



CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS SUELOS ARCILLOSOS DE PUCALLPA

GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF THE CLAY SOILS OF PUCALLPA

Marco Antonio Hernández Aguilar, Miriam Rosanna Escalaya Advíncula,
Ronald Saúl Vega López
Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

RECIBIDO: 20 de septiembre de 2023.

ACEPTADO: 30 de noviembre de 2023.

RESUMEN

El presente artículo aborda de manera detallada la caracterización geotécnica de los suelos finos en la ciudad de Pucallpa, en la región amazónica de Perú. Con el principal objetivo de describir el comportamiento mecánico y las características físicas muy particulares de estos suelos finos del tipo arcillosos en las zonas de Yarínacocha, Manantay y Callería. Con este propósito, se llevó a cabo una campaña geotécnica que consistió en la ejecución de 40 excavaciones manuales del tipo calicatas a cielo abierto con profundidades de hasta 1.50 metros, con la finalidad de recuperar muestras inalteradas en forma de cubos de 0.40 m de lado, para su posterior traslado al laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Ricardo Palma, donde se realizaron los ensayos normales y especiales para obtener sus características físicas y mecánicas. Las muestras se caracterizan por la predominancia de las partículas finas del tipo arcillas de alta y baja plasticidad con clasificación SUCS de CL, CH, con valores de contenido de humedad de hasta 30%, de coloración rojiza, gris y en algunos casos marrón, el contenido de límite líquido supera el 35% en la mayoría de muestras y con un índice de plasticidad que promedia el 20%. Además, se realizaron otros ensayos que han aportado datos que, a su vez, han permitido conocer, entender y comprender el comportamiento de los suelos finos arcillosos de los tres distritos principales de la ciudad de Pucallpa. De este modo, se pudo establecer sus principales propiedades físicas, de resistencia y deformación, lo que permite zonificar y caracterizar los suelos arcillosos de esta ciudad.

Palabras clave: arcillas, Pucallpa, sedimentación, preconsolidación.

Cómo citar

M. A. Hernández Aguilar, M. R. Escalaya Advíncula, y R. S. Vega López, «Caracterización geotécnica de los suelos arcillosos de Pucallpa», *Perfiles_Ingeniería*, vol. 19, n.º 20, pp. 93–118, dic. 2023.

ABSTRACT

This article addresses in detail the geotechnical characterization of fine soils in the city of Pucallpa, in the Amazon region of Peru. With the main objective of describing the mechanical behavior and the very particular physical characteristics of these fine clay-type soils in the areas of Yarínacocha, Manantay and Callería. For this purpose, a geotechnical campaign was carried out that consisted of the execution of 40 manual excavations of the open pit type with depths of up to 1.50 meters, with the purpose of recovering unaltered samples in the form of cubes of 0.40 m on each side. for subsequent transfer to the soil mechanics laboratory of the Ricardo Palma University, where normal and special tests were carried out to obtain its physical and mechanical characteristics. The samples are characterized by the predominance of fine clay-type particles of high and low plasticity with SUCS classification of CL, CH, with moisture content values of up to 30%, reddish, gray and in some cases brown in color, the liquid limit content exceeds 35% in most samples and with a plasticity index that averages 20%. In addition, other tests were carried out that have provided data that, in turn, have allowed us to know, understand and comprehend the behavior of the fine clay soils of the three main districts of the city of Pucallpa. In this way, it was possible to establish its main physical properties, resistance and deformation, which allows zoning and characterizing the clay soils of this city.

Keywords: clays, Pucallpa, sedimentation, preconsolidation.

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



1. Introducción

La geotecnia y el estudio de la caracterización de los suelos se presenta como la principal alternativa de reconocimiento de las propiedades físicas y mecánica de los suelos, que nos permite reconocer el comportamiento de estos ante las cargas solicitantes de los distintos tipos de proyectos. En ingeniería, en este contexto, nos enfocamos en el análisis de los distintos tipos de suelos finos, del tipo arcillas y limos, suelos característicos de la región amazónica, que circundan en su totalidad toda la zona del emplazamiento de la ciudad de Pucallpa, en un caso específico en las zonas urbanas de los distritos de Yarinacocha, Manantay y Callería, planteándose el estudio en un área aproximada de 85.6 km². Para esta investigación se realizaron exploraciones manuales de reconocimiento en un total de 40 calicatas hasta alcanzar una profundidad de 1.50 metros, que se distribuyeron 15 calicatas para la zona de Yarinacocha, 15 calicatas para la zona de Manantay y 10 calicatas para el área de Callería. En cada calicata o sondeo manual, se recuperaron muestras inalteradas en forma de cubos de 0.30x0.30x0.30 por lado, muestras en bloques inalteradas más pequeñas y además de muestras disturbadas, que fueron llevadas al laboratorio de la universidad Ricardo Palma para el desarrollo de los ensayos de mecánica de suelos normales y especiales.

Estos suelos tienen propiedades únicas que pueden influir en la estabilidad de las estructuras, la conservación del suelo y la gestión del entorno natural. Este trabajo proporciona un punto de partida para entender cómo la geotecnia y la naturaleza de los suelos en Pucallpa desempeñan un papel muy importante en el desarrollo y la ingeniería en esta región.

Figura N° 1. Ciudad de Pucallpa



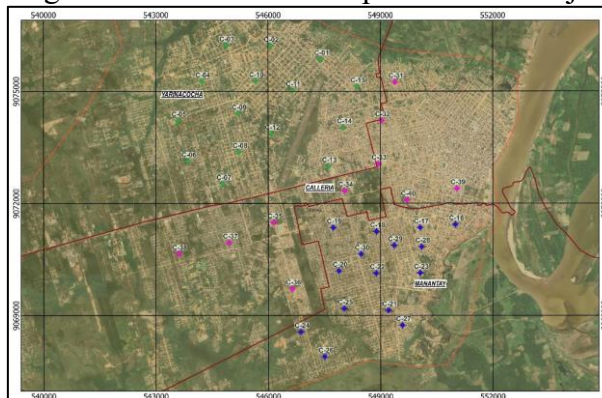
Elaboración propia

2. Zona de Estudio: Ciudad de Pucallpa

Pucallpa es una ciudad ubicada en la región de Ucayali, en la selva central del Perú. Es la capital de la región y se encuentra a orillas del río Ucayali, un afluente del río Amazonas. La ciudad es conocida por su entorno natural exuberante, con una gran diversidad de flora y fauna.

Gran parte de la región de Pucallpa cuenta con suelos finos del tipo arcillas y limos en su composición. Estos suelos arcillosos son conocidos por su marcada plasticidad y alta compresibilidad, por lo que es esencial comprender las propiedades de expansión y contracción de estos suelos, además de influir directamente en el diseño de las cimentaciones de edificios y carreteras. La compresibilidad de estos suelos puede dar lugar a asentamientos diferenciales, lo que requiere una planificación cuidadosa y, a menudo, la implementación de técnicas de cimentación especiales, como pilotes o zapatas profundas. Además, se debe considerar que la alta pluviosidad de la región amazónica, que incluye Pucallpa, puede provocar problemas de erosión y drenaje en suelos arcillosos, así como problemas de asentamiento por consolidación. En caso los suelos finos estén saturados, la gestión adecuada de la erosión y el drenaje es muy importante para evitar problemas en la construcción y conservación del suelo.

