

## Evaluación de la Capacidad Predictiva de los Métodos de Estimación del Comportamiento Mecánico de los Suelos Lacustres de la Bahía de Puno, para Cimentaciones Superficiales

**Mariano Roberto Garcia Loayza**<sup>1</sup>

[romagalo55@gmail.com](mailto:romagalo55@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9022-1680>

Universidad Nacional del Altiplano Puno  
Perú

**Jhonatan Hinojosa Mamani**

[jhinojosa@unap.edu.pe](mailto:jhinojosa@unap.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-4571-2453>

Universidad Nacional del Altiplano Puno  
Perú

**Samuel Laura Huanca**

[slaura@unap.edu.pe](mailto:slaura@unap.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0003-0849-3607>

Universidad Nacional del Altiplano Puno  
Perú

**Hector Efrain Flores Ortega**

[hflores@unap.edu.pe](mailto:hflores@unap.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-1248-2989>

Universidad Nacional del Altiplano Puno  
Perú

### RESUMEN

La presente investigación realiza una evaluación de la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno para cimentaciones superficiales, mediante la aplicación de procedimientos y métodos disponibles. En la bahía de Puno, los suelos lacustres son finos y cohesivos, resultado de partículas transportadas. La creciente demanda de construcción plantea desafíos para entender cómo estos suelos responden a cargas. En proyectos de cimentación, se busca determinar la capacidad de carga para prevenir daños por deformación. Se realizó una revisión de principios de mecánica de suelos para caracterizar estos suelos y se realizaron ensayos de laboratorio y pruebas en modelos a escala real con zapatas en la bahía de Puno. Los resultados nos mostraron la existencia de los suelos lacustres de la bahía de Puno, con contenidos de materia orgánica, que tiene baja resistencia al cortante y son compresibles, produciendo asentamiento perjudiciales para las edificaciones que puedan proyectarse en la zona. Asimismo Los resultados teóricos y las pruebas a escala real mostraron que la determinación predominante de la capacidad de carga se basa en la deformabilidad del suelo. Se encontró que las edificaciones con zapatas cuadradas de 1 metro pueden elevarse 1 piso, mientras que las de 1.50 metros pueden soportar 2 pisos. También se consideran que es posible utilizar métodos basados en resistencia con una reducción en el valor calculado, y se recomienda el método de consolidación unidimensional (edométrico) para calcular la capacidad de carga.

**Palabras clave:** *Cimentaciones superficiales, comportamiento mecánico, suelo lacustre, capacidad portante, consolidación de suelos.*

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [romagalo55@gmail.com](mailto:romagalo55@gmail.com)

# **Evaluation Of The Predictive Capacity Of The Methods Of Estimation Of The Mechanical Behavior Of The Lacustrine Soils Of The Bay Of Puno, For Superficial Foundations**

## **ABSTRACT**

This research assesses the predictive capacity of methods for estimating the mechanical behavior of lacustrine soils in the Bay of Puno for shallow foundations, using available procedures and methods. In the Bay of Puno, lacustrine soils consist of fine, cohesive sediments formed by transported particles. The increasing construction demand presents challenges in understanding how these soils respond to loads. In foundation projects, determining the bearing capacity is essential to prevent deformation-related damage. A review of soil mechanics principles was conducted to characterize these soils, accompanied by laboratory tests and real-scale model tests with footings in the Bay of Puno. The results revealed the presence of lacustrine soils in the Bay of Puno, with organic content, low shear strength, and compressibility, leading to detrimental settlements for potential constructions in the area. Additionally, theoretical results and real-scale tests indicated that the predominant factor in determining bearing capacity is soil deformability. Buildings with square footings of 1 meter were found to support one story, while those with 1.50-meter square footings could support two stories. It is also feasible to employ strength-based methods with a reduced calculated value, and the one-dimensional consolidation (oedometer) method is recommended for calculating bearing capacity.

**Keywords:** *Superficial foundations, mechanical behavior, lacustrine soil, bearing capacity, soil consolidation.*

*Artículo recibido 20 julio 2023*

*Aceptado para publicación: 20 agosto 2023*

## INTRODUCCIÓN

En la bahía de Puno, tenemos suelos finos cohesivos lacustres, formados principalmente por la sedimentación de suelos finos transportados ya sea por los ríos o por el viento. Los suelos en la bahía de Puno presentan una particularidad relevante: exhiben una composición con un notorio contenido de material orgánico, resultado de la influencia de la actividad biológica de la flora y fauna autóctonas en la región de investigación (Castro, 2023). Esta actividad biológica ha contribuido significativamente a la acumulación de material orgánico en los suelos, lo que puede tener implicaciones importantes en la ingeniería civil, especialmente en lo que respecta a la capacidad de carga y la compresibilidad de estos suelos al considerar proyectos de construcción o cimentaciones (Auvinet et al., 2019). Con el pasar del tiempo y con el desarrollo económico creciente de nuestro país, particularmente, de nuestra región, la población urbana de la ciudad de Puno ha crecido y con ella se incrementó la necesidad de vivienda, y por consiguiente creció la necesidad de espacios para solucionar esa necesidad de espacio.

