

---

*Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual  
para una población de 5000 habitantes.*

*F. J. Montalván, María Loor, Luis Pérez, Paúl Carrión, Alamir Álvarez, Brenda Reyes,  
Gricelda Herrera.*

*Recibido: agosto 2017  
Aprobado: octubre 2017*

---

# Estabilidad de taludes para un diseño de un relleno sanitario manual para una población de 5000 habitantes.

## Stability of slopes for a design of a manual sanitary landfill for a population of 5000 inhabitants.

F. J. Montalván\*<sup>1,2</sup>, María Loor<sup>1</sup>, Luis Pérez<sup>1</sup>, Paúl Carrión<sup>2</sup>, Alamir Álvarez<sup>1</sup>, Brenda Reyes<sup>1</sup> y Gricelda Herrera<sup>1,2</sup>.

1. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Estatal Península de Santa Elena. Vía principal Santa Elena – La Libertad, La Libertad-Ecuador.
2. Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Km. 30.5 Vía perimetral, Guayaquil-Ecuador.  
[\\*fmontalvan@upse.edu.ec](mailto:fmontalvan@upse.edu.ec)

### Resumen

*El presente trabajo se llevó a cabo para el estudio de estabilidad de taludes de un relleno sanitario manual, en el cual se consideró una población de 5000 habitantes, en el que, las propiedades geomecánicas utilizadas fueron la cohesión, el ángulo de fricción y el peso específico, las cuales fueron introducidas al software Slide 5.0, mediante el método de Janbu. Las condiciones para el análisis, a las que el diseño del relleno estuvo sujeto fueron tanto estáticas como pseudoestáticas, incluyendo niveles de saturación en la capa de residuos; provocando que ocurra inestabilidad y fallas en la geometría de los taludes. El resultado obtenido con el análisis de estabilidad de taludes, es conocido como Factor de Seguridad (F.S.) el cual indica la ocurrencia o no de un tipo de falla que se puede presentar en el talud. Este resultado del análisis se basa en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 la cual se encuentra vigente en nuestro país, en la que se recomienda que para el diseño y construcción de las obras en contacto con el suelo se debe garantizar un comportamiento adecuado de las estructuras y preservar la vida humana.*

**Palabras clave:** relleno sanitario manual, estabilidad de taludes, factor de seguridad, slide.

### Abstract

*This work was carried out for the study of slope stability for a manual landfill, in which a population of 5000 inhabitants was considered, in which, the geomechanical properties used were cohesion, friction angle and specific weight, which were introduced to the software Slide 5.0, by the method of Janbu. The conditions for the analysis, to which the filler design was subjected, were both static and pseudo-static, including saturation levels in the residue layer; Causing instability and faults in the slope geometry. The conditions to which the landfill was subject were both static and pseudo static including saturation levels in the layer of waste; causing instability and failures of land in the geometry of the slopes. The result obtained with the analysis of slope stability, is known as Safety Factor (F.S.) which indicates the occurrence or not of a type of failure that can occur on the slope. This result of the analysis is based on the Ecuadorian Standard Construction 2011 which is in force in Ecuador, where it is recommended that for the design and construction of the projects in contact with the ground should ensure proper structures behavior and the preservation of human life.*

**Keywords:** manual landfill, slope stability, safety factor, slide.

## 1. Introducción

El relleno sanitario es el método de disposición final de los desechos más conocida y popular por ser eficiente, barato y de menores costos en inversiones que hay (Trejo Vázquez, 1994).

Países como Colombia y México tienen experiencia en diseños de rellenos sanitarios manuales que en base a normas europeas han adaptado a sus territorios y a sus condiciones de suelo, clima y topografía, es decir, que en Latinoamérica se ve un uso notorio de los rellenos sanitarios en las grandes ciudades y sus respectivas normas vigentes de cada país.