Figura N° 2. Ubicación de puntos de sondajes



Elaboración propia

3. Metodología

Etapa 1: Inspección de Campo

Se realizó la visita técnica a la zona de estudio por parte del grupo de investigación en la primera semana del mes de agosto del 2023. Esta implicó la propuesta inicial de la distribución y ubicación de las 40 calicatas para las tres zonas en estudio, analizó la accesibilidad al área de cada punto de sondaje y el libre tránsito, y reconoció los puntos estratégicos más favorables de acuerdo a las características superficiales de los suelos que se observaban.

Etapa 2: Ubicación de Puntos de Estudios Geotécnicos

Se ubicó y registró, por medio de coordenadas geográficas, 40 puntos estratégicos para el sondaje de suelos por medio de excavación manual de calicatas a cielo abierto con profundidades máximas a 1.50 metros, puntos representativos y bien distribuidos de cada zona estudiada.

Etapa 3: Obtención de Muestras Representativas de los Puntos

Se obtuvieron 40 muestras inalteradas, en forma de bloques, que conservaban sus propiedades naturales, además de muestras disturbadas para su análisis correspondiente. Se usó la norma E.050 de suelos y cimentaciones, y se procedió con la conservación y traslado, para lo que se utilizó herramientas apropiadas para la ejecución de los trabajos de traslado.

Etapa 4: Ensayos de Laboratorio

En el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad Ricardo Palma, se realizaron los ensayos necesarios para la obtención de las principales propiedades que permitan la caracterización de estos suelos, ensayos del tipo normales como análisis granulométrico, límites de consistencia (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Contracción), contenido de humedad, peso unitario o volumétrico, peso específico de los sólidos; ensayos especiales del tipo: análisis granulométrico por sedimentación, ensayo de compresión simple y ensayos de consolidación unidimensional.

Etapa 5: Procesamiento de Resultados

Con todos los resultados obtenidos de los diferentes ensayos de laboratorio, se interpretan los datos obtenidos para comprender y entender las propiedades del suelo, y cómo pueden influir sus principales características geotécnicas en los proyectos o investigaciones. Estos resultados permiten preparar un informe confiable que resume los hallazgos de la inspección de campo y los análisis de los suelos evaluados. Este informe de resultados obtenidos incluye los datos de ubicación de los puntos muestreados, métodos y técnicas utilizados en el programa de exploración, resultados, análisis, interpretación, conclusiones y las recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos.

4. Exploración de Campo***Calicatas – Zona de Yarinacocha***

La exploración de campo en la zona de Yarinacocha consistió en 15 calicatas de profundidades hasta 1.50 metros, que fueron distribuidas en toda el área perteneciente al distrito. Se ejecutaron las excavaciones manuales con la finalidad de definir el perfil estratigráfico y se obtuvieron muestras representativas alteradas e inalteradas que nos permitan identificar y caracterizar los suelos existentes en cada zona evaluada.

El propósito de estas exploraciones es evaluar las principales características geotécnicas de estos suelos para identificarlo y clasificarlo, además de conocer sus propiedades físicas, de resistencia y de deformación. Esto resulta fundamental para el desarrollo de proyectos de construcción, infraestructura y, en especial, para el diseño de cimentaciones seguras y estables.

CIVIL

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

En la zona de Yarinacocha, la topografía y el tipo de suelo pueden variar considerablemente con suelos cohesivos de coloración rojizas, plomas, marrones, en algunos casos con poca humedad y en otros con mucha humedad de consistencia firme a poco blanda. Los ingenieros recopilan datos, pues estos les permiten tomar decisiones informadas sobre cómo abordar proyectos en la zona, que minimicen los riesgos y garanticen la seguridad del entorno.

Figura N° 3. Zona de Yarinacocha



Elaboración propia

Calicatas – Zona de Manantay

En esta zona se realizaron 15 calicatas, exploraciones manuales a cielo abierto para la caracterización de los suelos en la zona de Manantay, en Pucallpa, la cual presenta la misma formación con una predominancia de los suelos finos, limos y arcillas, pero con diferentes

características, en los distintos puntos de estudio. Esto varía su contenido de humedad, su consistencia, coloración y plasticidad. En este sector, gran parte de las zonas evaluadas corresponden a terrenos no urbanizados y sin construcciones. Estos resultados permitirán a los ingenieros definir y conocer su cohesión, módulo de elasticidad, tipo de suelos, plasticidad y esfuerzo de preconsolidación. Así, se conoce la capacidad de carga del suelo, sus asentamientos inmediatos y por consolidación, la permeabilidad y otros factores que afectan la seguridad y el rendimiento de las futuras estructuras.

Figura N° 4. Zona de Manantay



Elaboración propia

CIVIL

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

Calicatas – Zona de Callería

En el caso de los estudios geotécnicos en el distrito de Callería, Pucallpa, de igual forma, se realizaron 10 calicatas a cielo abierto. Además, se pudo determinar, a diferencia de los otros distritos, que esta zona cuenta con zonas urbanizadas por el lado este, y, por el lado oeste, se encontraron algunas zonas áreas de relleno no controlado debido a los bajiales. En las fechas de lluvias, el nivel freático tiende a subir a profundidades mayores al terreno natural. El tipo de suelo que se pudo identificar es homogéneo al igual que en las otras áreas, con la misma predominancia de las partículas finas del tipo limos y arcillas, de coloración variada que van desde marrón, rojizas y plomas.

