

## Parámetros de compresibilidad unidimensional de suelo arcilloso bajo diferentes cargas

### One dimensional compressibility parameters of clayey soil under different loads

Rosa Haydee Llique Mondragón<sup>1\*</sup>, Luis Andrés León Chávez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, C.P. 06003, Cajamarca, Perú.

\*Autor de correspondencia: [rllique@unc.edu.pe](mailto:rllique@unc.edu.pe)

#### Resumen

La investigación se ha realizado con el objetivo de determinar los parámetros de compresibilidad unidimensional de suelo arcilloso con diferentes cargas externas aplicadas a nivel de la cimentación, para lo cual se ha extraído muestras de suelo arcilloso de la urbanización Los docentes de la UNC, distrito de Cajamarca, provincia y región Cajamarca. Se realizó los ensayos generales de granulometría y plasticidad para clasificar al suelo mediante el sistema SUCS, se obtuvo una muestra inalterada de 5 cm de diámetro y 2 cm de altura y se realizó el ensayo especial de consolidación unidimensional con 5 cargas diferentes: 1 kg/cm<sup>2</sup>, 2 kg/cm<sup>2</sup>, 4 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup> y 16 kg/cm<sup>2</sup>, obteniéndose los datos de deformación versus tiempo, los cuales se procesaron y se obtuvo los parámetros de compresibilidad: coeficiente de consolidación, coeficiente de compresibilidad, coeficiente de permeabilidad y módulo de elasticidad, concluyendo que al incrementar los valores de la carga aplicada al suelo arcilloso, los valores del coeficiente de compresibilidad y el coeficiente de permeabilidad disminuyen, y los valores del coeficiente de consolidación y el módulo de elasticidad disminuyen o aumentan con el incremento de carga

**Palabras clave:** coeficiente de compresibilidad, coeficiente de consolidación, coeficiente de permeabilidad, Consolidación unidimensional, módulo de elasticidad

#### Abstract

The research has been carried out with the objective of determining the parameters of the one-dimensional compressibility of clay soil with external loads applied to the foundation, for which clay soil samples have been extracted from the Los docentes de la UNC urbanization, Cajamarca district, Cajamarca province and region, the general granulometry and plasticity tests were carried out to classify the soil using the SUCS system, an unaltered sample of 5 cm in diameter and 2 cm in height was obtained and the special one-dimensional consolidation test was carried out with 5 different loads: 1 kg/cm<sup>2</sup>, 2 kg/cm<sup>2</sup>, 4 kg/cm<sup>2</sup>, 8 kg/cm<sup>2</sup> y 16 kg/cm<sup>2</sup>, obtaining the deformation data versus time, which were processed and the compressibility parameters were obtained: consolidation coefficient, compressibility coefficient, permeability coefficient and elasticity modulus, concluding that by increasing the values of the load applied to the clay soil, the values of the coefficient of compressibility and the coefficient of

permeability decrease, and the values of the coefficient of consolidation and the modulus of elasticity decrease or increase with increasing load.

**Keywords:** One dimensional consolidation, consolidation coefficient, compressibility coefficient, permeability coefficient, elasticity modulus

## **Introducción**

Los suelos de fundación en las regiones de la sierra y la selva del Perú presentan comúnmente una composición de arcillas, ya sea de baja o alta plasticidad. La caracterización de estos suelos en términos de sus parámetros de compresibilidad, tales como el coeficiente de consolidación, coeficiente de compresibilidad, coeficiente de permeabilidad y módulo de elasticidad, se lleva a cabo mediante la aplicación de cargas en ensayos de consolidación unidimensional. Estos parámetros resultan fundamentales para comprender el comportamiento mecánico, hidráulico y volumétrico del suelo, proporcionando información crucial para el diseño de cimentaciones de estructuras.

La relevancia de investigar los parámetros de compresibilidad de suelos arcillosos bajo diferentes cargas radica en su directa implicación en la seguridad y eficiencia de las cimentaciones de las estructuras. Dada la diversidad de cargas a las que estas cimentaciones están expuestas en su entorno natural, comprender cómo varían los parámetros de compresibilidad es esencial para anticipar y mitigar posibles problemas de asentamiento diferencial, lo cual, a su vez, contribuye a la durabilidad y estabilidad a largo plazo de las edificaciones.