La expansión de Puno se ha extendido en todas direcciones, incluyendo hacia el este, donde colinda con el Lago Titicaca, donde ha ocupado áreas que en el pasado se considerarían inadecuadas para la urbanización. El espacio en cuestión experimentó cambios tecnológicos que en un corto período de tiempo transformaron el panorama de antaño (Camargo, 2023), que en palabras de Romero (2022) “ha dado lugar a un sistema de ciudades muy diverso donde subyace una compleja problemática socio-residencial que afecta la calidad de vida de un gran porcentaje de la población en la región” (p. 83). Esto implica que las soluciones desde la ingeniería se adapten a cada lugar y consideren la sostenibilidad a largo plazo, incluyendo la gestión de recursos y la preparación para desastres naturales, para mejorar la vida de la población (Rosas et al., 2022). Por ello se transcribe la necesidad de erigir una colaboración interdisciplinaria entre ingenieros civiles, urbanistas, arquitectos y otros profesionales para abordar esta compleja problemática de manera efectiva (Montaño-Arango et al., 2022), y promover un desarrollo urbano sostenible y equitativo en la región.

Por ende, la demanda actual ha impulsado su desarrollo y expansión urbana, y en paralelo hizo emerger nuevos desafíos relacionados con la respuesta del suelo a las cargas generadas por las

nuevas construcciones, que están principalmente orientadas hacia la vivienda, traducidas en “costos acumulados en que incurren las familias a lo largo tiempo debido a su acceso inadecuado a agua potable y saneamiento” (Alvaro, 2020, p. 41). Estos desafíos involucran aspectos clave de la ingeniería civil, como la capacidad de carga del suelo, la estabilidad de las estructuras y la mitigación de riesgos geotécnicos (Cevallos et al., 2020). La planificación de las ciudades, la distribución del suelo, la expansión urbana y el proceso de urbanización tienen un impacto directo en la transformación del uso del suelo, que resulta de un aumento en la población y el uso no sustentable de la tierra (Bernal et al., 2022). Este modelo de crecimiento desordenado, desigual y sin una planificación adecuada suele ser impulsado principalmente por el crecimiento económico, la industrialización y el incremento de la población urbana (Santos y Ganges, 2023), por lo que la exploración del suelo aporta una relevancia fundamental que posibilita la evaluación del terreno y la adaptación de un proyecto de construcción civil de acuerdo al diseño específico que se planea ejecutar (Melchor et al., 2021).

En consecuencia, resulta esencial adquirir un conocimiento profundo y llevar a cabo un enfoque meticuloso para analizar el comportamiento geotécnico del terreno en esta localidad, con el propósito de asegurar tanto la integridad estructural como la eficacia funcional de las edificaciones (Montero, 2017). En paralelo Quinde & Reinoso (2020) señalan que los estudios sobre la adecuada caracterización y tratamiento del suelo son de suma relevancia en el campo de la ingeniería civil, dado que la estabilidad geotécnica del terreno constituye un factor primordial en la prevención de riesgos y en la garantía de la seguridad y durabilidad a largo plazo de las estructuras en esta localidad específica. Castellanos y Rodríguez (2022) consideran importante realizar estudios de laboratorio y campo que aborden la variabilidad geológica, para reducir la incertidumbre en el uso de esta técnica geotécnica y promoviendo su aplicación beneficiosa. Además, se debe realizar un análisis detallado de costos para comparar su eficacia con las soluciones convencionales en cimentación profunda.

Para materializar o ejecutar todas las estructuras, provisionales o definitivas, de las obras (presas, puentes, edificios, carreteras, tanques, etc.), a pequeña o gran escala, que de seguro se apoyan sobre el terreno de la bahía de Puno se requiere que los ingenieros encargados de esa tarea tengan

conocimiento sobre el comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la zona (Álvarez-Deulofeu et al., 2021). Este conocimiento se convierte en un pilar fundamental, ya que la estabilidad y el rendimiento a largo plazo de estas obras dependen en gran medida de la interacción con el terreno subyacente, que presenta características geotécnicas particulares y desafiantes, que en el análisis de Rosales - Veitia & Marcano-Montilla (2022) se percibe que la noción y sensibilidad sobre del riesgo ha experimentado una evolución significativa, y aunque inicialmente se consideró el riesgo como un constructo social, a lo largo del tiempo se han incorporado diversas variables que indican una marcada tendencia hacia la gestión del desarrollo. Esta tendencia refleja una mayor consideración de factores y aspectos relacionados con la planificación y ejecución de proyectos, con el propósito de mitigar y controlar los riesgos asociados (Moran-Fuentes et al., 2022). Por lo tanto, la adquisición de información precisa y la aplicación de prácticas geotécnicas adecuadas son esenciales para garantizar la seguridad y la efectividad de dichas construcciones en este entorno específico (Román et al., 2020). Así mismo la obtención precisa de datos geotécnicos y la aplicación de métodos geotécnicos apropiados son cruciales para asegurar la seguridad y la durabilidad de las estructuras en este contexto particular. En tal sentido, el comportamiento mecánico del suelo en general, para el proyecto y construcción de cimentaciones superficiales, se expresa a través de la determinación de la carga máxima admisible (Atkinson, 2007), expresado mediante la capacidad portante del suelo, que no cause ningún problema de rotura o deformación excesiva del suelo que afecte el normal y adecuado funcionamiento en servicio de las estructuras o edificaciones construidas sobre el suelo.