Figura N° 5. Zona de Callería



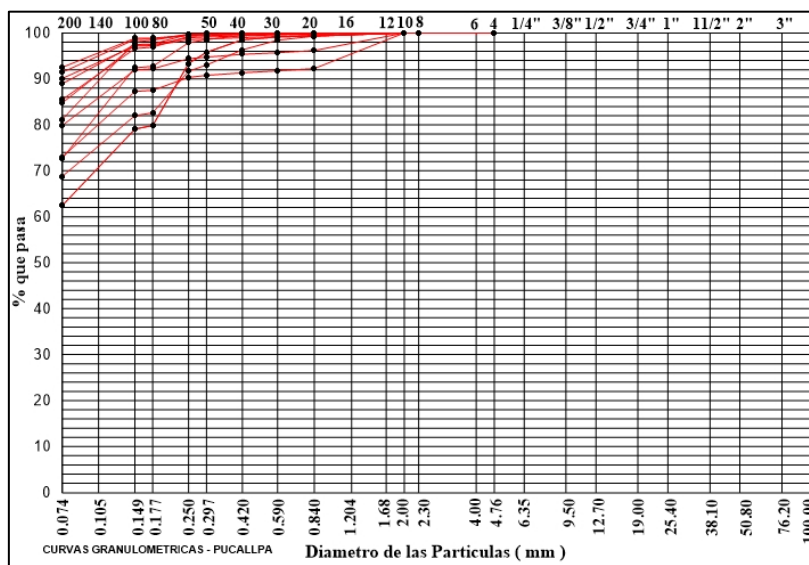
Elaboración propia

5. Ensayos de Laboratorio

Ensayo de Granulometría por Lavado

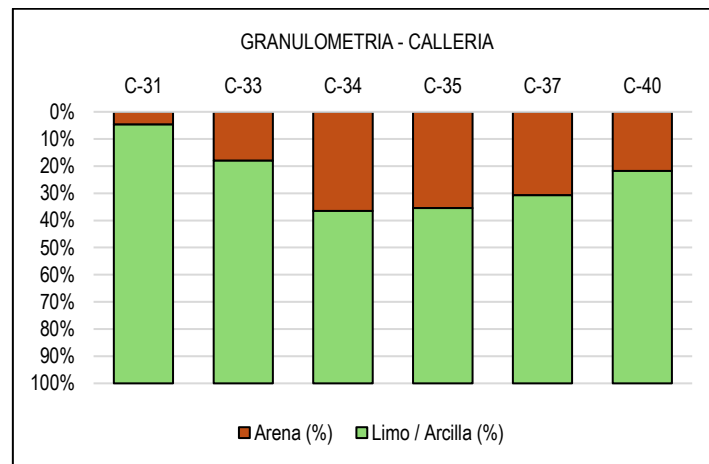
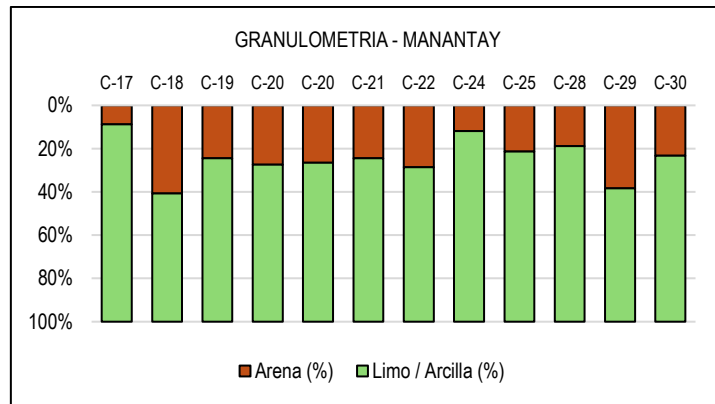
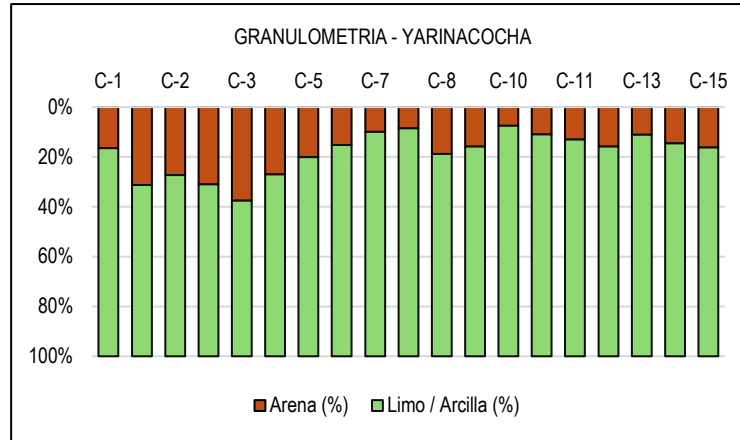
La granulometría por lavado es una técnica tradicional para analizar la proporción de tamaño de partículas por diámetro efectivo para el caso de los suelos en Pucallpa. Esta metodología se usó para separar los suelos finos limos y arcillas de los suelos granulares arenas, con la finalidad de determinar el porcentaje de concentración de cada tipo de suelo, ya que estos influyen en la capacidad de retención de agua, la permeabilidad y la compactación del suelo. Podemos observar los resultados en los siguientes gráficos en barras y las curvas granulométricas características de los suelos finos. Se puede notar la presencia de alto porcentaje de suelos finos de hasta un 92% con mezclas de arenas de granos medios a finos, con porcentajes de suelo granular de hasta un 30%.

Figura N° 6. Curva granulométrica característica de los suelos finos



Elaboración propia

Figura N° 7. Porcentaje de agregado por fracción granulométrica

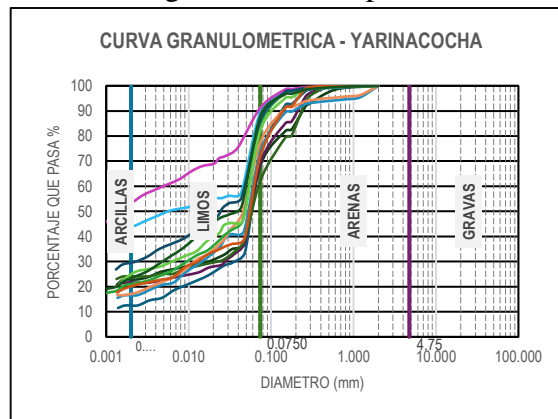


Elaboración propia

Granulometría por Ensayo de Sedimentación

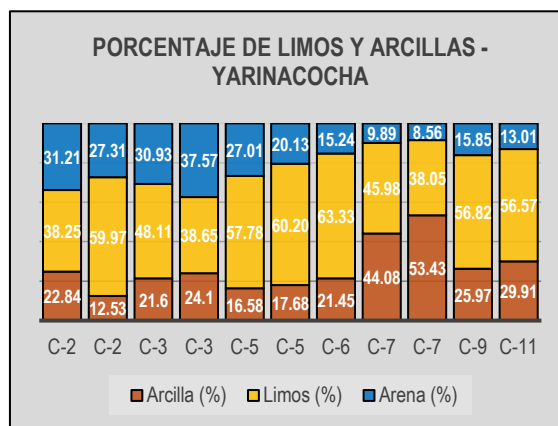
El ensayo de granulometría por sedimentación es un ensayo que complementa la curva granulométrica del ensayo por lavado, ya que nos permite conocer la proporción de partículas finas, separando la cantidad de limos y arcillas. Esta información sirve para determinar las características de los suelos finos, conocer el índice de plasticidad y la cantidad de arcillas, y obtener la actividad de las arcillas cuyo valor define el tipo de arcilla Caolinita, Ilita y Montmorillonita. El análisis de los suelos finos del distrito de Yarinacocha arrojó los resultados de arcillas del 53.43% como máximo y como valores mínimos se presenta desde 12.53%; por otro lado, la presencia de los limos se muestra en proporciones desde los 30% hasta 60%.

