

Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela

Simón Enrique Morales-Soto
Alina Rodríguez-Infante

Resumen

La inadecuada disposición de los residuos urbanos es hoy uno de los problemas ambientales que impactan a muchas comunidades. El objetivo de esta investigación fue seleccionar, mediante criterios técnicos geológicos, el sitio más adecuado para ubicar un relleno sanitario manual para disponer los desechos sólidos generados en la parroquia Mene de Mauroa (Venezuela). Se establecieron 19 variables que fueron sometidas a un sistema de valorización por el método de peso y escala, que consiste en la confrontación de variables, dando prioridad según orden de importancia. Mediante una escala de ponderación de cinco valores para el puntaje de cada variable se elige como el terreno más adecuado para el relleno sanitario el área con mayor puntaje..

Palabras clave: relleno sanitario; disposición de residuos; parroquia Mene de Mauroa; evaluación ambiental.

Environmental and geologic assessment to locate a manual sanitary refill in the Mene de Mauroa church, Venezuela

Abstract

The inadequate disposal of urban wastes is nowadays an environmental issue having a negative impact on several communities. The objective of this investigation is to select the most adequate place to locate a manual sanitary landfill to dump the solid wastes from the Mene de Mauroa (Venezuela) church. A total of 19 variables were subjected to a series of evaluations applying the scale and weight method. This method consists of comparing the variables according to their level of priority. The area with the highest score is to be selected as the most adequate area for the sanitary landfill according to a weighting scale of 5 values for the scoring of each variable.

Keywords: sanitary refill; waste disposal; Mene de Mauroa church; environmental assessment.

1. INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales que impactan las ciudades en la actualidad se encuentra la escasez de áreas para la disposición final de los residuos sólidos, conflictos en el uso del terreno con la población establecida alrededor de las instalaciones para el tratamiento y destino final, así como la exportación de los desechos y residuos sólidos a municipios vecinos. La organización no gubernamental venezolana VITALIS (2013) identificó 65 problemas ambientales entre los cuales destaca el inapropiado manejo de los residuos y desechos sólidos.

La situación actual de los desechos sólidos en el municipio Mauroa, en el estado Falcón, República Bolivariana de Venezuela, constituye uno de los mayores problemas de saneamiento ambiental para sus pobladores y sobre todo para su municipalidad. Por un lado, porque constituye un aspecto de la vida diaria que repercute en los índices de contaminación en el suelo, aire y agua del municipio, que va desmejorando en gran medida las condiciones de la calidad de vida de su población, principalmente de las comunidades de escasos recursos económicos y sobre todo de las que se encuentran localizadas en terrenos marginales. Por otro lado, por la incidencia en el aspecto económico en su municipalidad, pues un alto porcentaje de su presupuesto es destinado al aseo, recolección, transporte y disposición final de los desechos sólidos generados.

Considerando que el suelo es el soporte físico de las actividades constructivas, como el caso del relleno sanitario, la geología permite el conocimiento de las características y propiedades del suelo ya que considera la información de las condiciones climáticas, aspectos litológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geohidrológicos (Allende 2005).

En la parroquia Mene de Mauroa es posible disminuir el impacto a la salud humana y al medio ambiente que provoca la inadecuada disposición de los residuos sólidos, identificando áreas alternativas por medio de la evaluación geológica ambiental, a fin de diseñar un relleno sanitario manual.

La evaluación geológica significa valorar su ubicación, accesibilidad, topografía, condiciones geológicas, climáticas, hidrológicas superficiales y subterráneas (Guadalupe *et al.* 2002; Allende 2005) y los aspectos condicionantes como seguridad aérea, integridad de los recursos naturales y bienes culturales, infraestructura existente, proyectos de desarrollo urbano, regional y nacional, entre otros, como establece la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2005).