Entonces, la resolución de desafíos en proyectos de construcción civil requiere un enfoque sistemático que aplique una lógica estructurada (Muñoz & Llamo, 2023). Este enfoque encausa la generación de diseños de proyectos que se ajustan de manera eficiente a las condiciones de la obra real, que reluce la toma de decisiones ejecutiva de quienes dirigen la obra, teniendo en cuenta que los proyectos de infraestructura compleja pueden conllevar riesgos técnicos significativos, en su mayoría atribuibles a cuestiones relacionadas con el diseño, la ejecución y el funcionamiento de la obra, en especial a los casos que se relacionan con el factor de la naturaleza del suelo donde se ejecutará el proyecto de construcción (Lecuyer, 2023).

La capacidad portante se determina tradicionalmente a través de dos criterios: la resistencia al cortante y la deformabilidad del suelo analizados por separado (Alonso, 2005). Cada uno de esos criterios reúne una serie de formulaciones y planteamientos para determinar la capacidad portante del suelo, mediante modelos planteados a partir de principios diferentes, la teoría de la plasticidad por un lado y la teoría de la elasticidad por el otro lado respectivamente (Auvinet et al., 2019). En ese sentido, el presente estudio se propone como objetivo evaluar la capacidad predictiva de los métodos de estimación del comportamiento mecánico de los suelos lacustres de la bahía de Puno para cimentaciones superficiales, mediante la aplicación de procedimientos y métodos disponibles.

## **METODOLOGÍA**

### **Ubicación**

El área en estudio, de esta investigación, se encuentra ubicado a lo largo del litoral lacustre, específicamente en el sector de la bahía interior de Puno zona sur, entre el Muelle de la ciudad de Puno y la Isla Espinar, provincia de Puno, Región Puno (Ver figura 1).

### **Figura 1**

*Ubicación de la zona de estudio*



## **POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **Suelo lacustre de la Bahía de Puno**

Se presenta el siguiente cuadro resumen del perfil estratigráfico de la zona en estudio, donde se indican los niveles o espesores de los estratos de suelo:

**Tabla 1***Perfil estratigráfico de los sondeos realizados.*

Sondeo	Lugar	N.F.	Relleno	Estrato	de clasificación
No.		<i>M</i>	superficial <i>M</i>	suelo	SUCS
S-1	Av. Costanera	0.80	0.00 – 0.80	0.80 – 3.60	CH
	esquina con Jr.			3.60 – 4.40	OH
S-2	Av. Costanera	1.00	0.00 – 0.60	0.60 – 3.60	CH
	esquina con Jr.			3.60 – 4.40	OH
S-3	Av. Costanera	0.80	0.00 – 1.00	1.00 – 3.60	OH
S-4	Av. Costanera	1.00	0.00 – 1.00	1.00 – 4.40	CH
S-5	Av. Costanera	0.60	0.00 – 0.60	0.60 – 3.60	CH
	esquina con			3.60 – >4.80	OH

Fuente: *Elaboración propia del autor.*

La profundidad del nivel freático es variable en los puntos de sondeo, debido a la acumulación del material sedimentario propio de los depósitos lacustres de la Bahía de Puno, influenciada por la topografía del entorno. El espesor del relleno superficial de acuerdo a los puntos de sondeo es variable, compuesto principalmente por un material limo arenoso con partículas de grava gruesa y contaminado con materia orgánica propia de la zona circundante del Lago Titicaca. Pasando el relleno superficial, se presenta el estrato de suelo más estable, que se caracteriza por la presencia de suelos finos especialmente arcillas blandas de muy compresibles y arcillas orgánicas de alta compresibilidad.

La caracterización de los principales suelos lacustres que componen el subsuelo de la bahía interior de Puno, se detalla en los resultados de laboratorio correspondientes, por lo cual aquí se incluye solamente un resumen y una descripción breve de los mismos.

**Tabla 2***Propiedades y características de las muestras de suelo tomadas de cada calicata.*

Propiedades / Característica	C-1			C-2			C-3		C-4	C-5	
	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-3	M-1	M-2	M-1	M-1	M-2
Profundidad	0.80 a 3.60	3.60 a 4.40	4.40 a 5.20	0.60 a 3.60	3.60 a 4.40	4.40 a 5.40	1.00 a 3.60	3.60 a 4.80	1.00 a 4.40	0.60 a 3.60	3.60 a 4.80
Clasificación SUCS	CH	OH	CH	CH	OH	CH	OH	CH	CH	CH	OH
Nivel freático	0.8	---	---	1.0	---	---	0.8	---	1.0	0.6	---
% Pasa Tamiz No. 200	75.9	87.6	86.4	78.7	89.3	86.9	85.1	89.3	84.4	83.1	85.9
Límite Líquido (%)	50.3	56.5	54.7	50.4	51.5	53.4	57.6	51.3	60.4	60.5	51.5
Índice de Plasticidad (%)	26.3	22.4	26.1	26.5	17.5	26.6	26.7	25.8	31.2	36.6	19.7
Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	0.41	---	---	0.4	---	---	0.41	---	0.45	0.47	---
Ángulo de fricción (°)	6.6	---	---	5.3	---	---	5	---	4.6	3.8	---

De todas las muestras obtenidas en los sondeos, se eligió las clasificadas como Arcilla Inorgánica de Alta Plasticidad (CH) para el ensayo edométrico (consolidación), con el objetivo de evitar la

influencia de la materia orgánica presente en los suelos clasificados como Arcillas Orgánicas (OH). Además, se trata de un material muy bien caracterizado en la bibliografía lo que hace que su uso en distintas investigaciones sea frecuente.

