



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Matemáticas  
Artículo de Investigación

***Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador***

***Evaluation of Liquefaction Probability in the City of Calceta – Manabí – Ecuador***

***Avaliação da Probabilidade de Liquefação na Cidade de Calceta – Manabí – Equador***

Karen Andrea Giler Cedeño <sup>I</sup>

[karen.giler@utm.edu.ec](mailto:karen.giler@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-0313-7144>

Orly Josue Rivas Carranza <sup>II</sup>

[orly.rivas@utm.edu.ec](mailto:orly.rivas@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-0641-4656>

Eduardo Ortiz Hernández <sup>III</sup>

[eduardo.ortiz@utm.edu.ec](mailto:eduardo.ortiz@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

Lucia Katherine Macías Sánchez <sup>IV</sup>

[lucia.macias@utm.edu.ec](mailto:lucia.macias@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9921-4943>

**Correspondencia:** [karen.giler@utm.edu.ec](mailto:karen.giler@utm.edu.ec)

\***Recibido:** 29 de marzo de 2023 \***Aceptado:** 12 de abril de 2023 \* **Publicado:** 08 de mayo de 2023

- I. Estudiante de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Profesor del Departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- IV. Ingeniera Civil, Profesor del Departamento de Construcciones Civiles de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

## Resumen

Calceta es una ciudad ubicada en la costa del Ecuador, en la provincia de Manabí. La región es conocida por su actividad sísmica, y como respuesta a ello es propensa a sufrir daños severos durante los terremotos debido a la licuefacción del suelo.

Los efectos de licuefacción del suelo son catastróficos, tales como la falla de grandes pendientes o presas, el desplome de edificios y puentes, el colapso parcial o total de muros de contención.

La determinación del factor de seguridad (FS) para la ciudad de Calceta es esencial para evaluar el riesgo de licuefacción. El FS se refiere a la relación entre la resistencia del suelo y la carga cíclica sísmica a la que está expuesto. Para determinar este factor se hizo uso del ensayo de penetración estándar (SPT), que es un ensayo in situ, que a través de golpes define los parámetros de diseño geotécnico.

Partiendo del SPT se analizaron los datos obtenidos de la caracterización geotécnica para los suelos de la ciudad de Calceta y mediante la metodología de (Seed, H.B.; Idriss 1971) y (Juang, C. H., Chen, C. J., Jiang, T., & Andrus 2000) se obtuvieron datos importantes para esta investigación, dentro de los más relevantes que la ciudad de Calceta tiene una alta probabilidad de licuefacción obteniendo un FS de 0.55.

**Palabras Claves:** Licuefacción de suelos; contenido de finos; nivel freático; compacidad.

## Abstract

Calceta is a city located on the coast of Ecuador, in the province of Manabí. The region is known for its seismic activity, and in response to this is prone to severe damage during earthquakes due to liquefaction of the soil.

The effects of soil liquefaction are catastrophic, such as the failure of large slopes or dams, the collapse of buildings and bridges, the partial or total collapse of retaining walls.

The determination of the safety factor (FS) for the city of Calceta is essential to assess the risk of liquefaction. The FS refers to the relationship between the resistance of the soil and the cyclical seismic load to which it is exposed. To determine this factor, the standard penetration test (SPT) was used, which is an in situ test, which through blows defines the geotechnical design parameters.

Starting from the SPT, the data obtained from the geotechnical characterization for the soils of the city of Calceta were analyzed using the methodology of (Seed, H.B.; Idriss 1971) and (Juang, C. H.,

Chen, C. J., Jiang, T., & Andrus 2000) important data was obtained for this investigation, among the most relevant that the city of Calceta has a high probability of liquefaction, obtaining a FS of 0.55.

**Keywords:** Soil liquefaction; fines content; water table; compactness.

## Resumo

Calceta é uma cidade localizada na costa do Equador, na província de Manabí. A região é conhecida por sua atividade sísmica e, em resposta a isso, é propensa a graves danos durante terremotos devido à liquefação do solo.

Os efeitos da liquefação do solo são catastróficos, como a ruptura de grandes taludes ou barragens, o colapso de edifícios e pontes, o colapso parcial ou total de muros de contenção.

