

Diagnosis of clay behavior in the district of Chiclayo, department of Lambayeque

Medrano-Lizarzaburu Eithel Yván, Magíster¹, Sánchez-Díaz Elver, Magíster¹, Siesquen-Cespedes Kevin Joel, Bachiller¹, Chamaya-Peregrino Arianna Nicole, Bachiller¹, Barahona-Morante Anggie Elizabeth, Bachiller¹, Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster¹ y Dios-Castillo Christian Abraham, Doctor¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c16967@utp.edu.pe, c19699@utp.edu.pe, 1626014@utp.edu.pe, 1628321@utp.edu.pe, 1628492@utp.edu.pe, c20342@utp.edu.pe, cdios@utp.edu.pe

Abstract– The study diagnosed the characteristics of clays in the district of Chiclayo, so descriptive research was carried out, with a cross-sectional experimental design, applied to two areas of the district, through the realization of exploration wells (calicatas). The first area under study was the Urb. Monterrico VI stage, where 9 calicatas were executed, obtaining 18 samples in total. The second area was Fundo Los Mangos S/N, in which 12 exploration wells were carried out, totaling 24 samples. The 42 soil samples were applied laboratory tests such as: moisture content, granulometric analysis, consistency limits, volumetric weight, specific gravity of the solids and salt content, in order to know the physical characteristics, they present, in addition geotechnical tests were carried out such as consolidation and direct cutting to the second stratum of each calicata that were 21 samples analyzed. The results showed that the water table is 3 meters deep on average in the two zones. On the other hand, for the 12 calicatas belonging to the Fundo Los Mangos area, it is characterized by having a higher percentage of clays and silts at each exploration point, the Plastic Index varies between 17.78% and 58.33% and the predominant soil according to the SUCS classification is CL (low plasticity clay) and the total soluble salts are between 1500 and 1800 ppm, an average settlement of 2.60 cm is shown and the cutting parameters have an average cohesion of 0.221 kg/cm² and the angle of 15.21°. We conclude that according to the results of direct cutting there is a bearing capacity of 0.69 kg/cm² on average of the two zones, which indicates that the type is bad for the construction of civil projects due to its low load capacity.

Keywords– clay, characterization, bearing capacity.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.87>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Diagnóstico del comportamiento de arcillas en el distrito de Chiclayo, departamento de Lambayeque

Medrano-Lizarzaburu Eithel Yván, Magíster¹, Sánchez-Díaz Elver, Magíster¹, Siesquen-Cespedes Kevin Joel, Bachiller¹, Chamaya-Peregrino Arianna Nicole, Bachiller¹, Barahona-Morante Anggie Elizabeth, Bachiller¹, Miñan-Olivos Guillermo Segundo, Magíster¹ y Dios-Castillo Christian Abraham, Doctor¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c16967@utp.edu.pe, c19699@utp.edu.pe, 1626014@utp.edu.pe, 1628321@utp.edu.pe, 1628492@utp.edu.pe, c20342@utp.edu.pe, cdios@utp.edu.pe

Resumen– El estudio diagnosticó las características de las arcillas en el distrito de Chiclayo, por lo cual se realizó una investigación descriptiva, con diseño experimental transversal, aplicadas a dos zonas del distrito, mediante la realización de pozos de exploración (calicatas). La primera zona en estudio fue la Urb. Monterrico VI etapa, donde se ejecutaron 9 calicatas obteniéndose 18 muestras en total. La segunda zona fue Fundo Los Mangos S/N, en la cual se realizaron 12 pozos de exploración sumando un total de 24 muestras. A las 42 muestras de suelo se le aplicaron ensayos de laboratorio como: contenido de humedad, análisis granulométrico, límites de consistencia, peso volumétrico, gravedad específica de los sólidos y contenido de sales, con la finalidad de conocer las características físicas que presentan, además se realizaron ensayos geotécnicos como la consolidación y corte directo al segundo estrato de cada calicata que fueron 21 muestras analizadas. Los resultados mostraron que el nivel freático se encuentra a 3 metros de profundidad en promedio en las dos zonas. Por otro lado, para las 12 calicatas pertenecientes a la zona Fundo Los Mangos, se caracteriza por tener mayor porcentaje de arcillas y limos en cada punto de exploración, el Índice Plástico varía entre 17.78% y 58.33% y el suelo predominante según la clasificación SUCS es CL (arcilla de baja plasticidad) y las sales solubles totales se encuentran entre 1500 y 1800 ppm, se muestra un asentamiento promedio de 2.60 cm y los parámetros de corte presentan una cohesión promedio de 0.221 kg/cm² y el ángulo de 15.21°. Concluimos que según los resultados de corte directo se tiene una capacidad portante de 0.69 kg/cm² en promedio de las dos zonas, lo que indica que el tipo es malo para la construcción de proyectos civiles debido a su baja capacidad de carga.