#### **a. Propiedades resistentes**

De acuerdo con la información obtenida, al igual que las características anotadas de la bibliografía, los suelos estudiados poseen las siguientes propiedades resistentes:

**Tabla 3**

*Propiedades resistentes de las arcillas lacustres (según el ensayo de corte directo).*

Suelo	Ysat	c	$\phi$
OH	1.71	0.41	5.0
CH	1.71	0.40	5.3

De acuerdo con estas propiedades, los suelos “remoldeados” tienen una capacidad portante admisible baja, incapaces de soportar cargas importantes sobre todo para las impuestas por una estructura típica de más de 2 pisos en elevación, cuya carga estática por columna es de aproximadamente 11 ton por cada piso de una edificación común.

Además, debe considerarse que los suelos arcillosos no presentan coeficiente de fricción alguna, por lo que debe tenerse en cuenta que el ensayo realizado (corte directo) no es el adecuado para muestras de suelo arcilloso. Sin embargo, proporcionan una aproximación para un análisis preliminar. Debido a que en esta investigación no se analiza la resistencia de los suelos lacustres, sirve solamente a modo de indicativo para su evaluación.

#### **b. Propiedades de deformación**

De acuerdo con los ensayos edométricos o de consolidación, realizados con las muestras extraídas de los sondeos, se obtuvieron las siguientes propiedades:

**Tabla 4**

*Propiedades de deformación de las arcillas lacustres (según el ensayo edométrico).*

Suelo	$e_0$	$C_v$	$C_c$	$C_r$	Presión de pre -
CH	1.203	0.0591	0.446	0.070	0.725

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Capacidad portante admisible por resistencia

**Tabla 5**

*Resumen de resultados de cálculos de capacidad portante por resistencia bajo zapata de 1.00x1.00 m<sup>2</sup> (ton/m<sup>2</sup>)*

	Terzaghi	Meyerhof	Hansen	Vesic	Promedio
<b>Qu</b>	26.69	27.32	31.09	31.24	29.08
<b>Qadm</b>	8.90	9.11	10.36	10.41	9.69

Fuente: *Elaboración propia del autor.*

En la tabla 5, se sintetizan los resultados para la capacidad portante última y la capacidad portante admisible de la zapata de 1.00 metro, incluyendo un valor promedio después de la conversión de unidades de kg/cm<sup>2</sup> a ton/m<sup>2</sup>. Los valores obtenidos son relativamente bajos, aproximándose a 1 kg/cm<sup>2</sup>, lo que implica que la capacidad de carga del suelo es limitada para aplicaciones de cimentación en edificaciones residenciales. Sugiriendo considerar tomar precauciones adicionales en el diseño y la planificación de las fundaciones en este contexto geotécnico para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de las estructuras.

Se evidencia que el método de Terzaghi se destaca como el enfoque más conservador para zapatas de 1.00 metro, al estimar una capacidad portante última de 26.7 ton/m<sup>2</sup> y una capacidad portante admisible de 8.9 ton/m<sup>2</sup>, lo que resulta en una diferencia de 1.5 ton/m<sup>2</sup> con respecto al valor calculado más alto entre todos los métodos, que es de 10.4 ton/m<sup>2</sup>. Por otro lado, el método de Vesic se presenta como el más audaz, pronosticando una capacidad portante última de 31.2 ton/m<sup>2</sup> y una capacidad portante admisible de 10.4 ton/m<sup>2</sup>. Los métodos de Meyerhof y Hansen se ubican en un punto intermedio, con diferencias similares desde ambos extremos. Estos resultados indican que la elección del método de cálculo geotécnico puede tener un impacto significativo en la

estimación de la capacidad portante de la zapata, lo que tiene implicaciones importantes en la seguridad y la eficiencia de la fundación en proyectos de ingeniería civil.

**Tabla 6**

*Resumen de resultados de cálculos de capacidad portante por resistencia bajo zapata de 1.50x1.50 m<sup>2</sup> (ton/m<sup>2</sup>)*

	<b>Terzaghi</b>	<b>Meyerhof</b>	<b>Hansen</b>	<b>Vesic</b>	<b>Promedio</b>
<b>Qu</b>	26.82	25.80	28.27	28.5	27.35
<b>Qadm</b>	8.94	8.60	9.42	9.50	9.12

Fuente: *Elaboración propia del autor.*

En la tabla 6 se presentan resumidos los resultados obtenidos tanto para la capacidad portante última como para la capacidad portante admisible de una zapata de 1.50 metros, incluyendo un valor promedio después de la conversión de unidades de kg/cm<sup>2</sup> a ton/m<sup>2</sup>. Los valores calculados inicialmente pueden parecer bajos, cayendo por debajo de 1kg/cm<sup>2</sup>, lo que podría plantear preocupaciones en términos de cimentación para edificaciones residenciales. Sin embargo, es importante destacar que la capacidad portante admisible para esta zapata de 1.50 metros es menor que la capacidad portante calculada para una zapata de 1.00 metro. Esto puede parecer contradictorio, pero debemos recordar que la capacidad portante se expresa en términos de peso por unidad de área (kg/cm<sup>2</sup>, ton/m<sup>2</sup>, etc.). Al calcular cuánta carga o peso admisible puede soportar la zapata de 1.50 metros, encontramos que es poco más del doble de lo que puede soportar una zapata de 1.00 metro. Esto subraya la importancia de considerar las dimensiones de la zapata en relación con la carga que debe soportar, y cómo esto puede influir en el diseño y la seguridad de las cimentaciones en proyectos de ingeniería civil.

