

Tipo de artículo: Artículo original

# Inteligencia computacional para el análisis del método aplicado en la construcción del relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa

## *Computational intelligence for the analysis of the method applied in the construction of the sanitary landfill of the city of Jipijapa*

Jesús Alberto Cerón Pinargote <sup>1\*</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-7914-7560>

Jaime Adrián Peralta Delgado <sup>2</sup> , <https://orcid.org/0000-0003-3830-9719>

Francisco Segundo Ponce Reyes <sup>3</sup> , <https://orcid.org/0000-0002-9655-8994>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

\* Autor para correspondencia: [villacreses-jose7046@unesum.edu.ec](mailto:villacreses-jose7046@unesum.edu.ec)

### Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el método aplicado en la construcción del relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa. Basado en determinar la factibilidad del método combinado (método de área y método de trinchera o zanja), teniendo en cuenta las condiciones del terreno donde está implantado el relleno sanitario. En el desarrollo de este estudio se utilizaron métodos de investigación bibliográficos, documentales, exploratorios, y deductivos, los cuales permiten identificar resultados con argumentos teóricos respaldados en normas técnicas y/o especificaciones para el análisis metódico. Dentro de los datos obtenidos se evidencia que el perfil del terreno del relleno sanitario es regular, y presenta elevaciones que van desde el 5% al 10%, además el tipo de suelo es arcilloso con poca permeabilidad donde el nivel freático se encuentra a más de 6 metros de profundidad, y se cuenta con material de cobertura dentro de las instalaciones. Se concluye que los rellenos sanitarios desarrollados por el método combinado son una buena alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos.

**Palabras clave:** Método combinado; relleno sanitario; cobertura; topografía.

### Abstract

*This research aimed to analyze the method applied in the construction from the landfill of the city of Jipijapa. Based on determining the feasibility of the combined method (area method and trench or trench method), considering the conditions of the terrain where the landfill is implanted. In the development of this study, bibliographic, documentary, exploratory, and deductive research methods were used, which allow to identify results with theoretical arguments based on technical standards and /or specifications for methodical analysis. Among the data obtained it is evident that the profile of the soil of the landfill is regular, and presents elevations ranging from 5% to 10%, in addition the type of soil is clay with little permeability where the ground level is more than 6 meters deep, and coverage material is available within the facilities. It is concluded that landfills developed by the combined method are a good alternative for the final disposal of urban solid waste.*

**Keywords:** Combined method; landfill; coverage; topography.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

**Recibido: 22/12/2020**  
**Aceptado: 20/02/2021**

## Introducción

La explotación descontrolada de los recursos naturales y las nuevas tendencias consumistas de la sociedad han ocasionado que se generen diariamente grandes volúmenes de residuos sólidos urbanos (RSU). Por este contexto la gestión integral de los (RSU) se convierte en una necesidad latente de la sociedad moderna.

Desde los años 70's comenzaron a surgir normativas basadas fundamentalmente en el reciclado y reutilización de los materiales. (Castañeda et al., 2015). Sin embargo, existe una gran brecha entre lo que dicen las mismas y lo que se plasma en la realidad.

En los países en vías de desarrollo como Ecuador se estima que las municipalidades deben invertir entre 20-50% del presupuesto recurrente disponible para el manejo y disposición de los desechos sólidos (Carangui y Celi, 2018).

La gestión integral de los RSU desde los puntos de vista ambiental, técnico y económico ha hecho necesario el desarrollo de diversas alternativas que presentan características de sostenibilidad, entre las que se encuentra el Relleno Sanitario (Lascano, 2007).

El Relleno Sanitario es una obra civil de eliminación final de los desechos sólidos en el suelo. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el Relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica (Armas y Yaselga, 2005).

El método constructivo y la secuencia de operación de un relleno sanitario están determinados principalmente por la topografía del terreno, aunque también depende de la fuente de material y de la profundidad del nivel freático (Fabara, 2016).

Los principales métodos usados para disponer los RSU en un relleno sanitario pueden clasificarse como: 1) Trinchera, 2) Área, y 3) Combinado (Jaramillo, 2002; Gutiérrez y Peinado, 2013). Las deficiencias de los rellenos sanitarios han sido analizadas por diversas investigaciones. En la literatura podemos encontrar propuestas que estudian los diferentes parámetros que se encuentran involucrados en un relleno sanitario (Kontos et al., 2005; Ouyang et al., 2017). No obstante, para determinar si un lugar es factible para la construcción o ampliación de un relleno sanitario se debe tomar en cuenta la estratificación de suelo, el nivel freático y la disponibilidad del material de cobertura (Morales, 2014).

