

Tipo de artículo: Artículo original

Inteligencia computacional para el diagnóstico de las propiedades geotécnicas del suelo en el relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa

Computational intelligence for the diagnosis of the geotechnical properties of the soil in the sanitary landfill of the city of Jipijapa

Félix Steven Silva Orozco^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-1886-163X>

Denny Augusto Cobos Lucio² , <https://orcid.org/0000-0003-2094-9689>

Eduardo Eutiquio Díaz García³ , <https://orcid.org/0000-0002-4049-7707>

¹ Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador. silva-felix7226@unesum.edu.ec

² Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

³ Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Estatal del Sur de Manabí, UNESUM, Jipijapa, Manabí, Ecuador.

* Autor para correspondencia: silva-felix7226@unesum.edu.ec

Resumen

El análisis de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo, existente en el relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa, permitió obtener como resultado conocer las características y el comportamiento del suelo existente en la zona, además de comprobar si el suelo cumple con lo necesario para alojar esta clase de relleno sanitario. Para el análisis de estos resultados se realizó la exploración del subsuelo, mediante el ensayo de penetración estándar (SPT), basado en la norma técnica del Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN 689, el cual consistió en realizar 3 sondeos a 6 metros de profundidad en diferentes puntos, tomándose 18 muestras de suelo para su posterior análisis de laboratorio. Se analizaron las muestras realizando ensayos de granulometría, límites de consistencia para su posterior clasificación. Una vez realizado el análisis, se pudo conocer que el sitio estudiado cuenta con un suelo adecuado para alojar este relleno sanitario, con características de suelos de plasticidad media a elevada, con presencia de humedad natural, generando así una baja permeabilidad, reduciendo considerablemente la contaminación del subsuelo.

Palabras clave: Subsuelo; sondeos; granulometría; consistencia; plasticidad; permeabilidad.

Abstract

The analysis of the physical, mechanical and hydraulic ground properties, existing in the sanitary landfill in the Jipijapa city, allowed to obtain as a result to know the characteristics and behavior of the existing ground in the area, in addition to checking if the soil complies with the necessary to host this kind of landfill. To análisis these results, the subsoil exploration was carried out, using the standard penetration test (SPT), based on the technical standard of the Ecuadorian Institute of Standardization - INEN 689, which performing consisted in 3 soundings at 6 meters depth in different points, taking 18 soil samples for subsequent laboratory analysis. The samples were analyzed by granulometry tests essays, consistency limits for their subsequent classification. Once was carried out the analysis, it was possible to know that the studied site has adequate soil to host this



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

sanitary landfill, with characteristics of soils of medium to high plasticity, with the presence of natural humidity, thus generating low permeability, considerably reducing pollution of the subsoil.

Keywords: Subsoil; boreholes; granulometry; consistency; plasticity; permeability.

Recibido: 01/12/2021
Aceptado: 12/01/2021

Introducción

Con el paso del tiempo la construcción de rellenos sanitarios se ha vuelto indispensable en las poblaciones, ya que esta cumple la función de alojar y tratar residuos orgánicos e inorgánicos que pueden alterar o destruir un ecosistema, el objetivo principal de todo relleno es el de almacenar la basura en áreas o terrenos grandes lejos de las ciudades para su posterior tratamiento (SEMARNAT, 2016).

El relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa se encuentra localizado a 2,5 kilómetros de la ciudad, en el borde derecho de la vía a la ciudad de Guayaquil, en un área correspondiente a 25 hectáreas, en las coordenadas Este 547335.00 m E y Norte 9846792.30 m S.



Figura 1. Localización del relleno sanitario
Fuente: Google Maps

Con doce años desde su construcción, el relleno sanitario de Jipijapa cumple su ciclo de utilidad en el 2023, para lo cual el análisis del suelo se vuelve algo importante, pudiendo ayudar en futuras planificaciones y alternativas de



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

recuperación de áreas dentro de la zona de estudio, además que permitirá a la población conocer las características que debe tener un suelo para albergar un relleno sanitario.

Para construir un relleno sanitario hay que tener en cuenta que se debe impedir la contaminación del medio ambiente, evitando la alteración de las aguas subterráneas o superficiales existentes en el medio, para ello la construcción de estos vertederos se lo realiza en lugares donde existe suelo de alta plasticidad con una permeabilidad baja y con materiales aislantes adecuados. (Rivera, 2011)

Características principales que debe tener un sitio, para alojar un relleno sanitario (Navarrete, 2003):

- Suelo impermeable
- Suficiente material de cobertura
- Encontrarse lejos de zonas de inundación
- Encontrarse fuera del perímetro urbano
- Encontrarse lejos de fallas geológicas

La presente investigación permite realizar un diagnóstico de los varios ensayos realizados al suelo del relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa, mediante la extracción de muestras obtenidas con el ensayo de penetración estándar SPT, el cual ayudará a conocer y comprender el tipo de suelo, límites de consistencia, y conceptos relacionados con permeabilidad y humedad de los suelos existentes en el vertedero.