En este análisis, se destaca que para zapatas de 1.50 metros, el método más conservador resulta ser el de Meyerhof, con una capacidad portante última de 25.8 ton/m<sup>2</sup> y una capacidad portante admisible de 8.6 ton/m<sup>2</sup>. Esto implica que este método tiende a proporcionar estimaciones más seguras y prudentes en comparación con otros. Por otro lado, el método más arriesgado sigue siendo el de Vesic, que pronostica una capacidad portante última de 28.5 ton/m<sup>2</sup> y una capacidad portante admisible de 9.5 ton/m<sup>2</sup>. El método de Hansen muestra resultados cercanos a los de Vesic y, por lo tanto, podría considerarse menos adecuado en esta situación. En este contexto, el método

de Terzaghi se presenta como el más confiable para determinar la capacidad portante de la zapata. Esta evaluación destaca la importancia de seleccionar el método de cálculo geotécnico adecuado según las dimensiones de la zapata y las condiciones del suelo para garantizar una cimentación segura y eficiente en proyectos de ingeniería civil.

### Capacidad portante admisible por deformación

A través de la utilización de las ecuaciones presentadas en la sección C del apartado 2.2.9 (Criterio de los asentamientos), se realizó a cabo cálculos de asentamientos para diversas magnitudes de esfuerzos aplicados en la superficie sobre la zapata. Estos esfuerzos resultaron en diferentes incrementos de esfuerzo en el centro de la zapata construido sobre un suelo de arcilla deformable que se caracteriza por ser pre - consolidado con un índice de compresión de 3 ( $OCR = 3$ ). Por lo tanto, se aplicarán las ecuaciones (54) y (55) que se detallan en la sección mencionada. Es esencial considerar si el esfuerzo final inducido en el centro de la capa de arcilla supera o es menor que la presión de pre - consolidación en el proceso de cálculo de asentamientos.

**Tabla 7**

*Cálculo de asentamientos por consolidación en función del esfuerzo aplicado. (zapata de 1.00 x 1.00 m<sup>2</sup>)*

Esfuerzo aplicado, $o$	Incremento de esfuerzo, $6\sigma_v$	Esfuerzo final, $o'_{vf}$	Asentamiento, $s$
$Ton/m^2$	$Ton/m^2$	$Ton/m^2$	mm
0	0.000	2.456	0.0
1	0.314	2.769	3.5
2	0.627	3.083	6.6
3	0.941	3.396	9.4
4	1.254	3.710	12.0
5	1.568	4.023	14.3
6	1.881	4.337	16.5
7	2.195	4.650	18.5
8	2.509	4.964	20.4
9	2.822	5.278	22.2
9.69	3.038	5.494	23.4
10	3.136	5.591	23.9
10.7	3.355	5.811	25.0

11	3.449	5.905	25.5
12	3.763	6.218	27.0
13	4.076	6.532	28.4
14	4.390	6.845	29.8
15	4.703	7.159	31.1
16	5.017	7.473	38.6
17	5.331	7.786	48.4
18	5.644	8.100	57.7
19	5.958	8.413	66.8
20	6.271	8.727	75.5

En la tabla 7 se presentan los resultados de un estudio realizado en una zapata cuadrada de 1.0 metro de lado, considerando una variedad de esfuerzos aplicados que van desde 0 hasta 20 ton/m<sup>2</sup>. Se hace especial énfasis en el cálculo de los asentamientos correspondientes a la capacidad portante promedio calculada por resistencia, así como en el esfuerzo aplicado que produzca un asentamiento máximo admisible de 25 mm. Este último valor es una referencia ampliamente reconocida en la normativa de construcción y diseño de edificaciones, y se utiliza para determinar las dimensiones adecuadas de las estructuras. El análisis de estos resultados es esencial para garantizar que las cimentaciones sean capaces de soportar las cargas previstas sin experimentar asentamientos excesivos que puedan comprometer la integridad de las edificaciones.