A determinação do fator de segurança (FS) para a cidade de Calceta é essencial para avaliar o risco de liquefação. O Fs refere-se à relação entre a resistência do solo e a carga sísmica cíclica a que está exposto. Para determinar esse fator, foi utilizado o teste de penetração padrão (SPT), que é um teste in situ, que por meio de golpes define os parâmetros de projeto geotécnico.

A partir do SPT, os dados obtidos da caracterização geotécnica dos solos da cidade de Calceta foram analisados usando a metodologia de (Seed, H.B.; Idriss 1971) e (Juang, C. H., Chen, C. J., Jiang, T., & Andrus 2000) foram obtidos dados importantes para esta investigação, entre os mais relevantes que a cidade de Calceta tem uma alta probabilidade de liquefação, obtendo um FS de 0,55.

**Palavras-chave:** Liquefação do solo; teor de multas; lençol freático; compacidade.

## Introducción

La licuefacción ha sido generalizada en muchos terremotos a lo largo del tiempo por todo el mundo, donde ha presentado por muchas manifestaciones, además las medidas para mitigar los daños causados por este fenómeno requieren una evaluación precisa del potencial de licuefacción de los suelos (Dixit, Dewaikar, and Jangid 2012), es por ello se emplea uno de los ensayos más usado en el mundo el cual es el ensayo de penetración estandar (SPT), el cual se considera un ensayo de resistencia al corte en condiciones no drenadas y debido a la rápida tasa de deformación así como al bajo costo, permite obtener más datos, generando un mayor universo de muestras (Eduardo Ortiz-Hernández et al. 2022). El término licuación, incluye todos los fenómenos donde se dan excesivas deformaciones o movimientos como resultado de transitorias o repetidas perturbaciones de suelos saturados poco cohesivos (Navia and Chunga 2020).

## Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

---

Los efectos de licuefacción del suelo son catastróficos, tales como la falla de grandes pendientes o presas, el desplome de edificios y puentes, el colapso parcial o total de muros de contención. Aún estos efectos en muchos terremotos causan daños de grandes proporciones a carreteras, vías férreas, tuberías y edificios (González Caballero 2004). Las pruebas de laboratorio han confirmado que un drenaje oscilatorio puede causar el incremento en la presión intersticial en un suelo saturado, que dan como resultado al reordenamiento de las partículas del suelo (Sandoval, E. A., & Pando 2012). Si el flujo de agua en los poros no puede drenar durante la filtración, la carga gravitacional no será soportada por la estructura mineral, sino más bien por el agua capilar (en los poros), lo que conlleva a una reducción en la capacidad del suelo para soportar un esfuerzo (González Caballero 2004). También se han dado a conocer aquellos factores de mayor influencia para la licuación en los suelos como son los suelos granulares saturados sin la presencia de fuerzas cohesivas (entre partículas), son más susceptibles a un aumento de la presión del agua en los poros (González Caballero 2004).

Después de lo ocurrido en Ecuador tras el terremoto con magnitud de (Mw 7.8) el 16 de Abril del 2016, en las costas del pacífico se evidenciaron un sin número de fallas en el suelo como también en las estructuras (Chunga, K., Toulkeridis, T., Vera-Grunauer, X., Gutierrez, M., Cahuana, N., & Alvarez 2017) y varios fenómenos presentados debido a los eventos cosísmico como es el concepto de licuefacción hace hincapié a la transformación de un material granular de un estado sólido a un estado licuado como consecuencia al aumento de las presiones intersticiales del agua (Obermeier 1996). En Ecuador se ha realizado ya investigaciones sobre el tema de licuefacción de suelo analizando las unidades geológicas y geotécnicas.

En la provincia de Manabí, muchas de sus ciudades están construidas en estrechos valles entre cerros, donde predominan los suelos saturados y no saturados de ambientes aluviales y aluvial-coluviales (Eduardo Ortiz-Hernández et al. 2022). Durante el terremoto del 16 de abril de 2016 en Manabí se originó la pérdida de la firmeza o rigidez del suelo que dio como resultados el desplome de edificaciones, deslizamientos de tierra, daños en las tuberías, entre otros. El proceso que conduce a esta pérdida de firmeza o rigidez es conocido como licuación del suelo. Este fenómeno está principalmente, más no exclusivamente, asociado con suelos saturados poco cohesivos (Sánchez 2013). Además, en la provincia de Manabí los suelos poseen un comportamiento expansivos porque están expuestos a procesos de contracción y expansión (Hernández et al. 2017). Es por esta razón que se debe aplicar ensayos de campos, para así tener mejor interpretación de las capas de suelos (Demera et al. 2019)

## Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

---

Debido a todos los daños causados por el terremoto, se ve la obligación de estudiar a más profundidad este fenómeno y sus consecuencias el proceso y sus efectos se ha basado en tres diferentes principios:

- Observaciones de campo durante y después de los terremotos
- Experimentos en el laboratorio en muestras de suelos saturados,
- Modelos de fundaciones y estructuras.

Se desarrollaron los diferentes ensayos en laboratorio de suelos para el estudio de las muestras a cada metro de profundidad, evaluando su 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 el 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 (Seed, H.B.; Idriss 1971)(Schmertmann 1978).

La investigación tiene como finalidad determinar la probabilidad de licuefacción del suelo para la ciudad de Calceta mediante el método de ensayo de penetración estándar SPT.

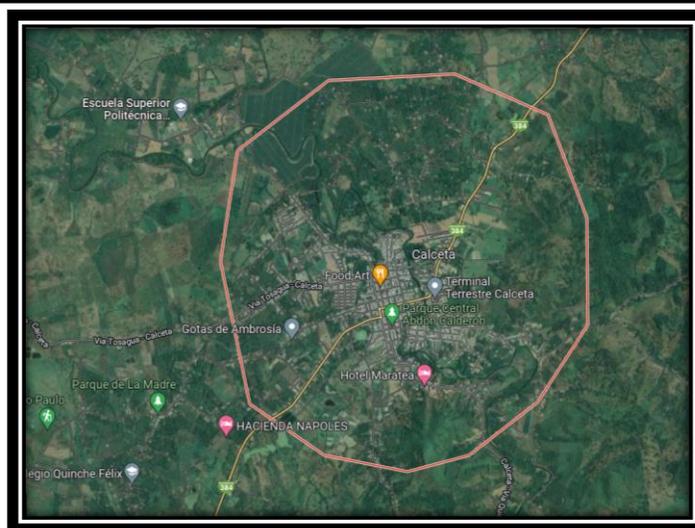
### **Zona de estudio**

La provincia de Manabí se caracteriza por su irregularidad geológica, por poseer zonas montañosas y planas y una variedad importante en los estratos, resistencias, plasticidad, densidad y humedad, donde sus propiedades están altamente influenciadas por nivel freático en el suelo generando pérdidas de firmezas y estabilidad.

La ciudad de Calceta se encuentra en las coordenadas  $0^{\circ}50'S80^{\circ}10'O$  /  $-084-80.17$ , ubicada en la provincia de Manabí en Ecuador, como se ilustra en la figura 1, 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.

La ciudad de Calceta se encuentra ubicada en una región tropical a cálida cuya extensión territorial es de aproximadamente  $537.80 \text{ km}^2$ , donde carece de estudios de suelos y requieren una exhausta investigación el cual nos permitan caracterizar la litología con una mayor aproximación y representación en las muestras (Zambrano-Rendón, V. A., Ortiz-Hernández, E. H., & Alcívar-Moreira 2021).

Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador



**Figura 1:** Ubicación de la zona de estudio de la ciudad de Calceta. *Fuente: Google Maps*

## Materiales y métodos

### Ensayo de penetración estándar (SPT)

El método de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) es tal vez el más conocido y usado en la exploración de suelos, tal vez por su sencillez de ejecución y sobre él existe una literatura muy abundante (González Caballero 2004). El ensayo de penetración estándar (SPT), es un ensayo in situ de penetración, por medio de golpes define los parámetros de diseño geotécnico, este contiene variaciones las cuales se deben correlacionar por diferentes métodos, dependiendo del material extraído del suelo para calcular las correcciones del número de golpes ( $N_{corr}$ ) (Goharzay et al. 2017). Las variaciones del ensayo SPT se deben tener en cuenta para calcular las correcciones de los parámetros de energía y presión por confinamiento ( $C_n$ ), con los cuales obtendremos los valores finales para las correlaciones entre el número de golpes ( $N$ ) y el ángulo de fricción ( $\phi$ ). Calculando estas correlaciones por diferentes métodos y teniendo en cuenta cada método que tipo de material utiliza y valores ya estandarizados en los sectores podremos definir cuál es el método más aproximado para los diseños geotécnicos (Carmona-Álvarez 2014). 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 2009).

Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

El equipo de penetración estándar o SPT, consiste en dejar caer libremente desde una altura de 75 cm un martillo con 64 kg de peso sobre un contrapeso y aunque acoplado a una tubería de perforación y en cuyo extremo inferior se encuentra el penetrómetro como se ilustra en la figura 2 (E. Ortiz-Hernández et al. 2022). 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 (Campos Muñoz 2012). En los perfiles estratigráficos se muestra la variación con la profundidad del número de golpes obtenidos en la prueba de penetración estándar.

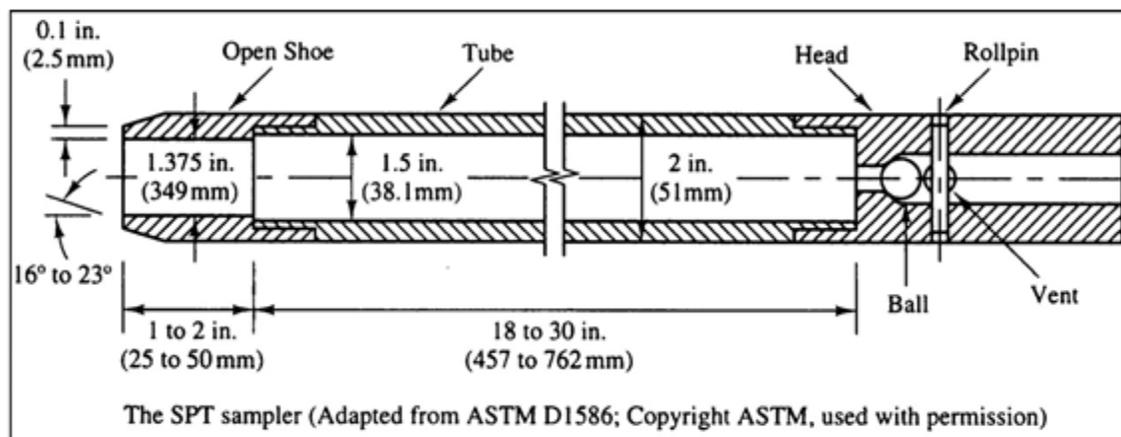
Se contabiliza y se anota el número de golpes necesarios para hincar la cuchara los primeros 15 centímetros (N0–15). Seguidamente se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 centímetros, anotando el número de golpes requerido para la hinca en cada intervalo de 15 centímetros de penetración (N15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



**Figura 2:** Ensayo de Penetración Estándar (SPT) realizado en la ciudad de Calceta.

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

(Córdova Neumane 2019), él toma muestras permite por otro lado recoger una muestra alterada del suelo que posibilita su identificación según ilustra la figura 3.



**Figura 3:** Toma muestras o cuchara SPT. (ASTM, D. 1586-84, 1988).

**Ensayos de laboratorio.** - Partiendo de las muestras extraídas a cada metro del ensayo de SPT se procedió a realizar los siguientes ensayos:

- Ensayo de Humedad (ASTM D-18 2005)
- La densidad de sólidos (ASTM - D854-02 2002).
- Límites de atterberg (ASTM D423-66. 1972),
- Granulometrías finas (ASTM - D422-63. 2007),

### **Determinación del factor de seguridad para la ciudad de Calceta**

La determinación del factor de seguridad para la ciudad de Calceta es esencial para evaluar el riesgo de licuefacción. El (Fs) se refiere a la relación entre la resistencia del suelo y la carga cíclica sísmica a la que está expuesto.

Para determinar el factor de seguridad en la ciudad de Calceta, se partió del estudio geotécnico del suelo y el análisis del nivel de agua subterránea en la zona, así como análisis de carga para evaluar cómo el suelo y las estructuras construidas sobre él responderían a diferentes escenarios sísmicos.

