



Caracterización geotécnica de los suelos de la ciudad de Calceta en la provincia de Manabí

Geotechnical characterization of the soils of the city of Calceta in the province of Manabí

Caracterização geotécnica dos solos da cidade de Calceta na província de Manabí

Vicente Antonio Zambrano-Rendón ^I
antoniozambrano_7@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0313-7144>

Eduardo Humberto Ortiz-Hernández ^{II}
eduardo.ortiz@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

William Stalin Alcívar-Moreira ^{III}
william.alcivar@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8430-0534>

Correspondencia: antoniozambrano_7@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículos de investigación

***Recibido:** 18 de junio de 2021 ***Aceptado:** 15 de julio de 2021 *** Publicado:** 10 de agosto de 2021

- I. Ingeniero Agrícola, Estudiante de posgrado la Universidad Técnica de Manabí en la Maestría de Investigación en Prevención y Gestión de Riesgo, Técnico Responsable de la Unidad de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Bolívar, Portoviejo, Ecuador.
- II. Ingeniero Civil, Magister en Construcción de Obras Viales, Candidato a Ph.D en Ingeniería del Terreno en la Universidad de Alicante, España, Profesor Investigador de Mecánica de Suelos y Geotecnia de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica, Diplomado en Tecnología para la Construcción Sismo-resistente, Diplomado en Evaluación de Escenarios para la Reducción de Riesgo de Desastres de Origen Natural, Profesor Auxiliar Tiempo Completo del Departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

Se realizó una caracterización Geotécnica en los suelos de la ciudad de Calceta ubicada en la provincia de Manabí – Ecuador, evaluando los parámetros del suelo entre ellos su compactidad nivel freático y sus propiedades como Limite Liquido, Limite plástico, índice de plasticidad y contenido de fino en el Tamiz N°200. Además se realizó ensayos de penetración estándar o (SPT) midiendo la compactidad de suelo por medio del número de Golpes, que posteriormente se extrajeron muestras alteradas e inalteradas, las mismas que fueron procesadas en los laboratorios de mecánica de suelos particularmente y prestando los servicios en el laboratorio de la Universidad Técnica de Manabí, estudiando el comportamiento del terreno como su expansividad del suelo con sus propiedades físicas - mecánica a cada una de las muestras. Al analizar los resultados se concluye que la Ciudad de Calceta presenta suelos cohesivos como Arcillas de baja plasticidad de compactidad de media a muy compacta y para los suelos no cohesivos como Arenas, Arena limosas con compactidad de Suelta a Densas con presencia depósitos recientes con susceptibilidad de licuación, además también se estudió los cambios volumétricos del suelo calificándolo como suelo expansivo bajo.

Palabras claves: Suelos; caracterización geotécnica; consistencia; compactidad; Ensayo de penetración estándar.

Abstract

A Geotechnical characterization was completed on the soils of the city of Calceta located in the province of Manabí - Ecuador. Evaluating the parameters of the soil amongst its compactness, ground water levels and its properties as liquid limit, limit plastic, plasticity index and fine content in Sieve No. 200. In addition, a standard penetration tests or (SPT) were performed measuring the soils compactness through the number of blows, which later samples were extracted, altered and undisturbed, the same ones were processed in a in particular soil mechanics laboratories service that was provided by the University Tecnica of Manabí, studying the behavior of the ground and its expansiveness of the soil with its physical properties-mechanical to each one of the samples. After analyzing the results, it is concluded that the City of Calceta has soils cohesive to clay like of low plasticity of medium compactness to very compact and for the non-cohesive soils such as sand, slimy sands with density release compactness with the presence of recent deposits with

liquefaction susceptibility, in addition a volumetric changes were also studied of the soil qualifying it as low expansive soil.

Keywords: Soils; geotechnical characterization; consistency; compactness; Standard penetration test.