**Tabla 8**

*Cálculo de asentamientos por consolidación en función del esfuerzo aplicado. (zapata de 1.50 x 1.50 m<sup>2</sup>)*

<b>Esfuerzo aplicado, o</b>	<b>Incremento de esfuerzo, <math>\delta\sigma_v</math></b>	<b>Esfuerzo final, <math>\sigma'_{vf}</math></b>	<b>Asentamiento, s</b>
<i>Ton/m<sup>2</sup></i>	<i>Ton/m<sup>2</sup></i>	<i>Ton/m<sup>2</sup></i>	<i>Mm</i>
0	0.000	2.828	0.0
1	0.314	3.142	4.6
2	0.627	3.455	8.7
3	0.941	3.769	12.5
4	1.254	4.083	16.0
5	1.568	4.396	19.2
6	1.881	4.710	22.2
7	2.195	5.023	25.0
8	2.509	5.337	27.6

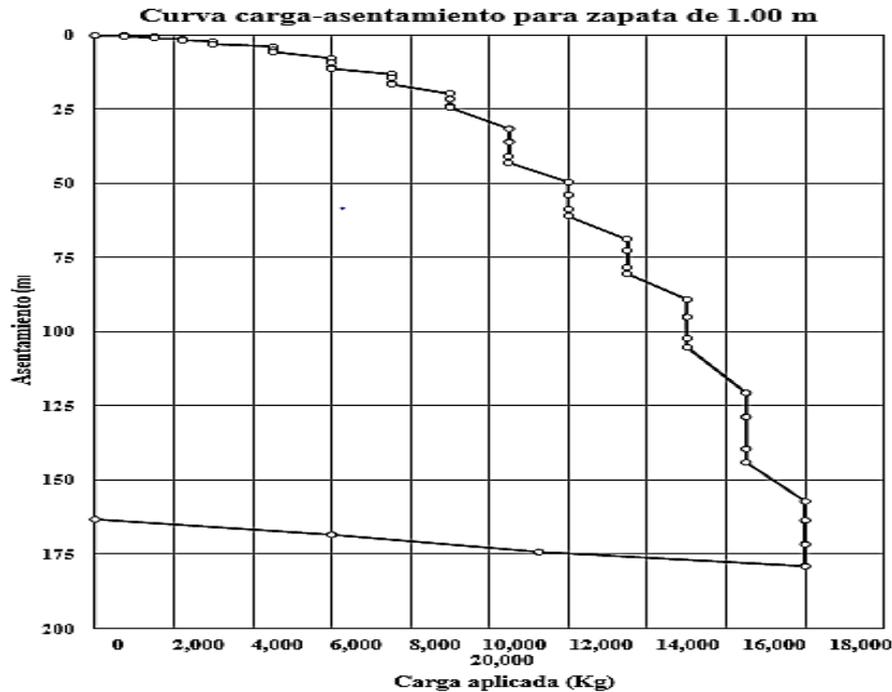
9	2.822	5.650	30.1
9.12	2.860	5.688	30.4
10	3.136	5.964	32.5
11	3.449	6.277	34.7
12	3.763	6.591	36.8
13	4.076	6.905	38.9
14	4.390	7.218	40.8
15	4.703	7.532	54.6
16	5.017	7.845	69.1
17	5.331	8.159	83.1
18	5.644	8.472	96.5
19	5.958	8.786	109.4
20	6.271	9.100	121.9
21	6.585	9.413	134.0
22	6.898	9.727	145.7

En el análisis que involucra zapatas cuadradas de 1.50 metros, se introduce una modificación en el esfuerzo inicial que actúa en el centro de la capa de suelo arcilloso, considerando que el suelo está preconsolidado con un OCR (Índice de Compresión Relativa) igual a 2.6. Esta variación es relevante en la aplicación de las ecuaciones (54) y (55), dependiendo de si el esfuerzo final, que incluye el esfuerzo inicial más el incremento generado por las cargas aplicadas en la zapata, es menor o mayor que la presión de preconsolidación. En la tabla 8 se presentan los resultados del cálculo de los asentamientos en relación con los esfuerzos aplicados sobre la zapata cuadrada de 1.50 metros, incluyendo el incremento de esfuerzos y el esfuerzo final que se desarrolla en el centro de la capa de arcilla. Además, se resaltarán el esfuerzo que produce un asentamiento igual a 25 mm y el asentamiento calculado para el esfuerzo promedio determinado a partir de la capacidad portante por resistencia. Esta información es esencial para evaluar cómo las cargas afectan la deformación del suelo y garantizar la respuesta adecuada de la cimentación en función de las condiciones específicas del suelo y la estructura.

## Capacidad portante admisible medidos

Figura 2

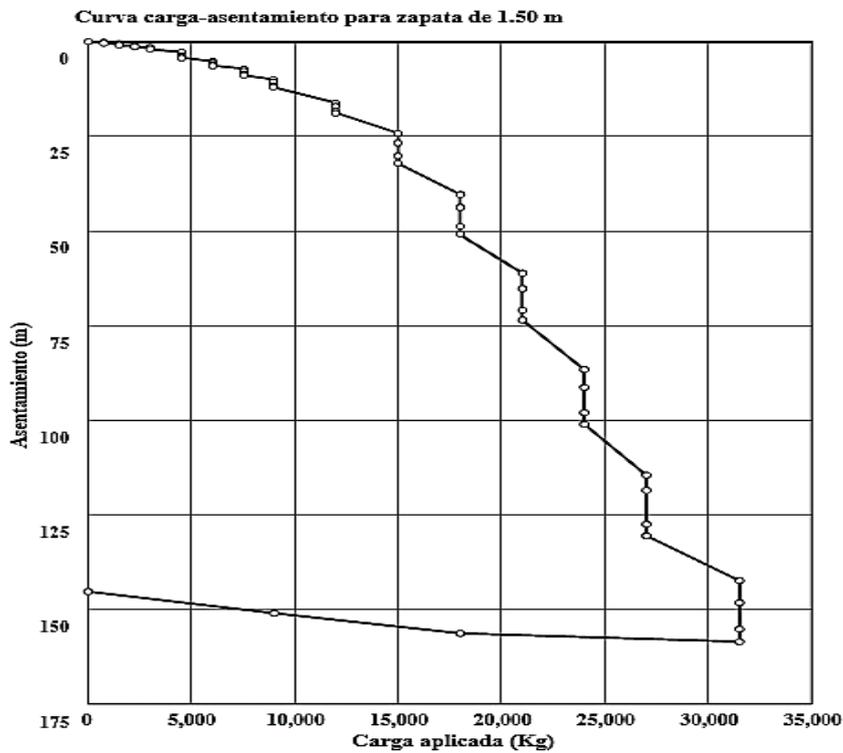
Curva carga-asentamiento para la zapata de prueba de 1.00 m.



