



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i1.4258>

Ciencias Técnicas y Aplicada  
Artículo de Investigación

***Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y  
Densímetro Nuclear***

***Comparison of Field Densities with the Sand Cone Method and Nuclear Density  
Meter***

***Comparação de densidades de campo com o método do cone de areia e medidor de  
densidade nuclear***

María Elena Cedeño García <sup>I</sup>  
[mcedeno6288@utm.edu.ec](mailto:mcedeno6288@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-5659-1957>

Nixon Ariel Llerena Aldaz <sup>II</sup>  
[nllerena0849@utm.edu.ec](mailto:nllerena0849@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0009-0002-8087-7824>

Eduardo Ortiz Hernandez <sup>III</sup>  
[eduardo.ortiz@utm.edu.ec](mailto:eduardo.ortiz@utm.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>

**Correspondencia:** [sbetancourtz@uteq.edu.ec](mailto:sbetancourtz@uteq.edu.ec)

**\*Recibido:** 20 de diciembre de 2024 **\*Aceptado:** 26 de enero de 2025 **\* Publicado:** 07 de febrero de 2025

- I. Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
- II. Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
- III. Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.

## Resumen

El siguiente trabajo busca realizar una comparación de dos métodos ampliamente utilizados en el área de la geotecnia, los cuales son el método del densímetro nuclear que ofrece una medición más rápida mediante la aplicación de radiación con los riesgos y ventajas que esta tecnología conlleva y el método del cono de arena basado en la sustitución del volumen, siendo uno sumamente utilizado por su precisión y sencillez. La comparativa tiene como fin de conocer cuál es más factible en dependiendo las circunstancias.

La comparación se llevó a cabo mediante el análisis de una muestra de suelo extraída en los predios de la Universidad Técnica de Manabí, la cuál será sometida a ambos métodos para comparar así los resultados, los cuales fueron bastante similares entre sí. Además de los resultados, se tomaron en consideración factores alrededor de los datos obtenidos como riesgos, costos y tiempos de los ensayos, esto debido a la diferencia de aplicación de los ensayos.

**Palabras claves:** cono de arena; densímetro nuclear; compactación; humedad.

## Abstract

The following work seeks to make a comparison of two methods widely used in the area of geotechnics, which are the nuclear densimeter method that offers a faster measurement through the application of radiation with the risks and advantages that this technology entails and the sand cone method based on volume substitution, being one widely used for its precision and simplicity. The purpose of the comparison is to know which is more feasible depending on the circumstances.

The comparison was carried out by analyzing a soil sample extracted from the premises of the Technical University of Manabí, which will be subjected to both methods to compare the results, which were quite similar to each other. In addition to the results, factors surrounding the data obtained such as risks, costs and test times were taken into consideration, due to the difference in application of the tests.

**Keywords:** sand cone; nuclear densimeter; compaction; humidity.

## Resumo

O seguinte trabalho busca fazer uma comparação de dois métodos amplamente utilizados na área de geotecnia, que são o método do densímetro nuclear que oferece uma medição mais rápida através da

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

---

aplicação de radiação com os riscos e vantagens que esta tecnologia acarreta e o método do cone de areia baseado na substituição de volume, sendo amplamente utilizado pela sua precisão e simplicidade. O objetivo da comparação é saber o que é mais viável dependendo das circunstâncias. A comparação foi realizada através da análise de uma amostra de solo extraída das dependências da Universidade Técnica de Manabí, que será submetida aos dois métodos para comparar os resultados, que foram bastante semelhantes entre si. Além dos resultados, foram levados em consideração fatores que envolvem os dados obtidos como riscos, custos e tempos de testes, devido à diferença na aplicação dos testes.