Palabras clave– arcilla, caracterización, capacidad portante.

I. INTRODUCCIÓN

En los reglamentos de construcción en los países de América Latina hay una limitada regulación respecto al espacio urbano, de tal manera genera informalidad en el sector construcción. Donde el 10% de la población mundial vive en asentamientos irregulares, un porcentaje que en América Latina casi se triplica, según el estudio de Pedraza en el informe 'RED 2017. Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina'

El distrito de Chiclayo se caracteriza por presentar un suelo predominado por arcillas, las que generalmente causan problemas a la hora de ejecución de obras ingenieriles dadas sus características. Esto conlleva a la necesidad de realizar diversos ensayos de laboratorio con los cuales se pueda

caracterizar el tipo de suelo en el que se construirá para así evitar daños futuros. Sin embargo, la constante expansión urbana y falta de información actualizada respecto a las características básicas del suelo originan un alto índice de informalidad en la construcción, haciendo caso omiso a los requerimientos normativos vigentes en el país. Por tal motivo, los parámetros obtenidos de los ensayos de laboratorio resultan ser primordiales en el cálculo de la capacidad de carga del suelo. Según la NTP 339.171, la prueba de corte directo es conveniente para determinar relativamente rápido las propiedades de resistencia al corte tales como su ángulo de fricción interna y cohesión¹. La investigación comprenderá la ejecución de ensayos estándar a las muestras recolectadas con el fin de clasificarlas teniendo en cuenta su granulometría, contenido de humedad, límites de consistencia, peso volumétrico, gravedad específica de los sólidos y contenido de sales para luego proceder a realizar los ensayos de consolidación y corte directo a las muestras tomadas para de esta manera determinar la capacidad de carga que tiene el suelo.

Es así como diversos autores han realizado investigaciones acordes al diagnóstico de las propiedades de los suelos, teniendo como referencia los siguientes.

Shah [1] presentó un artículo científico sobre el análisis de la arcilla CH, encontrada en un distrito del país de la India, para la construcción de una carretera. Utilizaron calicatas de 12 metros de profundidad para la exploración del suelo, realizaron los ensayos para caracterizar la muestra y ejecutaron ensayos de corte directo para conocer la resistencia al cizallamiento, también se usó la prueba de consolidación para evaluar los asentamientos máximos del terreno e identificar alternativas para estabilizar el mismo.

Ordoñez [2] detalla una investigación para determinar propiedades índices y mecánicas de los estratos de arcillas de características expansivas que conforman en la zona urbana de la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas. Los métodos directos para la investigación experimental consistieron en realizar ensayos de Consolidación-Expansión, Ensayo múltiple en el consolidómetro y el doble ensayo en el consolidómetro. El trabajo de investigación contribuye a un mejor conocimiento geotécnico de la zona que serán usadas para construcciones

futuras y conocer la expansividad en las arcillas. Rojas y Rivera [3] en su trabajo de investigación realizaron la caracterización de suelos arcillosos desecados al occidente de la sabana de Bogotá mediante la extracción de muestras, tanto alteradas como inalteradas a las cuales se les aplicó los respectivos ensayos para la caracterización geotécnica básica, caracterización composicional y caracterización mecánica. Tras analizar las muestras llegaron a las siguientes conclusiones: Los límites de Atterberg que se obtuvieron representan las condiciones de desecación y agrietamientos a niveles profundos, ya que los niveles tanto de plasticidad como de liquidez poseen cambios drásticos, de aumento y disminución, conforme aumenta la profundidad del sondeo. El material encontrado corresponde a arcillas con altos contenidos de humedad, lo que hace que el material sea blando y expansivo por su alto contenido de (illitas y) montmorillonitas.

II. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación presenta un alcance descriptivo, de tipo no experimental y con diseño transversal, según esto, se realizaron 21 pozos de exploración distribuidos en las dos zonas de estudio.

La cantidad de pozos exploratorios realizados se hicieron de acuerdo al criterio del investigador y la disponibilidad al acceso de las zonas por parte de los propietarios. Para efectos del estudio, se estudiaron zonas cercanas para evaluar la conformación de la continuidad de los estratos de arcilla.

El muestreo de suelos consiste en determinar la cantidad de estratos que está conformado el suelo en exploración y obtener las muestras para el análisis en laboratorio, donde se determina la cantidad de agua que presenta este, así conocemos su contenido de humedad. También se determina el tamaño de cada partícula a través de la granulometría y el promedio de las mismas a través de su peso específico relativo.

El peso volumétrico consiste en especificar la masa del suelo en volumen, así como también se realiza el ensayo que nos da la cantidad de sales que contienen las muestras para analizar su agresividad.

Para conocer las características mecánicas se emplearon ensayos de consolidación que consiste determinar el asentamiento máximo del suelo y el ensayo de corte directo nos permite conocer su ángulo de fricción interna y cohesión, para calcular su capacidad portante.

Posterior a la realización de los trabajos de campo tales como la ejecución de las calicatas a una profundidad de 3 metros y a la extracción de las muestras tanto inalteradas como alteradas, se procedió a la medición del nivel freático y el traslado de las muestras al laboratorio para el desarrollo de los ensayos anteriormente mencionados cumpliendo con los lineamientos establecidos por las normativas vigentes.

De este modo, resulta de suma importancia realizar trabajos de investigación basados en la determinación del comportamiento del suelo. En este caso, el suelo chiclayano, pues de este modo se conocerán las características que este presenta y así determinar los esfuerzos a los cuales este podría ser sometido. Además, se manejará dicha información, totalmente actualizada, en los futuros proyectos de construcción, contribuyendo así a que estos se realicen de una manera segura y los profesionales encargados decidan si se necesitará de algún tipo de tratamiento para el buen uso del suelo encontrado y evitar de dicha manera cualquier tipo de daño posterior a la ejecución del proyecto. Es así que el problema que se busca resolver con la presente investigación es, ¿Cuál es el comportamiento de las arcillas en el distrito de Chiclayo?

Posteriormente se procesó la información del laboratorio obteniéndose las características para diagnosticar los suelos de las zonas en estudio.



Fig. 1 Ubicación de pozos de exploración en Monterrico VI
Nota Chiclayo, Lambayeque - Perú



Fig. 2 Ubicación de pozos de exploración en Fundo Los Mangos
Nota Chiclayo, Lambayeque - Perú

III. RESULTADOS

Los resultados de las propiedades físicas analizadas (Tabla 1), describen la denominación de cada pozo de exploración, la profundidad que se alcanzó, su clasificación mediante SUCS, granulometría de los suelos hallados y sus límites de consistencia. En la tabla 1 se aprecia que, la granulometría presentada corresponde a arcillas puesto que

más del 50% del peso de las muestras analizadas pasó por la malla N°200. Además, los LL promedio son de 49.11% y 60.86% respectivamente para cada zona en estudio, indicando la presencia de suelos de alta plasticidad. En base a estos parámetros, se pudieron clasificar los diversos suelos analizados encontrando que estos son de tener en consideración para soluciones ingenieriles adecuadas.