No obstante, el 27 de septiembre de 1997 el relleno sanitario de Doña Juana (zona II) en Bogotá – Colombia se derrumbó dejando a la intemperie más de un millón doscientas mil toneladas de residuos sólidos descompuestos y peligrosos que se esparcieron rápidamente en un área mayor a 15 hectáreas, taponando y represando el cauce del río Tunjuelito. Una nube de gases ofensivos, irritantes y tóxicos se levantó desde la basura y comenzó a esparcirse rápidamente por una extensa zona del suroriente de la ciudad. (Collazos, 1998).

En la provincia de Santa Elena, no existe un relleno sanitario adecuado para la disposición de los desechos que se generan en los tres cantones – Salinas, La Libertad y Santa Elena-, tampoco para las comunidades de la zona norte de la provincia. Esto implica que por parte de las autoridades responsables se debe llevar un control adecuado y un manejo responsable de la actividad de recolección, tratamiento y acopio de los desechos sólidos, tanto, orgánicos como inorgánicos. El relleno sanitario, es el método de disposición final de desechos sólidos más conocido y universal, debido a que es eficiente, y de menores costos en inversiones (Trejo Vázquez, 1994).

Los volúmenes de desechos de la comunidad de la provincia de Santa Elena son recolectados por los Municipios de cada cantón y que representa entre el 5 y 10% de su presupuesto, sumado a una falta de ordenamiento territorial de manejo sustentable y autónomo de los residuos sólidos domiciliarios, ha provocado una dependencia y falta de participación ciudadana. La autorregulación de la población es fundamental para un compromiso con el entorno y su futuro, se estima para el año 2020 un volumen de desechos domiciliarios al año de 3.337.200 toneladas (Orrala, 2012).

La estabilidad de los taludes de los rellenos sanitarios, depende de diferentes factores donde se encuentra emplazado el relleno sanitario, sistema de impermeabilización de la base, como de la cubierta, manejo de aguas de escorrentía provenientes de áreas externas, eficiencia de filtros y chimeneas, permeabilidad, resistencia interna de los desechos por su composición, producción de gases y lixiviados, la recirculación de lixiviados, el nivel freático, la sismicidad del sitio (De Matteis, 2003, Pradena, 2013)).

Una masa de suelo puede ceder, si posee una superficie inclinada, por lo que, existe el peligro de movimiento, debido a esfuerzos cortantes que inciden en la resistencia al corte del suelo. La falla circular ocurre normalmente cuando las partículas de desechos son muy pequeñas, comparadas con la dimensión del talud, y además, cuando estas partículas no están bloqueadas en cuanto a su estructura (Espinace, et al., 2000).

Cuando se producen deslizamientos en los rellenos sanitarios, pueden darse fisuras y grietas externas, lo cual ocasiona que los residuos queden expuestos, favoreciendo la infiltración de aguas superficiales, con lo cual se incrementa el desplazamiento, ocasionando que la estabilidad disminuya progresivamente. Existen deslizamientos se han producido por el propio peso debido a que el material de los desechos poseen menos densidad, que el de cobertura, tanto en las paredes horizontales como las inclinadas (Palma, 1995).

En el presente trabajo, se muestra la importancia de los aspectos geotécnicos relacionados con la estabilidad de taludes, durante la fase de operación y cierre de los rellenos sanitarios, considerando que el análisis al cual se ha realizado el estudio es para una población de 5000 habitantes, lo que corresponde a un relleno sanitario manual. El objetivo principal es el diseño de estabilización de taludes, y como objetivos secundarios: i) determinar los parámetros que influyen en la estabilidad de taludes, ii) analizar las relaciones geomecánicas de los parámetros de diseño para la estabilidad de taludes.