**Palavras-chave:** cone de areia; densímetro nuclear; compactação; umidade.

### Introducción

En la provincia de Manabí, por tener presencia de suelo geotécnicamente desfavorable Ortiz et al (2022), se plantea estudiar las múltiples problemáticas que sufren las vías del Ecuador Hernández et al (2017). La determinación de la densidad del suelo en laboratorios y campo es unos aspectos fundamentales en las obras de ingeniería, donde la importancia de la verificación de su compactación hace que las obras como vías, puentes, presas entre otros tengan mayor seguridad en sus cimientos, como lo señalan Vera et al (2019). Los estudios de suelos han ido evolucionando con el paso del tiempo, con ensayos tradicionales demostrando parámetros geotécnicos con menor margen de error al investigar correlaciones correspondientes como el Cono Dinámico de Penetración (DCP), Lupita, A. D. M., et al (2020).

Entre los métodos más usados para medir la densidad de campo son el método de cono de arena y el densímetro nuclear Guerrón AVECILLAS, S. A. (2013). El método de cono de arena es un procedimiento con el que se obtienen resultados después de 24 horas, mientras que el densímetro nuclear permite con mayor rapidez determinar la densidad de los suelos. La elección entre estos métodos depende de factores como la precisión requerida, el tipo de suelo y las condiciones del sitio, Gómez & Vidal (2006).

El método de cono de arena, basado en la sustitución de volumen, es ampliamente utilizado debido a su simplicidad y bajo costo, aunque es un proceso manual que puede ser laborioso y requiere tiempo, aunque esto no supone mayor problema en países como Chile donde solo existe un método válido para efectuar los controles de compactación de suelos. Este es el método del cono de arena, el cual tuvo origen en el año 1979. Gómez & Vidal (2006).

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

Por otro lado, el densímetro nuclear ofrece una medición más rápida, empleando radiación para determinar la densidad húmeda y seca, pero implica consideraciones de seguridad y costos elevados por el uso de material radiactivo, en la actualidad los métodos estandarizados para medir la densidad in situ y contenido de humedad de un relleno compactado de forma directa son, el cono de arena y carburo de calcio o densímetro nuclear, Guevara & Canaza (2023). Lo cual hacen que los ensayos de campo y laboratorio nos permitan tener un control más exacto para los procesos constructivos, Intriago, E. C. G., et al (2024).

La comparación de estos dos métodos mediante la determinación de la densidad máxima de un suelo es crucial para identificar sus ventajas, limitaciones y la precisión de los resultados que ofrecen en distintas condiciones de campo, por ejemplo, el método de cono y arena posee algunas limitaciones relacionadas con el tiempo de ejecución de las pruebas para la determinación de la compactación de un relleno, Buenaventura et al (2025). Mientras que el densímetro nuclear para utilizarlo se necesita cierto nivel de estudio, para utilizar un densímetro nuclear que determina densidad y humedad de un suelo compactado de manera casi instantánea, se requiere tener certificación mediante la realización de un curso avalado por institutos de formación acreditados, Abad et al (2024).

### Descripción del área de estudio

Para el área de estudio se utilizarán los terrenos de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), especificando el material se extrajo de su sede en el cantón de Portoviejo, la cual se ubica en la Av. José María Urbina y Che Guevara con coordenadas UTM 560983.54 m E y 9884437.88 m S.

Figura 1.

Vista satelital del Jardín Botánico de la Universidad Técnica de Manabí - Portoviejo

### Desarrollo métodos

La investigación tuvo como punto de partida la extracción del material que sería sometido a experimentación. Las muestras fueron extraídas en diferentes puntos para realizar controles de densidad de terreno en la zona de 1 m<sup>2</sup> dentro de los predios de la UTM, específicamente en la zona del jardín botánico. Para la extracción de la muestra se utilizó herramientas de muestreos.

Las muestras obtenidas se sometieron a análisis mediante el densímetro nuclear y el cono de arena, de los cuales se analizó lo siguiente:

- Diferencia en la precisión de los resultados de densidad compactada húmeda obtenida en cada punto por medio de ambos métodos.