La necesidad de llevar a cabo este estudio surge de la falta de información específica sobre los suelos arcillosos en algunos puntos de la ciudad de Cajamarca, provincia y región del mismo nombre. La falta de datos específicos sobre las propiedades de compresibilidad de estos suelos limita la capacidad para diseñar cimentaciones de manera precisa y segura. Por lo tanto, este estudio busca llenar ese vacío de conocimiento, proporcionando datos específicos y aplicables a la realidad local.

El presente trabajo tuvo por objetivo principal determinar los parámetros de compresibilidad unidimensional de suelos arcillosos mediante la aplicación de diferentes cargas externas en muestras extraídas de la urbanización Los Docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se busca obtener datos precisos y representativos que permitan comprender el comportamiento de estos suelos bajo condiciones específicas de carga, proporcionando así una base sólida para el diseño de cimentaciones en esta área geográfica particular.

## **Materiales y métodos**

Se utilizó suelo arcilloso de baja plasticidad como material de estudio. Se empleó un consolidómetro con base metálica, anillo de consolidación, piedras porosas y placa de distribución de carga. También se utilizó un equipo de consolidación unidimensional, una balanza de precisión (0,1 g, 400 g), una estufa con control de temperatura y

un equipo de granulometría con tamices de diferentes aberturas. Además, se contó con equipos específicos para determinar límites líquido y plástico.

En la fase de campo, se recolectaron muestras de suelo arcilloso de baja plasticidad en la urbanización Los Docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca. Estas muestras fueron identificadas y trasladadas al laboratorio de Mecánica de Suelos para realizar los ensayos.

En la fase de laboratorio, se llevaron a cabo ensayos para clasificar el suelo, incluyendo la determinación del contenido de humedad, análisis granulométrico por tamizado y la medición de los límites líquido y plástico. Además, se realizó el ensayo de consolidación unidimensional siguiendo normativas como ASTM D1557.91, AASHTO T180 y MTC E115.

En la fase de gabinete, se procesaron los datos obtenidos de los ensayos de granulometría y límites de consistencia. Se clasificó el suelo mediante el sistema SUCS y se analizaron detalladamente los resultados de consolidación. Esto incluyó la representación gráfica de las curvas de consolidación, determinación de puntos clave (0%, 100% y 50%) y el cálculo de parámetros como coeficiente de consolidación, coeficiente de compresibilidad, coeficiente de permeabilidad y módulo de elasticidad para cada carga aplicada. Asimismo, se trazó la curva de compresibilidad y se identificó la carga de preconsolidación. También se procesaron datos de ensayos de granulometría, límite líquido, límite plástico y compactación con diferentes porcentajes de cloruro de sodio. Se clasificó el suelo mediante los sistemas SUCS y AASHTO, y se determinó la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad de las muestras compactadas con diferentes porcentajes de cemento Pacasmayo tipo I. Se evaluó la densidad seca máxima y el contenido óptimo de humedad obtenidos con diferentes porcentajes de cemento Pacasmayo tipo I.

## Resultados y discusión

Según la clasificación SUCS, de acuerdo los resultados del análisis granulométrico y plasticidad, la muestra del suelo de la urbanización Los Docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca se clasifica como suelo arcilloso de baja plasticidad (CL) (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del suelo arcilloso mediante sistema SUCS

Muestra	% pasa 200	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Clasificación SUCS
M1	87,55	44	24	20	CL

Además, de acuerdo a tiempo – deformación, se observó colapso del suelo y no existió expansión, comportamiento que pertenece a suelos arcillosos de baja plasticidad (Tabla 2, Figura 1).

Tabla 2. Relación del tiempo y la deformidad (deform) del suelo a diferentes cargas