En la ciudad de Jipijapa se cuenta con un relleno sanitario que fue construido mediante un diseño estandarizado (método mixto o combinado. Según Caruajulca 2018 los métodos mixtos o combinados son considerados los más



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**  
(CC BY 4.0)

eficientes ya que permiten ahorrar el transporte del material de cubierta (siempre y cuando exista éste en el sitio) y aumentan la vida útil del sitio.

Por ende, es necesario evaluar si el método escogido en la construcción del relleno sanitario fue el más idóneo según las características geohidrológicas, topográficas y físicas del suelo. Por todas las causas mencionadas el objetivo de esta investigación es determinar la factibilidad del método combinado a fin de optimizar los espacios en la topografía del terreno y alargar el tiempo de vida útil del sitio.

## Materiales y métodos

En el desarrollo de este estudio se utilizaron métodos de investigación bibliográficos, documentales, exploratorios, y deductivos, los cuales permiten identificar resultados con argumentos teóricos respaldados en normas técnicas y/o especificaciones para el análisis metódico. Incluyendo métodos científicos y de campo que constituyen un proceso sistemático basado en una estrategia de recolección directa de la información.

Se aplicó el método de la medición para conocer las dimensiones de las celdas, la observación para determinar el método de relleno y compactación, cálculos de los ensayos de laboratorios de suelos y levantamiento topográfico. Se utilizó equipo de SPT (Ensayo de penetración estándar), estación total, GPS.

Estos equipos que permitieron conocer las características del relleno sanitario de Jipijapa, el cual se encuentra ubicado al costado derecho de la vía Jipijapa-Guayaquil a 2.5 kilómetros de la ciudad en las coordenadas geográficas 17 M, 547058.24 m E, 9846757.75 m S, 285 m.s.n.m. Tiene una superficie de 13.75 hectáreas, presenta una topografía regular, el tipo de suelo es arcilloso y funciona desde diciembre del 2010.

Para considerar los perfiles del terreno se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

Plano: Se considera un terreno plano a aquellos que cuentan con pendientes que van desde 0 y 5%.

Ondulado: este tipo de terreno comprende pendientes que van desde 5 hasta 10%.

Escarpados: este tipo de terreno presenta pendientes muy pronunciadas, que son mayores a 10%, los más comunes son faldas de montañas, cerros o cañas.

## Clasificación de los terrenos en función de las pendientes (G)

Tabla 1. Rango de pendientes

Tipo de terreno	Rangos de pendientes (%)
Llano o plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 10$



Montañoso	$10 > G \geq 30$
-----------	------------------

## Resultados y discusión

Para definir técnicamente la factibilidad del método empleado en la construcción del relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa se necesitó conocer los datos obtenidos en el nivel estratigráfico del suelo, el nivel de acuíferos freáticos y la disponibilidad de material de cobertura.

El estudio topográfico del relleno sanitario de Jipijapa muestra que está ubicado en las coordenadas geográficas 17 M, 547058.24 m E, 9846757.75 m S, 285 m.s.n.m. El terreno del cual se dispone se muestra regular y cuenta con un área de 13.75 ha (137500m<sup>2</sup>) y tiene pendientes que oscilan en 5% y 10%.

Según los estudios de suelos realizados en el laboratorio de la Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM, 2019), en el Relleno Sanitario de Jipijapa se obtuvieron los siguientes datos en los sondeos del SPT que se detallan en las tablas 2, 3, 4 a continuación:

**Tabla 2.** Sondeo # 1 del análisis de suelo

Profundidad	Nº golpes	Permeabilidad	Densidad saturada gr/cm <sup>3</sup>	Capacidad de carga kg/cm <sup>2</sup>	Consistencia	Tipo de suelo
0.55 - 1.00	6	IMPERMEABLE	1.76 -1.92	0.5 - 1.0	MEDIA	CH
1.55 - 2.00	3.5	IMPERMEABLE	1.60 -1.76	0.25- 0.50	BLANDA	CH
2.55 - 3.00	10	IMPERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CH
3.55 - 4.00	11	IMPERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CH
4.55 - 5.00	12	MUY POCO PERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	MUY RIGIDA	MH
5.55 - 6.00	17	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	RIGIDA	OH

Fuente:(UNESUM, 2019)