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

- Porcentaje entre la densidad húmeda determinada con el cono de arena y el densímetro nuclear.
- Incidencia en el porcentaje de compactación de la densidad máxima seca determinada en ambos métodos

### Ensayos y materiales

Se tomaron muestras del suelo a tres niveles: 0,5 m, 1 m y 1,5 m de profundidad, a estas muestras se sometieron a procesos para conocer el contenido de humedad, límite líquido, límite plástico y granulometría.

**Tabla 1**

*Resumen de resultados de datos de la muestra*

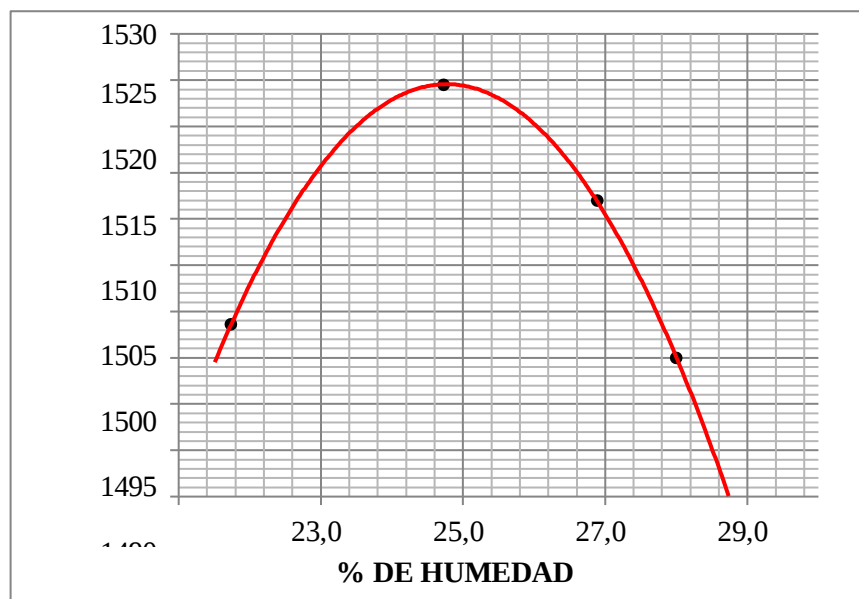
| Muestra #1    | Límites de Atterberg |                      |                            |                      | Clasificación de Suelo |      |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|------|
| Profundidad   | Límite Líquido (LL)  | Límite Plástico (LP) | Índice de Plasticidad (IP) | Humedad Natural (HN) | AASHTO                 | SUCS |
|               | (%)                  | (%)                  | (%)                        | (%)                  |                        |      |
| Cota 0,50 (m) | 41,29                | 31,56                | 9,73                       | 19,15                | A-4                    | ML   |
| Cota 1,00 (m) | 41,12                | 31,29                | 9,83                       | 19,38                | A-4                    | ML   |
| Cota 1,50 (m) | 39,72                | 29,80                | 9,92                       | 19,61                | A-4                    | ML   |
| Promedio      | 40,71                | 30,88                | 9,83                       | 19,38                | A-4                    | ML   |

Posteriormente se aplicó el ensayo de Proctor modificado estudiando cada una de las muestras, la cual sirvió para conocer la densidad seca máxima y su humedad óptima, Carballo et al (2023), tomando como referencia las normas de la ASTM D 698-91, ASTM D 1557-91, AASHTO T 99-94 y AASHTO T 180- 93.

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

**Figura 2**

*Curva Densidad-Humedad del ensayo de Procto*



Los resultados se muestran en la figura 2 (densidad seca y porcentaje de humedad) elegido por Proctor para representar los estados de compactación de un suelo permanece como plano de referencia para abordar el estudio de compactación, Viveros (2015).

Mediante la aplicación del Proctor el resultado de la Densidad seca máxima fue 1525 kg/cm<sup>3</sup> y el porcentaje de humedad óptima es de 24.77%.