1 kg/cm <sup>2</sup>		2 kg/cm <sup>2</sup>		4 kg/cm <sup>2</sup>		8 kg/cm <sup>2</sup>		16 kg/cm <sup>2</sup>	
Tiempo (min)	Deform (mm)	Tiempo (min)	Deform (mm)						
0	0,0000	0	0,000	0	0,000	0	0,000	0	0,000
0,25	0,0010	0,25	0,115	0,25	0,395	0,25	0,718	0,25	1,11
0,50	0,0012	0,50	0,119	0,50	0,398	0,50	0,721	0,50	1,114
1,00	0,0016	1,00	0,122	1,00	0,4	1,00	0,724	1,00	1,121
2,00	0,0021	2,00	0,127	2,00	0,405	2,00	0,728	2,00	1,128
4,00	0,0028	4,00	0,134	4,00	0,41	4,00	0,734	4,00	1,137
8,00	0,0036	8,00	0,142	8,00	0,419	8,00	0,748	8,00	1,154
16,00	0,0051	16,00	0,153	16,00	0,437	16,00	0,767	16,00	1,175
30,00	0,0076	30,00	0,169	32,00	0,457	30,00	0,803	30,00	1,206
60,00	0,0118	60,00	0,189	53,00	0,48	60,00	0,856	60,00	1,256
120,00	0,0157	120,00	0,215	142,00	0,524	120,00	0,892	120,00	1,322
240,00	0,0181	240,00	0,238	210,00	0,543	240,00	0,930	240,00	1,372
480,00	0,0199	360,00	0,252	489,00	0,582	480,00	0,957	480,00	1,407
600,00	0,0204	600,00	0,271	660,00	0,591	960,00	0,968	960,00	1,425
960,00	0,0208	960,00	0,284	954,00	0,604	1200,00	0,971	1200,00	1,43
1440,00	0,0210	1440,00	0,289	1440,00	0,610	1440,00	0,973	1440,00	1,432

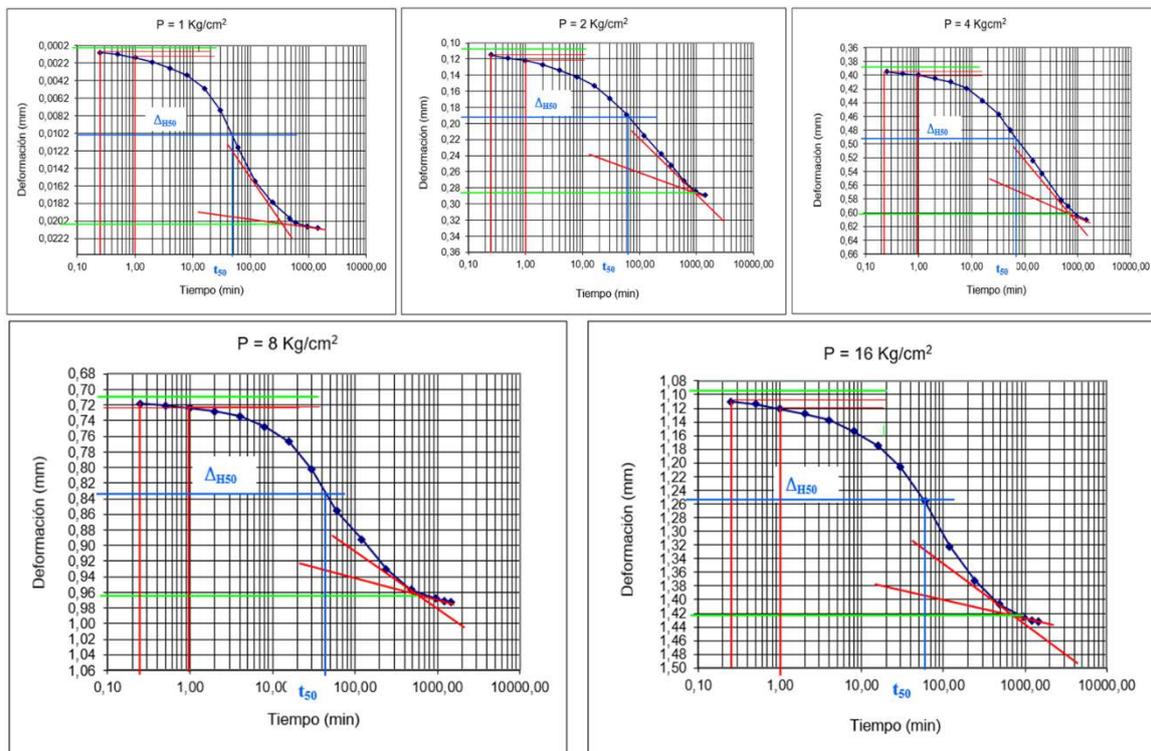


Figura 1. Curva de consolidación del suelo bajo las diferentes cargas evaluadas

El tiempo correspondiente al 50% de consolidación primaria fluctuó entre 45 y 65 minutos y la deformación de la muestra se incrementó en cada incremento de carga aplicada (Tabla 2).

Tabla 2. Deformación de la muestra, altura efectiva de la muestra y tiempo correspondiente al 50% de consolidación primaria.