Materiales y métodos

Para realizar el respectivo diagnóstico de suelo del relleno sanitario, se obtuvo datos mediante el Ensayo de Penetración Estándar SPT, basándose en la norma técnica del Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN 689, la cual hace referencia a la Asociación Americana de Ensayos de materiales – American Society of Testing Materials - ASTM D1586. Realizándose así tres sondeos en diferentes coordenadas, de las cuales se obtuvo seis muestras por cada exploración.

Mediante la obtención de muestras se pudo realizar ensayos de granulometría y límites de consistencia, para su posterior clasificación, además de constatar características del suelo mediante correlaciones y criterios basados en los estudios de Terzaghi K. y Peck R.

Ensayo de Penetración Estándar SPT



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

Es un ensayo dinámico utilizado para obtener de manera indirecta el estado de resistencia de un suelo, el cual consiste en realizar perforaciones, para así contabilizar la cantidad de golpes ejercidas por una masa que cae de una altura establecida, generando que se hunda un muestreador determinada profundidad, procedimiento establecido en la norma NTE INEN 0689 (1982). Además mediante el mismo se obtienen muestras inalteradas de suelos, para determinar mediante ensayos de laboratorio sus características geotécnicas.

Para determinar los límites de Atterberg se basó en la norma técnica INEN 691-692 y ASTM D-4318.

Los estados de consistencia, determinantes en la conducta en los suelos finos, varían dependiendo de su entorno, ubicación, composición y la cantidad de humedad que contengan, generando una variación entre sus estados, como lo muestra la figura 2.

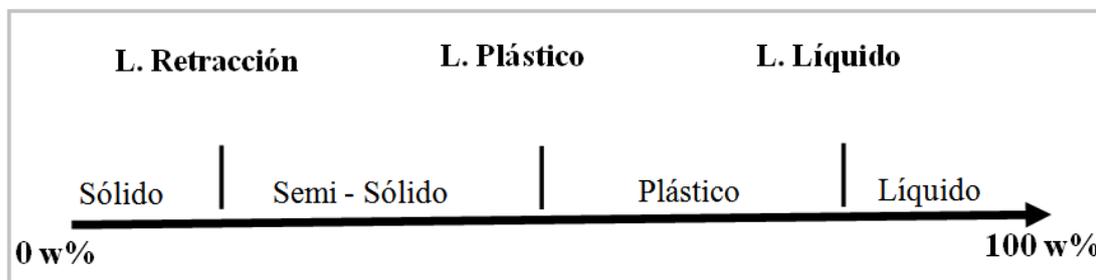


Figura 2. Representaciones de límites de Atterberg
Fuente: (Puy Santín, 2005)

Para la determinación del límite líquido por medio del ensayo de casa grande, se obtiene determinada muestra de suelo que pase por el tamiz número 40 para su posterior secado.

En si el ensayo se basa en aplicar cierto contenido de agua para formar una pasta de suelo, la cual es aplicada en la cuchara de Casa Grande mediante la utilización de una espátula, la pasta en la cuchara debe quedar enrazada y a un centímetro de profundidad, para su posterior separación en dos secciones en el centro de la masa, utilizando el ranurador. Luego se procede a girar la manivela de la Casa Grande, provocando golpear la cuchara con la base, se realiza este proceso con tres diferentes cantidades de agua procurando unir las dos secciones a los 25 golpes, se toma muestra de las tres pastas que más se aproximaron a unir a los 25 golpes, las cuales son pesadas obteniéndose así el peso húmedo, luego son llevadas al horno a $105 \pm 5 \text{ C}^\circ$, hasta que estén completamente seca obteniéndose así el peso seco, pudiéndose calcular con esto el contenido de humedad.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 W_w = W_h - W_s \quad (1)$$

Donde:



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

ω = Humedad natural

W_w = Peso de agua

W_s = Peso seco

W_h = Peso humedo

El límite plástico es uno de los parámetros medidos de la prueba de límites de Atterberg, se utiliza para diferenciar los estados de consistencia de partículas más finas en el material del suelo. Si están presentes partículas más gruesas (arena gruesa, grava, cantos rodados), las partículas más finas actúan como matriz y pueden regir el comportamiento de la masa del suelo. El límite plástico es el contenido de agua en el que una pasta de agua de suelo cambia de una consistencia semisólida a plástica (Keaton JR, 2018).