A continuación, se realizó la prueba de CBR en laboratorio al 95% de su densidad máxima seca, con el fin de conocer la capacidad portante del terreno. La resistencia se define y se mide normalmente por pruebas de compresión inconfiada, % CBR, o pruebas in situ con veleta de corte, Viveros (2015), tomando como referencia las normas: ASTM 1883, UNE 103502. El CBR arrojó un valor de 4.89.

## Resultados

Para realizar la comparación entre los métodos se determinó la densidad seca (Ds), la densidad húmeda (Dh), el porcentaje de compactación y el contenido de humedad (%W).

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

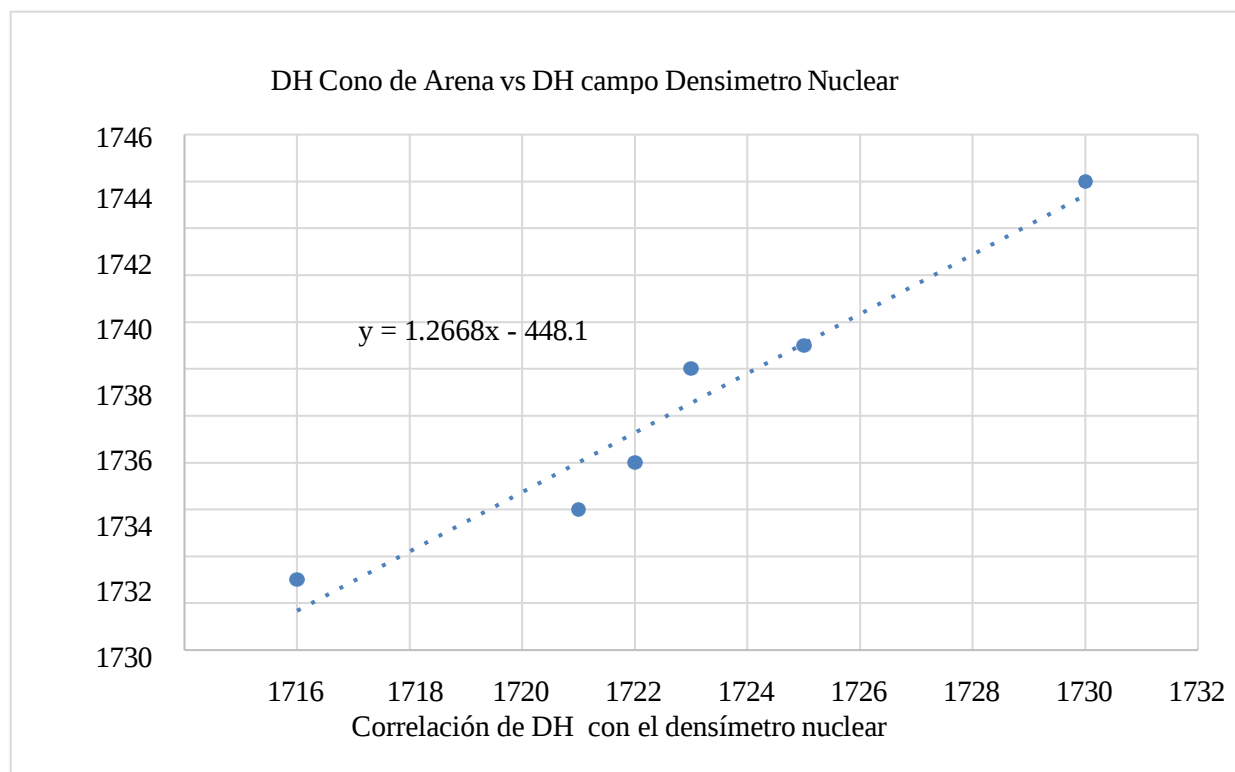
**Tabla 2**

*Resultados de pruebas de Dh con densímetro nuclear y cono de arena*

| Dh (Cono de arena) |             | Dh (Densímetro nuclear) |
|--------------------|-------------|-------------------------|
| 1744               | >           | 1730                    |
| 1737               | >           | 1725                    |
| 1736               | >           | 1723                    |
| 1732               | >           | 1722                    |
| 1730               | >           | 1721                    |
| 1727               | >           | 1716                    |
| <b>Promedio</b>    |             |                         |
| <b>1734</b>        | <b>&gt;</b> | <b>1723</b>             |