## 2. Materiales y métodos

Considerando la complejidad del problema, para analizar la capacidad portante, compresibilidad y estabilidad de los taludes en un relleno sanitario manual es necesario emplear una metodología

que nos permita alcanzar parámetros e información necesarios para determinar la estabilidad del relleno sanitario. Específicamente, se propone un procedimiento que evalúa las condiciones de estabilidad por medio de un factor de seguridad, a partir del análisis de sus parámetros resistentes y su condición mecánica, utilizando métodos geotécnicos tradicionales (Díaz, 1998).

Para asegurar la estabilidad de los taludes finales de las celdas de desechos, se debe realizar iniciando el proyecto, el procesamiento e interpretación de la información existente y una serie de ensayos de campo y laboratorio apropiados para definir los parámetros geotécnicos, tanto del terreno natural, como de los desechos dispuestos en la zona (Kockelman, 1986).

Dentro del conjunto de métodos y técnicas que usaremos durante el proceso investigativo, es decir, dentro de la actividad que se orienta a obtener nuevos conocimientos para la solución del problema, se lo realiza mediante las siguientes fases:

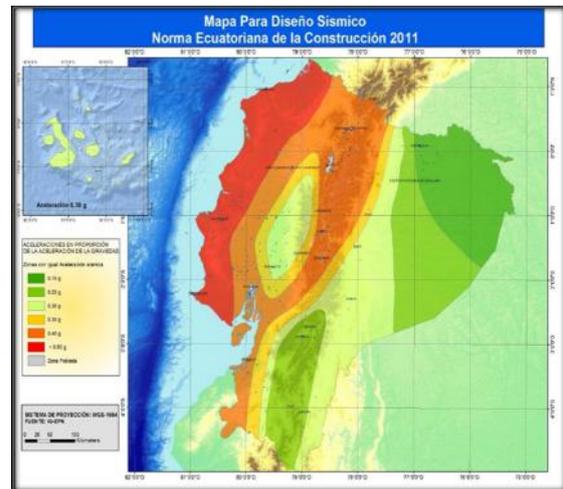
- **Recopilación de datos:** Comprende en la consulta de estudios anteriores y actuales del diseño de relleno sanitario manual relativos a parámetros resistentes.
- **Topografía:** Se cuenta con la topografía existente del sector en escala 1:100.
- **Determinación de parámetros geomecánicos:** Consiste en los parámetros geomecánicos de cohesión, densidad y ángulo de fricción.
- **Determinación de perfiles críticos:** Selección de perfiles que se encuentran propensos a que fallen.
- **Diseño de la estabilidad de taludes de un relleno sanitario manual:** Mediante el programa especializado SLIDE, el cual es un software de análisis de estabilidad de taludes más completo del que se dispone, por el método de elementos finitos, para el análisis del macizo rocoso con presencia de aguas subterráneas, filtraciones, taludes, terraplenes, diques de tierra y muros de contención (Manual de Ingeniería de

taludes del Instituto de Geominero de España, 1987, Roben, 2002).

- **Interpretación de los datos:** Abarca la aplicación de procedimientos estadísticos para analizar datos específicos obtenidos del proyecto de investigación.

El factor de seguridad (FS), se la determinó por medio del método de Janbu simplificado, en el cual se considera que el esfuerzo en las paredes es solo horizontales, con lo que el análisis de la superficie no está limitada a fallas circulares.

El análisis de la estabilidad comprende dos situaciones, estática y pseuestática, en la cual la primera se considera que la aceleración de la gravedad no interviene, mientras que en la segunda se realiza un análisis con aceleración de la gravedad de 0.23 y 0.30 g.



**Figura 1:** Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.

**Fuente:** Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011

Estos valores se definen a partir de lo estipulado en la sección 2.9 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción - Capítulo 2, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente, en la que se determina el factor Z, la cual depende de la zona sísmica (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011). En la cual la zona de la provincia de Santa Elena se encuentra en la zona VI, con lo que corresponde a valores del factor Z mayores a 0.5, lo que indica una zona altamente sísmica (Fig. 1, Tabla 1).