Para medir la consistencia del suelo se utiliza una muestra de suelo pasada por el tamiz número 40, el cual consiste en aplicar agua al suelo formando una pasta semidura, formando rollitos de tres milímetros de diámetro sobre un vidrio, tomándose así tres muestra con diferentes cantidad de humedad una vez que este comience a fisurarse.

$$\text{limiteplástico} = \frac{\text{peso de agua}(W_w)}{\text{peso seco al horno}(W_s)} * 100 \quad (2)$$

Índice de plasticidad: Propio los suelos finos y plásticos, determinada a partir de la resta entre el valor del límite líquido y el límite plástico de una muestra de suelo.

$$\text{Índice de plasticidad} = \text{límite líquido} - \text{límite plástico} \quad (3)$$

Humedad natural: Se refiere a humedad natural al contenido de agua que tiene un suelo sin alterar. Para su determinación se la obtiene separando cierta cantidad de muestra de suelo perteneciente a cada sondeo, las muestras se pesan húmedas y luego son llevadas al horno a unos 105 ± 5 C°, una vez seco se vuelve a pesar obteniendo así el peso seco.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad W_w = W_h - W_s \quad (4)$$

Métodos para determinar la Clasificación del suelo

Tras la obtención de muestras mediante el ensayo de penetración estándar SPT, se puede determinar la granulometría aplicando la norma ASTM D-422, la cual muestra la metodología para tamizar el suelo por una serie de tamices, para así conocer los porcentajes de suelos que pasan por cada uno de ellos.

Tabla 1. Numeración y abertura de tamices

Tamiz (ASTM)	Diámetro (mm)	Tipo de suelo
--------------	---------------	---------------



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

3"	76,12	Grava
2"	50,80	
1 1/2"	38,10	
1"	25,40	
3/4"	19,05	
3/8"	9,52	
Nº 4	4,76	
Nº 10	2,00	Arena gruesa
Nº 20	0,84	Arena media
Nº 40	0,42	
Nº 60	0,25	Arena fina
Nº 140	0,105	
Nº 200	0,074	
Pasa 200		Limos y arcillas

Fuente. (Manual de laboratorio, s.f.)

Clasificación ASTM (SUCS): Esta clasificación toma en cuenta datos obtenidos de los ensayos granulométricos y de consistencia del suelo estudiado, en si divide las muestras obtenidas en suelo de grano grueso, suelos de grano fino y suelos de estructura orgánica.

Los suelos de grano grueso se caracterizan por estar constituidos por gravas y arenas, comprobándose así en la granulometría, en donde si más del 50% del suelo es retenido por el tamiz Nº 200 se trataría de suelo de grano grueso, caso contrario si el 50% o más pasa el tamiz 200 se trataría de un suelo de grano fino, demostrado en la figura 3.



Clasificación de la ASTM (SUCS)					
DIVISION PRINCIPALES		SÍMBOLO DEL GRUPO	DENOMINACION TIPICA	CRITERIOS DE CLASIFICACION	
SUELO DE GRANO GRUESO MAS DEL 50 % ES RETENIDO EN EL TAMIZ N° 200	GRAVAS 50% MAS DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ N° 4	GW	Gravas y mezclas grava-arena bien graduadas, con poco finos o sin finos	Clasificación basada en el porcentaje de finos que pasa por el tamiz n° 200 (6,000 UME) Menos de 5%: GW,GP,SW,SP Mas del 12%: GM,GC,SM,SC Del 5 al 12%: casos intermedios que requieren el uso de doble simbolo	
		GP	Gravas y mezclas grava-arena mal graduadas, con poco finos o sin finos		
		GM	Gravas limosas,mezclas grava-arena-limos		
		GC	Gravas arcillosas,mezclas grava-arena-arcillas		
	ARENAS MAS DEL 50% DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ N° 4	GRAVAS LIMPIAS	SW		Arenas y arenas con gravas bien graduadas, con poco finos o sin finos
			SP		Arenas y arenas con gravas mal graduadas, con poco finos o sin finos
		ARENAS CON FINOS	SM		Arenas limosas,mezclas de arena y limo
			SC		Arenas arcillosas,mezclas de arena y arcilla
			$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultaneamente las dos condiciones para GW		
			Debajo de la línea A IP < 4 Por encima de la línea A Los casos intermedios requieren doble simbolo		
$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} D_{60}}$ entre 1 y 3 Cuando no se cumplen simultaneamente las dos condiciones para SW					
Debajo de la línea A IP < 4 Por encima de la línea A Los casos intermedios requieren doble simbolo					
SUELO DE GRANO FINO 50 % MAS PASA POR EL TAMIZ N° 200	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO IGUAL O MENOR QUE 50	ML	Limos inorganicos, arenas muy finas polvo de roca, arenas finas limos o arcillas		
		CL	Arcillas inorganicos de plasticidad bajo o medio, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas		
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
	LIMOS Y ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	MH	Limos inorganicos arenas finas o limos con mica o diazonas limos elasticos		
		CH	Arcillas inorganicas de elevada plasticidad		
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada		
		GRAFICO DE PLASTICIDAD para la clasificación de suelos de grano fino y de la fracción fina de los suelos de grano grueso			
ECUACION DE LA LINEA A $IP = 0.73(LL - 20)$ Los casos intermedios requieren doble simbolo					
Facilmente identificables por la presencia de raices, hojas y materia vegetal fibrosa en descomposición, así como su color marrón oscuro o negro su olor y su tacto suave y esponjoso					
SUELOS DE ESTRUCTURA ORGANICA		PT	turbas, longos y otros suelos de alto contenido organico		