La figura 2 proporciona una representación gráfica de la evolución de la carga y el asentamiento horas a lo largo de todo el ensayo de carga, lo que incluye las mediciones realizadas durante cada uno de los escalones de carga durante las 72 de duración de la prueba con la zapata cuadrada de 1.0 metro de lado. De manera análoga, se presenta información similar en la figura 3 correspondiente a la prueba de carga realizada con la zapata cuadrada de 1.50 metros de lado. Estos registros son fundamentales para comprender cómo el suelo responde a las cargas aplicadas y cómo se comporta en términos de asentamiento a lo largo del tiempo. Además, permiten evaluar la capacidad portante del suelo y su capacidad de soporte en función de las dimensiones de la zapata y las condiciones geotécnicas del sitio.

**Figura 3**

*Curva carga-asentamiento para la zapata de prueba de 1.50 m*



La figura 3 proporciona datos y representaciones gráficas correspondientes al cálculo del esfuerzo que ocasiona un asentamiento crítico, fijando en 150 mm, así como el asentamiento máximo admisible, establecido en 25 mm. Este análisis es fundamental para evaluar la capacidad de carga del suelo y determinar los límites seguros de asentamiento para las cimentaciones, lo que es esencial en el diseño y la construcción de estructuras civiles.

### **CONCLUSIONES**

Los resultados de capacidad portátil para zapatas de 1.00 metro y 1.50 metros indican limitaciones en la capacidad de carga del suelo en la zona de estudio, especialmente para aplicaciones residenciales en los áreas peril. Los valores cercanos a 1 kg/cm<sup>2</sup> reflejan una capacidad relativamente baja del suelo para soportar cargas, resaltando la necesidad de precauciones adicionales en el diseño y planificación de fundaciones en este contexto geotécnico para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de las estructuras. El método de Terzaghi se destaca como el más conservador y seguro para zapatas de 1.00 metro, mientras que el método de Vesic muestra estimaciones más audaces. Para zapatas de 1,50 metros, el método de Meyerhof se

presenta como el más conservador y seguro, mientras que el de Vesic sigue siendo el más arriesgado. Esto subraya la importancia de elegir el método geotécnico apropiado según las dimensiones de la zapata y las condiciones del suelo para asegurar cimentaciones seguras y eficientes en proyectos de ingeniería civil, ya que la elección del método puede tener un impacto significativo en la estimación de la capacidad. portante y, por lo tanto, en la seguridad y eficiencia de la fundación.

El análisis de la capacidad portante admisible por deformación en las zapatas de 1.0 metro y 1.50 metros revela la importancia de evaluar cómo los esfuerzos aplicados afectan la respuesta del suelo y, por ende, la integridad de las cimentaciones. Para las zapatas de 1.0 metro, se han calculado asentamientos bajo una variedad de esfuerzos, destacando el asentamiento máximo admisible de 25 mm como una referencia crucial en el diseño de edificaciones. Los resultados indican la necesidad de considerar cuidadosamente las dimensiones de las cimentaciones y los esfuerzos aplicados para evitar asentamientos excesivos. Además, en el análisis de zapatas de 1.50 metros, se ha introducido la influencia del suelo preconsolidado con un OCR de 2.6, lo que afecta los cálculos de asentamiento.

El balance sobre la capacidad portante admisible medida a través de las pruebas de carga en las zapatas cuadradas de 1.0 metro y 1.50 metros de lado ha proporcionado datos cruciales sobre el comportamiento del suelo ante cargas aplicadas. Las figuras 2 y 3 muestran de manera gráfica la evolución de la carga y el asentamiento durante las pruebas, permitiendo una comprensión detallada de cómo el suelo responde a lo largo del tiempo. Estos registros son esenciales para determinar la capacidad portante del suelo y establecer límites seguros de asentamiento, fundamentales en el diseño y construcción de estructuras civiles. La información obtenida a partir de estas pruebas contribuye a garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de las cimentaciones en proyectos de ingeniería civil.

## **LISTA DE REFERENCIAS**

Alonso, E. (2005). *Las Catástrofes y el Progreso de la Geotecnia. Madrid (Real Acade) (Real Acade)*.

Álvarez-Deulofeu, E., Beira-Fontaine, E., Cabrera-Castro, P., & Daoud-Mohamed, M. (2021).

