



## Determinación del esfuerzo de preconsolidación a partir del índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos arcillosos de Pucallpa

*Determination of the pre-consolidation effort from the liquidity index and the sensitivity of the clay soils of Pucallpa*

**Marco Antonio Hernández Aguilar, Miriam Rosanna Escalaya Advíncula, Ronald Saúl Vega López**

RECIBIDO: 24 de junio de 2024

ACEPTADO: 12 de octubre de 2024

### RESUMEN

Actualmente, el esfuerzo de preconsolidación de manera general es determinado a partir del ensayo de consolidación unidimensional en el laboratorio, cuyo procedimiento es demasiado largo y demanda mucho tiempo de ejecución: se debe esperar entre 10 a 15 días para obtener los resultados. Sin embargo, el departamento de Marina de los Estados Unidos posee teorías y formulas alternas para determinar dicho parámetro de manera más práctica y en menor tiempo, en base a la determinación del índice de liquidez y la sensibilidad del suelo. Por ello, el presente trabajo de investigación determinó el esfuerzo de preconsolidación a partir de la metodología antes mencionada de los suelos finos (arcillas), parámetro geotécnico determinante para calcular los asentamientos por consolidación ante la aplicación de una carga de una estructura a construir.

De este modo, se han ensayado muestras inalteradas de suelos arcillosos bien distribuidos en la ciudad de Pucallpa, realizándose los ensayos de laboratorio de identificación y caracterización de las muestras evaluadas, como contenido de humedad natural, límite líquido, límite plástico, para determinar su índice de plasticidad, además de los ensayos de compresión simple o no confinada en muestras inalteradas e remodeladas, datos necesarios y suficientes para obtener el Índice de Liquidez y la sensibilidad.

El resultado de la investigación fue confirmar una metodología alterna confiable, que demanda menor costo y tiempo para determinar el esfuerzo de preconsolidación. Los resultados obtenidos han sido comparados con diversos ensayos de consolidación unidimensional realizados en laboratorio con muestras de distintos proyectos realizados en la zona de estudio.

**Palabras clave:** arcillas, Pucallpa, preconsolidación, sensibilidad.

### Cómo citar:

M. A. Hernández Aguilar, «Determinación del esfuerzo de pre consolidación a partir del índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos arcillosos de Pucallpa», *Perfiles\_Ingeniería*. vol. 21, n.º 22, pp. 12–27, dic. 2024.

### ABSTRACT

Currently, the preconsolidation effort is generally determined from the one-dimensional consolidation test in the laboratory, whose procedure is too long and requires a lot of execution time, where one must wait between 10 to 15 days to obtain the results. However, the United States Department of the Navy has alternative theories and formulas to determine this parameter in a more practical way and in less time, based on the determination of the liquidity index and the sensitivity of the soil.

Therefore, this research work will calculate the pre-consolidation effort based on the aforementioned methodology of fine soils (clay), a determining geotechnical parameter to calculate settlements due to consolidation when applying a load to a structure to be built. In this way, unaltered samples of clay soils well distributed in the city of Pucallpa have been tested, carrying out laboratory tests for identification and characterization of the evaluated samples, such as natural moisture content, liquid limit, plastic limit to determine their index of plasticity, in addition to simple or unconfined compression tests on unaltered and remoulded samples, necessary and sufficient data to obtain the Liquidity Index and sensitivity.

The result of the research was to confirm a reliable alternative methodology, which requires less cost and time to determine the pre-consolidation effort, whose results obtained have been compared with various one-dimensional consolidation tests carried out in the laboratory with samples from different projects carried out in the study zone.

**Keywords:** clays, Pucallpa, preconsolidation, sensitivity.

© Los autores. Este artículo Open Access está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0).



## 1. Introducción

En esta investigación, se han analizado los suelos finos, como las arcillas y los limos, los cuales son característicos en la región amazónica y predominan en el entorno que rodea la ciudad de Pucallpa, especialmente en las zonas urbanas de los distritos de Yarinacocha, Manantay y Callería. Para llevar a cabo esta investigación, se delimitó un área de aproximadamente 85.6 km<sup>2</sup>. El proceso de investigación involucró exploraciones manuales mediante excavaciones de calicatas, alcanzando profundidades de hasta 1.50 metros, donde se extrajeron muestras representativas inalteradas en bloques. Posteriormente, estas muestras fueron transportadas al laboratorio de la Universidad Ricardo Palma para llevar a cabo los ensayos de identificación y caracterización de mecánica de suelos.

Estos suelos finos, cuando se encuentran saturados, presentan un problema de asentamientos por consolidación cuando reciben carga. Estos asentamientos empiezan a presentarse debido al drenaje del agua, haciendo que la masa de suelo disminuya su índice de vacíos y generando el asentamiento por consolidación, proceso lento debido a la baja permeabilidad de estos suelos finos. Esto ocasiona la probabilidad de asentamientos diferenciales muy considerables para las estructuras que se apoyen en aquellos estratos de suelos finos, lo que produce una inestabilidad o colapso gradual hasta la falla de los pórticos estructurales.