Figura 3. Tabla de clasificación de suelos ASTM (SUCS).
 Fuente: (Badillo, 2012)

Correlaciones SPT para suelos cohesivos: Mediante el ensayo de penetración estándar se pueden conocer propiedades de los suelos a partir de correlaciones realizadas en laboratorios, que se basan en el número de golpes ejercidos mediante SPT, para así conocer valores como la consistencia, densidad saturada y su resistencia a la compresión simple, resultados establecidos en los estudio de Terzaghi & Peck 1955 y Hunt 1984 que se muestran a continuación.



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

Consistencia	N	Identificación manual	γ_{sat} g/cm ³	q_u (kg/cm ²)
Dura	>30	Se marca difícilmente	>2.0	>4.0
Muy rígida	15 30	Se marca con la uña del pulgar	2.08 2.24	2.0-4.0
Rígida	8 15	Se marca con el pulgar	1.92 2.08	1.0-2.0
Media	4-8	Moldeable bajo presiones fuertes	1.76 1.92	0.5-1.0
Blanda	2-4	Moldeable bajo presiones débiles	1.60 1.76	0.25-0.5
Muy blanda	<2	Se deshace entre los dedos	1.44 1.60	0-0.25

Figura 4. Correlaciones SPT, propiedades de suelos arcillosos según Terzaghi - Peck 1955 y Hunt 1984

Resultados y discusión

Se realizaron tres sondeos insitu mediante el ensayo de penetración estándar SPT, martillo modelo safety en diferentes puntos dentro del relleno sanitario, analizándose así 18 tipos de muestras, cuyas características principales muestran que se trata de un suelo de grano fino, con presencia de limos y arcillas de plasticidad alta a media, lo cual provoca que las partículas finas del suelo generen alta compresibilidad y baja permeabilidad en el mismo.

Al obtener muestras del suelo del relleno sanitario, mediante el ensayo de SPT, se determinaron las características básicas del suelo, realizando diferentes ensayos que se mostraran a continuación.

Tabla 2. Número de golpes corregido de ensayo de penetración estándar SPT.

Profundidad (m)	Número SPT		
	Sondeo 1	Sondeo 2	Sondeo 3
0.55 – 1.00	6	9.5	8
1.55 – 2.00	3.5	16	12
2.55 – 3.00	10	22	10
3.55 – 4.00	11	21	11
4.55 – 5.00	12	20	10
5.55 – 6.00	17	27	13

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

Humedad Natural



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

Se utiliza la norma INEN 690 y ASTM D 2216. De los datos obtenidos se puede afirmar que el contenido de humedad del suelo varía con respecto a la profundidad de muestra y el área de donde se extrajo la misma. A continuación se muestra las humedades promedio, referentes a los tres sondeos realizados en el relleno sanitario.

Tabla 3. Resultados, porcentajes de humedad.

MUESTRA	M1	M2	M3	M4	M5	M6
SONDEO 1						
% Humedad	33	34,82	31,76	30,42	32,29	27,19
SONDEO 2						
% Humedad	22,73	22,92	24,24	25,35	19,53	15,75
SONDEO 3						
% Humedad	31,80	42,08	35,07	40,89	34,77	30,61

Fuente Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

Al analizar las muestras del sondeo 1, 2 y 3, mediante los límites de Atterberg, se puede determinar que se trata de un suelo fino, al presentar límites líquidos ≥ 50 e índices de plasticidad ≥ 15 en su mayoría, como se puede apreciar en la (Tabla 4). Por lo tanto se puede tratar de suelos limosos y arcillosos pertenecientes a grupos como ML, OL, CL, CH, MH y OH.

Se evidencia en la tabla 4 que el suelo del relleno sanitario de la ciudad de Jipijapa es de alta plasticidad, al tener un límite líquido mayor a 50, esto nos quiere decir que tiene un gran contenido de partículas finas, que pueden que ejerce gran influencia en la compresibilidad del suelo, la presencia de estas partículas pequeña provoca que nuestro suelo al tener contacto con el agua presente características como una baja permeabilidad.