Ante la problemática de conocer cuál es la alternativa de ubicación geológicamente más adecuada para el relleno sanitario manual de la

parroquia Mene de Mauroa, de acuerdo con el análisis comparativo y la confiabilidad de los métodos aplicados, el objetivo principal entonces de esta investigación fue seleccionar, mediante criterios técnicos geológicos, el mejor sitio para ubicar un relleno sanitario manual para la disposición final de los desechos sólidos generados en la parroquia Mene de Mauroa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en tres etapas, cada una con tareas específicas que se relacionan a continuación.

En la etapa inicial se realizó la búsqueda de los documentos, leyes y reglamentos que estipulan la construcción de rellenos sanitarios, pues la selección del sitio deberá efectuarse acorde a la jurisdicción del área para disposición de residuos sólidos y leyes vigentes. Se destaca en este aspecto el estudio de la Ley Orgánica del Ambiente de la República Bolivariana de Venezuela (2006), que regula toda la actividad socioproductiva a favor de la protección ambiental. Al mismo tiempo, se realizó la búsqueda de informes e investigaciones que han tenido como objeto la valoración de terrenos para este tipo de construcción, tanto en Venezuela como en otras regiones.

En esta etapa se definió la zona de búsqueda del terreno óptimo para la construcción, teniendo en cuenta que la extensión del mismo está en función de la cantidad de residuo del que se va a disponer. La identificación de las posibles áreas se realizó teniendo en cuenta aquellos sitios que han sido indicados como de interés para el municipio, alguno de los cuales cuenta con estudios previos, partiendo de las recomendaciones de Villarosa *et al.* (2011).

En la segunda etapa, experimental, se identificaron los criterios de selección que permiten la eliminación de áreas no favorables y un ranking de las áreas favorables que serían evaluadas. Con esta metodología, propuesta por Bautista, Rosales y Contreras (2010), a medida que se avanza en las etapas disminuye el número de sitios a considerar.

Si se parte de que un relleno sanitario involucra los tres medios: suelo, aire y agua, es indispensable evaluar las características específicas de cada una de las zonas, además de factores técnicos, económicos, sociales y políticos.

Se establecieron 19 variables de campo (Tabla 1), siguiendo los parámetros nacionales e internacionales usados para la selección de sitios, entre los que destacan los criterios presentados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2012); los sugeridos por la Organización Panamericana de la Salud y los criterios ambientales recomendados por las normas sanitarias para proyecto y operación de un relleno sanitario de la

República Bolivariana de Venezuela (Decreto N° 230) sobre residuos sólidos de índole atóxico.

Tabla 1. Variables elegidas como criterio de selección para variantes de sitio

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN
1	Distancia a la población más cercana (m)
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)
3	Distancia a aeropuertos (m)
4	Área del terreno (m ²)
5	Vida útil
6	Uso actual del suelo y del área de influencia
7	Propiedad del terreno
8	Distancia a vía de acceso principal (km)
9	Pendiente del terreno
10	Posibilidad del material de cobertura
11	Profundidad de la napa freática (m)
12	Distancia a fuentes de agua superficiales (m)
13	Geología del suelo (permeabilidad)
14	Opinión pública
15	Área natural protegida por el estado
16	Área arqueológica
17	Vulnerabilidad a desastres naturales
18	Dirección predominante del viento
19	Cuenta con barrera sanitaria natural

Estos criterios fueron sometidos a un sistema de valorización por el método de peso y escala (Tabla 2), que consiste en la confrontación de variables, dando prioridad de acuerdo al orden de importancia; se obtiene una escala de valores sobre la base de 100, que es útil para pesar la variable, que luego es dividida en cinco ponderaciones que van desde la condición más desfavorable del factor de campo hasta el ideal, correspondiendo a cada uno la quinta parte del valor obtenido ($n/5$, en donde n adopta el valor de 1 a 5) por su importancia en la matriz de peso y escala, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de ponderación para el puntaje de las variables

Calificación	Puntaje
Muy malo	1
Malo	2
Regular	3
Bueno	4
Muy bueno	5

Las áreas se evaluaron atendiendo a características como calidad del suelo, accesibilidad, forma y relieve topográfico, riesgos geodinámicos y esencialmente su disponibilidad de uso, de manera que no se afecten los planes de expansión urbana. Para la argumentación de esas variables se desarrolló un trabajo de campo que permitió la confección de los mapas temáticos, que junto a la información compilada en la etapa inicial, permitieron la selección del sitio.