Sin embargo, para determinar el asentamiento por consolidación, es necesario el conocimiento del esfuerzo de preconsolidación, valor muy importante porque definirá el estado del suelo en estudio si se encuentra Normalmente consolidado o preconsolidado, lo que llevará al uso de la formulación adecuada para obtener el valor esperado del asentamiento por consolidación del suelo.

Como objetivo principal se ha determinado el esfuerzo de preconsolidación a partir del índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos finos arcillosos, de tres distritos de Pucallpa (Calleria, Nanatay y Yarinacocha) utilizando la curva propuesta por el Departamento de Marina de los Estados Unidos que, a su vez, usa el método de estudio experimental ya que se va a determinar el efecto que se produce en el valor del esfuerzo de preconsolidación cuando el suelo cambia su valor de índice de liquidez y sensibilidad.

## 2. Planteamiento del problema

En el Perú, un problema geotécnico inminente de los suelos arcillosos saturados de la selva peruana es el fenómeno de asentamiento por consolidación que representa la pérdida gradual del volumen del suelo debido a los esfuerzos transmitidos de la estructura construida.

Para determinar el asentamiento por consolidación, es determinante distinguir si el suelo está normalmente consolidado o preconsolidado. Esto requiere calcular el esfuerzo de preconsolidación, que representa la máxima carga que el suelo ha soportado a lo largo de su historia. Actualmente, se puede hallar este valor mediante el ensayo de consolidación

unidimensional en laboratorio, un proceso que puede llevar hasta dos semanas debido a las etapas de carga y descarga aplicadas a las muestras de suelo. Además, si hay dos estratos de suelos arcillosos debajo de la cimentación, se deben realizar ensayos de consolidación unidimensional separados para cada estrato, lo que podría prolongar el proceso hasta 28 días para obtener los resultados deseados.

Una alternativa para determinar el esfuerzo de preconsolidación es calcular el índice de liquidez (I.L) y la sensibilidad ( $S_t$ ) del suelo. Esto se logra mediante los ensayos de límites de consistencia del suelo y el ensayo de compresión simple no confinada, respectivamente.

Estos ensayos se realizan de manera rápida y práctica. El límite líquido (L.L) se determinó con la copa de Casagrande, el límite plástico (L.P) con la plancha de vidrio porosa o esmerilada, que nos permite determinar el índice de plasticidad (I.P) y los ensayos de compresión simple con el equipo de compresión uniaxial. Todos estos ensayos fueron realizados en el laboratorio geotécnico de la Universidad Ricardo Palma. Por lo tanto, basándose en estas dos propiedades, por las que fueron obtenidas el I.L y  $S_t$ , existen teorías que permiten determinar el esfuerzo de preconsolidación.



Foto 01 y 02: Copa de Casagrande para determinar el límite líquido y equipo de compresión simple del LMSA de la URP

### 3. Importancia

Para diseñar correctamente la cimentación de una estructura que se apoya sobre un suelo, es necesario realizar verificaciones tanto de resistencia como de deformación. Estos parámetros son necesarios para garantizar la estabilidad de la estructura a lo largo de su vida útil.

Centrándonos en los asentamientos, podemos distinguir dos tipos: el asentamiento inicial y el asentamiento por consolidación. El asentamiento por consolidación representa el más perjudicial de los dos, ya que compromete la estabilidad de las estructuras a largo plazo. A

diferencia del asentamiento inicial, que ocurre durante la construcción y suele ser de menor magnitud, el asentamiento por consolidación se desarrolla a lo largo del tiempo y puede ser significativamente mayor.

Por eso, es fundamental reconocer los distintos estratos de suelo de apoyo que se verán afectados por la influencia del bulbo activo de presión de la cimentación, especialmente si dentro del área de influencia se encuentran estratos finos como las arcillas saturadas que pueden experimentar asentamiento por consolidación bajo cargas. Es esencial comprender tanto la magnitud del asentamiento como el tiempo en que se producirá ya que, de lo contrario, podría resultar en el colapso de la estructura.

#### 4. Antecedentes

En el año 1998, se describe un conjunto de estudios geotécnicos realizados por el Dr. Ing. Jorge E. Alva Hurtado, donde recapitula información sobre los estratos de suelo arcillosos como material de apoyo de cimentación para estructuras, como reservorios de agua, hospitales, colegios, iglesias, bancos y centros comerciales. Dentro de los estudios realizados, se ejecutaron análisis con fines de verificación de capacidad de carga de pilotes existentes y análisis para cimentaciones profundas mediante pilotes. Se realizaron ensayos de campo del tipo perforaciones hasta 27m de profundidad, ensayos SPT hasta 13 metros y ensayos de corte con veleta hasta los 12m de profundidad. Además, se probaron ensayos de laboratorios especiales, como ensayos triaxial UU, ensayo de corte directo y ensayo de consolidación, en el que se pudo hallar valores sobre el esfuerzo de preconsolidación para determinar si los estratos de suelos arcillosos se encontraban en un estado de tensiones normalmente consolidados o preconsolidados [1].