Figura N° 8. Curva granulométrica por sedimentación



Elaboración propia

Figura N° 9. Porcentaje de arcilla de la zona de Yarinacocha

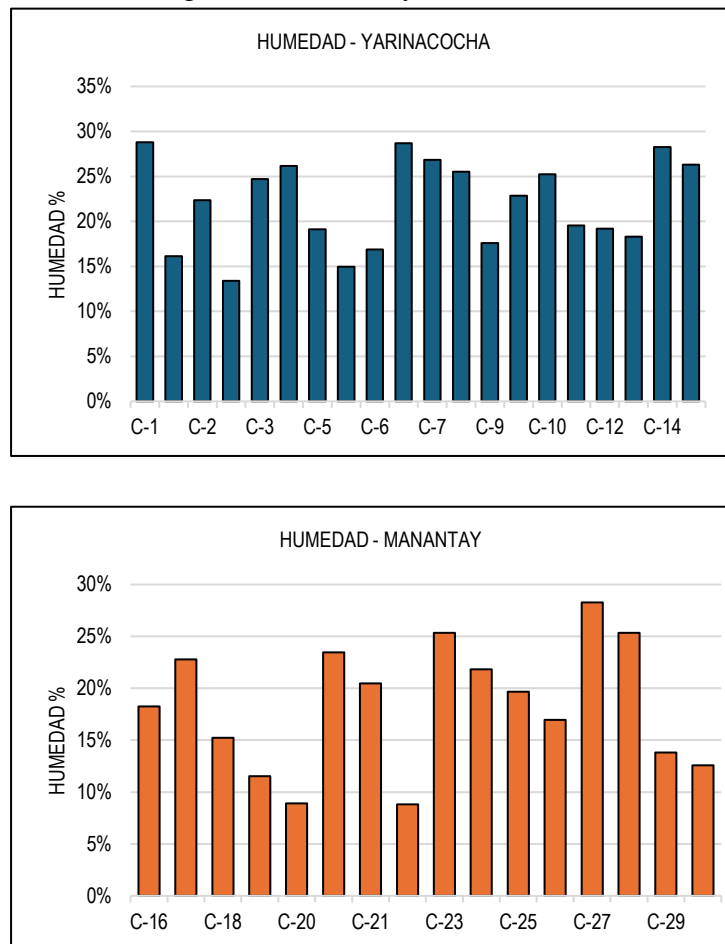


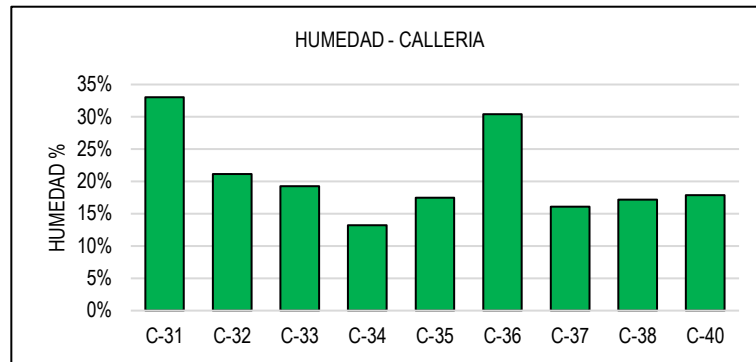
Elaboración propia

Ensayo de Contenido de Humedad En la región de Pucallpa, donde la humedad puede variar significativamente debido a las condiciones climáticas tropicales y las fuertes lluvias, el ensayo de humedad es crucial para diversos fines. Determina la cantidad de agua presente en el suelo, lo que influye en su plasticidad, consistencia y capacidad de soporte y deformación. Así, se obtuvieron humedades desde 10% hasta 30% como se puede observar en las siguientes tablas.

Los resultados de este ensayo son esenciales para la ingeniería geotécnica, la construcción de cimentaciones, la planificación de obras de drenaje, la evaluación de la estabilidad de taludes y ambientales para comprender y gestionar mejor los suelos locales.

Figura N° 10. Ensayo de humedad

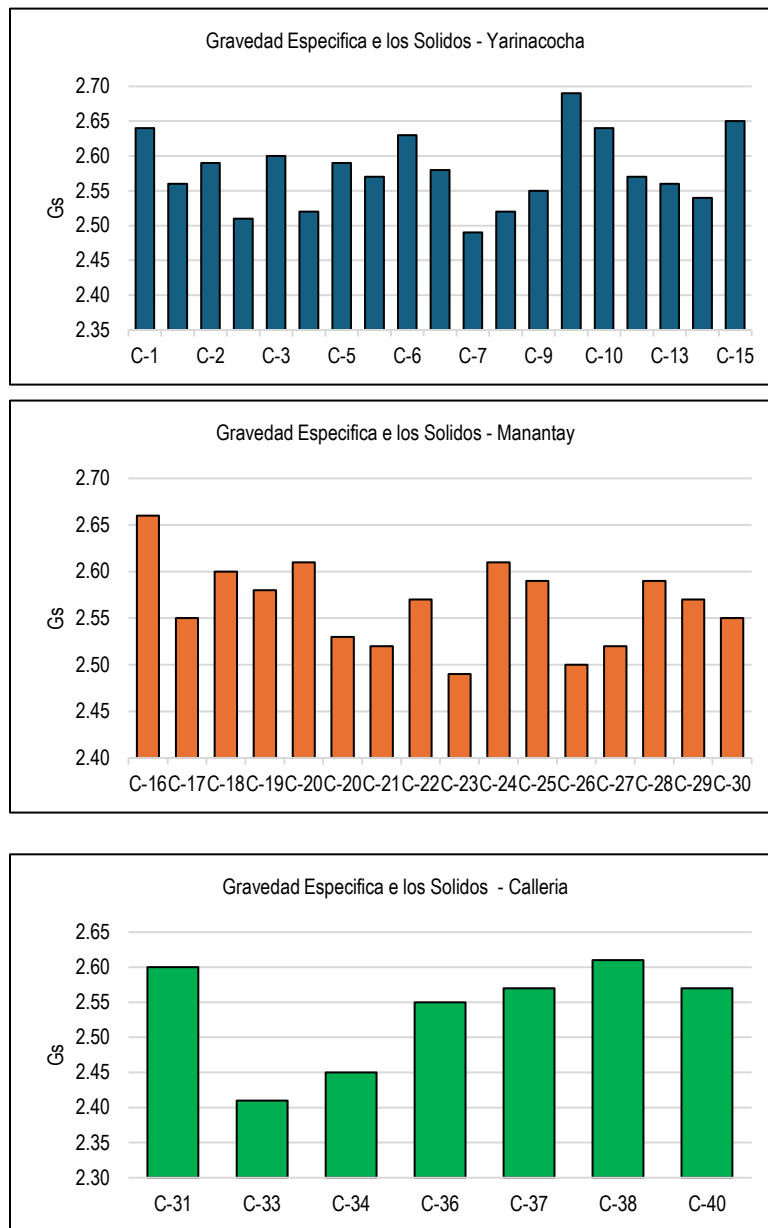




Elaboración propia

Determinación de la Gravedad Especifica de los Sólidos Se determina a partir de los resultados del ensayo de peso específico de los sólidos, también conocido como ensayo de densidad de partículas, y se utiliza para calcular el valor G_s , que es la relación entre la densidad de las partículas sólidas de un suelo entre la densidad del agua. Para el caso de estudio, se puede observar en las siguientes gráficas en barras, en la cual la mayoría de los suelos superan una densidad de sólidos de 2.50. En algunos casos, llegan a 2.70, valores que representan a las arcillas limosas o limos arenosos o como representación mineral. Estos valores se aproximan a minerales del tipo Clorita, Caolinita, Ilita o Montmorillonita. La gravedad específica de los sólidos es un parámetro importante en la clasificación y el análisis de suelos. Puede ayudar a determinar la porosidad del suelo, la cantidad de agua que puede retener y su capacidad de soporte de cargas. Además, es esencial en el cálculo de otros parámetros geotécnicos, como la relación de vacíos y el grado de saturación.