Una vez recolectados y analizados los datos, se puede calcular el factor de seguridad utilizando la fórmula siguiente:

### **Factor de seguridad = CRR / CSR (Ec 1)**

Si el factor de seguridad es menor a 1, eso significa que el suelo no tiene suficiente resistencia para soportar la carga sísmica y hay riesgo de licuefacción (Seed, H.B.; Idriss 1971). Es importante mencionar que el factor de seguridad se debe calcular regularmente y en función a las características geológicas y sísmicas del lugar, ya que puede variar con el tiempo, y se deben tomar medidas para mejorarlo y así mitigar el riesgo de licuefacción (Bolton Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung 1985). Para evaluar el (PL) en la ciudad de Calceta, se utilizó la prueba de penetración estándar (SPT) (Bolton Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung 1985), y se utilizaron métodos simplificados para el cálculo del factor de seguridad como se ilustra en la ecuación (1), su relación de resistencia cíclica (CRR) y la relación de tensión cíclica (CSR). Estos métodos fueron desarrollados originalmente por (Seed, Idriss, and Arango 1983), y posteriormente actualizados por (Seed, R.B.; Cetin, K.O.; Moss, R.E.S.; Kammerer, A.; Wu, J.; Pestana, J.; Riemer, M.; Sancio, R.B.; Bray, J.D.; Kayen 2003), (Youd, T. L., & Idriss 2001).

### **Índice Potencial de Licuefacción (LPI)**

Este permite cuantificar la severidad de licuefacción y predecir los daños o potencial de fallas en la superficie producto de licuefacción de zonas propensas a sufrir este fenómeno (Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., & Sato 1982), Para este índice se pondera los factores de seguridad y espesores de capas potencialmente licuables en función de la profundidad, se asume la severidad directamente proporcional al espesor acumulado de capas licuadas, Proximidad de capas que presentan licuefacción a la superficie y cantidad en que el factor de seguridad (FS) es menor a 1. La expresión propuesta por (Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., & Sato 1982)

$$LPI = \int_0^{20} F(z) w(z) dz \quad (\text{Ec 2})$$

El índice de potencial de licuefacción,  $r$  es la función del factor de seguridad contra la licuefacción en profundidad  $Z$  y  $Wz$  es la función de profundidad. (Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., & Sato 1982) propuso cuatro categorías para evaluar la gravedad de la licuefacción.

La gravedad de la licuefacción es muy baja para  $IL = 0$  o no licuable, baja para  $IL < 5$  ósea no hay efecto de licuación, baja para  $IL$  entre  $5 < IL < 15$  puede existir efectos de severos de licuación, entre

Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

15<IL<100 efectos severos de licuación, IL 100 suelos altamente licuables. En el caso de Calceta se observan en la tabla 4 la alta probabilidad de Licuefacción y el bajo factor de seguridad

**Análisis y Resultados**

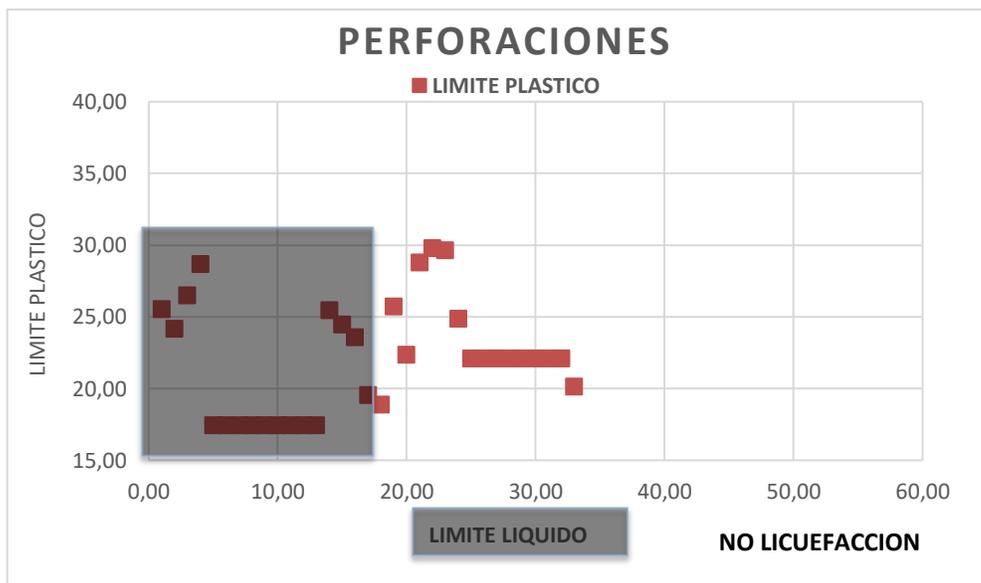
Se analizaron los datos obtenidos de la caracterización geotécnica, ofreciendo datos importantes para esta investigación. En la Tabla N°1, se muestra la localización del SPT ubicado en el área estudio.