**Figura 3**

*Correlación de datos brindados por los métodos densímetro nuclear y cono de arena en la Dh*



En la tabla 2 se muestran los resultados de la Densidad húmeda (Dh), lo cual se evidenció que el cono arena obtuvo valores superiores a comparación con los valores del densímetro nuclear, teniendo como

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

resultado un promedio de 1734  $\text{kg}/\text{cm}^3$  para el cono de arena y 1723  $\text{kg}/\text{cm}^3$  para el densímetro nuclear.

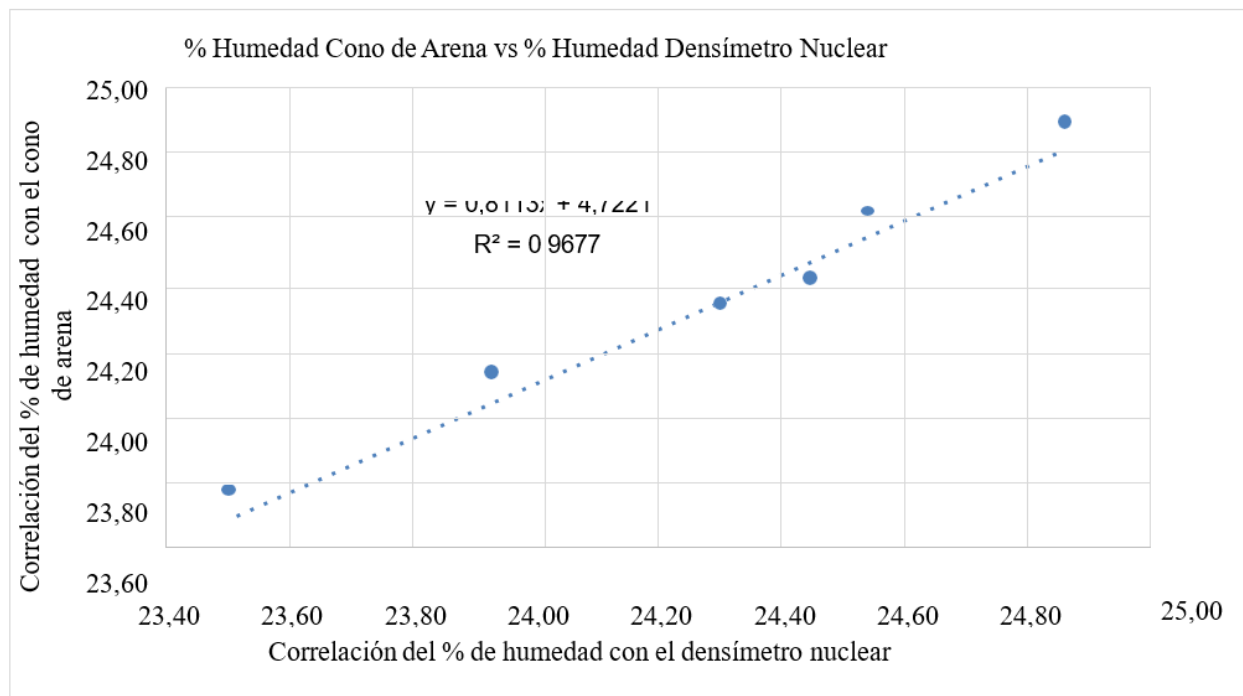
**Tabla 3**

*Resultados de pruebas de %W con densímetro nuclear y cono de arena*

| %W (Cono de arena) |   | %W (Densímetro nuclear) |
|--------------------|---|-------------------------|
| 24,92              | > | 24,80                   |
| 24,61              | > | 24,54                   |
| 24,47              | > | 24,40                   |
| 24,35              | > | 24,30                   |
| 24,20              | > | 23,90                   |
| 23,78              | > | 23,50                   |
| <b>Promedio</b>    |   |                         |
| <b>24,39</b>       | > | <b>24,13</b>            |