**Tabla 1**

*Resumen de resultado del esfuerzo de preconsolidación*

PROYECTO	UBICACIÓN	PROFUNDIDAD	ESFUERZO DE PRECONSOLIDACIÓN kg/cm <sup>2</sup>
C.E. N°64001 - "EL TAMBO"	EL TAMBO - PUCALLPA	0.90m - 2.50m	1.00
C.E. N°64024	CENTRO - PUCALLPA	0.50m - 3.00m	1.20
C.E. N°64040	SAN FERNANDO - PUCALLPA	1.20m - 2.40m	1.25
C.E. N°65002 - "AURISTELA"	CENTRO - PUCALLPA	0.9m - 3.00m	1.20
C.E. N°64012 - "Miguel Grau"	Calle ATAHUALPA - PUCALLPA	1.60m	0.65
C.E. N°64103	BELLAVISTA - PUCALLPA	1.50m	1.10

Nota: Tomado de [1]

## 5. Marco conceptual

### 5.1. Índice de liquidez

En el ensayo de consolidación se determina el nivel de asentamiento que puede experimentar una muestra de suelo, finos o cohesivos como las arcillas o limos plásticos saturados, al ser sometida a una serie de incrementos de presión o cargas durante un periodo prolongado. Este ensayo nos permite monitorear la reducción del volumen total del suelo como respuesta a la aplicación de las cargas y su consecuencia, que es el drenado del agua contenida dentro de este suelo fino. La compresión es causada por el reacomodo de las partículas del suelo y la expansión de agua o aire de los espacios vacíos.

En general, el asentamiento es causado por cargas y se divide en dos amplias categorías: asentamientos iniciales y el asentamiento por consolidación. Diversos autores han atribuido la alteración significativa de las propiedades de ciertos suelos al proceso de desecación y han explicado que este fenómeno se debe a la transformación de minerales criptocristalinos o amorfos, junto con un elevado nivel de hidratación.

El identificar los suelos sensibles a sufrir cambios de propiedades es importante durante la etapa preliminar, debido a que se puede evitar retrasos o contratiempos y dificultades durante la construcción.

En 1936, Terzaghi propuso una relación valiosa entre la humedad natural y los límites de Atterberg (líquido y plástico) para evaluar la respuesta de un suelo a la manipulación, denominada índice de liquidez (Das, 2013):

$$I.L = \frac{W - L.P}{L.L - L.P} \quad (1)$$

I.L: Índice de liquidez

W: Humedad natural

L.L: Límite líquido (%)

L.P: Límite plástico (%)

Estos suelos pueden ser extremadamente sensibles a la distribución de su estructura. En muchos depósitos naturales de suelo arcilloso, el esfuerzo resultante del ensayo a la compresión simple o no confinada disminuye significativamente al remoldar el suelo. Pese a ello, no hay cambios en el contenido de humedad.

De acuerdo con el índice de liquidez, el suelo sometido al remoldeo tendrá el siguiente comportamiento (ver tabla 2).

**Tabla 2***Comportamiento del suelo, según el Índice de liquidez*

Consistencia del Suelo Cohesivo	I <sub>L</sub>	Comportamiento del Suelo
Dura	< 0.2	Se puede penetrar solo con instrumentos filosos; el suelo forma terrones que ofrecen gran dificultad a ser pulverizados
Muy Firme	0.2 a 0.35	Se penetra con gran esfuerzo
Firme	0.35 a 0.5	Se penetra a mano con dificultad
Mediana	0.50 a 0.65	Difícilmente moldeable
Blanda	0.65 a 0.80	Se moldea fácilmente a mano
Muy Blanda	0.80 a 1.00	Se escurre entre los dedos cuando se presiona
Fluida	>1.00	Suelo saturado. Se comporta como líquido viscoso

### 5.2. Sensibilidad de las arcillas

La sensibilidad de las arcillas se refiere a su capacidad para experimentar cambios volumétricos significativos en respuesta a variaciones en la humedad. En el caso de las arcillas de Pucallpa, suelen exhibir una sensibilidad notable a las fluctuaciones de humedad. Cuando estas arcillas absorben agua, tienden a expandirse, y cuando se secan, tienden a contraerse.

**Tabla 3***Valores de sensibilidad de los suelos cohesivos*

COMPORTAMIENTO	RANGO DE VARIACION DE SENSIBILIDAD
Insensible o que no se ve afectada cuando se remoldeó	$S < 2$
Moderadamente sensible	$2 < S < 4$
Muy sensible	$4 < S < 8$
Ultrasensible. Estas generalmente se convierten en líquidos viscosos	$S > 16$

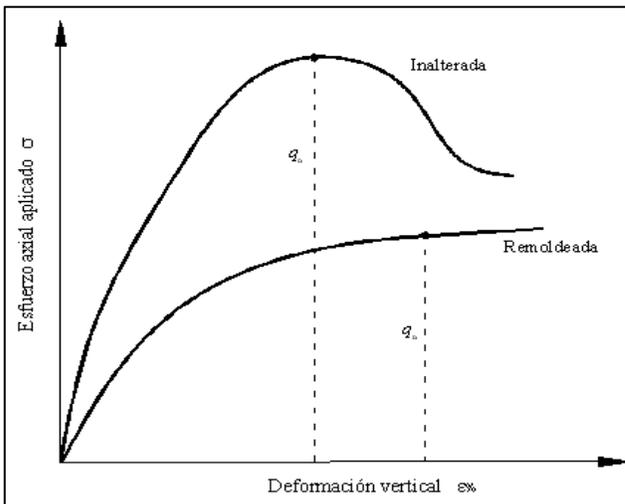
Este fenómeno, denominado sensibilidad del suelo arcilloso, ha sido descrito por [2]. La sensibilidad se cuantifica como la relación entre el esfuerzo de compresión no confinada en un estado inalterado y remoldado, según se presenta en la siguiente fórmula.