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

| Coordenadas     | Perforación |
|-----------------|-------------|
| 0593016-9906169 | P-001       |

De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se pudo determinar que el suelo del sector donde se realizó el ensayos de SPT a una profundidad de 15 metros presenta índices de plasticidad de baja a media como se muestra la figura 4.

**Figura 4: Parámetros geotécnicos del suelo de Limite Liquido en la ciudad de Calceta.**



El comportamiento de los suelos es complejo debido a los contenidos de finos que posee el suelo, la importancia del tamiz #200 se hace evidente cuando se analizan las fuerzas dominantes sobre las

Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

partículas, incluyendo las de peso propio, las fuerzas debidas a los esfuerzos efectivos, fuerzas eléctricas, y fuerzas capilares (Narsilio, G. A., & Santamarina 2016).

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) estos presentan tipos de suelo CL (Arcilla de baja plasticidad), ML, MH, (Limos de baja a Alta Plasticidad con presencias de estratos de Arena, y Arenas limosas). Las propiedades de plasticidad de los suelos del área de estudio según menciona (Chen F.H., (1975)), el suelo puede ser clasificado como bajo a medianamente expansivo.

**Tabla 2: Correlación para suelos no cohesivos entre  $D_r$ , compacidad y N (Hunt 1984)**

| COMPACIDAD        | DENSIDAD RELATIVA ( $D_r$ ) | 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 3: Relación de la consistencia en suelos cohesivos con el número de golpes del SPT (Villalaz, 2004)**

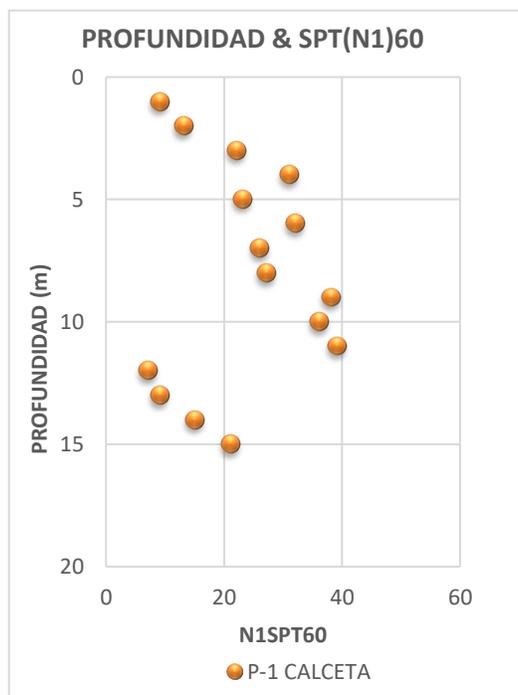
| Consistencia | N (SPT) |
|--------------|---------|
| Muy blanda   | < 2     |
| Blanda       | 2 – 4   |
| Media        | 4 – 8   |
| Compacta     | 8 – 15  |
| Muy compacta | 15 – 30 |
| Dura         | > 30    |

La tabla 2 muestra valores basados con el número de golpes del SPT y su compacidad según (Hunt 1984), pertenecientes a suelos no cohesivos. Para los suelos que presenta cohesión se ilustra la tabla 3, comparandolos con los N del SPT según (Villalaz 2004), que de acuerdo a los resultados obtenidos

Evaluación de Probabilidad de Licuefacción en la Ciudad de Calceta – Manabí – Ecuador

en el laboratorio de suelos presentan una compacidad de sueltas a densas. En los estratos de limos, arenas y de arcillas estos suelos son considerados con consistencia entre media a muy compactas de acuerdo a los valores del número de golpes del SPT como se ilustra en la figura 5.