**Figura 4**

*Correlación de datos brindados por los métodos densímetro nuclear y cono de arena en el %W*



## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

En la Tabla 3, el porcentaje de humedad (%W) mostró una notable similitud entre ambos métodos de medición. El promedio obtenido con el cono de arena fue de 24,39%, mientras que el del densímetro nuclear fue de 24,13%, esta pequeña diferencia que hay entre ambos métodos proporciona resultados muy cercanos y no afecta de manera significativa las conclusiones del análisis.

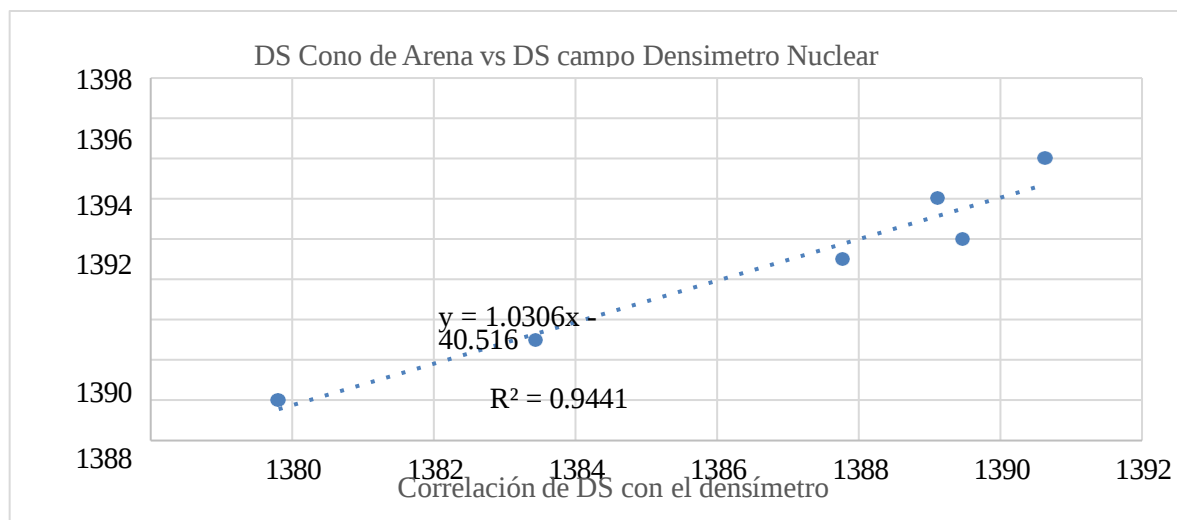
**Tabla 4**

*Resultados de pruebas de Ds con densímetro nuclear y cono de arena*

| Ds (Cono de arena) |   | Ds (Densímetro nuclear) |
|--------------------|---|-------------------------|
| 1394               | > | 1391                    |
| 1392               | > | 1389                    |
| 1390               | > | 1389                    |
| 1389               | > | 1388                    |
| 1385               | > | 1383                    |
| 1382               | > | 1380                    |
| <b>Promedio</b>    |   |                         |
| <b>1389</b>        | > | <b>1387</b>             |

**Figura 5**

*Correlación de datos brindados por los métodos densímetro nuclear y cono de arena en la Ds*



## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

Los datos obtenidos en la tabla 4, muestran que los valores promedio son muy similares entre ambos métodos. El promedio registrado con el cono de arena es de 1388 kg/cm<sup>3</sup>, mientras que el densímetro nuclear alcanza un promedio de 1387 kg/cm<sup>3</sup>.