Tabla 4. Límites de consistencia

Muestra	Profundidad (m)	Límite líquido %	Límite plástico %	Índice de plasticidad	Humedad natural %
Sondeo 1					
S1 M1	0,55 – 1,00	67,98	30,82	37,16	33,00
S1 M2	1,55 – 2,00	71,41	29,78	41,63	34,82
S1 M3	2,55 – 3,00	81,54	33,80	47,74	31,76
S1 M4	3,50 – 4,00	81,93	33,49	48,44	30,42
S1 M5	4,55 – 5,00	70,58	53,14	17,44	32,29
S1 M6	5,55 – 6,00	74,93	40,78	34,15	27,19
Sondeo 2					
S2 M1	0,55 – 1,00	69,40	37,04	32,36	22,73
S2 M2	1,55 – 2,00	75,45	32,89	42,56	22,92
S2 M3	2,55 – 3,00	73,83	31,68	42,15	24,24
S2 M4	3,50 – 4,00	86,45	67,03	19,42	25,35
S2 M5	4,55 – 5,00	89,12	47,24	41,88	19,53
S2 M6	5,55 – 6,00	83,81	32,96	50,85	15,75
Sondeo 3					



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

S3 M1	0,55 – 1,00	72,62	33,02	39,60	31,80
S3 M2	1,55 – 2,00	85,86	40,58	45,28	42,08
S3 M3	2,55 – 3,00	83,39	27,47	55,92	35,07
S3 M4	3,50 – 4,00	79,40	32,48	46,92	40,89
S3 M5	4,55 – 5,00	51,24	29,78	21,46	34,77
S3 M6	5,55 – 6,00	46,17	22,99	23,18	30,61

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

Clasificación de Suelo

Granulometría: Para el análisis granulométrico se basó en las normas técnicas INEN 696 y ASTM D-422. Se examinaron 18 muestras correspondientes a los tres sondeos, con el cual se pudo conocer el tamaño, su constitución y distribución de las partículas del suelo existente en el relleno sanitario.

Mediante el ensayo de granulometría se observa que la distribución y los tamaños de las partículas del suelo de los diferentes lugares donde se extrajeron las muestra presentan similitudes, como se lo puede apreciar en las curvas granulométricas, las cuales nos indican que nuestro suelo no presenta gravas, las arenas existentes en las muestras representan un porcentaje sumamente pequeño en comparación con los que pasan por el tamiz N 200 de 0,074 mm de diámetro, siendo así limos y arcillas los que prevalecen en las muestras.

Tabla 5. Porcentajes de suelos que pasan por la serie de tamices.

SONDEO 1							
Granulometría %							
Tamiz	Diámetro (mm)	S1 M1	S1 M2	S1 M3	S1 M4	S1 M5	S1 M6
3"	76,200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2 ½"	63,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1½"	38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
¾"	19,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
½"	12,700	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,760	99,13	99,77	100,00	100,00	100,00	100,00
10	2,000	98,29	99,69	99,92	100,00	97,78	99,47
40	0,420	97,27	99,54	99,67	99,44	93,75	95,33
100	0,149	95,86	98,66	97,50	97,95	89,83	91,14
200	0,074	93,76	96,14	94,82	95,72	86,64	90,57

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM



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

Tabla 6. Porcentajes de suelos que pasan por la serie de tamices.

SONDEO 2							
Granulometría %							
Tamiz	Diámetro (mm)	S2 M1	S2 M2	S2 M3	S2 M4	S2 M5	S2 M6
3"	76,200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2 ½"	63,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1½"	38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
¾"	19,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
½"	12,700	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,760	99,49	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
10	2,000	99,27	99,99	99,95	99,91	100,00	100,00
40	0,420	98,68	99,81	99,55	99,70	99,91	99,97
100	0,149	97,85	99,50	98,89	99,09	99,59	99,53
200	0,074	96,87	98,15	96,81	97,35	98,02	95,62

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

Tabla 7. Porcentajes de suelos que pasan por la serie de tamices.

SONDEO 3							
Granulometría %							
Tamiz	Diámetro (mm)	S3 M1	S3 M2	S3 M3	S3 M4	S3 M5	S3 M6
3"	76,200	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2 ½"	63,500	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	50,800	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1½"	38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,400	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
¾"	19,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
½"	12,700	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Nº4	4,760	100,00	100,00	100,00	100,00	99,68	100,00
10	2,000	100,00	100,00	99,90	99,75	97,84	99,96
40	0,420	99,92	99,94	99,66	99,44	93,72	99,84
100	0,149	99,54	99,49	99,32	99,03	78,55	99,55



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

200	0,074	99,08	98,95	98,89	98,41	56,24	98,71
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