En el proceso de identificación se seleccionaron tres áreas (1, 2 y 3), con condiciones para la ubicación del relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos (Figuras 1 y 2). Estas áreas fueron sometidas a un proceso de evaluación ambiental a partir de criterios integrales y multidisciplinarios.

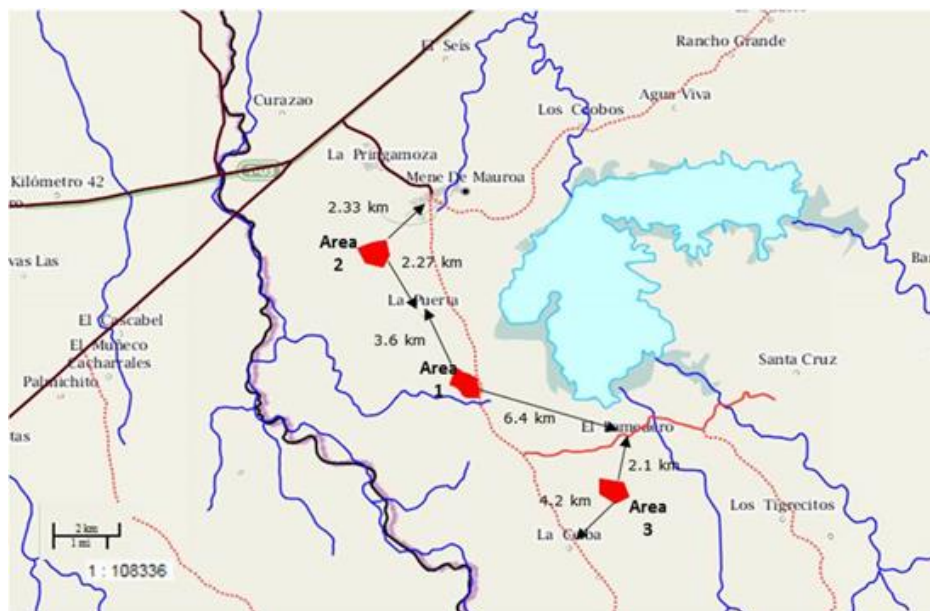


Figura 1. Distancia a la población más cercana

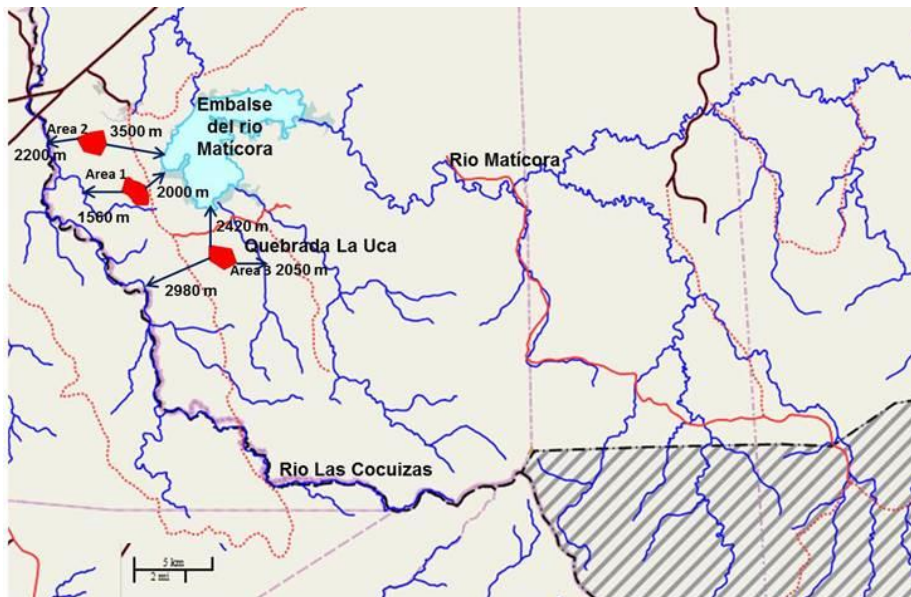


Figura 2. Condiciones hidrológicas de las zonas preseleccionadas

2.1. Factores ambientales que condicionan el área bajo régimen de administración especial

Toda área considerada bajo régimen especial debe preservar, lo menos alterado posible, sus condiciones físicas naturales. En dependencia del tipo de régimen especial se siguió el procedimiento establecido por la Ley Orgánica del Ambiente (2006). Se constató que ninguna de las tres áreas fuera de interés arqueológico pero todas se encuentran dentro del área natural protegida de la cuenca de los ríos Maticora y Cocuizas (ZP3) y dentro del área boscosa de protección de ambos ríos (ABBP).

2.2. Vulnerabilidad del área a desastres naturales

Para determinar la vulnerabilidad a desastres naturales de las tres áreas preseleccionadas se tomó como base el mapa de Geología, Geomorfología y Amenazas Naturales realizado en el proyecto Plan de Ordenación del Territorio del estado Falcón, siendo consideradas geomorfológicamente como áreas de pie de monte o llanuras costeras, medianamente estables y con un riesgo sísmico de medio a bajo (Figura 4).