**Tabla 1:** Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Inter-mediana	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

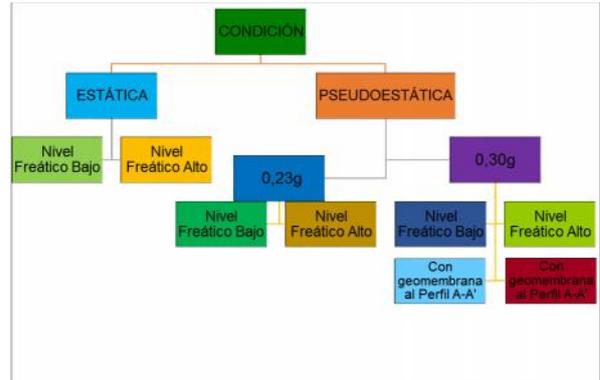
**Fuente:** Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011

Las Normas Ecuatorianas NEC-11 actualmente vigentes, señalan que para efectos de los análisis pseudoestáticos, se debe considerar un valor del 60% de la aceleración crítica (según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 9 “Geotecnia y Cimentaciones”- Pág. 14), con lo que, para las condiciones de análisis pseudoestáticos se debe considerar una aceleración de cálculo de 0.30g (60% de 0.50g).

A partir de esta aceleración crítica (0.30g) se recomienda tomar un amortiguamiento de los fenómenos de vibración (afectación sísmica) que se producen. Este amortiguamiento puede oscilar entre un 10% y un 20%. (EC8 Part 1, 2003). Según el informe sobre análisis de estabilidad en Doña Juana (González, 2007) y en el informe IHS presentado al Municipio de Guayaquil (2013), para el Proyecto Ampliación del Relleno Sanitario “Las Iguanas”, se plantea que el amortiguamiento de un 15% es el mínimo, que debe ser considerado en el caso de residuos sólidos.

En el presente análisis, para alcanzar una mejor apreciación de todos los posibles valores y condiciones según las normas, se ha considerado, que la aceleración crítica se reducirá en un 15% por amortiguamiento, es decir, (45% de 0,5g) que como resultado obtenemos 0,225g, que para efectos de ingreso al software, se estableció el valor de 0,23g, obteniendo así, más valores de factor de seguridad para el análisis de los perfiles considerados en el proyecto.

En ambas situaciones, se ha considerado el nivel freático, como un parámetro importante para la estabilidad. En la figura 1, se presentan las situaciones con las que se han realizado el análisis de estabilidad del relleno sanitario.



**Figura 2:** Esquema de las situaciones utilizadas en las corridas, para determinación del FS del relleno sanitario

### 3. Resultados

Se analizaron cuatro perfiles longitudinales que son: Perfil A-A', Perfil B-B', Perfil C-C', Perfil E-E' y cuatro perfiles transversales que son: Perfil 1-1', Perfil 2-2', Perfil 3-3', Perfil 4-4' con el fin de contemplar todas las situaciones de inestabilidad que se pudieran desarrollar dentro del relleno. La ubicación de los perfiles se señala en la Figura 3.

Para las corridas son utilizados los siguientes parámetros geotécnicos que se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Parámetros geotécnicos considerados en los cálculos de los perfiles

Materiales	Cohesión (KPa)	Phi (°)	Peso Especifico (KN/m <sup>3</sup> )	Agua
Estrato Limo-Arenoso	58	31	17	Se consideraron 2 condiciones. N. Freático Bajo a 25% capa de desechos, y N. Freático alto a 50% capa de desechos
Desechos	22	17	7	
Dique	32	30	17	

Adicionalmente, se realizaron corridas, considerando que la geomembrana se deslice ocasionando que la estabilidad falle, para el talud más crítico dentro del análisis, que resultó ser el perfil A-A' del relleno. Las propiedades de los materiales para esta situación, se resumen en la tabla 3.