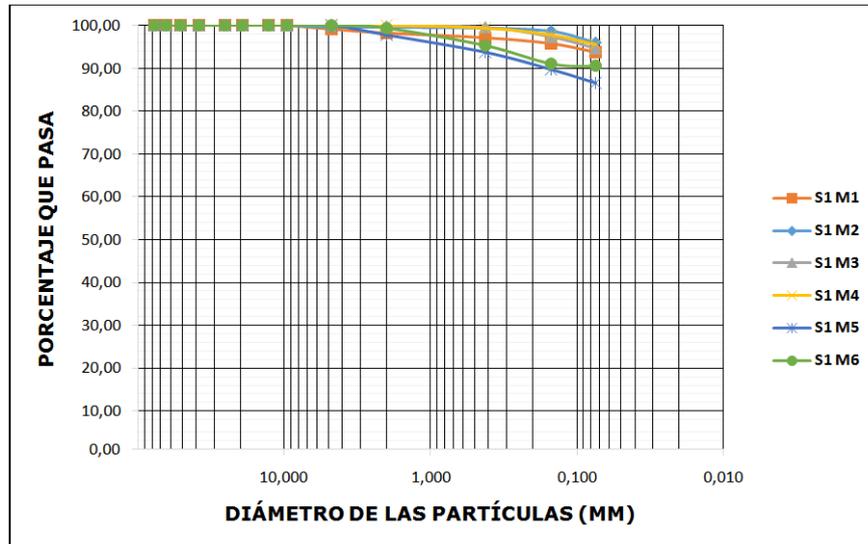


Figura 5. Curvas granulométricas del relleno sanitario de Jipijapa, Sondeo 1.

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM.

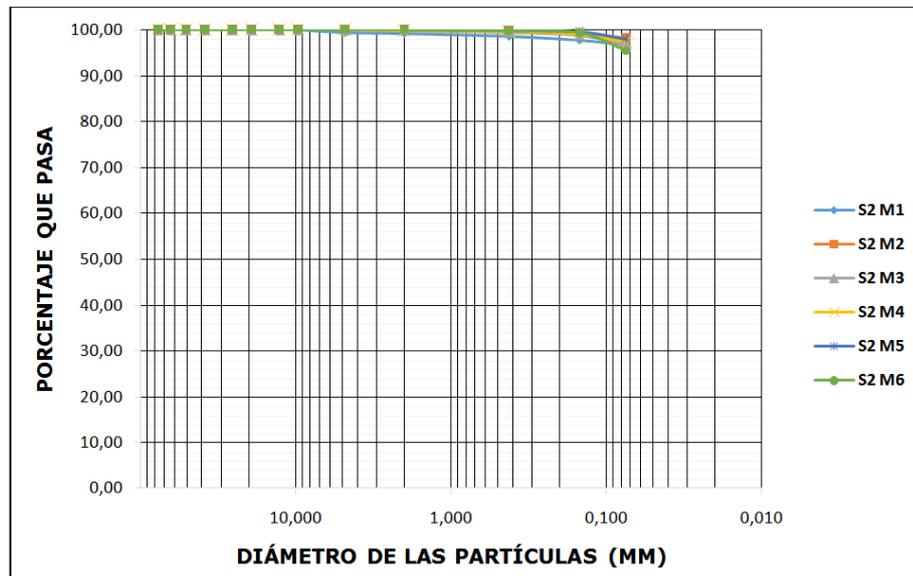


Figura 6. Curvas granulométricas del relleno sanitario de Jipijapa, Sondeo 2.

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM.



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

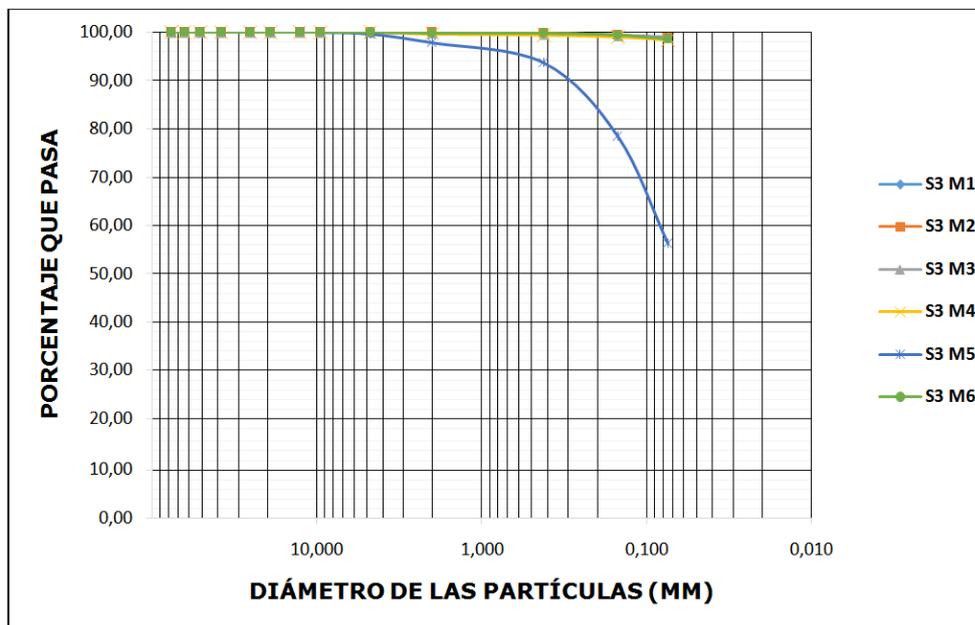


Figura 7. Curvas granulométricas del relleno sanitario de Jipijapa, Sondeo 3.
 Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM.