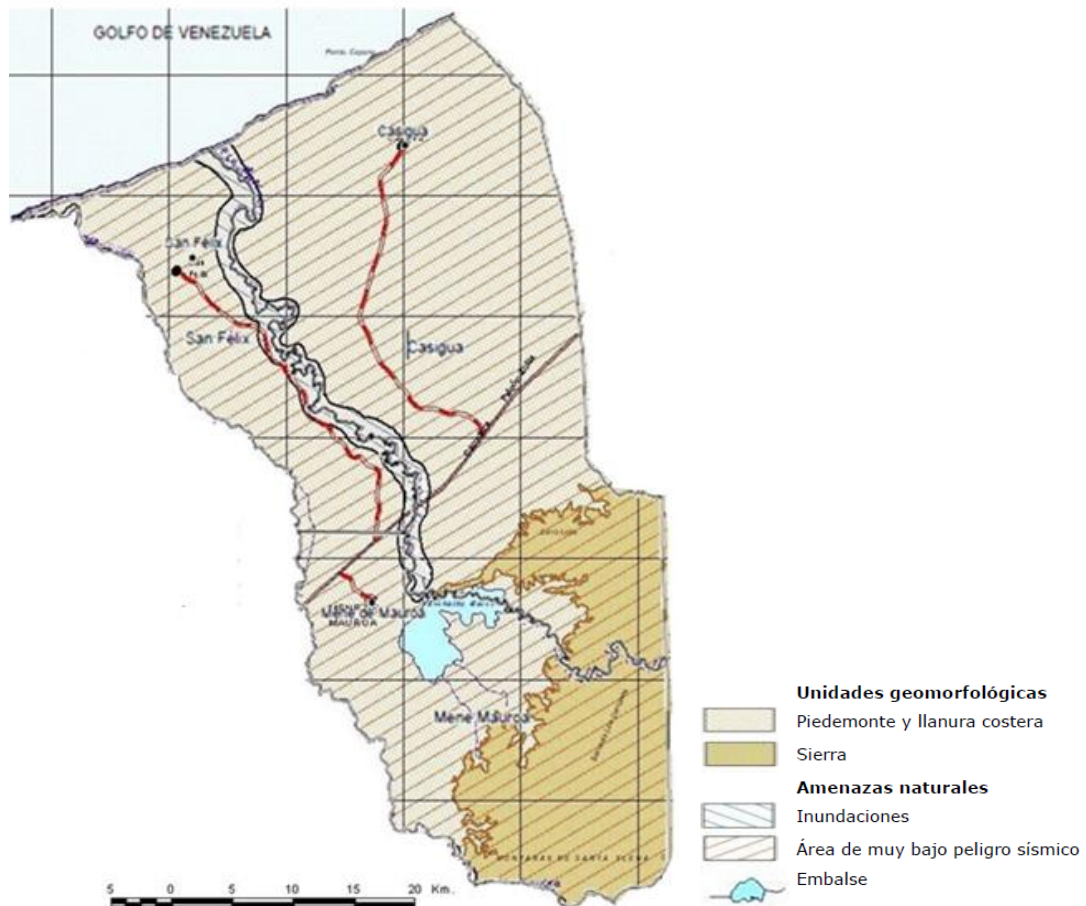


Figura 4. Vulnerabilidad del área a desastres naturales.

2.3. Análisis de las infraestructuras

En el diagnóstico realizado en la parroquia Mene de Mauroa se observó la influencia de las tres áreas propuestas para el relleno sanitario en el embalse de Matícora y la presa que lleva el mismo nombre, como se muestra en la Figura 5.