Resumo

Foi realizada uma caracterização geotécnica dos solos da cidade de Calceta localizada na província de Manabí - Equador, avaliando-se os parâmetros do solo como compactação, lençol freático e suas propriedades como Limite de Líquido, Limite de Plástico, Índice de plasticidade e teor de finos. na peneira N ° 200. Além disso, foram realizados ensaios de penetração padrão ou (SPT), medindo a compactação do solo por meio do número de golpes, que posteriormente foram extraídas amostras alteradas e indeformadas, as quais foram processadas nos laboratórios de mecânica do solo particularmente e prestando serviços em o laboratório da Universidade Técnica de Manabí, estudando o comportamento do terreno quanto a sua expansividade do solo com suas propriedades físicas e mecânicas a cada uma das amostras. Ao analisar os resultados, conclui-se que o Município de Calceta apresenta solos coesivos como Argilas de baixa plasticidade de compactação média a muito compacta e para solos não coesivos como Areias, Areia Siltosa com compactação Solta a Densa com presença de recente depósitos com suscetibilidade a Além disso, as alterações volumétricas do solo também foram estudadas, qualificando-o como solo pouco expansivo.

Palavras-chave: Solos; caracterização geotécnica; consistência; compacidade; Teste de penetração padrão.

Introducción

Los suelos de la provincia de Manabí presentan irregularidades en su superficie por estar presente en zonas montañosas y llanas. Esto hace que tengan una variabilidad en los estratos desde sus resistencias, plasticidad, densidad y humedad, donde sus propiedades están altamente influenciadas por nivel freático en el suelo generando pérdidas de firmezas y estabilidad.

En la ciudad de Portoviejo se realizó un estudio similar se procedió a la elaboración de ensayos de campo con exploración de forma indirecta que consistieron en Perforaciones con SPT y CPT; exploración directa con métodos de sísmica de refracción complementando con ensayos de laboratorio de suelos (Eduardo Humberto Ortiz Hernández, Lucia Katherine Macías Sánchez y Delgado Gutiérrez Daniel Alfredo, 2019) .

Al situarse la ciudad de Calceta en una región tropical a cálida cuya extensión territorial es de aproximadamente 537.80 km², sus suelos requieren de estudios complementarios que permitan caracterizar su litología con una mayor aproximación y representación en las muestras; por esta razón, en este artículo se presenta de forma detallada la caracterización geotécnica de la ciudad de Calceta con presencia de un suelo de clima tropical a cálido ubicado en Ecuador provincia de Manabí.

En esta investigación se efectuaron ensayos de campo como SPT determinando su compacidad de los suelos, analizando su variabilidad de las propiedades que se asocian a la litología del suelo. En laboratorio se evaluó el contenido de humedad natural, límites de consistencia, granulometría fina, para posteriormente su clasificación de suelos por las tablas SUCS y ASTTHO. La finalidad de estudiar los ensayos de penetración estándar de forma localizada es para poder interpretar si los valores y métodos utilizados que tanto afectan el diseño final y cuál sería el método apropiado para trabajar en una zona determinada (Carmona Álvarez, 2014).

El objetivo de esta investigación radicó en la Caracterización geotécnica evaluando los parámetros del suelo y su compacidad del suelo de la ciudad de Calceta.

Equipo de SPT o ensayo de penetración estándar y sus especificaciones técnicas.

El Ensayo de Penetración Estándar o SPT creado en 1927 que entre el 85% y un 90 % los diseños de cimentaciones en América se realizan utilizando este ensayo.

Este es uno de los más usados para la caracterización de suelos; no obstante, en su ejecución resulta muy variable debido a múltiples detalles de procedimiento y equipos. Sin embargo, con la medición de la energía y aplicando el principio del trabajo y la energía, es posible estimar de manera objetiva parámetros de rigidez del suelo (Rodríguez, J. A., & Pinto, N. E.).

El equipo de penetración estándar o SPT, siguiendo las especificaciones indicadas en la norma establecida en el (ASTM Standards. Standard test method for penetration test , 1999), consisten en dejar caer libremente desde una altura de 75 cm un martinete con 64 kg de peso sobre un yunque acoplado a una tubería de perforación y en cuyo extremo inferior se encuentra el penetrómetro como se ilustra en la figura 1. De esta manera se estimó en forma cualitativa, la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, de acuerdo al número de golpes necesarios para hincar los 30 cm intermedios del penetrómetro. En los perfiles estratigráficos se muestra la variación con la profundidad del número de golpes obtenidos en la prueba de penetración estándar.