Clasificación ASTM (SUCS): Basado en los resultados de la granulometría se determinan que se trata de un suelo de grano fino, en el cual más del 50% pasa por el tamiz número N 200, pudiendo ser limos o arcillas. Teniendo un límite líquido mayor a 50 %, característicos de suelo de símbolo MH, CH, u OH, que son suelos de alta plasticidad. En la tabla 8 se presentan los resultados de clasificación ASTM.

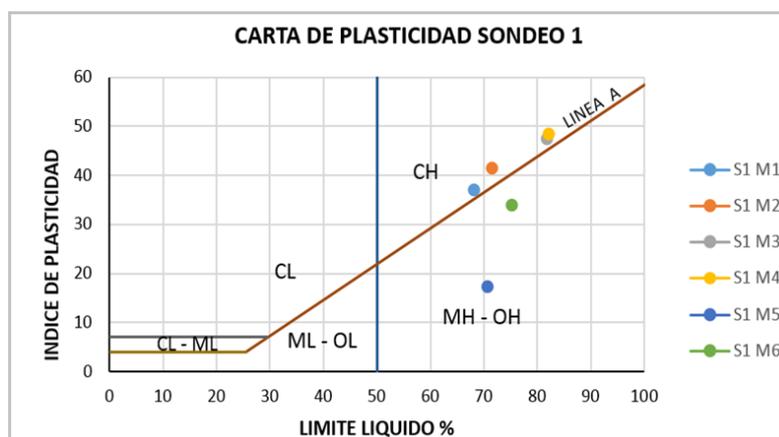


Figura 8. Representación Gráfica de carta de plasticidad de casa grande



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

Tabla 8. Resultados, clasificación de los suelos según ASTM (SUCS)

Sondeo	Profundidad	% Arenas	% Finos	Clasificación ASTM	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
1	0,55 – 1,00	6,24	93,63	CH	67,98	30,82	37,16
	1,55 – 2,00	3,86	96,14	CH	71,41	29,78	41,63
	2,55 – 3,00	5,18	94,82	CH	81,54	33,80	47,74
	3,50 – 4,00	4,28	95,72	CH	81,93	33,49	48,44
	4,55 – 5,00	13,36	86,64	MH	70,58	53,14	17,44
	5,55 – 6,00	9,43	90,57	OH	74,93	40,78	34,15
2	0,55 – 1,00	3,13	96,87	MH	69,40	37,04	32,36
	1,55 – 2,00	1,85	98,15	CH	75,45	32,89	42,56
	2,55 – 3,00	3,19	96,81	CH	73,83	31,68	42,15
	3,50 – 4,00	2,65	97,35	OH	86,45	67,03	19,42
	4,55 – 5,00	1,98	98,02	OH	89,12	47,24	41,88
	5,55 – 6,00	4,38	95,62	CH	83,81	32,96	50,85
3	0,55 – 1,00	0,92	99,08	CH	72,62	33,02	39,60
	1,55 – 2,00	1,05	98,95	OH	85,86	40,58	45,28
	2,55 – 3,00	1,11	98,89	CH	83,39	27,47	55,92
	3,50 – 4,00	1,59	98,41	CH	79,40	32,48	46,92
	4,55 – 5,00	43,76	56,24	MH	51,24	29,78	21,46
	5,55 – 6,00	1,29	98,71	CL	46,17	22,99	23,18

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM

El suelo del relleno sanitario de Jipijapa, presenta resultados característicos de suelos finos, de símbolos MH, CH, OH y CL. Los suelos de símbolos CH nos indican que son suelos arcillosos inorgánicos de alta plasticidad, al situarse por encima de la línea A, pertenecientes a la carta de plasticidad de casa grande. Los suelos OH nos demuestran que son arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, y los MH son suelos limosos inorgánicos, como arenas finas, limos elásticos, que se encuentran por debajo de la línea A perteneciente a los limos. Los suelos CL presentes en el sondeo 3, nos indica que son suelos de arcilla inorgánica de plasticidad baja o media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosa, presentes por encima de la línea A de las carta de plasticidad de casa grande en el rango de los suelos de plasticidad baja.

Correlaciones para suelos cohesivos: Las correlaciones SPT permiten obtener valores relativos, como la capacidad de carga, densidad saturada, y la consistencia del suelo, mostradas en las Tablas 9 correspondiente a cada sondeo. Además se puede apreciar resultados basados en estudios de permeabilidad analizados por Terzaghi K y Peck R en 1980 fundamentados en el tipo de suelo. En la tabla 9 se visualiza que el suelo estudiado presenta en su mayoría las consistencias desde rígida a muy rígida, en excepción de suelos con números de SPT inferiores a 8, teniendo esta su consistencia media y blanda, existentes en el sondeo uno y tres.