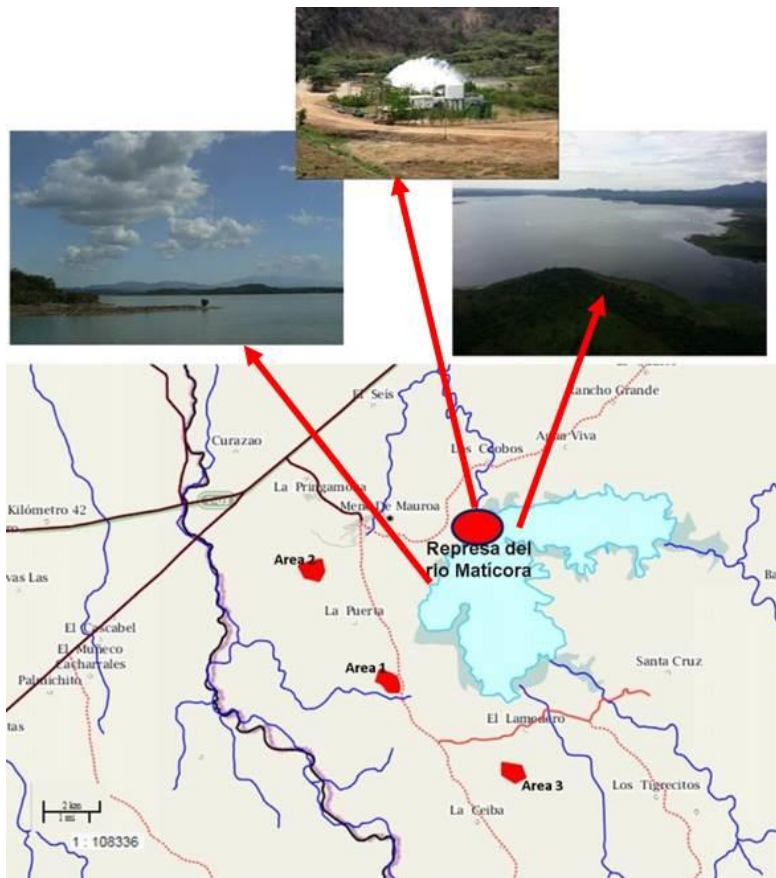


Figura 5. Infraestructura existente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las Tablas (3-5) muestran los resultados de la evaluación de las tres áreas candidatas según los 19 criterios de selección. La Tabla 6 organiza las áreas por orden de mérito de manera descendente.