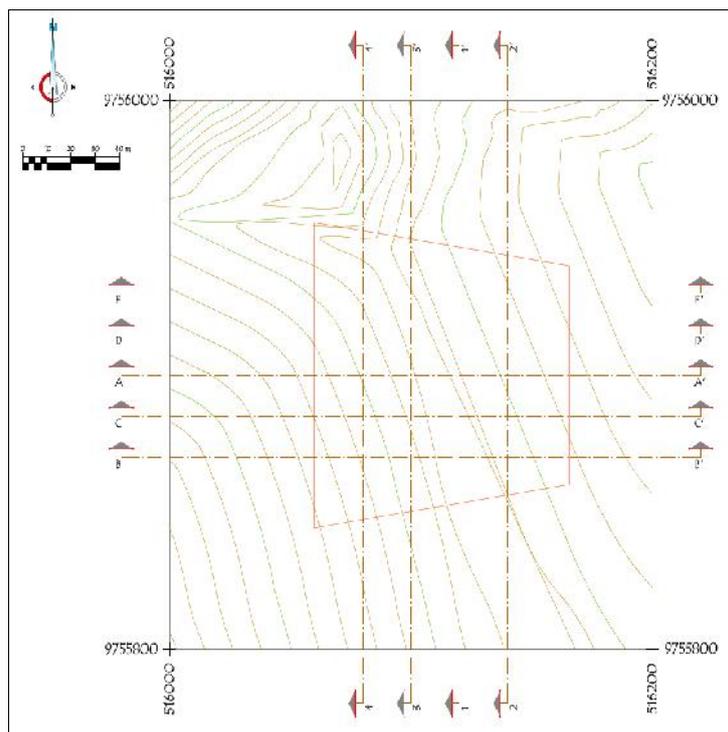


Figura 3: Cortes transversales y longitudinales del relleno sanitario.

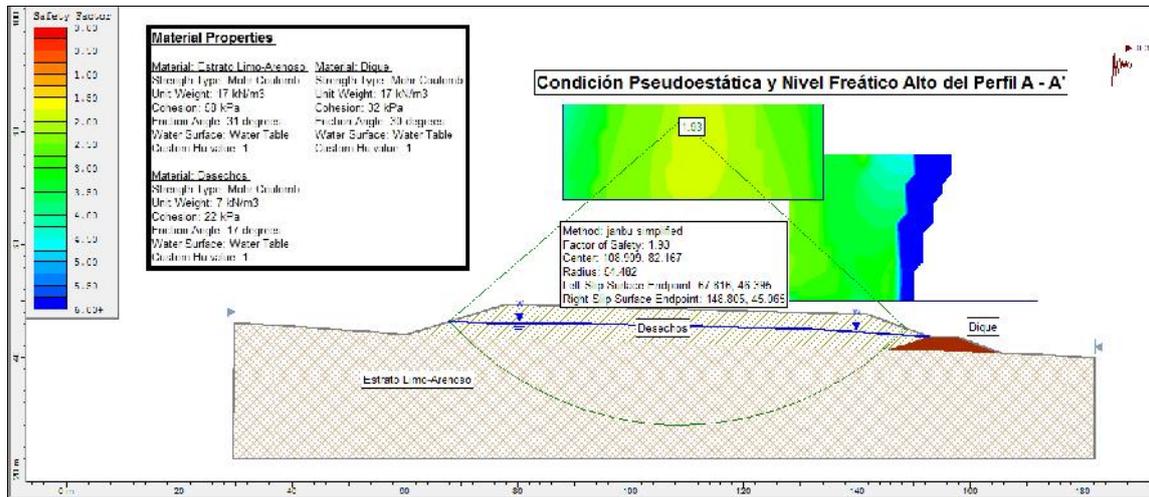
Tabla 3: Parámetros geotécnicos considerados en los cálculos de los perfiles considerando geomembrana