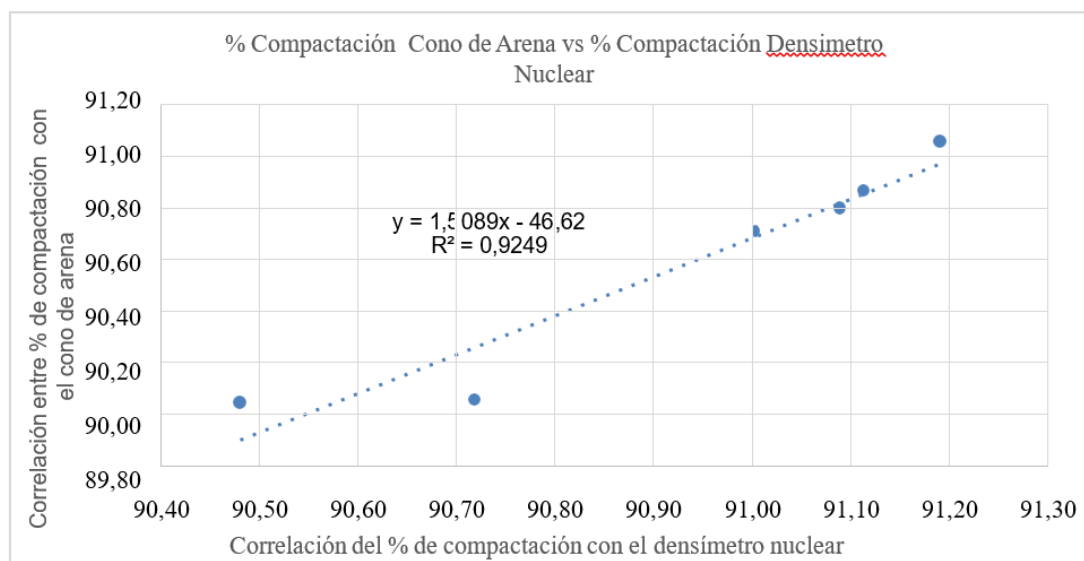
**Tabla 5**

*Resultados de porcentaje de compactación con densímetro nuclear y cono de arena*

| % Compactación (Cono de arena) |   | % Compactación (Densímetro nuclear) |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|
| 91,05                          | < | 91,19                               |
| 90,86                          | < | 91,11                               |
| 90,80                          | < | 91,09                               |
| 90,70                          | < | 91,00                               |
| 90,05                          | < | 90,72                               |
| 90,04                          | < | 90,48                               |
| <b>Promedio</b>                |   |                                     |
| <b>90,58</b>                   | < | <b>90,93</b>                        |

**Figura 6**

*Correlación de datos brindados por los métodos densímetro nuclear y cono de arena en el % compactación*



En la tabla 5 el porcentaje de compactación también nos reveló una notable similitud entre ambos

## Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

---

métodos, con un promedio de 90% para el cono de arena y 91% para el densímetro nuclear. Estos resultados reflejan una diferencia mínima respecto a los valores promedios en las pruebas de campos. Los datos arrojados no difieren de manera extravagante entre ambos métodos, debido a la cercanía de los valores obtenidos, es importante tomar en consideración más factores, a fin de realizar una mejor comparativa, como costos, velocidad y riesgo de fallos.

### Conclusiones

Se puede concluir que ambos métodos son aptos para la realización de proyectos y la obtención de densidades, esto debido a la similitud de los valores obtenidos, ya que sus resultados no difieren demasiado entre sí.

Mediante la aplicación de los métodos empleados existe una mayor confiabilidad en el método del cono de arena, sin embargo, por la naturaleza del método al ser manual también existe la posibilidad de la aparición de errores humanos.

El proceso de obtención de datos mediante el cono de arena es más lento, lo que puede ser una desventaja en proyectos que requieren resultados rápidos. Por otro lado, el densímetro nuclear tiene como ventaja que permite obtener mediciones rápidas y precisas de la densidad y humedad del suelo, lo que lo hace ideal para proyectos que requieren datos inmediatos.