**Tabla 3.** Sondeo # 2 del análisis de suelo

Profundidad	Nº golpes	Permeabilidad	Densidad saturada gr/cm <sup>3</sup>	Capacidad de carga kg/cm <sup>2</sup>	Consistencia	Tipo de suelo
0.55 - 1.00	9.5	MUY POCO PERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	MH
1.55 - 2.00	16	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	MUY RIGIDA	CH
2.55 - 3.00	22	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	MUY RIGIDA	CH
3.55 - 4.00	21	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	MUY RIGIDA	OH
4.55 - 5.00	20	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	MUY RIGIDA	OH
5.55 - 6.00	27	IMPERMEABLE	2.08 -2.24	2.0 - 4.0	MUY RIGIDA	CH

Fuente:(UNESUM, 2019)



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

**Tabla 4.** Sondeo # 3 del análisis de suelo

Profundidad	Nº golpes	Permeabilidad	Densidad saturada gr/cm <sup>3</sup>	Capacidad de carga kg/cm <sup>2</sup>	Consistencia	Tipo de suelo
0.55 - 1.00	8	IMPERMEABLE	1.76 -1.92	0.5 - 1.0	MEDIA	CH
1.55 - 2.00	12	IMPERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CH
2.55 - 3.00	10	IMPERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CH
3.55 - 4.00	11	MUY POCO PERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CH
4.55 - 5.00	10	MUY POCO PERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CL
5.55 - 6.00	13	IMPERMEABLE	1.92 -2.08	1.0 - 2.0	RIGIDA	CL

Fuente:(UNESUM, 2019)

Los resultados del estudio muestran que los suelos predominantes son los estratos arcillosos con permeabilidad muy baja, denotando presencia de limos y arenisca fina, así como también arcillas, la consistencia del suelo tiende a ser entre rígida y muy rígida.

Los valores de k (coeficiente de permeabilidad) de cada tipo de suelo, según Casagrande y Fadum (1940), se establecen basándose en estos valores:

**Tabla 5.** Valores del coeficiente de permeabilidad

Tipos de suelo	k en cm/s
Gravas gruesas y finas	10 <sup>2</sup> a 10
Arenas gruesas y finas	1 ó 10 <sup>-1</sup> a 10 <sup>-3</sup>
Arenas muy finas	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-6</sup>
Limos y arcillas	10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-11</sup>

Fuente: Casagrande y Fadum (1940)

Al no observarse la presencia de aguas subterráneas en los sondeos del SPT realizados a 6 metros de profundidad, se podría iniciar con el diseño para la construcción de una ampliación del relleno sanitario utilizando el método de trincheras el cual permite reducir el espacio para su realización e incrementando el tiempo de vida útil del sitio de emplazamiento. La trinchera o zanja generalmente puede tener de 2 o 3 metros de profundidad y se la realiza con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Luego de esto los residuos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para compactarlos y cubrirlos, el material de las excavaciones sirve como material de cobertura y para construir los terraplenes de circulación interna del relleno. Posteriormente se continúa con el método de área en la parte superior.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

En la siguiente tabla se detalla de una manera más precisa los criterios de selección, los cuales determinan que el método combinado es el correcto técnicamente para el relleno sanitario de Jipijapa. Según Román (2020) el método combinado genera una mayor versatilidad a la hora de diseñar y ejecutar rellenos sanitarios. No obstante, Villamil (2020) dice que los rellenos sanitarios ejecutados con el método combinado necesitan un dimensionamiento complementario a través del método Fukuoka.

**Tabla 6.** Cuadro de selección del método de trabajo

Características del sitio	Indicios de selección	Métodos recomendados	Selección
Condiciones Topográficas	Áreas planas o llanuras	Método de Área o trinchera	
	Área con pendientes hasta 10 %	Método de Área o trinchera	x
	Áreas con pendientes mayores a los 10 %	Método de trinchera	
	Depresiones naturales o artificiales	Método de Área	
Profundidad de capa freática	Profundidad > 6 metros	Método de trinchera	x
	Profundidad < 6 metros	Método de Área	
Permeabilidad de los suelos	$k < a \cdot 10^{-6}$ cm/seg	Método de trinchera	x
	$k > a \cdot 10^{-6}$ cm/seg	Método de Área	
Disponibilidad de material de préstamo para cobertura	Existe disponibilidad de material	Método de Área	x
	Existe Material de cobertura en sitios cercanos	Método de Área	
	No existe material de cobertura	Método de trinchera	