Tabla 3. Criterios de selección

No	Criterios de selección	Áreas alternativas (calificación)		
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
1	Distancia a la población más cercana (m)	1 728	1 467	1 572
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	1 766	1 465	1 232
3	Distancia a aeropuertos (m)	>3 000	>3 000	>3 000
4	Área del terreno (m ²)	25,000	15,000	17,500

5	Vida útil	> 5 años	> 5 años	> 5 años
6	Uso actual del suelo y del área de influencia	Ganadería extensiva de caprinos y cultivos en zonas áridas	Ganadería extensiva de caprinos y cultivos en zonas áridas	Ganadería extensiva de caprinos y cultivos en zonas áridas
7	Propiedad del terreno	Pública	Privada	Privada
8	Distancia a vía de acceso principal, km	0	1,5	1,6
9	Pendiente del terreno	5 % a 15 %	5 % a 10 %	15 % a 25 %
10	Posibilidad del material de cobertura	Buena	Buena	Buena
11	Profundidad de la napa freática (m)	70 m - 120 m	90 m - 150 m	50 m - 110 m
12	Distancia a fuentes de agua superficiales (m)	1 560	3 500	2 420
13	Geología del suelo (permeabilidad)	8,250 x 10 ⁻⁵ m/seg	3,854 x 10 ⁻⁵ m/seg	6,027 x 10 ⁻⁵ m/seg
14	Opinión pública	Favorable	Favorable	Favorable
15	Área natural protegida por el estado	Se encuentra dentro del área natural protegida de la cuenca de los ríos Matícora y Cocuizas y dentro del área boscosa de protección de ambos ríos	Se encuentra dentro del área natural protegida de la cuenca de los ríos Matícora y Cocuizas y dentro del área boscosa de protección de ambos ríos	Se encuentra dentro del área natural protegida de la cuenca de los ríos Matícora y Cocuizas y dentro del área boscosa de protección de ambos ríos
16	Interés arqueológico	No incluyen áreas de interés arqueológico	No incluyen áreas de interés arqueológico	No incluyen áreas de interés arqueológico

17	Vulnerabilidad a desastres naturales	Amenaza de media a baja con un riesgo sísmico de medio a bajo	Amenaza de media a baja con un riesgo sísmico de medio a bajo	Amenaza de media a baja con un riesgo sísmico de medio a bajo
18	Dirección predominante del viento	NE	NE	NE
19	Existencia de barrera sanitaria natural	No	No	No

Cada variable fue calificada según el sistema de puntaje establecido, quedando resumida en la Tabla 4 la calificación de las variables para cada sitio alternativo.

Tabla 4. Calificación de alternativas

Item	Criterios de selección	Puntaje		
		ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
1	Distancia a la población más cercana (m)	5	3	4
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	5	4	3
3	Distancia a aeropuertos (m)	5	5	5
4	Área del terreno (m ²)	5	5	5
5	Vida útil	5	5	5
6	Uso actual del suelo y del área de influencia	3	3	3
7	Propiedad del terreno	5	3	3
8	distancia a vía de acceso principal km	5	3	4
9	Pendiente del terreno	4	4	4
10	Posibilidad del material de cobertura	5	4	3
11	Profundidad de la napa freática (m)	5	4	3
12	Distancia a fuentes de agua superficiales (m)	5	4	4
13	Geología del suelo (permeabilidad)	5	4	4
14	Opinión pública	5	5	5
15	Área natural protegida por el estado	5	5	5
16	Área arqueológica	4	4	4
17	Vulnerabilidad a desastres naturales	1	1	3
18	Dirección predominante del viento	2	2	2
19	Cuenta con barrera sanitaria natural	1	1	1

Los valores ponderados para cada variable, producto de la ponderación y el peso por área, se muestran en la Tabla 5; en la Tabla 6 se muestra el orden de mérito de las alternativas analizadas.