$$S = \text{sensibilidad} = \frac{Q_u(\text{Material inalterado})}{Q_u(\text{Material remoldeado})} \quad (2)$$

El comportamiento de la gráfica de ambos estados, tanto el inalterado como el remoldado, puede mostrar similitudes en cada ensayo realizado.

**Figura 1**

*Compresión no confinada en arcilla inalterada y remoldada*

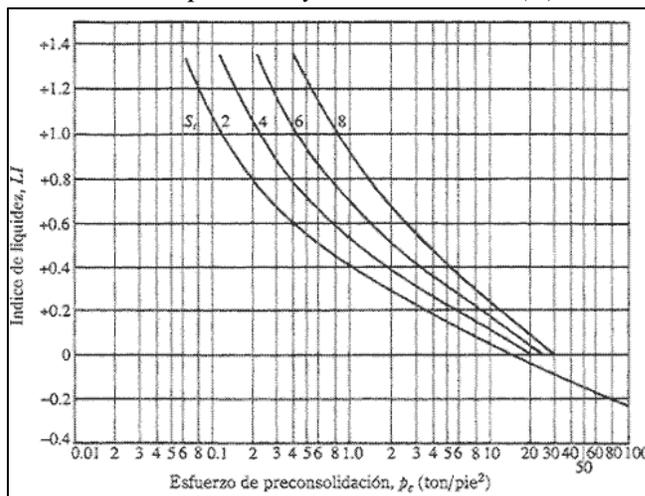


Nota: Tomado de [3]

Como alternativa para el cálculo del esfuerzo de preconsolidación, el Departamento de Marina de Estados Unidos (1982) proporcionó relaciones generalizadas entre el esfuerzo de preconsolidación, el índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos arcillosos ( $S_t$ ). Este procedimiento ha sido recomendado por Kulhawy y Mayne (1990) (Das, 2013).

**Figura 2**

*Variación de  $\sigma_p$  con  $IL$  y la sensibilidad ( $S_t$ )*



Nota: Tomado de [4]

### 5.3. Ensayos de laboratorio

En el marco de este proyecto de investigación, se ejecutaron los siguientes ensayos experimentales, realizados dentro de las instalaciones del laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Ricardo Palma.

### 5.4. Ensayo de límites de consistencia

El ensayo de límites de consistencia, realizado mediante la metodología del MTC E110 y ASTM D4318, determinó los siguientes valores representados por zona de estudio en la tabla 4.