**Figura 5: Resumen de la perforación realizada en la ciudad de Calceta de  $SPT_{N1(60)}$**



Esta investigación se contrasta con los estudios realizados por Zambrano et al. (2020) para la ciudad de Calceta quien entre sus conclusiones señala que, dada las condiciones del suelo, poseen una alta probabilidad de licuefacción, ratificando lo que se ha determinado en esta investigación al obtener un FS de 0.55, tal como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4. Resultados del cálculo del factor de seguridad (Fs) según la profundidad**

| PERFORACION<br>N N° | POZO                   | CSR(8,0) | FS   | CR<br>R | PL (Probabilidad de<br>licuefaccion ) |
|---------------------|------------------------|----------|------|---------|---------------------------------------|
| 1                   | P1-SPT-<br>CALCET<br>A | 0,38     | 0,55 | 0,21    | 0,923                                 |

### Conclusión

De acuerdo a la metodología utilizada en la ciudad de Calceta para el análisis de probabilidad de licuefacción de suelo, se establece que el área de estudio está formada por suelos saturados y no saturados de ambientes aluviales y aluvial-coluviales. Con límites líquidos que varían según la profundidad entre bajo y alto, además la plasticidad oscila entre baja y media y registrando un factor de seguridad de 0.55 en la perforación analizada, concluyendo que las características de estos suelos contribuyen a que se presente el fenómeno de licuefacción ante un movimiento sísmico. Este estudio puede contribuir de manera significativa, dando la pauta para que las entidades públicas y privadas realicen futuras investigaciones a nivel cantonal, siendo esta una herramienta indispensable para el buen uso del suelo y reordenamiento territorial

### Referencias

1. ASTM - D422-63. 2007. "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils" Soil and Rock Building, Book of Standards. 04(08).
2. 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).
3. 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."
4. ASTM D423-66. 1972. "Method of Test for Liquid Limit of Soils (Withdrawn 1982) "Soil and Rock Building, Book of Standards. 04(08).
5. Bolton Seed, H., Tokimatsu, K., Harder, L. F., & Chung, R. M. 1985. "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations." Journal of Geotechnical

- Engineering 111(12): 1425–45. [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1985\)111:12\(1425\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9410(1985)111:12(1425)).
6. Campos Muñoz, D. 2012. “Estudio de La Variabilidad Del Suelo de Piura a Través Del SPT Para La Valoración Del F.S.” <https://hdl.handle.net/11042/1356%0A%0A>.
  7. Carmona-Álvarez, J. E. 2014. “Estudio de Resultados Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Para El Factor de Corrección (CN) y El Ángulo de Fricción ( $\emptyset$ ) Del Suelo Usando Diferentes Tipos de Correlaciones.”
  8. Chunga, K., Toulkeridis, T., Vera-Grunauer, X., Gutierrez, M., Cahuana, N., & Alvarez, A. 2017. “REVIEW OF EARTHQUAKES AND TSUNAMI RECORDS AND CHARACTERIZATION OF CAPABLE FAULTS ON THE NORTHWESTERN COAST OF ECUADOR.” *Science of tsunami hazards* 36(3).
  9. 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 En Los Terrenos de La Plan.” <http://201.159.223.180/handle/3317/12132>.
  10. Demera, Aragundi et al. 2019. “Estudio Para Determinar La Capacidad Portante Del Suelo Como Parámetro Geotécnico , Aplicando El Ensayo de Cono Dinámico de Penetración ( DCP ), En Los Terrenos Aledaños a La Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas.” *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología*: 4(2): 39–43.
  11. Dixit, J, D M Dewaikar, and R S Jangid. 2012. “Assessment of Liquefaction Potential Index for Mumbai City.” *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12: 2759–68. <https://nhess.copernicus.org/articles/12/2759/2012/>.
  12. Goharzay, Maral, Ali Noorzad, Ahmadrza Mahboubi Ardakani, and Mostafa Jalal. 2017. “A Worldwide SPT-Based Soil Liquefaction Triggering Analysis Utilizing Gene Expression Programming and Bayesian Probabilistic Method.” *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 9(4): 683–93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.011>.
  13. González Caballero, M. 2004. 44 El Terreno. ESIC.
  14. Hernández, Eduardo Humberto Ortiz, Eduardo Humberto Ortiz Moncayo, Lucia Katherine Macías Sánchez, and Ramona Panchana de Calderero. 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.