Figura 1: Ensayo de Penetración Estándar (SPT) en los suelos de la ciudad de Calceta.

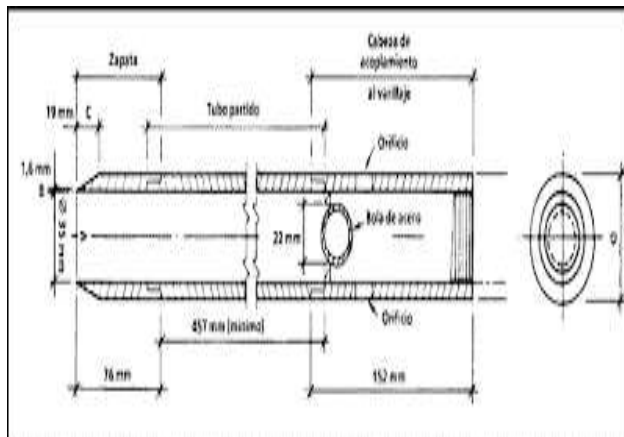


Se contabiliza y se anota el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 centímetros (N0–15). Seguidamente se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 centímetros, anotando el número de golpes requerido para la hincada en cada intervalo de 15 centímetros de penetración (N15 – 30 y N30 – 45) (Córdova Neumane, A. E. , 2019) $NSPT = N15 - 30 + N30 - 45$.

Si el número de golpes requerido para profundizar en cualquiera de estos intervalos de 15 centímetros, supera los 50, el resultado del ensayo deja de ser la suma anteriormente indicada, para convertirse en rechazo (R), debiéndose anotar también la longitud hincada en el tramo en el que se han alcanzado los 50 golpes. Hasta aquí, el ensayo STP se considera finalizado cuando se alcanza este valor. (Por ejemplo, si se ha llegado a 50 golpes en 120 mm en el intervalo entre 15 y 30 centímetros, el resultado debe indicarse como N0 – 15 / 50 en 120 mm, R) (Córdova Neumane,

A. E. , 2019). Él toma muestras permite por otro lado recoger una muestra alterada del suelo que posibilita su identificación según ilustra la figura 2.

Figura 2: Toma muestras o cuchara SPT. (ASTM, D. 1586-84, 1988).



Área de estudio

La zona de estudio se ubica en Ecuador provincia de Manabí ciudad de Calceta. El suelo estudiado se encuentra exactamente en las coordenadas $0^{\circ}50'S80^{\circ}10'O$ / $-084-80.17$ como se ilustra en la figura 3, esta se encuentra a 22 msnm y su temperatura promedio es de $26^{\circ}C$. La humedad relativa es de 70%, llegando a valores extremos de 60% en la época seca y 96% durante las lluvias. La zona de estudio está compuesta en su mayoría por rocas metamórficas (anfíbolita), así como por extensos depósitos de vertiente y aluviales.

Figura 3: Ubicación de la zona de estudio de la ciudad de Calceta.



Materiales y métodos

Materiales

Se utilizó un ensayo de campo con un equipo llamado SPT (ASTM Standards. Standard test method for penetration test , 1999), que sirve para la evaluación de los suelos y la obtención de los parámetros geotécnicos mediante muestras alteradas e inalteradas como se muestra en la figura 4. Además, se realizaron ensayos geotécnicos permitiendo caracterizar los suelos de la ciudad de Calceta entre estos son:

- Ensayo de Humedad natural según la norma (ASTM- D-18 , 2005)
- La densidad de sólidos se determinó con base a las normas (ASTM - D854-02 , 2002).
- Límite Líquido se realiza con un Equipo llamado Casagrande y sus implementos adicionales son ranurador, espátula de cuchillo, recipientes en base a la técnica mencionada en por (Juárez E., y Rico A., 1999) y de acuerdo a las normas (ASTM D423-66, 1972), (AASHTO T89, (2010)), (AASHTO T90, (2000)), (ASTM D4318-10, (2010)) posteriormente se realizara el ensayo de limite plástico, con éstos se definen propiedades características del suelo así como parámetros que hacen posible su clasificación (MONTES-ZARAZÚA, E., COLÍN-CRUZ, A., PÉREZ-REA, M., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L., & VELASCO-SANTOS, C.).
- Granulometrías finas se la determino según las normas (AASHTO T88, (2010)), (ASTM - D422-63, 2007), está nos permite definir parte de la clasificación del suelo en estudio, para ella se usó un juego de mallas completo; y en todas las pruebas se hizo uso de un horno eléctrico de 110° C \pm 5° C y una balanza para el pesado de las probetas (MONTES-ZARAZÚA, E., COLÍN-CRUZ, A., PÉREZ-REA, M., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L., & VELASCO-SANTOS, C.).

Método

Para la realización de ensayos que permitan obtener una caracterización geotécnica del suelo, se tomaron muestras alteradas e inalteradas para la obtención de sus propiedades física, mecánicas de suelos.

Analisis y resultados de las características y parametros de las muestras sujetas a esta investigacion

Los resultados se analizan a través de la aplicación y ejecución de los ensayos de suelos, relacionados con los objetivos planteados. En la Tabla N°1, se reflejan la localización de los SPT ubicado en el área estudio en donde se encuentran las coordenadas de las 20 perforaciones hechas en la ciudad de Calceta.

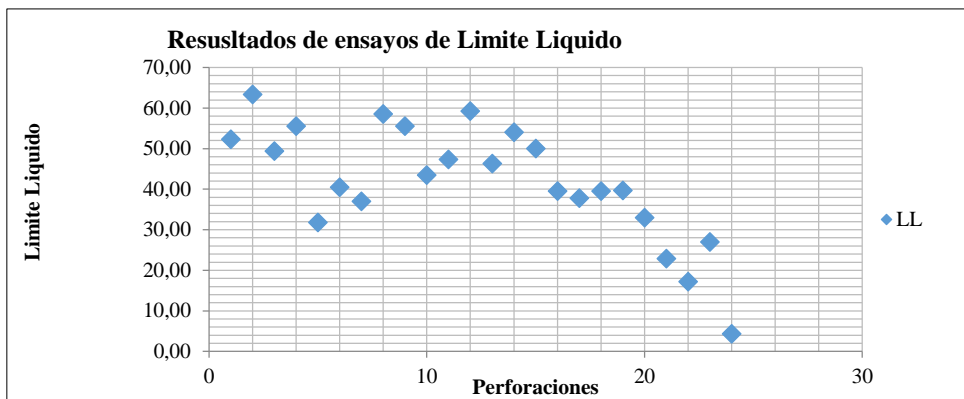
Tabla 1: Coordenadas de las perforaciones realizadas en la ciudad de Calceta.

COORDENADAS	PERFORACIONES
0592876-9906348	P-001
0592876-9906324	P-002
0592930-9906479	P-003
0592937-9906505	P-004
0592854-9906462	P-005
0592859-9906460	P-006
0592854-9906454	P-007
0592906-9906483	P-008
0592907-9906469	P-009
0593016-9906169	P-010
0593007-9906172	P-011
0593063-9906307	P-012
0593068-9906331	P-013
0593084-9906328	P-014
0593043-9906453	P-015
0592234-9906150	P-016
0592246-9906105	P-017
0592234-9906150	P-018
0592226-9906190	P-019
0594726-9905870	P-020