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

Las pendientes donde está el relleno sanitario tienen un rango entre el 5% y 10%. Esto indica que es un suelo ondulado y lo hace aceptable para un relleno. El estrato de suelo predominante en el lugar de estudio es el arcilloso. Y denota que tiene una permeabilidad baja siendo óptimo para emplear un método combinado. Los sondeos SPT realizados a 6 metros de profundidad no encontraron aguas subterráneas. Haciendo evidente que el nivel freático no afecta al relleno sanitario y según los resultados de la tabla 5 se puede iniciar la construcción con el método de trinchera. Los rellenos sanitarios son una buena alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y cuando están bien diseñados y son operados de manera adecuada generan grandes beneficios a la población y al medio ambiente.

## Conflictos de intereses



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

## Contribución de los autores

Conceptualización: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado, Francisco Segundo Ponce Reyes.

Curación de datos: Jesús Alberto Cerón Pinargote.

Análisis formal: Jesús Alberto Cerón Pinargote.

Investigación: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado.

Metodología: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado.

Software: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado.

Supervisión: Francisco Segundo Ponce Reyes.

Validación: Francisco Segundo Ponce Reyes.

Visualización: Jesús Alberto Cerón Pinargote.

Redacción – borrador original: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado, Francisco Segundo Ponce Reyes.

Redacción – revisión y edición: Jesús Alberto Cerón Pinargote, Jaime Adrián Peralta Delgado, Francisco Segundo Ponce Reyes.

## Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

## Referencias

- Armas, Y., & Yaselga, G. (2005). Estudio de la evaluación de impactos ambientales que genera la construcción del relleno sanitario de San Miguel de Ibarra, en el sector Las Tolas de Socapamba (Bachelor's thesis).
- Casagrande, A., & Fadum, R. E. (1940). Notes on soil testing for engineering purposes.
- Castañeda Arboleda, A., Ortiz López, S., & Correa Ochoa, A. A. (2016). Estrategias para Disminuir las Cargas de Residuos Sólidos Dispuestos en los Rellenos Sanitarios del Departamento de Antioquia Como Fomento de la Responsabilidad Socioambiental (Doctoral dissertation, Posgrado).
- Caruajulca Rubio, D. (2018). Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos y Diseño de Relleno Sanitario en el Distrito de Oyotún, Provincia de Chiclayo–Lambayeque.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)



- Carangui Game, A. D. C., & Celi Cueva, K. A. (2019). Estudio y Diseño Del Relleno Sanitario Alternativo Para El Cantón Marcelino Maridueña (Bachelor's thesis, Espol).
- Fabara, L. D. (2016). Propuesta de tratamiento de lixiviados: Relleno sanitario de la ciudad de Ambato. Ambato: Tapa Blanda.
- Gutiérrez Herrera, E. D. J., & Peinado Vallejos, H. A. (2013). Propuesta de diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos en la zona urbana del municipio de Telpaneca, departamento de Madriz (Doctoral dissertation, Universidad Centroamericana).
- Jaramillo, J. (2002). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 19-24.
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*, 25(8), 818-832.
- Lascano Martínez, F. P. (2020). Guía para el diseño construcción y operación de rellenos sanitarios manuales para poblaciones menores a 30.000 habitantes (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Ciencias de la Ingeniería y Gestión Ambiental).
- Morales Soto, S. E. (2014). Evaluación geológica ambiental para seleccionar el sitio de disposición final de los desechos sólidos de la parroquia Mene de Mauroa, estado Falcón (Doctoral dissertation, Tesis en opción al título académico de Máster en Geología. Mención Geología Ambiental).
- Ouyang, C., Zhou, K., Xu, Q., Yin, J., Peng, D., Wang, D., & Li, W. (2017). Dynamic analysis and numerical modeling of the 2015 catastrophic landslide of the construction waste landfill at Guangming, Shenzhen, China. *Landslides*, 14(2), 705-718.
- Roman Ruiz, W. M. (2020). Diseño de un relleno sanitario por el método combinado para la disposición final de los residuos sólidos, en el distrito de San José de Sisa, Provincia del Dorado y Región San Martín, 2018.
- UNESUM. (2019). Proyecto de vinculación "Optimización Técnica y Ambiental del Relleno Sanitario de Jipijapa, mediante un Sistema Integral de Residuos Sólidos (GIRS)". Jipijapa.
- Villamil Casallas, S. A. Optimización del dimensionamiento de un relleno sanitario convencional complementado con el método Fukuoka.