Figura N° 11. Ensayo Gs



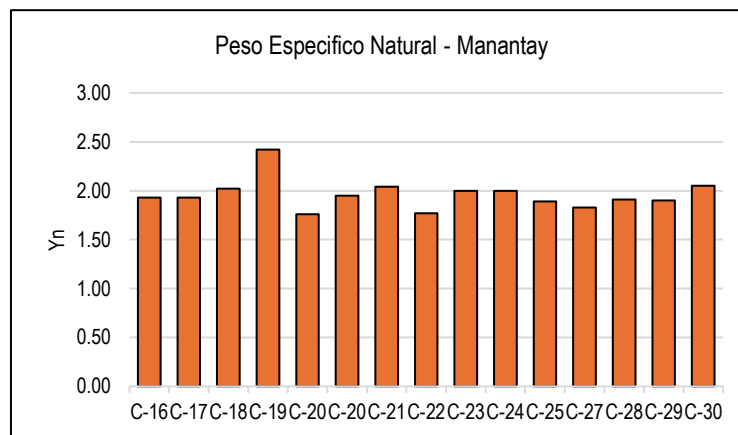
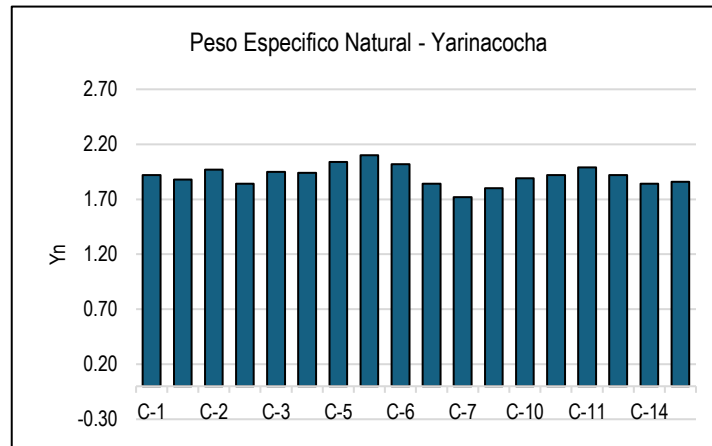
Elaboración propia

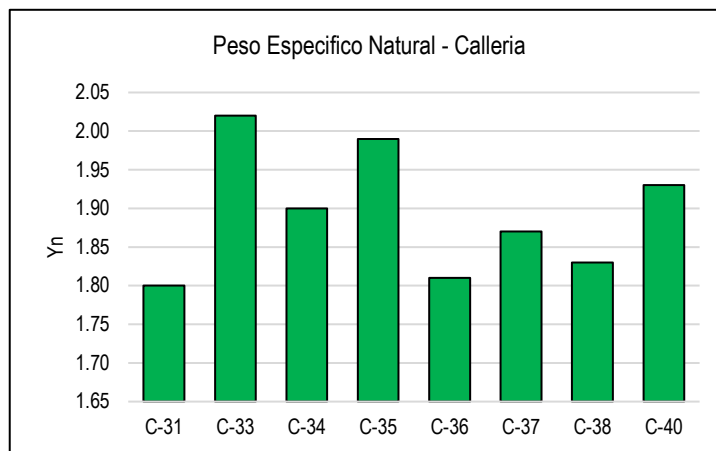
Ensayo de Peso Unitario o Volumétricos En la región de Pucallpa, donde se encuentran suelos de diversa composición y condiciones geotécnicas, el ensayo de densidad natural es de gran importancia. Proporciona información sobre la compacidad y la estructura del suelo, lo que influye en su capacidad de carga, drenaje y resistencia. Se puede observar en los resultados obtenidos que la densidad natural de los suelos de Pucallpa varía entre 1.50 gr/cm³, hasta valores

máximos de 2.0 gr/cm^3 . Estos valores pueden determinarse con propiedades del tipo arcillas semi compacta, acillas compactas a arcillas muy compactas.

Además, este ensayo es esencial para comprender cómo los suelos de Pucallpa se comportan en su estado natural.

Figura N° 12. *Ensayo densidad natural*





Elaboración propia

Ensayo de Límites de Consistencia El análisis de suelos en la ciudad de Pucallpa a través del ensayo de límites de consistencia es fundamental para comprender las propiedades geotécnicas de esta región amazónica del Perú. Este ensayo evalúa la plasticidad de los suelos; es decir, su capacidad de retener agua y cambiar de forma. Los resultados revelan que la mayoría de los suelos en Pucallpa son altamente plásticos debido a las condiciones climáticas y geológicas de la zona, por lo que mostraron resultados de límites líquidos superiores del 30% y, en algunos casos, llegaron hasta 60%. Se evidenció la presencia de minerales catódicos característicos del tipo arcillas, además de presentar clasificación de los suelos finos del tipo CL y CH.

Estos suelos tienen una alta retención de agua, lo que puede llevar a problemas de estabilidad en construcciones. Además, su plasticidad puede variar significativamente en diferentes áreas de la ciudad, lo que requiere un análisis detallado para el diseño de infraestructuras seguras.