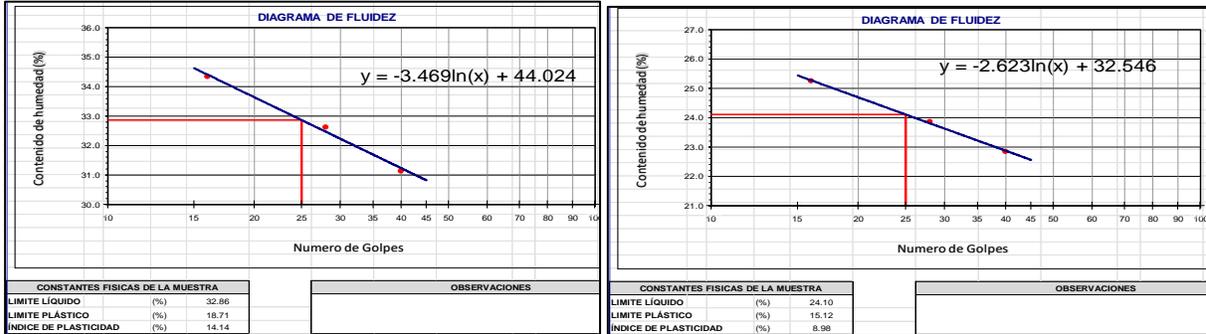
**Tabla 4**

*Resultados de ensayo de laboratorio*

Estructura / Módulo / Zona	N° de Sonda / Calicata	Tipo de Muestra - #	Profundidad de Muestra (m)		Clasificación (SUCS)	Límites Atterberg			Contenido de Humedad Natural (%)	ÍNDICE DE LIQUIDEZ	CONSISTENCIA DEL SUELO COHESIVO
						LL (%)	LP (%)	IP (%)			
YARINACOCHA	C-3	M-3	0.90	- 1.20	CH	37.47	17.67	19.80	26.15	0.4283	Firme
	C-10	M-2	1.00	- 1.50	CH	53.84	25.50	28.34	34.18	0.3063	Firme
	C-13	M-1	0.60	- 1.10	CL	42.30	19.44	22.86	26.39	0.3040	Firme
	C-15	M-1	0.60	- 1.50	CH	63.01	17.71	45.29	37.41	0.4349	Firme
MANANTAY	C-18	M-1	0.20	- 1.50	CL	24.23	15.03	9.20	18.47	0.3739	Firme
	C-20	M-2	0.50	- 1.10	CL	24.10	15.12	8.98	18.00	0.3207	Firme
	C-27	M-1	0.00	- 1.00	CH	62.21	20.90	41.31	28.27	0.1784	Dura
	C-30	M-1	0.00	- 1.50	CL	40.18	17.81	22.38	23.98	0.2758	Muy firme
CALLERIA	C-33	M-1	0.50	- 1.50	CH	51.88	15.86	36.02	26.31	0.2901	Muy firme
	C-34	M-1	0.40	- 1.50	CL	26.91	15.13	11.78	20.11	0.4228	Firme
	C-35	M-1	0.30	- 0.90	CL	48.46	25.16	23.30	30.00	0.2077	Muy firme
	C-36	M-1	0.00	- 0.75	CH	56.44	33.86	22.58	41.21	0.3255	Firme
	C-38	M-1	0.30	- 1.50	CH	37.64	16.59	21.05	25.11	0.4048	Firme
	C-40	M-1	0.40	- 1.50	CL	32.86	18.71	14.14	24.78	0.4290	Firme

**Figura 3**

*Determinación del Límite líquido de la C-40 en Calleria y C-18 en Manantay*



### 5.5. Ensayo de compresión simple

La prueba de compresión simple no confinada, según la normativa ASTM D2166-06, evalúa la resistencia y comportamiento ante deformaciones de muestras de suelo cuando se le aplica gradualmente una carga axial. Se realizó el ensayo para muestras inalteradas y remoldeadas, en el que se determinó el esfuerzo de compresión máxima para ambas condiciones. Esto permitió determinar la sensibilidad de los suelos finos y clasificar su comportamiento como se observa en la siguiente tabla 5.

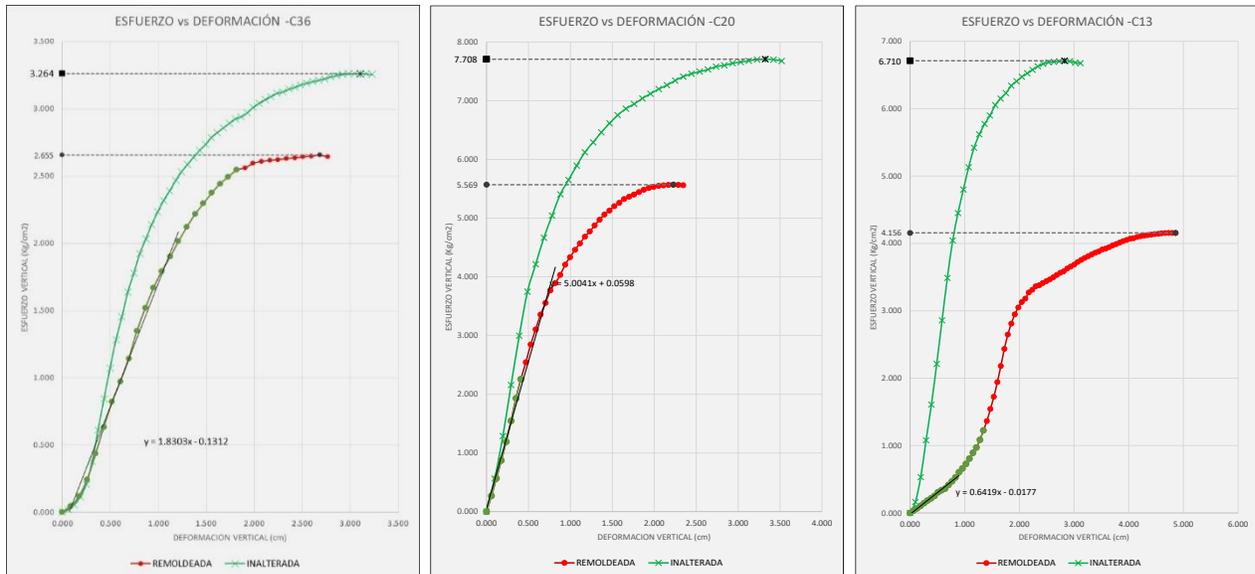
**Tabla 5**

*Resultados de ensayo de compresión simple para muestras inalterada y remoldeada*

