relleno Sanitario Sustentable para los Residuos Sólidos Urbanos de la Región No. 2 del Estado de Morelos (Municipios de Yecapixta, Atlatlahuacan, Ocuituco y Tetela del Volcan) Ubicado en el Municipio de Yecapixta. México D.F. Instituto Politécnico Nacional, 2010.
- [7] P. Whitty, and A. Eith, "Stretching a landfill," *Engineering Village*, Vol. 68, pp. 52-54, 1998.
- [8] Y. P. Hongwei Sun, "Advanced treatment of landfill leachate using anaerobic-aerobic process: Organic removal by simultaneous denitritation and methanogenesis and nitrogen removal via nitrite," *Bioresource Technology*, Vol. 177, pp. 337-345, 2015.
- [9] ESRI. (2014, octubre 11). *ArcGis Plataform*. [Online]. Available: <http://www.esri.com/software/arcgis/platform>
- [10] G. De Feo, "Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal," *Waste Management*, Vol. 34, pp. 2225-2238, 2014.
- [11] M. C. Gomez, N. C. Nieto, L. M. Estrada, and A. Serna, "Propuesta Pedagógica Para La Defensa De Los Derechos Colectivos A Partir De Un Analisis De Caso: El Relleno Sanitario Curva De Rodas," *Revista Holística Jurídica*, Vol. 3, pp. 7-34, 2005.
- [12] Gobernación de Antioquia. (2005). *Antioquia en Cifras*. [Online]. Available: http://antioquia.gov.co/antioquia-v1/organismos/planeacion/descargas/boletin_tematico/antioquia_cifras.pdf
- [13] Área Metropolitana del Valle de Aburrá; Universidad de Antioquia; Asociación de Ingenieros Sanitarios y Ambientales de Antioquia. (2006). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Valle de Aburrá Medellín*. [Online]. Available: <http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/PGIRS/Cap.%20II%20Diagn%C3%B3stico.pdf>.
- [14] Proyecto Sistema para el Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos del valle de Aburrá (2003). *Relleno Sanitario La Padera (Resolución 5288 3 de Julio de 2002)*. [Online]. Available: <http://www.emvarias.com.co/SitePages/pradera.aspx>
- [15] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2007). *Plan Maestro de residuos sólidos del Valle de Aburrá y del Área Metropolitana del Valle de Aburrá Medellín*. [Online]. Available: http://www.metropol.gov.co/Planeacion/DocumentosAreaPlanificada/Plan_Metropoli_2008_2020.pdf
- [16] Alcaldía de Bogotá. (2005, diciembre 20). *Calculo de metodología tarifaria, Resolución 351*. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18773>
- [17] Empresas Varias de Medellín. (2015, julio 11). *Sitio Oficial de EMVARIAS*. [Online]. Available: <http://www.eevvm.com.co/SitePages/tarifas.aspx>
- [18] Congreso Nacional de la República (2005). *Decreto 838 de marzo 23 de 2005*. [Online]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16123>
- [19] A. Gallardo, "Methodology to design a municipal solid waste generation and composition map: A case study," *Waste Management*, pp. 1920-1931, 2014.
- [20] D. Ying, C. Chuanyu, H. Bin, X. Yueen, Z. Xuejuan, C. Yingxu, and W. Weixiang, "Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China". *Waste Management*, Vol. 32, pp. 317-326, 2012.
- [21] Área Metropolitana del Vallé de Aburrá. (2007). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA)*. [Online]. Available: http://www.metropol.gov.co/Planeacion/DocumentosAreaPlanificada/POMCA_lineamientos.pdf.
- [22] Área Metropolitana del Vallé de Aburrá. (2011). *Plan Director B/O 2030*. [Online]. Available: <http://www.metropol.gov.co/Planeacion/Paginas/PlanDirector.aspx>
- [23] Alcaldía de Medellín. (2015, febrero 19). *Página oficial de la Alcaldía de Medellín*. [Online]. Available: <https://www.medellin.gov.co/irj/portal/medellin>
- [24] R. Chemlal, "Combination of advanced oxidation and biological processes for the landfill leachate treatment," *Ecological Engineering*, Vol. 73, pp. 281-289, 2014