Parámetro	1 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>	8 kg/cm <sup>2</sup>	16 kg/cm <sup>2</sup>
$\Delta_{H50}$ (mm)	0,010325	0,195	0,494	0,8365	1,257
H <sub>50</sub> (mm)	9,9948	9,9025	9,753	9,58175	9,3715
t <sub>50</sub> (min)	50	65	60	45	60

El coeficiente de consolidación y el módulo de elasticidad variaron su comportamiento con la aplicación de las cargas. El coeficiente de compresibilidad y el coeficiente de permeabilidad disminuyeron al incrementarse las cargas aplicadas (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros de compresibilidad bajo diferentes cargas aplicadas

Parámetros de compresibilidad	Cargas aplicadas				
	1 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>	8 kg/cm <sup>2</sup>	16 kg/cm <sup>2</sup>
Cv (cm <sup>2</sup> /min)	0,0039	0,0030	0,0031	0,0040	0,0029
av (cm <sup>2</sup> /kg)	0,0015	0,01974	0,0118	0,0067	0,0042
K (cm/min)	8,274E-11	6,2166E-10	4,3086E-10	4,26E-10	1,485E-10
E (Kg/cm <sup>2</sup> )	952,38	74,627	124,611	220,386	348,58

La relación de vacíos disminuyó al incrementarse las cargas aplicadas, y la presión de preconsolidación (Pc) es 2 Kg/cm<sup>2</sup> (Tabla 4, Figura 2).

Tabla 4. Relación de vacíos bajo diferentes cargas aplicadas

Relación	1 kg/cm <sup>2</sup>	2 kg/cm <sup>2</sup>	4 kg/cm <sup>2</sup>	8 kg/cm <sup>2</sup>	16 kg/cm <sup>2</sup>
e (%)	47,14	45,17	42,80	40,13	36,75

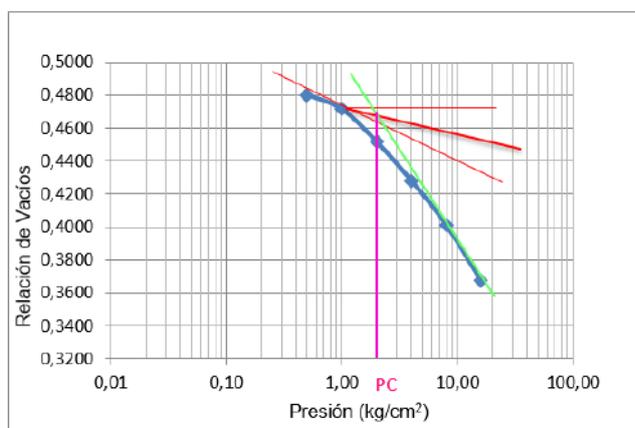


Figura 2. Curva de compresibilidad

## Conclusiones

En base al Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS), se identificó que el suelo examinado se clasifica como arcilla de baja plasticidad, específicamente del tipo CL. En cuanto a los parámetros de compresibilidad, se observa una relación inversa entre las cargas aplicadas y el coeficiente de permeabilidad, así como el coeficiente de compresibilidad, indicando una disminución en la capacidad de transmisión de fluidos y la deformabilidad del suelo al aumentar la carga aplicada. En contraste, el comportamiento del coeficiente de consolidación y del módulo de elasticidad no sigue una tendencia clara al incrementar las cargas, destacando la complejidad de la respuesta del suelo ante variaciones de carga, resaltando la necesidad de análisis detallados para comprender su comportamiento específico.

## Referencias

Braja, D. 2014. Fundamentos de Ingeniería geotécnica. Cengage Learning. México. Pág. 1184.

Crespo, C. 2007. Mecánica de suelos y cimentaciones. Limusa. México. Pág. 644.

Díaz, J.A. 2016. El subsuelo de la ciudad de México. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica: 1-39.

Flores, F., Zarate, I., Gordillo, N., De La Rosa, J. 2019. Parámetros de compresibilidad de arcillas muy blandas de una zona periférica al Lago Nabor Carrillo. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C. 1-7.

Garrido, S. 2006. La consolidación de los suelos: una revisión. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000603562>

Juárez, E., Rico, A. 2005. Mecánica de Suelos. Tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Limusa. México. Pág. 644.

Oncebay, E. 2018. Determinación de las isócronas de consolidación unidimensional para cimentación en arcillas del Centro Educativo de Moya, distrito de Quinua - Ayacucho. Tesis. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Perú. Disponible en: <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2781>

Romero, W. 2017. Compresibilidad del subsuelo de la ciudad de México mediante ensayos de velocidad de deformación constante. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000760710>