Estructura / Módulo / Zona	N° de Sondaje / Calicata	Tipo de Muestra - #	Profundidad de Muestra (m)		Clasificación (SUCS)	INALTERADA	REMOLDEADA	St	COMPORTAMIENTO
						qu (MÁXIMO)	qu (MÁXIMO)		
YARINACCOCHA	C-3	M-2	0.30	- 0.90	CL	0.74	0.68	1.08	Insensible
	C-10	M-1	0.00	- 1.00	CL	1.92	1.53	1.26	Insensible
	C-13	M-1	0.60	- 1.10	CL	6.71	4.16	1.61	Insensible
	C-15	M-1	0.60	- 1.50	CH	5.13	0.96	5.34	muy sensible
MANANTAY	C-18	M-1	0.20	- 1.50	CL	4.41	4.17	1.06	Insensible
	C-20	M-1	0.00	- 0.50	CL	7.71	5.57	1.38	Insensible
	C-27	M-1	0.00	- 1.00	CH	2.13	2.09	1.02	Insensible
	C-30	M-1	0.00	- 1.50	CL	1.34	0.97	1.38	Insensible
CALLERIA	C-33	M-1	0.50	- 1.50	CH	1.51	0.88	1.72	Insensible
	C-34	M-1	0.40	- 1.50	CL	15.81	4.08	3.88	moderadamente sensible
	C-35	M-1	0.30	- 0.90	CL	2.52	2.10	1.20	Insensible
	C-36	M-1	0.00	- 0.75	CH	3.26	2.66	1.23	Insensible
	C-38	M-1	0.30	- 1.50	CH	4.69	1.36	3.44	moderadamente sensible
	C-40	M-1	0.40	- 1.50	CL	2.49	0.88	2.83	moderadamente sensible

**Figura 4**

*Ensayos de compresión simple en muestras Inalteradas y Remoldeadas en las C-36, C-20 y C-13 en Calleria, Manantay y Yarinacocha*

**6. Análisis de resultados**

Se determinaron los valores del índice de liquidez a partir de los ensayos de límites de consistencia (límite líquido y límite plástico) y la humedad natural de los suelos. Además, se obtuvieron los valores de sensibilidad de los suelos finos mediante ensayos de compresión simple en estado natural y remoldeado. Estos datos nos permiten utilizar las curvas propuestas por el Departamento de Marina de los Estados Unidos para calcular el esfuerzo de preconsolidación de los suelos arcillosos en las distintas zonas de la ciudad de Pucallpa.

**6.1. Ensayo de límites de consistencia**

A partir de los ensayos de límites de consistencia y los valores de humedad natural, se determinaron los índices de liquidez, que oscilan entre valores promedio de 0.2 a 0.4. Estos índices indican que la consistencia del suelo cohesivo varía de firme a muy firme, como se estandariza en la tabla 2 y se observa en la tabla 4.

**6.2. Ensayo de compresión simple**

Del ensayo de compresión simple para muestras inalteradas y remoldeadas se determinaron los esfuerzos máximos de rotura para determinar la sensibilidad de los suelos. Los valores van desde 1.0 a 5.0 Kg/cm<sup>2</sup>. Según el valor de la sensibilidad, se determina un comportamiento que va desde insensible, moderadamente sensible y muy sensible como se observa en la tabla 5.

## 7. Discusión

Basado en los valores obtenidos, se determinaron el índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos cohesivos para las muestras analizadas. Se realizó la correlación utilizando la curva propuesta [4] y se calculó el esfuerzo de preconsolidación. Estos resultados se presentan en la siguiente tabla para cada muestra.