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

Tabla 9. Resultados de correlaciones SPT y criterios de permeabilidad (Terzaghi K & Peck R 1955 y Hunt 1984)

Sondeo 1					
Profundidad	N° SPT	Consistencia	Capacidad De Carga Kg/Cm ²	Densidad Saturada Gr/Cm ³	Permeabilidad
0.55 – 1.00	6	Media	0.5 – 1	1.76 – 1.92	Impermeable
1.55 – 2.00	3.5	Blanda	0.25 – 0.5	1.60 – 1.76	Impermeable
2.55 – 3.00	10	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Impermeable
3.55 – 4.00	11	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Impermeable
4.55 – 5.00	12	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Muy poco permeable
5.55 – 6.00	17	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
Sondeo 2					
Profundidad	N° SPT	Consistencia	Capacidad De Carga Kg/Cm ²	Densidad Saturada Gr/Cm ³	Permeabilidad
0.55 – 1.00	9.5	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Muy poco permeable
1.55 – 2.00	16	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
2.55 – 3.00	22	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
3.55 – 4.00	21	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
4.55 – 5.00	20	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
5.55 – 6.00	27	Muy rígida	2.0 – 4.0	2.08 – 2.24	Impermeable
Sondeo 3					
Profundidad	N° SPT	Consistencia	Capacidad De Carga Kg/Cm ²	Densidad Saturada Gr/Cm ³	Permeabilidad
0.55 – 1.00	8	Media	0.5 – 1.0	1.76 – 1.92	Impermeable
1.55 – 2.00	12	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Impermeable
2.55 – 3.00	10	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Impermeable
3.55 – 4.00	11	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Muy poco permeable
4.55 – 5.00	10	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Muy poco permeable
5.55 – 6.00	13	Rígida	1.0 – 2.0	1.92 – 2.08	Impermeable

Fuente. Proyecto de investigación de la carrera de ingeniería civil, UNESUM



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

Conclusiones

Los suelos del relleno sanitario son de grano fino, de media a alta plasticidad que constituyen los limos y arcillas, al presentar en su mayoría partículas inferiores a 0,074mm, lo cual genera permeabilidad baja y reducción de la contaminación del suelo. Al analizar las muestras correspondientes a los tres sondeos, se puede comprobar que el suelo del relleno sanitario de Jipijapa presenta similitudes en sus propiedades y características, como su textura y su comportamiento en contacto con el agua.

El número de golpes SPT es fundamental para realizar correlaciones, así conocer valores aproximados de propiedades como su consistencia, la resistencia a la compresión simple y su densidad saturada.

Conflictos de intereses

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

Contribución de los autores

Conceptualización: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Curación de datos: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Análisis formal: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio.

Investigación: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio.

Metodología: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio.

Recursos: Félix Steven Silva Orozco.

Software: Denny Augusto Cobos Lucio.

Supervisión: Félix Steven Silva Orozco, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Validación: Félix Steven Silva Orozco.

Visualización: Denny Augusto Cobos Lucio, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Redacción – borrador original: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Redacción – revisión y edición: Félix Steven Silva Orozco, Denny Augusto Cobos Lucio, Eduardo Eutiquio Díaz García.

Financiamiento



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

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

Referencias

- Navarrete, A. N. (04 de 2003). Caracterización física de sitios potenciales para rellenos sanitarios. Obtenido de Zamorano carrera de desarrollo socioeconómico Y ambiente: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1959/1/IAD-2003-T019.pdf>
- Límite de plástico Keaton JR (2018). En: Bobrowsky PT, Marker B. (eds) Encyclopedia of Engineering Geology. Serie Enciclopedia de Ciencias de la Tierra. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73568-9_224
- Rivera, J. R. (11 de 2011). *GEOTECNIA DE RELLENOS*. Obtenido de researchgate.net: https://www.researchgate.net/profile/Johnatan_Ramos_Rivera/publication/264332755_Geotecnia_de_rellenos_sanitarios/links/53d8f6f0cf2631430c3858c/Geotecnia-de-rellenos-sanitarios.pdf
- SEMARNAT. (2016). *¿QUÉ ES UN RELLENO SANITARIO Y CÓMO FUNCIONA?* Obtenido de blog.vise.com.mx: <https://blog.vise.com.mx/que-es-un-relleno-sanitario-y-como-funciona>
- ASTM (2010) Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos. Sociedad Estadounidense de Pruebas y Pruebas de Materiales D4318-10e1. <http://www.astm.org/Standards/D4318.htm> . Consultado el 30 de abril de 2016.
- Norma ASTM Designation: D1586-67. (Reapproved 1974). Penetration test and split-barrel sampling of soils. American Society for Testing and Materials. Filadelfia, 1974
- INEN 0689. (1982). Ensayo de penetración estándar. Quito