Materiales	Cohesión (KPa)	Phi (°)	Peso Especifico (KN/m <sup>3</sup> )	Agua
Estrato Limo-Arenoso	58	31	17	Se consideraron 2 condiciones. N. Freático Bajo a 25% capa de desechos, y N. Freático alto a 50% capa de desechos
Desechos	22	11	7	
Dique	32	30	17	

En la tabla 1, se muestran los valores de factor de seguridad obtenidos por el software Slide 5.0 al momento de hacer las corridas bajo condición estática y condición pseudoestática, considerando que en nuestra zona el factor Z de la aceleración sísmica es el 60% de 0,5g (según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo 9 “Geotecnia y Cimentaciones”) y bajo amortiguamiento de los fenómenos de vibración es el 45% de 0,5g (EC8 Part 1, 2003).

Tabla 4: Valores de factor de seguridad de los taludes

Perfiles	Factor de Seguridad (F.S)					
	Condición Estática		Condición Pseudoestática			
	N.F. Bajo	N.F. Alto	0.23g		0.30g	
	N.F. Bajo	N.F. Alto	N.F. Bajo	N.F. Alto	N.F. Bajo	N.F. Alto
A – A'	9.07	6.65	2.61	2.44	2.06	1.93
B – B'	20.10	18.20	3.25	2.48	2.57	1.97
C – C'	9.65	7.00	2.53	2.35	2.01	1.87
E – E'	20.16	18.52	3.18	2.49	2.51	1.97
1 – 1'	10.73	7.68	3.66	3.12	3.01	2.63
2 – 2'	10.58	7.57	3.49	3.17	2.70	2.46
3 – 3'	11.06	8.98	5.01	3.11	4.03	2.57
4 – 4'	9.66	7.42	4.68	2.95	3.71	2.29
*A – A'	-	-	-	-	2.06	1.92



**Figura 4:** Condición Pseudoestática y Nivel Freático Alto del Perfil A – A’.

Los resultados en condición de análisis estático, presentan valores altos de F.S, notando que en los perfiles críticos analizados no se producen condiciones de inestabilidad, siendo el perfil A-A’ el que presenta menor F.S. (6.65) con una grado de saturación de la capa de residuos del 50%, mientras que el análisis para un grado de saturación del 25% un F.S. de 9.07. El perfil E-E’, el cual presenta los valores más altos de F.S., siendo 18.52 con 50% y 20.16 con 25% de saturación.

En la condición pseudoestática, los resultados del análisis con aceleración sísmica de 0.23g y grado de saturación del 50%, el perfil crítico que presentó el menor F.S. fue el perfil C-C’ con un valor de 2.35, mientras que el perfil que presentó mayor estabilidad fue el perfil 2-2’ con un valor de 3.17.

Los resultados del análisis de la condición pseudoestática con aceleración sísmica de 0.30g y saturación del 50%, el perfil C-C’ es el que presentó el menor F.S. con un valor de 1.87, por el contrario el que presentó menor F.S. fue el perfil 1-1’ con un valor de 2.57.

El resumen de los resultados de las diferentes corridas se detalla en la tabla 4.

## 4. Conclusiones

El diseño para la estabilidad de taludes del “Relleno Sanitario Manual para una población de 5000 habitantes” desarrollado en el presente trabajo, el cual se enfoca en obtener el criterio de seguridad, posee un funcionamiento adecuado a razón de los resultados obtenidos y analizados por el software Slide 5.0, estos

fueron confiables para determinar si el talud es estable o no es estable, teniendo como base los parámetros geomecánicos de cohesión, ángulo de fricción y peso específico.

Comparando los resultados entre las tres condiciones (estática, pseudoestática y nivel freático) que se plantearon para el “Relleno Sanitario Manual”, los resultados obtenidos nos indican, que no hay posibilidad de falla en los taludes, siendo así, que las presiones de poros que son las que más influyen contra la estabilidad del relleno -las cuales podrían provocar una disminución de los parámetros mecánicos-, estos no causan inestabilidad sobre las superficies de deslizamiento, por lo cual se puede concluir que la geometría que se propone está dentro de los rangos acordes a que no falle la estabilidad.