**Tabla 6**

*Valores de resultado del esfuerzo de preconsolidación*

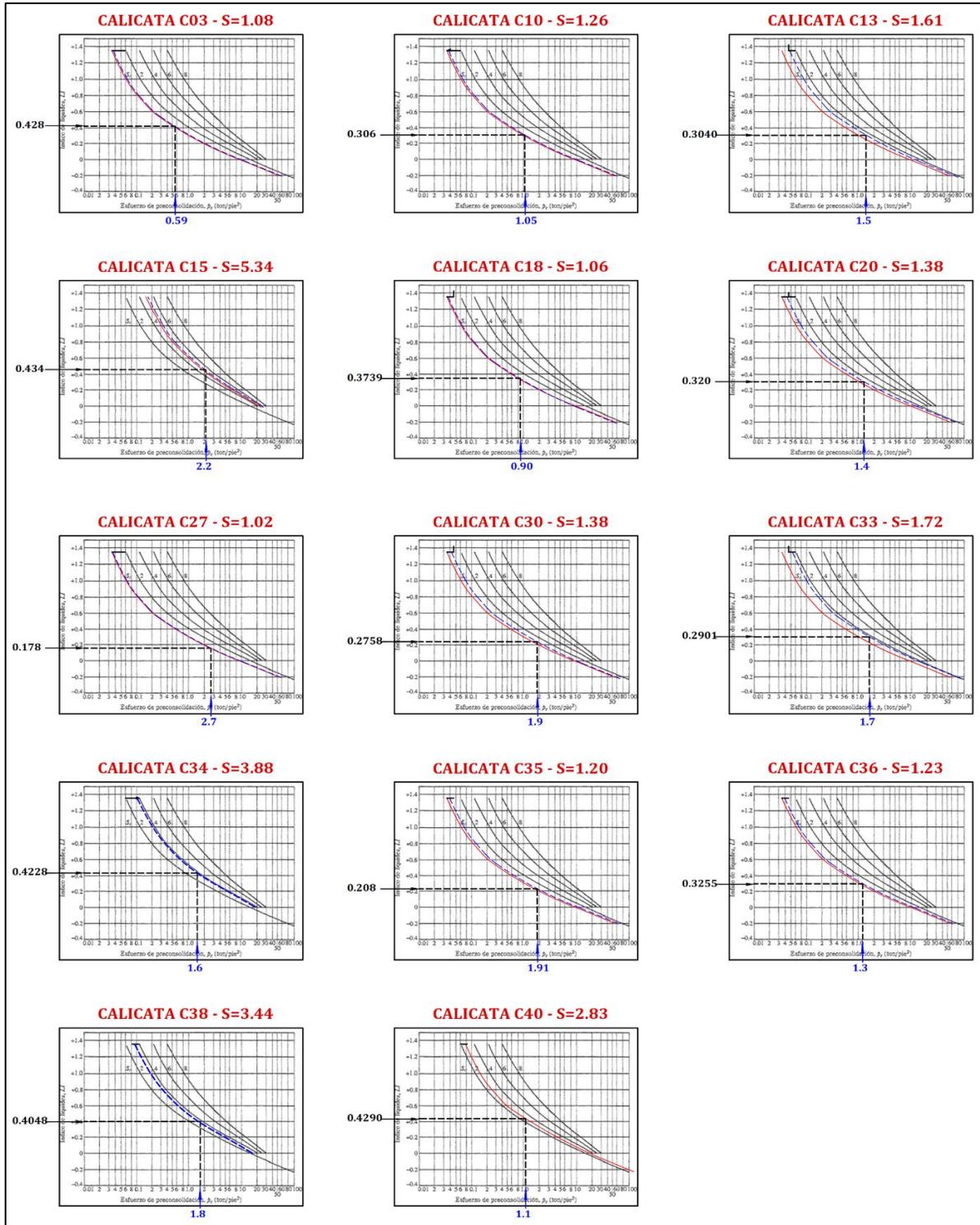
Estructura / Módulo / Zona	N° de Sondaje / Calicata	Tipo de Muestra - #	Profundidad de Muestra (m)			Clasificación (AASHTO)	St	IL	Esfuerzo de Preconsolidación (ton/pie <sup>2</sup> )
YARINACOC HA	C-3	M-2	0.30	-	0.90	CL	1.08	0.428	0.590
	C-10	M-1	0.00	-	1.00	CL	1.26	0.306	1.050
	C-13	M-1	0.60	-	1.10	CL	1.61	0.304	1.500
	C-15	M-1	0.60	-	1.50	CH	5.34	0.435	2.200
MANANTAY	C-18	M-1	0.20	-	1.50	CL	1.06	0.374	0.900
	C-20	M-1	0.00	-	0.50	CL	1.38	0.321	1.400
	C-27	M-1	0.00	-	1.00	CH	1.02	0.178	2.700
	C-30	M-1	0.00	-	1.50	CL	1.38	0.276	1.900
CALLERIA	C-33	M-1	0.50	-	1.50	CH	1.72	0.290	1.700
	C-34	M-1	0.40	-	1.50	CL	3.88	0.423	1.600
	C-35	M-1	0.30	-	0.90	CL	1.20	0.208	1.910
	C-36	M-1	0.00	-	0.75	CH	1.23	0.326	1.300
	C-38	M-1	0.30	-	1.50	CH	3.44	0.405	1.800
	C-40	M-1	0.40	-	1.50	CL	2.83	0.429	1.100

Se puede observar que los esfuerzos de preconsolidación hallados para las muestras ensayadas varían desde 0.59 Ton/pie<sup>2</sup> a 2.7 Ton/pie<sup>2</sup>, que equivalen a 0.635 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.91 Kg/cm<sup>2</sup>. Con estos valores se puede determinar de manera general si los estratos de suelos arcillas se encuentran en estado normalmente consolidado o preconsolidado.

De los ensayos recopilados de consolidación unidimensional en el laboratorio, se pudo verificar que los suelos finos de Pucallpa presentan un esfuerzo de preconsolidación entre 0.65 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.25 Kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados son de otros sectores que no corresponden al mismo lugar de las muestras ensayadas en la presente investigación. En la figura 5, se presentan las gráficas correspondientes a cada muestra estudiada, mostrando el cálculo del esfuerzo de preconsolidación utilizando las curvas propuestas en [4].

**Figura 5**

*Resultado del esfuerzo de preconsolidación mediante la correlación del índice de liquidez con la sensibilidad de las arcillas*



## 8. Conclusiones

Los valores del índice de liquidez revelan que la consistencia de estos suelos cohesivos se encuentra entre muy firme y firme. Su comportamiento sugiere que penetrar en este suelo requiere un esfuerzo considerable o se encuentra con dificultad.

Los resultados del cálculo de la sensibilidad muestran un rango de valores entre 1 a 5, lo que indica una característica que va desde insensible, hasta moderadamente sensible. Este hallazgo sugiere que el suelo cohesivo tiende a conservar su integridad y no se desmorona fácilmente durante la manipulación.

De los estudios realizados por el Dr. Jorge Alva Hurtado, para diversos proyectos en la ciudad de Pucallpa, se observa que con el ensayo de consolidación se llegó a tener valores del esfuerzo de preconsolidación que van desde 0.65 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.2 Kg/cm<sup>2</sup>.