Tabla N° 1. Resultado de límites de consistencia

Zona	Estructura / Módulo / Zona	N° de Sondaje / Calicata	Tipo de Muestra - #	Profundidad de Muestra (m)	Clasificación (AASHTO)	Clasificación (SUCS) ⁽¹⁾	Límites Atterberg		
							LL ⁽²⁾ (%)	LP ⁽³⁾ (%)	IP ⁽⁴⁾ (%)
PUCALLPA	YARINACOCHA	C-1	M-1	0.00 - 0.80	CH	A-7-6	52.20	24.95	27.26
		C-2	M-1	0.00 - 1.50	CL	A-6	27.86	15.54	12.32
		C-3	M-2	0.30 - 1.00	CL	A-6	27.52	15.98	11.54
		C-5	M-1	0.00 - 1.10	CL	A-6	26.79	15.77	11.02
			M-2	1.10 - 1.10	CL	A-4	24.51	15.58	8.93
		C-7	M-1	0.00 - 1.00	CH	A-7-6	67.74	29.62	38.12
		C-8	M-1	0.00 - 1.50	CH	A-7-6	50.52	25.01	25.50
		C-9	M-1	0.00 - 1.50	CL	A-6	36.49	18.58	17.92
		C-10	M-1	0.00 - 1.00	CL	A-7-6	49.38	24.67	24.71
			M-2	1.00 - 1.50	CH	A-7-6	53.84	25.50	28.34
		C-11	M-1	0.40 - 1.50	CH	A-7-6	50.66	22.43	28.13
		C-12	M-1	0.00 - 1.50	CL	A-6	39.33	20.98	18.35
		C-13	M-1	0.60 - 1.10	CL	A-7-6	42.30	19.44	22.86
	MANANTAY	C-18	M-1	0.20 - 1.50	CL	A-4	24.23	25.03	9.20
		C-19	M-1	0.50 - 1.50	CL	A-6	25.76	14.96	10.80
		C-20	M-1	0.00 - 1.00	CL	A-4	26.58	16.48	10.10
		C-21	M-1	0.40 - 1.50	CL	A-6	31.64	16.20	15.44
		C-25	M-1	0.00 - 1.50	CH	A-7-6	56.93	25.36	31.58
	CALLERÍA	C-31	M-1	0.50 - 1.50	CH	A-7-6	56.85	26.10	30.75
		C-33	M-1	0.50 - 1.50	CH	A-7-6	51.88	15.86	36.02
C-34		M-1	0.40 - 1.50	CL	A-6	26.91	15.13	11.78	
C-35		M-1	0.30 - 1.00	CL	A-7-6	48.46	25.16	23.30	
C-40		M-1	0.40 - 1.50	CL	A-6	32.86	18.71	14.14	

Elaboración propia

Actividad de las Arcillas

Los materiales finos son reconocidos con su comportamiento diferente desde el punto de vista de ingeniería, como los suelos finos de tipo limos y arcillas, de los cuales la actividad refleja la capacidad de las partículas de un suelo arcilloso para retener la humedad. La combinación de factores tales como el tipo de mineral arcilloso, el ph y el tipo de catión, aportan variedad de valores de actividad de las arcillas. Mientras más alto sea el valor de la actividad de un suelo más importante es la influencia de la fracción arcillosa sobre las propiedades intrínsecas. A continuación, se puede observar los resultados obtenidos en las zonas de Yarinacocha y Manantay para el reconocimiento de la actividad de las arcillas. Se puede apreciar

CIVIL

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

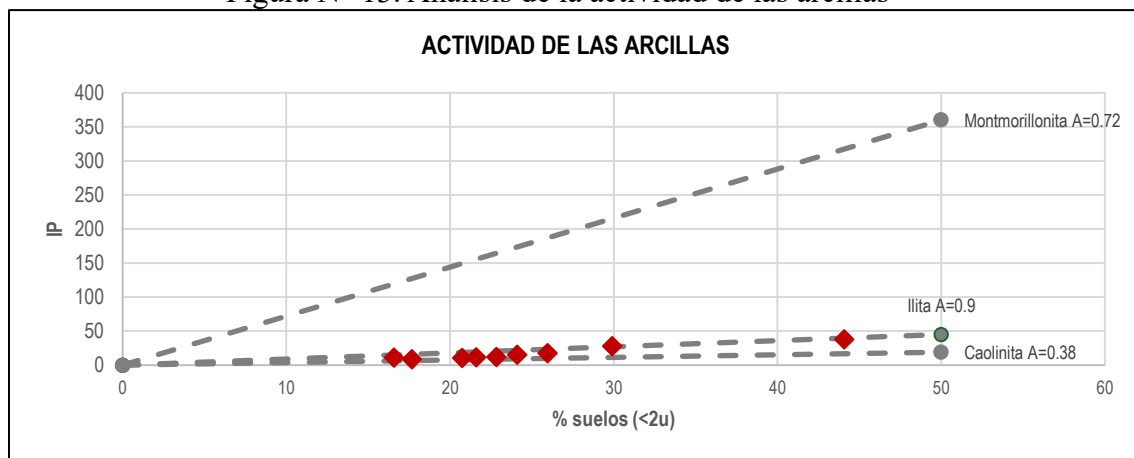
que los resultados nos muestran la presencia de un material de características mineralógicas del tipo Caolinita, con valores de actividad menores a 1.

Tabla N° 2. Resultados de actividad por tipo de mineral de arcilla

Estructura / Módulo / Zona	Calicata	Tipo de Muestra - #	Clasificación (AASHTO)	Granulometría	Límites Atterberg		Clasificación	Tipo de Arcilla
				Arcilla (%)	IP	A		
YARINACOCHA	C-2	M-1	CL	22.84	12.32	0.54	inactivas	Caolinita
	C-3	M-2	CL	21.6	11.54	0.53	inactivas	Caolinita
	C-5	M-1	CL	16.58	11.02	0.66	inactivas	Caolinita
	C-5	M-2	CL	17.68	8.93	0.51	inactivas	Caolinita
	C-7	M-1	CH	44.08	38.12	0.86	normales	Ilita
	C-9	M-1	CL	25.97	17.92	0.69	inactivas	Caolinita
	C-11	M-1	CH	29.91	28.13	0.94	normales	Ilita
MANANTAY	C-19	M-1	CL	20.74	10.80	0.52	inactivas	Caolinita
	C-21	M-1	CL	24.10	15.44	0.64	inactivas	Caolinita

Elaboración propia

Figura N° 13. Análisis de la actividad de las arcillas



Elaboración propia

Tabla N° 3. Clasificación por valor de actividad de las arcillas

Actividad	Clasificación	Tipo de Arcilla	Potencial de Cambio de Volumen
$A < 0.75$	Inactivas	Caolinita	Bajo
$0.75 < A < 1.25$	Normales	Ilita	Medio
$A > 1.25$	Activas	Montmorillonita	Alto

Elaboración propia

Ensayo de Compresión Simple

En Pucallpa, los suelos pueden variar desde arcillas hasta limos y materiales orgánicos, lo que influye significativamente en sus propiedades mecánicas. El ensayo de compresión simple implica la aplicación de una carga axial gradual a una muestra de suelo para determinar su resistencia a la compresión y su comportamiento deformacional. Esto es esencial para evaluar la capacidad de carga de los suelos y determinar la estabilidad de las estructuras que se asientan sobre ellos.