Tabla 5. Ponderación de alternativas

Item	Criterios de selección	Peso Asignado %	Resultado obtenido (Calif. x Peso)		
			ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3
1	Distancia a la población más cercana (m)	7	35	21	28
2	Distancia a granjas crianza de animales (m)	4,5	22,5	18	13,5
3	Distancia a aeropuertos (m)	4,5	55,5	22,5	22,5
4	Área del terreno (m ²)	5	25	25	25
5	Vida útil	5	25	25	25
6	Uso actual del suelo y del área de influencia	6	18	18	18
7	Propiedad del terreno	4,5	22,5	13,5	13,5
8	Distancia a vía de acceso principal km	4	20	12	16
9	Pendiente del terreno	6,5	26	26	26
10	Posibilidad del material de cobertura	6	30	24	18
11	Profundidad de la napa freática (m)	7	35	28	21
12	Distancia a fuentes de agua superficiales (m)	7	35	28	28
13	Geología del suelo (permeabilidad)	8	40	32	32
14	Opinión pública	5	25	25	25
15	Área natural protegida por el estado	5	25	25	25
16	Área arqueológica	5	20	20	20
17	Vulnerabilidad a desastres naturales	5	5	1	1
18	Dirección predominante del viento	3	6	6	6
19	Cuenta con barrera sanitaria natural	2	2	2	2
Total		100	440	376	366

Tabla 6. Orden de mérito por cada alternativa

ORDEN DE MÉRITO	NOMBRE DEL ÁREA	PUNTAJE TOTAL
1	Area 1	440
2	Area 2	376
3	Area 3	366

4. DISCUSIÓN

El área 1, con un total de 440 puntos, satisface la mayoría de los requisitos analizados para ubicar el relleno sanitario, seguida del área 2, con un puntaje total de 376. Ambas cumplen con los parámetros de impermeabilidad de suelos, distancia de áreas urbanas, distancia de perímetro y suficiente material de cobertura. El área 3, con una calificación de 366 puntos, es considerada no adecuada para la ubicación del relleno sanitario, ya que el porcentaje de pendiente es mayor o igual al 20 %.

A partir de estos resultados se concluye que el área 1 es la que cumple los parámetros para la ubicación de relleno sanitario y presenta mejores facilidades por las siguientes consideraciones:

- La vida útil del sitio tiene la capacidad de recibir residuos sólidos por un período no menor de 10 años. El material para cobertura se encuentra en la cantidad adecuada y en el sitio de relleno, es decir, se tiene asegurada su procedencia, por lo que no se incrementarán los costos de manejo. En las tres áreas se cumple con este parámetro a cabalidad.
- La topografía cumple con el parámetro de pendiente (5 % y 15 %), no mayor al 18 %, con lo que se logra un mayor volumen aprovechable por hectárea.
- Presenta buenas vías de acceso, encontrándose en buenas condiciones en cualquier época del año.
- Los vientos dominantes soplan en sentido contrario (vienen del noreste) al urbanismo y los poblados, por lo que evitan posibles malos olores.
- La factibilidad de compra y costo de terreno en el área 1 no es un problema ya que pertenece a la municipalidad.
- La geología indica que el terreno está conformado por arcillitas, generalmente masivas, con contenido de material ferruginoso compacta de mediana plasticidad. El grado de meteorización de las litologías encontradas facilita el desarrollo de suelos arcillosos, apropiados como sello y cobertura.