De los resultados obtenidos del esfuerzo de preconsolidación ( $\sigma'_p$ ) para la presente investigación de las distintas muestras de la ciudad de Pucallpa en los distritos de Calleria, Manatay y Yarinacocha, por los cálculos de las curvas estudiadas a partir del Índice de liquidez (I.L) y la Sensibilidad (St) se tienen valores de ( $\sigma'_p$ ) que van desde 0.64 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.91 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos al determinar el esfuerzo de preconsolidación mediante ambos métodos son consistentes y se encuentran dentro de un rango admisible. Esto se sustenta en la variabilidad de las muestras obtenidas de diferentes zonas de la ciudad de Pucallpa y en las condiciones ambientales presentes en el momento del estudio. Factores como la humedad influyen significativamente en los ensayos, especialmente en la determinación del valor de la sensibilidad, ya que la resistencia de los suelos finos depende en gran medida de su contenido de humedad.

## Referencias bibliográficas

- [1] J. Alva Hurtado, *Estudios geotécnicos en la ciudad de Pucallpa*, [Diapositiva en Power Point], 1998. Disponible: <https://www.jorgealvahurtado.com/files/Estudios-GeotecnicosPucallpa.pdf>
- [2] Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Limusa Noriega
- [3] B. M. Das (2013). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México DF, México: Cengage Learning.
- [4] B. M. Das (2001). *Principios de ingeniería de cimentaciones*. International Thomson Learning.

**Trayectoria académica****Marco Antonio Hernández Aguilar**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Magíster en Ciencias de la Ingeniería con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil (1993-1995). Ingeniero Civil CIP 064415, graduado en la Universidad Ricardo Palma (1985-1990). Gerente general de Geo Máster Ingenieros Consultores S.A.C. Consultor geotécnico de obras de diseños de presas de relave, estabilización de taludes, colocación y monitoreo de instrumentación geotécnica de campo, estudio y evaluación de capacidad portante, evaluación geotécnica del subsuelo mediante perforaciones diamantinas, estudios geotécnicos para plantas de tratamientos de aguas residuales, agua de mina y depósitos de relaves, evaluación y diseños de pavimentos, trabajos geotécnicos para estudios hidrogeológicos, para tanques de combustibles. Ejerció la actividad docente en la Universidad San Ignacio de Loyola y Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Actualmente es docente universitario de los cursos de Mecánica de Suelos I y II en el pregrado de la Universidad Ricardo Palma.

**Autora corresponsal:** [marco.hernandez@urp.edu.pe](mailto:marco.hernandez@urp.edu.pe)

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-1534-428X>

**Miriam Rosanna Escalaya Advíncula**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Doctora en Ingeniería Civil en el Área de Especialización de Geotecnia de la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil, Maestra en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica de la Universidad Nacional de Ingeniería, Ingeniera Civil de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. Actualmente se desempeña como especialista geotécnica en la empresa Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros S.A.C. con gran experiencia en el área. Ejerce la actividad docente en el pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma.

[miriam.escalaya@urp.edu.pe](mailto:miriam.escalaya@urp.edu.pe)

**Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-0620-8633>

## CIVIL

Determinación del esfuerzo de pre consolidación a partir del índice de liquidez y la sensibilidad de los suelos arcillosos de Pucallpa

---

### **Ronald Saúl Vega López**

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú

Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma. Actualmente, se desempeña como ingeniero junior en el área de estudios especializados en geotecnia y mecánica de suelos en la empresa Geo Máster Ingenieros Consultores S.A.C. en la que acumula tres años de experiencia en el campo.

[ronald.vega@urp.edu.pe](mailto:ronald.vega@urp.edu.pe)

**Orcid:** <https://orcid.org/0009-0005-3498-5586>

### **Contribución de autoría**

#### **Marco Antonio Hernández Aguilar**

Coordinación trabajos de campo y ensayos de laboratorio, análisis y discusión de resultados, redacción de artículo.

#### **Miriam Rosanna Escalaya Advincula**

Coordinación y acompañamiento en los trabajos de campo, discusión en los ensayos de laboratorio e interpretación de resultados.

#### **Ronald Saúl Vega López**

Coordinación de trabajos de campo, participación en los ensayos de campo y de laboratorio, procesamiento de información e registros de ensayos por muestras evaluadas.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el desarrollo de la presente investigación.

### **Responsabilidad ética y legal**

El desarrollo de la investigación se realizó bajo la conformidad de los principios éticos del conocimiento, respetando la originalidad de la información y su autenticidad.

### **Declaración sobre el uso de LLM (Large Language Model)**

Este artículo no ha utilizado para su redacción textos provenientes de LLM (ChatGPT u otros)

### **Financiamiento**

La presente investigación ha sido realizada con el financiamiento del Vicerrectorado de investigación de la Universidad Ricardo Palma.

### **Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento al Vicerrectorado de investigación de la Universidad Ricardo Palma por el apoyo económico a esta investigación.

**Correspondencia:** [Marco.hernandez@urp.edu.pe](mailto:Marco.hernandez@urp.edu.pe)