Mediante la investigación realizada a los suelos de la ciudad de Calceta se pudo reconocer que se trataba de un suelo con consistencia de límite líquido de bajo a alto como se ilustra la tabla 2 y para los índices de plasticidad de baja a media como se muestra la tabla 3. La consistencia del suelo es la resistencia del suelo a ser deformado o amasado, gobernada por las fuerzas físicas de adhesión y cohesión, las cuales dependen del contenido de humedad del material (Hernández, E. H. O., Salvatierra, W. E. B., & Sánchez, L. K. M., 2018), ya que de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) estos presenta tipo de suelo CL, ML, MH, (Arcilla de baja plasticidad) (Limos de baja a Alta Plasticidad con presencias de estratos de Arena, y Arenas limosas). Según las propiedades de plasticidad de los suelos de la Ciudad de Calceta según

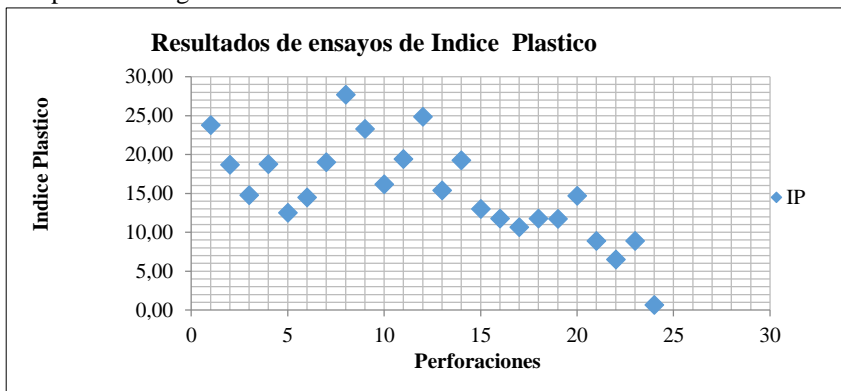
menciona (Chen F.H., (1975)), el suelo puede ser clasificado como bajo a medianamente expansivo.

Tabla 2: Resumen de parámetros geotécnicos del suelo de Limite Liquido de la ciudad de Calceta.



También se puede observar que mediante los ensayos realizados de límite de contracción (LC) dentro de la investigación nos arroja valores de bajos a medio, indicando así que el potencial expansivo acuerdo como lo indica (Juárez E., y Rico A., 1999), entre mayor sea el LC en los suelos dicho potencial es más pequeño, lo que hará al suelo factible para desplantarla cimentación de una edificación (MONTES-ZARAZÚA, E., COLÍN-CRUZ, A., PÉREZ-REA, M., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L., & VELASCO-SANTOS, C.) Además también en la ciudad de Portoviejo la cual está a 50 km de Calceta, se analizó si ningún componente de estabilización el comportamiento expansivo cuyo resultado fue de alto a muy alto, afectando a la superficie de la estructura con presencia de deformaciones (Hernández E. H. O., Moncayo E. H. O., Sánchez L. K. M., & de Calderero, R. P., 2017).

Tabla : Resumen de parámetros geotécnicos del suelo de Índice de Plasticidad de la ciudad de Calceta.

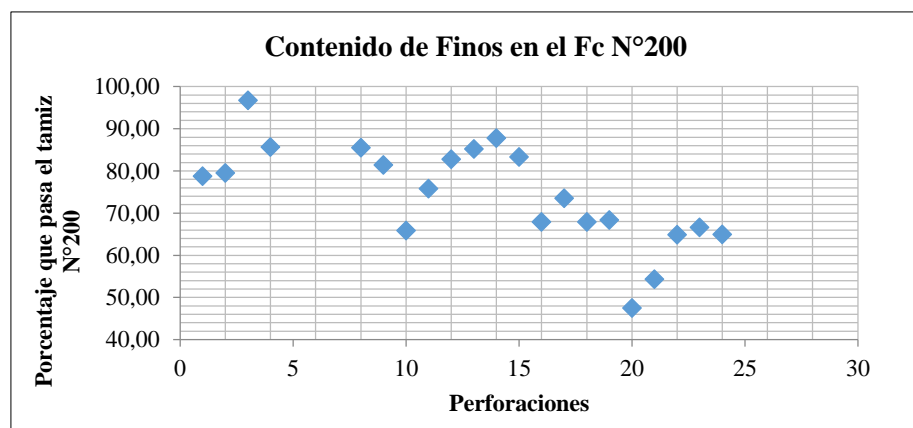


El comportamiento de los suelos es complejo debido a los contenidos de finos que tiene el suelo. La importancia del tamiz #200 se hace evidente cuando se analizan las fuerzas dominantes sobre las partículas, incluyendo las de peso propio, las fuerzas debidas a los esfuerzos efectivos, fuerzas eléctricas, y fuerzas capilares (Narsilio, G. A., & Santamarina, C., 2016).