Tabla 1
Propiedades físicas

	ZONA	MUESTRA	SUCS*	Cont. De Humedad (%)	Porcentaje en Muestra de:			Límites de Consistencia		
					Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	LL* (%)	LP* (%)	IP* (%)
Promedio	MONTERRICO VI	C-1 – C-9	CH	22.14	0.00	18.29	81.71	49.11	21.75	27.36
	FUNDO LOS MANGOS	C-10 – C21	CH	21.26	0.00	7.29	92.71	60.86	20.56	40.30
Desviación estándar	MONTERRICO VI	C-1 – C-9	CH	5.25	0.00	12.92	12.92	14.00	2.18	13.05
	FUNDO LOS MANGOS	C-10 – C21	CH	4.68	0.00	3.47	3.47	11.23	3.00	11.57

*SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

*LL: Límite Líquido

*LP: Límite Plástico

*IP: Índice de Plasticidad

La Tabla 2 nos muestra los pesos volumétricos y específico relativo de sólidos de los suelos ensayados. Teniendo estos datos una desviación estándar de 0.050 y 0.083 correspondiente al primer tipo de peso y para el segundo de 0.041 y 0.048 respecto a cada zona indicada. Estos resultados nos indican que la dispersión de distribución de los valores obtenidos es muy cercana al promedio y no presenta datos que excedan el rango establecido para estos tipos de suelos.

En la tabla 2 se observa que el peso volumétrico seco promedio es de 1.455 g/cm³ y 1.634 g/cm³ en cada zona respectivamente. Asimismo, se aprecia la densidad de sólidos, Gs, el cual es un parámetro elemental para el ensayo de consolidación unidimensional. En la presente investigación se halló que el valor promedio de este parámetro es de 2.394 g/cm³.

Tabla 2
Peso volumétrico y peso específico relativo de sólidos (Gs)

	ZONA	CALICATA	ESTRATO	Peso volumétrico seco (g/cm ³)	Gs (g/cm ³)
PROMEDIO	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	1.455	2.450
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	1.634	2.353
DESVIACION ESTANDAR	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	0.050	0.041
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	0.083	0.048

*Gs: Gravedad Específica de las Partículas de Suelo

Los resultados de la propiedad química analizada (Tabla 3) describen la cantidad de sales solubles totales (ppm) y de sales solubles totales en peso seco (%) para las calicatas realizadas en cada zona de estudio en el estrato correspondiente. En la Tabla 3 se aprecia que las sales solubles totales se encuentran en un orden entre 1500 a 1880 ppm. Esto quiere decir que no son perjudiciales puesto que, según el ACI*, al suelo se le considera Perjudicial siempre y cuando la ppm sea mayor a 15,000.

Tabla 3
Sales solubles en suelos

	ZONA	CALICATA	ESTRATO	Sales solubles totales (ppm*)	Sales solubles totales en peso seco (%)
PROMEDIO	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	1733	0.17
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	1625	0.16
DESVIACION ESTANDAR	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	132	0.01
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	154	0.02

*ppm: partes por millón

*ACI: American Concrete Institute

Los resultados del ensayo de consolidación (Tabla 4) describen el asentamiento promedio para cada calicata en las zonas en estudio, en el estrato en el que se realizó. Teniendo para Monterrico VI, 2.21 cm de asentamiento para dicho terreno con una desviación estándar de 0.59, este resultado es aceptable por la Norma E.050 que indica el máximo

asentamiento máximo es de una pulgada. Mientras en Fundo Los Mangos presenta 2.60 cm de asentamiento con una desviación estándar de 0.66, donde este valor supera el límite establecido y se tiene que evaluar las condiciones de mejoramiento en este espacio urbano, para que no afecten los cimientos de una vivienda.

Tabla 4
Consolidación

	ZONA	CALICATA	ESTRATO	Asentamiento (cm)
PROMEDIO	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	2.21
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	2.60
DESVIACION ESTANDAR	Monterrico VI	C-01 – C-09	M-2	0.59
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	M-2	0.66

Los resultados de la propiedad mecánica analizada (Tabla 5), describen la denominación de cada pozo de exploración, el ángulo de fricción, cohesión, esfuerzo normal y cortante de las muestras de suelo estudiadas.