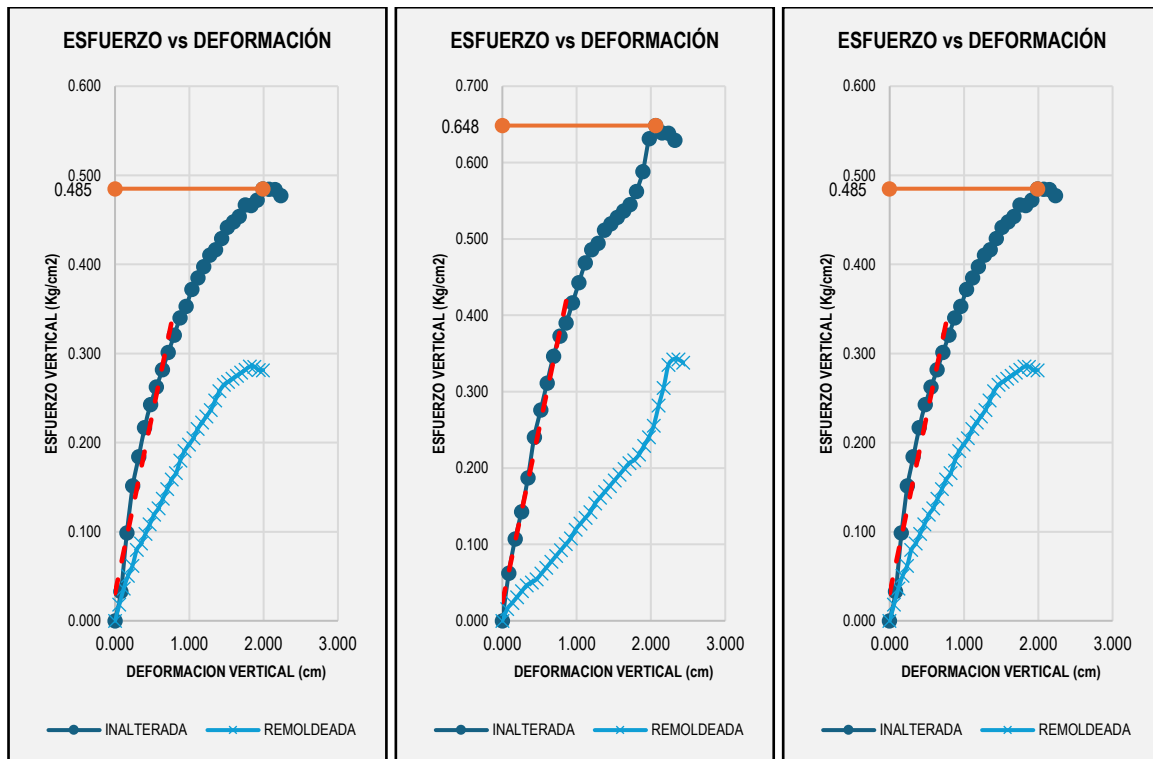
Se realizaron ensayos de compresión simple a las muestras inalteradas en condiciones naturales y remodeladas a la densidad natural, y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla N° 4. Resultado de ensayos de compresión simple

Estructura / Módulo / Zona	N° de Sondaje / Calicata	Tipo de Muestra - #	INALTERADA			REMOLDEADA		
			q_u kg/cm ² máximo	C kg/cm ²	E kg/cm ²	q_u kg/cm ² máximo	C kg/cm ²	E kg/cm ²
YARINACOCHA	C-6	M-1	0.419	0.208	37.00	-	-	-
	C-10	M-1	2.584	1.29	116.00	-	-	-
	C-13	M-1	0.393	0.196	30.10	-	-	-
MANANTAY	C-18	M-1	0.485	0.243	40.00	0.285	0.143	17.40
CALLERÍA	C-35	M-1	2.55	1.28	111.00	2.103	1.051	235.80
	C-38	M-1	0.648	0.324	45.90	0.343	0.171	11.8

Elaboración propia

Figura N° 14. Gráfica de Esfuerzo vs Deformación



Elaboración propia

Con estos ensayos se puede determinar la cohesión y el módulo de elasticidad de los suelos finos de la ciudad de Pucallpa. De manera general, se obtuvo para las muestras inalteradas una cohesión $C=0.615 \text{ Kg/cm}^2$ y un módulo de elasticidad $E = 65.63 \text{ Kg/cm}^2$. Para las muestras remodeladas una cohesión de $C=0.455 \text{ Kg/cm}^2$ y un módulo de elasticidad de $E=88.33 \text{ Kg/cm}^2$.

Se puede comprobar que las muestras inalteradas determinan valores más elevados que la misma muestra remodelada a su densidad natural.

Es importante determinar esta relación de los esfuerzos de rotura que determinan la Actividad.

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, que tienden a ser predominantemente arcillosas, 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.

A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos de la sensibilidad de las arcillas para las zonas de Manantay y Callería, según la tabla 4, propuesta por Braja Das. Para el caso de las arcillas de la zona, se determina que la sensibilidad de las arcillas está en el rango de 1 a 2, por lo que se considera Ligeramente Sensitiva.

Tabla N° 5. Resultados de las sensibilidades de las arcillas de la zona de Manantay y Callería

Estructura / Módulo / Zona	N° de Sondaje / Calicata	Tipo de Muestra - #	INALTERADA			REMOLDEADA			Sensibilidad	Descripción
			σ_v kg/cm2 máximo	τ kg/cm2 máximo	E kg/cm2	σ_v kg/cm2 máximo	τ kg/cm2 máximo	E kg/cm2		
MANANTAY	C-18	M-1	0.485	0.243	40.00	0.285	0.143	17.40	1.7017	Ligeramente Sensitiva
CALLERÍA	C-35	M-1	2.55	1.28	111.00	2.103	1.051	235.80	1.2125	Ligeramente Sensitiva
	C-38	M-1	0.648	0.324	45.90	0.343	0.171	11.8	1.8892	Ligeramente Sensitiva

Elaboración propia

Consolidación de las Arcillas

Considerando que los suelos son finos del tipo arcillosos, y que existen altas precipitaciones que saturan los suelos en toda la zona estudiada, se realizaron ensayos de consolidación unidimensional. Para conocer su esfuerzo de preconsolidación y determinar si los suelos estudiados se encuentran en estado normalmente consolidados o pre consolidados. Asimismo, se determinó el índice de compresibilidad C_c y el índice de expansibilidad C_s .

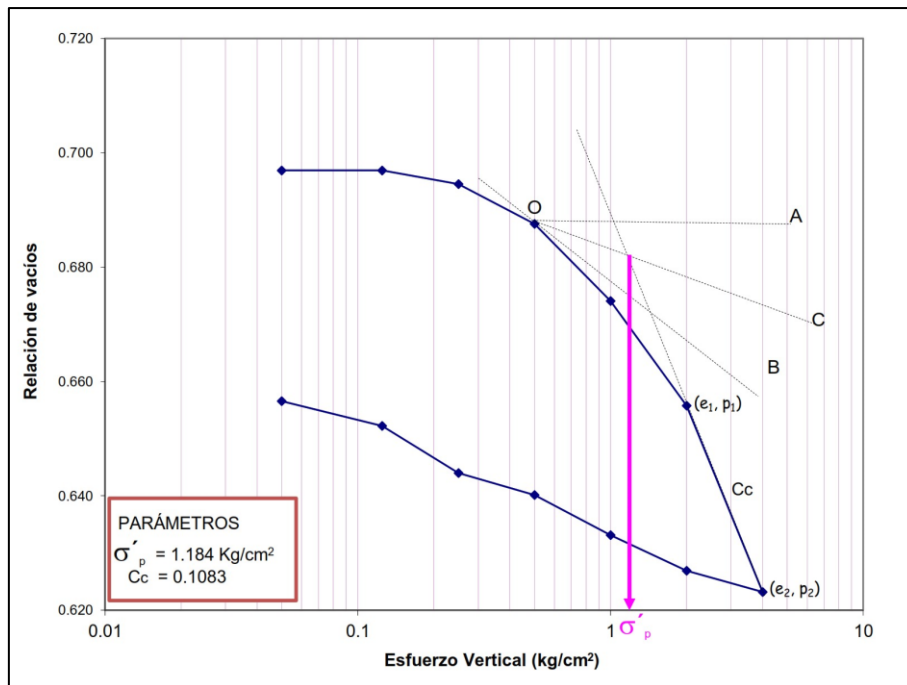
Estos valores importantes influyen en la determinación del asentamiento por consolidación ante cargas impuestas, que pueden comprometer la estabilidad de las estructuras si es que no se determinan estos valores.