Según se menciona también que, en cuanto a la relación densidad seca máxima/pasante tamiz N°200, existe una disminución de la densidad seca máxima con el aumento de fino, resultado que podría indicar a priori lo beneficioso de tener un elevado contenido de finos, dado que los mismos disminuyen la densidad seca máxima, por lo cual, se necesitaría menor energía de compactación para lograr dichas densidades (Mariano, D. F. E., o Orlando, B. G., & Antonio, B. D, 2018).

La tabla 4 indica que estos suelos de la ciudad de Calceta presentan contenidos de finos comprendidos entre el 45% hasta un 96% de Limos Arenosos hasta arcillas.

Tabla 4: Resumen de parámetros geotécnicos del suelo de Índice de Plasticidad de la ciudad de Calceta.



El ensayo de penetración estándar (SPT), es un ensayo in situ de penetración por medio de golpeteo que define parámetros de diseño geotécnico. Las variaciones del ensayo SPT se deben tener en cuenta para calcular las correcciones de los parámetros de energía y presión por confinamiento (Cn), con los cuales obtendremos los valores finales para las correlaciones entre el número de golpes (N) y el ángulo de fricción (ϕ) (Carmona Álvarez, 2014).

Tabla 5: Correlación para suelos no cohesivos entre Dr, compacidad y N (Hunt, R. E., 1984).

COMPACIDAD	DENSIDAD RELATIVA (Dr)	N (SPT)
Muy suelto	< 0,15	< 4
Suelto	0,15 - 0,35	4 - 10.
Medianamente duro	0,35-0,65	10 - 30.
Denso (compacto)	0,65 - 085	30 - 50
Muy denso	0,85 -1,00	> 50

Tabla 6: Relación de la consistencia en suelos cohesivos con el número de golpes del SPT (Villalaz, 2004)

Consistencia	N (SPT)
Muy blanda	< 2
Blanda	2 - 4
Media	4 - 8
Compacta	8 - 15
Muy compacta	15 - 30
Dura	> 30

Según ilustra la tabla 5 los resultados de número de golpes corregidos del SPT para suelos no cohesivos, que al correlacionar con la tabla 7 y tabla 8 muestra los resultados de SPT de los suelos de la ciudad de Calceta según el comportamiento estratigráfico donde estos presentan una compacidad de Suelta a Densas.

Para los suelos en las zonas con presencias de arcillas según la tabla 6 menciona la consistencia para suelos cohesivos con el número de golpes del SPT, que al correlacionar con los resultados de la tabla 7 que presenta el resumen de valores de SPT, esta zona presenta suelos de consistencias de media a muy compactas.

Tabla 7: Resumen de valores de SPTN60 de suelos corregidos de la ciudad de Calceta.