Finalmente, no hay un método mejor que otro y la elección entre cono de arena o densímetro nuclear se deberá de elegir en base a las características del proyecto, el tiempo, la economía y la calidad de mano de obra.

### Referencias

1. Assessing susceptibility to soil liquefaction using the standard penetration test (SPT)—a case study from the city of Portoviejo, Coastal Ecuador. Ortiz-Hernández, E., Chunga, K., Pastor, J. L., & Toulkeridis, T. 4, 2022, Land, Vol. 11, pág. 463.
2. Hernández, E. H. O., Moncayo, E. H. O., Sánchez, L. K. M., & de Calderero, R. P. Behavior of clayey soil existing in the portoviejo canton and its neutralization characteristics. s.l. : Journal of College and University., 2017. pág. 2261. Vol. 2454.
3. Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con

---

Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

---

1. ensayos de Valor de Soporte de California (CBR) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la
2. Universidad Técnica de Manabí. Vera, C. A. M., Delgado, J. R. G., Hernández, E. H. O., & Vínces, J. J. G.; 2019.
3. Demera, M. L. A., Romero, C. M. D., Hernández, E. H. O., & Gutiérrez, D. A. D. 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. Portoviejo : Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 2019. págs. 39-43. Vol. 4.
4. Comparación de resultados de densidad de campo por los métodos cono y arena, volumétrico y densímetro nuclear. Guerrón AVECILLAS, S. A. 2013.
5. Correlación entre densímetro nuclear y cono de arena para suelos finos de baja plasticidad y no cohesivos. Soledad, Gómez Lorenzini María y Sergio, Vidal Arcos. 2, Santiago, Chile : Revista de la Construcción, 2006, Vol. 5. pp. 23-32.
6. Estimation of the dry density of a granular backfill using the dynamic cone penetrometer. Guevara Lopez Iván José, Canaza Rojas Ferrer. 77-91, Lima, Perú : Gaceta Técnica, 2023, Vol. 24(2). ISSN: 2477-9539.
7. Gómez Intriago Estefani Carolina, Guevara Sánchez Doménica Fernanda, Ortiz Hernández Eduardo. 3, Portoviejo, Ecuador : Polo del Conocimiento, 2024, Vol. 9. ISSN: 2550 - 682X.
8. Buenahora Ballesteros Carlos Andrés, Bravo Molina Oscar Mauricio, Martínez Graña Antonio Miguel, Pedroza Rojas Álvaro Orlando. MASW, Compatibilidad del ensayo de cono de arena con el equipo LWD para el control de calidad de rellenos in situ y análisis de ensayos. 1, Salamanca, España : Resvista Ingenio, 2025, Vol. 22. ISSN: 2011-642X - E-ISSN: 2389-864X.
9. Abad Julieta, Anatuati María Victoria, López Mariano, Montes Calero Laureen, Rucci Graciana.
10. ¿Cómo aprovechar la inversión en infraestructura para la creación de empleo de calidad y desarrollo de habilidades para el trabajo? Acercando la infraestructura a las personas.
11. Washington, D.C : Banco Interamericano de Desarrollo - División de Mercados Laborales y Seguridad Social, 2024. IDB-TN- 02885.

---

Comparación de Densidades de Campo con el Método Cono de Arena y Densímetro Nuclear

---

12. Análisis de una base granular estabilizada con cemento y adición de fibras de PET reciclado. Carballo Rojas Mauricio, Murillo Chacón Minor, Gallardo Mejía María Del Carmen. 44, San José, Costa Rica : Revista Infraestructura Vial , 2023, Vol. 25. ISSN electrónico: 2215-3705 .
13. Livaniel, Viveros Rosero. Influencia del proceso de compactación en la resistencia al corte de un
14. suelo derivado de ceniza volcánica. Tesis de investigación presentada como requisito parcial
15. para optar al título de: Magister en Ingeniería - Geotecnia. Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, 2014.

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|