15. Hunt, R. E. 1984. “Geotechnical Engineering Investigation Manual.” New York: McGraw-Hill. 983.
16. Iwasaki, T., Tokida, K. I., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., & Sato, H. 1982. “Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using Simplified Methods.” In Proceedings of the 3rd international conference on microzonation, Seattle 3(2): 1310–1330.
17. Juang, C. H., Chen, C. J., Jiang, T., & Andrus, R. D. 2000. “Risk-Based Liquefaction Potential Evaluation Using Standard Penetration Tests.” Canadian Geotechnical Journal 37(6): 1195–1208. <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/t00-064>.
18. Narsilio, G. A., & Santamarina, C. 2016. “Clasificación de Suelos: Fundamento Físico, Prácticas Actuales y Recomendaciones.” Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA-Guillermo.[email protected] y [email protected].
19. Navia, Jimer, and Kervin Chunga. 2020. “Caracterización Geotécnica de Suelos Cohesivos-Granulares En La Ciudad de Chone.” FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ (July 2021).
20. Obermeier, Stephen F. 1996. “Use of Liquefaction-Induced Features for Paleo Seismic Analysis—An Overview of How Seismic Liquefaction Features Can Be Distinguished from Other Features and How Their Origin Can Be Used to Infer the Location and Strength of Holocene Paleo-Earthquakes.” Engineering Geology 44: 1–76. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013795296000403>.
21. Ortiz-Hernández, E., K. Chunga, J. L. Pastor, and T. & Toulkeridis. 2022. “Assessing Susceptibility to Soil Liquefaction Using the Standard Penetration Test (SPT)—A Case Study from the City of Portoviejo, Coastal Ecuador.” Land 11: 463. <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/4/463>.
22. Ortiz-Hernández, Eduardo, Kervin Chunga, Theofilos Toulkeridis, and José Luis Pastor. 2022. “Soil Liquefaction and Other Seismic-Associated Phenomena in the City of Chone during the 2016 Earthquake of Coastal Ecuador.” Applied Sciences 12(15): 7867. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7867>.
23. Rodríguez, J. A., & Pinto, N. E. 2009. “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. Sánchez, N. L. 2013. “Licuefacción de Suelos. UNEFA. Venezuela.”
25. Sandoval, E. A., & Pando, M. A. 2012. “Influencia Del Origen y La Mineralogía de Las Arenas En La Resistencia a Licuación.” *Ingeniería y Competitividad* 14: 153–63. <https://www.redalyc.org/pdf/2913/291323571012.pdf>.
26. Schmertmann, J. H. 1978. Use the SPT to Measure Dynamic Soil Properties?--Yes, But.!
27. Seed, H.B.; Idriss, I.M. 1971. “Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential.” ed. J. Soil Mech. Found. Div. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division* 97: 1249–1273. <https://ascelibrary.org/doi/epdf/10.1061/JSFEAQ.0001662>.
28. Seed, R.B.; Cetin, K.O.; Moss, R.E.S.; Kammerer, A.; Wu, J.; Pestana, J.; Riemer, M.; Sancio, R.B.; Bray, J.D.; Kayen, R.E.; et al. 2003. “Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering: A Unified and Consistent Framework.” In *Proceedings of the 26th Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA*. 3. [https://digitalcommons.calpoly.edu/cenv\\_fac/8/](https://digitalcommons.calpoly.edu/cenv_fac/8/).
29. Seed, H. Bolton, I. M. Idriss, and Ignacio Arango. 1983. “Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data.” *Journal of Geotechnical Engineering* 109(3): 458–82. <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9410%281983%29109%3A3%28458%29> (January 13, 2023).
30. Villalaz, C. 2004. MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.
31. Youd, T. L., & Idriss, I. M. 2001. “Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSFworkshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils.” *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering* 127: 297–313. <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%291090-0241%282001%29127%3A10%28817%29> (April 28, 2022).
32. Zambrano-Rendón, V. A., Ortiz-Hernández, E. H., & Alcívar-Moreira, W. S. 2021. “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.” *Polo del Conocimiento* 6(8): 77–90. [https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es#google\\_vignette](https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es#google_vignette).