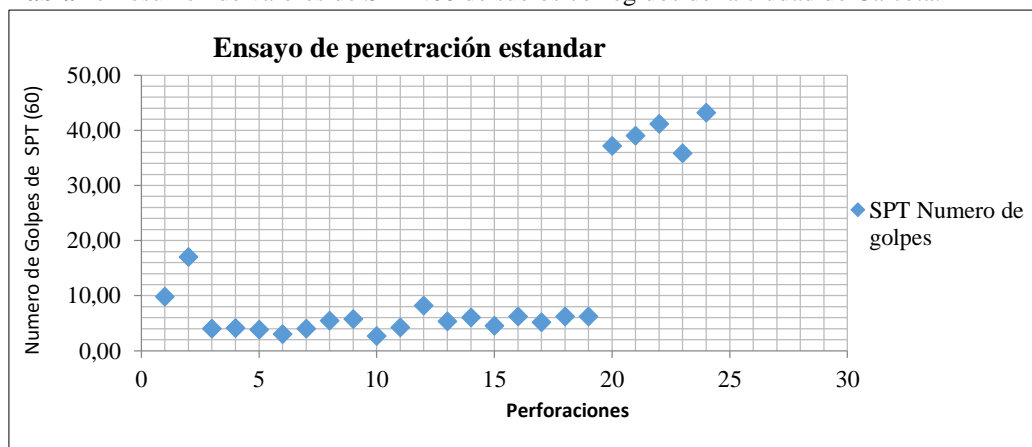
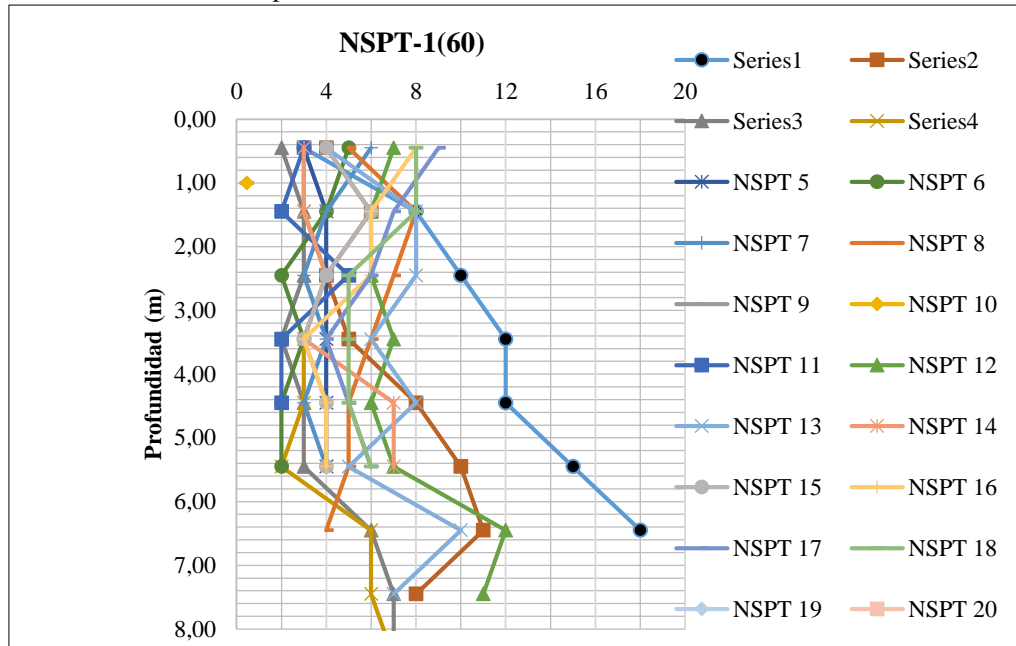


Tabla 8: Resumen de las perforaciones realizadas en la ciudad de Calceta de SPTN60.



Conclusiones

- Al evaluar las propiedades geotécnicas la ciudad de Calceta, este presenta suelos tipo CL, ML, MH, (Arcilla de baja plasticidad, Limos de Baja a Alta Plasticidad con presencias de estratos de Arena) de acuerdo a R1 a clasificación del SUCS.
- Para los suelos cohesivos este presenta compactidad de media a muy compactas y para los suelos no cohesivos este presenta compactidad de Suelta a Densas es por ello que la ciudad de Calceta se asienta en estratos y zonas variables.

Agradecimiento

A mi madre Antonia Rendón Chavarría, que con Dios descansa tu alma a ti gracias por darme la vida.

Referencias

1. AASHTO T89. ((2010)). “Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.
2. AASHTO T90. ((2000)). “Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit PlasticityIndex of Soils”.