Estimación de costos adicionales por seguridad sísmica en proyectos de cimentaciones superficiales. *Minería y Geología*, 31(3).

Alvaro, R. (2020). *Mapeo y tipología de la expansión urbana en el Perú* (GRADE).

[http://www.adiperu.pe/wp-content/uploads/GRADE\\_ADI.-Expansión-Urbana-en-el-Perú-1.pdf](http://www.adiperu.pe/wp-content/uploads/GRADE_ADI.-Expansión-Urbana-en-el-Perú-1.pdf)

Apuke, O. (2017). Quantitative Research Methods : A Synopsis Approach. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 6(11), 40–47.

<https://doi.org/10.12816/0040336>

Apuke, O. D. (2017). Quantitative Research Methods : A Synopsis Approach. *Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review*, 6(11), 40–47.

<https://doi.org/10.12816/0040336>

Atkinson, J. (2007). *The mechanics of soils and foundations* (Taylor & F).

Auvinet, G., Sánchez, J., & Pineda, A. R. (2019). Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(4), 1–8.

<https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.046>

Bernal, A., Hernández, Y., & Beltrán, J. (2022). Reflexiones en torno a los factores que influyen en la expansión urbana: revisión de metodologías e instrumentos de investigación.

*Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 31(2), 434–449.  
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.89742>

Camargo, Y. (2023). La adopción del modelo de Revolución Verde en el Bajío mexicano: fitomejoramiento y tecnificación 1940-1970. *Mundo Agrario*, 23(54), e196.

<https://doi.org/10.24215/15155994e196>

Castellanos, W., & Rodriguez, E. (2022). Inclusión de micropilotes como elementos recuperadores de carga en cimentaciones: revisión del estado del conocimiento. *Ingeniería*,

27(2), e16984. <https://doi.org/10.14483/23448393.16984>

Castro, F. (2023). Atenuadores de Escorrentía para la Quebrada Cañitas, Parroquia Charapotó, Manabí, Utilizando Herramientas SIG. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*,

7(4), 01–28. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.6841](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6841)

- Cevallos, A., Giler, M., Menéndez, R., & Reyna, L. (2020). Estimación de la erosividad en la provincia de Manabí con el método CORINE. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v35i1.2260>
- Lecuyer, G. (2023). *Evaluación de la Gestión de la Integración en Proyectos Complejos de Infraestructura* (Universida). <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/60519/TFM-I-2567.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Melchor, A., Malpartida, J. de D., & Muñoz, S. (2021). Revisión sistemática de pruebas para obtener los parámetros geotécnicos del suelo: tendencias, alcances y limitaciones. *Campus*, 26(32), 209–221. <https://doi.org/10.24265/campus.2021.v26n32.05>
- Montaño-Arango, O., Corona-Armenta, J., Hernández-Barrera, O., Ramírez-Reyna, S., & Anaya-Fuentes, G. (2022). Expansión y configuración de ciudades: una revisión de algunos modelos internacionales. *South Florida Journal of Development*, 3(2), 1950–1958. <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n2-028>
- Montero, J. (2017). *Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/10.32685/9789585978218>
- Moran-Fuentes, J., Carlos-Ornelas, C., & Soto-Morones, H. (2022). Prácticas de gestión de seguridad y salud en el trabajo: Una revisión sistemática de la literatura. *Ciencias Administrativas. Teoría y Praxis*, 18(1), 89–104. <https://doi.org/10.46443/catyp.v18i1.304>
- Muñoz, S., & Llamo, J. (2023). Revisión sistemática de la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales. *Cuaderno Activa*, 14(1). <https://doi.org/10.53995/20278101.1053>
- Pacheco, D. (2023). Control interno y la gestión administrativa. Una revisión sistemática del 2020 al 2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 6697–6712. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4918](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4918)
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2020). Subsoil Characteristics of Mexico City, acceleration and hysteretic energy spectra for the Mexico Earthquake of September 19, 2017. *Geofísica Internacional*, 59(4), 234–256. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2020.59.4.1892>
- Román, F., Estévez, G., Aste, N., & Moles, A. (2020). *Herramienta de Identificación Rápida de*

*Oportunidades para la Infraestructura Natural en la Gestión del Riesgo de Desastres.*  
(Forest Tre). <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/04/GUIA-HIRO-GRD.pdf>

Romero, R. (2022). Una revisión de las transformaciones urbanas en las ciudades latinoamericanas contemporáneas. *Revista Vivienda y Ciudad*, 9. <file:///C:/Users/USER/Downloads/5-Romero.pdf>

Rosales - Veítia, J., & Marcano-Montilla, A. (2022). Planes comunitarios de riesgos en Suramérica. Una revisión sistemática. *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 107–134. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.4>

Rosas, F., Jiménez, P., & Calderón, J. (2022). Movilidad y desarrollo urbano: una revisión de los factores estratégicos de su gobernanza y sostenibilidad. *Economía, Población y Desarrollo*, 70. <https://doi.org/https://doi.org/10.20983/epd.2022.70>

Santos y Ganges, L. (2023). Historical Interrelationship of Railways and Cities from an Urban Viewpoint. *TST. Transportes, Servicios y Telecomunicaciones*, 50, 16–41. <https://doi.org/10.24197/tst.50.2023.16-41>