Al hacer variar el ángulo de fricción, con el cual simulamos que la geomembrana se deslice en el relleno, manteniendo los demás valores geomecánicos y los niveles freáticos presentes, se observa que el factor de seguridad no se redujo notablemente, con lo que se podría tener una estimación, de que el criterio adoptado y asumido en el diseño de este “Relleno Sanitario Manual” es favorable y confiable en lo relacionado a la estabilidad.

Los resultados obtenidos en este trabajo son muy aceptables en base al método de Janbu utilizado para determinar la estabilidad, no se encontró que afectara al valor de factor de seguridad (F.S.), por lo que, los criterios para el diseño del relleno, cumplen con las normativas vigentes, con lo cual, se puede concluir que el diseño realizado es estable durante la vida útil del mismo.

## 5. Agradecimiento

Al Centro de Investigación y Proyectos aplicados a las Ciencias de la Tierra (CIPAT-ESPOL), por la logística prestada para la elaboración de este trabajo.

## 6. Referencias

1. Anon, (2017). [online] Available at: <http://www.cimeg.org.ec/normasne/NEC2011-CAP.9geotecnia%20y%20cimentaciones-021412.pdf> [Accessed 13 Jul. 2017].
2. Collazos Peñaloza, H. (1998, October). Deslizamiento de basura en el relleno sanitario Doña Juana. In Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26. OPS.
3. Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Decreto Ejecutivo N° 705. Capítulo 2. Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente.
4. De Matteis, A. (2003). Geología y geotecnia. Tema: Estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
5. Díaz, J. S. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de Suelos.
6. EC8 Part 1 (2003). Design of structures for earthquake resistance, covers general rules seismic actions and rules for buildings CEN European Committee for Standardization, ENV 1998-5, 50 p.
7. Espinace, R. A., Palma, J., & Szanto, M. (2000). La Geotecnia Ambiental Aplicada a los Vertederos sanitarios. Curso XX: Vertederos Controlados de Residuos Sólidos Urbanos: Una Perspectiva Internacional. Suances, España.
8. González, A. (2007). Optimización del relleno sanitario Doña Juana - ZVIII - Z7A1 - Fase I. Análisis de estabilidad para prefactibilidad. Memorando Proac-DNJ-180. Bogotá.
9. IHS (2013). Análisis de estabilidad de los sectores A y C del relleno Sanitario de Guayaquil. Anexo al reporte técnico final.
10. Kockelman, W.J. (1986) "Some techniques for reducing landslide hazards". Bulletin of the Association of Engineering Geologists, Vol. 23, No. 1, pp. 29-52.
11. Manual de Ingeniería Taludes (1987) Instituto Geólogo Minero de España. España.
12. Orrala Montes, S. L. (2012). Plan Estratégico para la empresa municipal de recolección, transporte, tratamiento de desechos sólidos, de aseo y limpieza EMASA-EP del cantón Santa Elena, 2011-2016. Tesis de grado Universidad Estatal Península de Santa Elena.
13. Palma, J.H. (1995). Comportamiento geotécnico de vertederos controlados de residuos sólidos urbanos. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Cantabria, Santander, España.
14. Pradena, I. A (2013). Metodología de diseño de estabilidad de taludes para rellenos sanitarios de residuos sólidos urbanos. Universidad del Bío Bío, tesis de grado, 58 p.
15. Roben, E. (2002). Diseño, construcción, operación y cierre de rellenos sanitarios municipales. Municipalidad de Loja. Ecuador.
16. Trejo Vázquez, R. (1994). Procesamiento de la basura urbana. Capítulo 4, Recuperación de materiales. D.F., Col. Xoco: Trillas, pp. 164-167.