3. ASTM Standards. Standard test method for penetration test. (1999). ASTM Standards. Standard test method for penetration test and Split-barrel sampling of soils. ASTM international. American Standard of Testing Materials.
4. AASHTO T88. ((2010)). “Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils” .
5. ASTM- D-18 . (2005). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM. ASTM Committee D-18 on Soil and Rock. .
6. ASTM - D422-63. (2007). “Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils” Soil and Rock Building, Book of Standards. 04(08).
7. ASTM - D854-02 . (2002). “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer”. Soil and Rock Building, Book of Standards, 04(08).
8. ASTM D423-66. (1972). “Method of Test for Liquid Limit of Soils (Withdrawn 1982)” Soil and Rock Building, Book of Standards. 04(08).
9. ASTM D4318-10. ((2010)). “Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils” Soil and Rock Building, Book of Standards . 04(8).
10. ASTM, D. 1586-84. (1988). Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
11. Carmona Álvarez, J. E. (2014). Estudio de resultados ensayo de penetración estándar (SPT) para el factor de corrección (CN) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones (Bachelor's thesis).
12. Chen F.H. ((1975)). “Foundation on Expansive Soils”. Developments in Geotechnical Engineering, Elsevier Science Publishers, Denver, Colorado, Vol. 12.
13. Córdova Neumane, A. E. . (2019). Análisis de la capacidad portante del suelo, mediante los ensayos de campo CPT–DPSH SPT y PDA, para la cimentación mediante el uso de pilotes metálicos hueco, trabajando de punta y fricción, de una maquina impresora a instalarse . Impresora a instalarse en los terrenos de la planta Industrial PRAMERCI SA de la empresa GRUPASA.
14. Eduardo Humberto Ortiz Hernández, Lucia Katherine Macías Sánchez y Delgado Gutiérrez Daniel Alfredo. (Diciembre de 2019). EVALUACIÓN DEL SUBSUELO, Y SU COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO EN EL CANTÓN PORTOVIEJO, PARROQUIA 12 DE MARZO. Revista Caribeña de Ciencias Sociales, 1-16.

15. Hernández E. H. O., Moncayo E. H. O., Sánchez L. K. M., & de Calderero, R. P. (2017). Behavior of clayey soil existing in the portoviejo canton and its neutralization characteristics. *International research journal of engineering, IT & scientific research*, 3(6), 1-10.
16. Hernández, E. H. O., Salvatierra, W. E. B., & Sánchez, L. K. M. (2018). ESTUDIO Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR EL TIPO DE SUELO.
17. Hunt, R. E. (1984). *Foundation engineering. Geotechnical engineering investigation manual* (No. 624.151 H86)., 10.
18. Juárez E., y Rico A. (1999). “Mecánica de Suelos Tomo 1”.
19. Juárez E., y Rico A. (1999). “Mecánica de Suelos Tomo 1”.
20. Mariano, D. F. E., o Orlando, B. G., & Antonio, B. D. (2018). CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES INDICES PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN EN SUELOS RESIDUALES DE MISIONES, ARGENTINA1 CORRELATION BET EEN INDEX PROPERTIES AND COMPACTION PARAMETERS IN RESIDUAL SOILS FROM MISIONES, ARGENTINA. XXVI Seminário de Iniciação Científica - Participante ESTRANGEIRO.
21. MONTES-ZARAZÚA, E., COLÍN-CRUZ, A., PÉREZ-REA, M., MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, A. L., & VELASCO-SANTOS, C. (s.f.). Modificación de suelos expansivos con material reciclado.
22. Narsilio, G. A., & Santamarina, C. (2016). *Clasificación de suelos: fundamento físico, prácticas actuales y recomendaciones*. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA-Guillermo. narsilio@ce.gatech.edu y carlos.santamarina@ce.gatech.edu.
23. Rodríguez, J. A., & Pinto, N. E. (s.f.). Obtención de la rigidez dinámica del suelo a partir de la medición de la energía en el ensayo de penetración estándar (SPT). Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería – Sociedad Colombiana de Ingenieros.
24. Villalaz, C. (2004). MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.