- La evaluación hidrogeología de los pozos cercanos al sitio (área 1) indicó que la profundidad del nivel freático está entre 70 m y 120 m y los cursos de aguas superficiales están lo suficientemente retirados del área.
- El área 1 se encuentra dentro del área natural protegida de la cuenca de los ríos Matícora y Cocuizas y del área boscosa de protección de ambos ríos, por lo que corresponde a un área natural protegida por el estado. Esta condición le confiere mayor peso al área seleccionada pues en la actualidad la disposición final de los desechos sólidos se realiza a través de un botadero a cielo abierto, que se encuentra ubicado en la parroquia Mene de Mauroa y al obtener el mayor valor, analizando los criterios, se puede recuperar parte del deterioro ambiental causado en el entorno.
- La vulnerabilidad a desastres naturales en la zona indica que la misma está dentro de un área de amenaza de media a baja, con un riesgo sísmico de medio a bajo.

5. CONCLUSIONES

Aunque dos de las áreas analizadas (1 y 2) cumplen satisfactoriamente con los parámetros de impermeabilidad de suelos, distancia de áreas urbanas, distancia de perímetro y suficiente material de cobertura para ubicar el relleno sanitario, se sugiere el área 1 como la mejor alternativa para la disposición de los residuos, atendiendo a una mayor factibilidad técnica y ambiental.

6. AGRADECIMIENTOS

Al convenio Cuba-Venezuela, Maestría Geología Ambiental, por el financiamiento de este proyecto. A todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera aportaron a la realización de esta investigación.

7. REFERENCIAS

- ALLENDE, T. 2005: Estudio geológico-geotécnico en los proyectos de relleno sanitario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- BAUTISTA, M.; ROSALES, C. & CONTRERAS, E. 2010: Guía para la selección de sitios potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios por el método de peso y escala con el uso de álgebra de mapas. Trabajo de maestría. Consulta: 24 sept 2013. Disponible en: [http://app.jalisco.gob.mx/PortalTransparencia.Nsf/odosWeb/23B3AC7836E9D09B06257357000FF307/\\$FILE/Metodolog%C3%ADa%20de%20Relenos%20Sanitarios.pdf](http://app.jalisco.gob.mx/PortalTransparencia.Nsf/odosWeb/23B3AC7836E9D09B06257357000FF307/$FILE/Metodolog%C3%ADa%20de%20Relenos%20Sanitarios.pdf).

- DECRETO N° 230. 2010: **Normas Sanitarias para Proyecto y Operación de un Relleno Sanitario, República Bolivariana de Venezuela.** Disponible en: www.slideshare.net/harangu/legislacin-ambiental
- GUADALUPE, E.; ZEA, M.; VILLAFUERTE, I.; & FLORES, D. 2002: Estudio geológico-geotécnico para el relleno sanitario de Machu Picchu y pueblos aledaños. Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas 5(10): 25-33.
- LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE NO. 5 833. 2006: Gaceta Oficial Extraordinaria, República Bolivariana de Venezuela, 22 de diciembre.
- LEY ORGÁNICA PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. 2005: Gaceta Oficial N° 38,263, 1 de septiembre.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Disponible en: www.bvsde.paho.org/cursos/rsm/e/unidades/unidad3.pdf
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Washington, D. C. 2012: Criteria for municipal solid waste landfills. Disponible en: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2012-title40-vol26/xml/CFR-2012-title40-vol26-part258.xml#seqnum258.1>
- VILLAROSA, G.; OUTES, V.; DZENDOLETAS, M.; GROSFELD, J.; & PASTORE, H. 2011: Evaluación de sitios para la localización de un relleno sanitario. En: XVIII Congreso Geológico Argentino.
- VITALIS. 2013: Gente, Comunicación y Ambiente. Los residuos sólidos en Venezuela. Organización Ambiental No Gubernamental. Consulta: 11 nov 2014. Disponible en: <http://www.vitalis.net/>

Simón Enrique Morales-Soto, morales_simon@hotmail.com

Ingeniero en Sistemas. Profesor Asistente.
Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo.
Maracaibo, Venezuela

Alina Rodríguez-Infante, rinfante@ismm.edu.cu

Doctora en Ciencias Técnicas. Ingeniera Geóloga.
Profesora Auxiliar, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa,
Holguín, Cuba