Tabla N° 6. Resultados del análisis de la consolidación

		CALICATA C-18	CALICATA C-20	CALICATA C-40
Esfuerzo de preconsolidacion	σ'_p	1.203	1.184	1.155
Índice de compresibilidad	C_c	0.1183	0.1083	0.2396

Elaboración propia

Figura N° 15. Curva de Compresibilidad – Ensayo de Consolidación



Elaboración propia

De los valores encontrados en los ensayos de consolidación, se puede determinar, que la zona de Pucallpa, presenta arcillas pre consolidadas.

CONCLUSIONES

- Se concluye, de forma general, que la granulometría del área que comprende la ciudad de Pucallpa, se encuentra conformada por partículas finas en promedio con 78.65% del tipo arcillas limosas de baja a alta plasticidad, con clasificación SUCS del tipo CH a CL.
- Del ensayo de granulometría por sedimentación se pudo diferenciar los limos de las arcillas, con valores promedio de arcillas de 25.8% y limos de 52.30%.
- Se obtuvo el contenido de humedad en toda el área, que arrojó valores en un rango del 10% a 30% de contenido de agua.
- Del ensayo de peso específico de los sólidos se pudo calcular los valores de G_s , con valor promedio de 2.57, que nos indican la presencia de minerales arcillosos del tipo illita o caolinita.
- Se calculó los pesos unitarios naturales y se obtuvieron resultados con valores promedio de 1.91 gr/cm^3 para la zona de Yarinacocha, 1.96 gr/cm^3 para la zona de Manantay y 1.89 gr/cm^3 para la zona de calleria. Se determinó que estos suelos se encuentran medianamente compactos.
- Del ensayo de límites de consistencia se puede concluir que los suelos son del tipo arcillas de baja plasticidad CL, con valores promedios de LL% de 41.67% y valores de índice de plasticidad promedio al 21.08%.
- La actividad de las arcillas se determinaron valores en el rango desde 0 a 1, con clasificación mineral del tipo de arcilla de caolinita y Illita.
- Del ensayo de compresión simple se determinó para muestras inalteradas y remoldeadas, los valores de q_u , y módulo de elasticidad, por lo que se obtuvo una cohesión promedio de $c=0.615 \text{ Kg/cm}^2$, y módulo de elasticidad de $E=65.63 \text{ Kg/cm}^2$. Esto define un suelo fino de consistencia firme debido al bajo contenido de humedad.

CIVIL

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

- La sensibilidad de las arcillas se determinaron valores en el rango de 1 a 2, que lo clasificaron como Ligeramente sensitiva.
- De los ensayos de consolidación unidimensional se determinó un esfuerzo de pre-consolidación promedio de 1.18 kg/cm^2 , y su índice de compresibilidad promedio de 0.155 kg/cm^2 , correspondiéndole a la ciudad de Pucallpa, una arcilla pre consolidada.

Referencias bibliográficas

- [1] C. y. S. - L. P. Ministerio de Vivienda, Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, Lima - Perú: Sencico, 2020.
- [2] Braja M Das, «Fundamentos de Ingeniería Geotécnica,» *Mexico*, vol. Cuarta Edición, 2013.
- [3] Génesis, morfología, clasificación y susceptibilidad de suelos de la parte media de la cuenca del río Abujao Region Ucayali, Lima: Universidad Agraria La Molina, 2018.
- [4] E. J. Zuñiga, G. Mercado Jaregui y A. Muños Ruiz, Caracterización de las propiedades físicas de algunos suelos amazónicos degradados y no degradados con relación a la fisiografía en la provincia de Padre Abad. Ucayali Per, Lima, 2020.
- [5] v. de la cruz y N. cornelio, Características geomecánicas del suelo de relleno controlado para cimentaciones, Pucallpa, Perú, Barranca: Universidad Nacional de Barranca, 2021.
- [6] D. J. A. Hurtado, Características Geotécnicas de los suelos de la selva Peruana, Lima: CONIC XX, 2018.
- [7] A. F. J. Alania, Microzonificación geotécnica y plan de desarrollo urbano en el distrito de Manantay, Provincia de Coronel Portillo, Region Ucayali, Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali, 2019.

Marco Antonio Hernández Aguilar

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Ingeniero Civil CIP 064415, graduado en la Universidad Ricardo Palma 1985 – 1991, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, con mención en Ingeniería Geotécnica por la Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil. 1993 – 1995. Gerente General de Geo Master Ingenieros Consultores S.AC. 1997 – a la actualidad. 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. Docente Universitario de los cursos de Mecánica de Suelos I y II en el Pre-grado de la Universidad Ricardo Palma, desde el año 2000 a la actualidad, además de los cursos de titulación profesional para la carrera de ingeniería civil.

Autor corresponsal: 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 SAC, con gran experiencia en el área. Ejerce la actividad docente en el pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma y en la sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

miriam.escalaya@urp.edu.pe

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

CIVIL

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

Ronald Saúl Vega López

Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Bachiller en Ingeniería Civil con estudios realizados en la Universidad Ricardo Palma Lima, Perú; con enfoque en las especialidades de mecánica de suelos, geotecnia, pavimentos y minería. Cuento con experiencia en el desarrollo y estructuración de proyectos de mecánica de suelos con fines de cimentación y pavimentación, participación en los estudios de ensayos de campo del tipo (SPT, DPL, CPT, refracciones sísmicas, ensayos de densidad de cono, permeabilidad), participación en los ensayos de laboratorio e interpretación de resultados. Uso de los distintos softwares para la representación gráfica y explícita de los distintos resultados del proyecto.

ronald.vega@urp.edu.pe.

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

Contribución de autoría

Los tres coautores del presente artículo Marco Hernández, Miriam Escalaya y Ronald Vega hemos trabajado de manera conjunta desde la recolección de los datos, desarrollo, evaluación del artículo hasta el envío y seguimiento del manuscrito a la revista.

Financiamiento

La presente investigación ha sido realizada con recursos propios de los coautores.

Conflicto de intereses

Los autores no presentan ningún conflicto de interés.

Responsabilidad ética y legal

La investigación se realizó de conformidad con los principios de la ética sin comprometer ninguna información privada que pudiera afectar a los emisores del ensayo analizado.

Correspondencia: marco.hernandez@urp.edu.pe.