14.22° y 15.21° respectivamente, asimismo la cohesión promedio es de 0.22 kg/cm² en ambas zonas. Por otro lado, el esfuerzo normal promedio varía entre 2.737 kg/cm² y 2.917 kg/cm² mientras que el esfuerzo cortante oscila entre los 0.937 kg/cm² y 0.985 kg/cm² respectivamente.

En la Tabla 5 se observa que el ángulo de fricción promedio para las zonas de Monterrico VI y Fundo Los Mangos es de

Tabla 5
Corte directo

	ZONA	CALICATA	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kg/cm ²)	ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	ESFUERZO CORTANTE (kg/cm ²)
PROMEDIO	Monterrico VI	C-01 – C-09	14.22	0.22	2.737	0.937
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	15.21	0.22	2.917	0.985
DESVIACION ESTANDAR	Monterrico VI	C-01 – C-09	1.05	0.03	1.235	0.318
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	1.24	0.02	1.299	0.357

Los resultados de capacidad portante (Tabla 6) describen la capacidad portante admisible a usar tanto en cimentaciones continuas como en aisladas. La Tabla 6 muestra que, para la primera zona estudiada, la capacidad portante promedio para el caso de una cimentación continua es de 0.66 kg/cm² y para

el caso de cimentación aislada de 0.81 kg/cm² mientras que, en la segunda zona, estos valores son de 0.72 kg/cm² y 0.87 kg/cm² respectivamente.

Tabla 6
Capacidad portante

	ZONA	CALICATA	Qad Cimentación continua (kg/cm²)	Qad Cimentación aislada (kg/cm²)
PROMEDIO	Monterrico VI	C-01 – C-09	0.66	0.81
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	0.72	0.87
DESVIACION ESTANDAR	Monterrico VI	C-01 – C-09	0.03	0.05
	Fundo Los Mangos	C-10 – C-21	0.02	0.04

* Qad: Capacidad admisible

VI. CONCLUSIONES

El estudio pudo concluir que según los resultados de corte directo se tiene una capacidad portante de 0.69 kg/cm² en promedio de las dos zonas, lo que indica que se tiene un valor por debajo del promedio que es de 0.80 kg/cm² en la ciudad de Chiclayo, razón a considerar para futuros diseños de cimentaciones adecuadas.

El tipo de suelo encontrado, según la clasificación SUCS, es una arcilla de alta plasticidad (CH).

Se encontró nivel freático a 3.00 m. Se ha obtenido un asentamiento promedio de 2.21 para la zona de Monterrico VI, el cual es menor a lo permitido según la Norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2.54 cm). Por el contrario, en la zona de Fundo Los Mangos, se encontró un asentamiento promedio de 2.60, el cuál es mayor a lo permitido y por ende requiere de un adecuado diseño con respecto a las cimentaciones a futuro.

REFERENCIAS

- [1] Shah, A. K. (2022). Study of Maliya marine clay for a highway embankment. In Lecture Notes in Civil Engineering (pp. 429–444). Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-16-3383-6_39
- [2] Ordóñez, et. al. (2015). Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Ingeniería, Investigación y Tecnología, XVI (3), 453-470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.05.010>
- [3] Rojas, L. L., y Rivera, S. A. (2014). Caracterización de suelos arcillosos desecados al occidente de la sabana de Bogotá. Bogotá.
- [4] Braja M, D. (2011). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (Cengage Learning Editores SA (ed.); 7ma ed.).
- [5] Castellanos, S. (2015). Diferencias de las propiedades físico-mecánicas en arcillas de tres formaciones geológicas, distribuidas en el bloque Chortí, República de Guatemala (Tesis de postgrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- [6] Daude et. al (2017). RED 2017. Crecimiento urbano y acceso a oportunidades: un desafío para América Latina. Bogotá: CAF. Recuperado de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1090>
- [7] Flores, Y. G. (2013). Caracterización físico-mecánica y química de arcillas del sector norte de la cuenca Sedimentaria Miocénica de Loja (Tesis de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- [8] Han, et. al (2021). Cyclic and creep combination effects on the long-term undrained behavior of overconsolidated clay. Acta Geotechnica, 16(4), 1027–1041. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-01078-5>
- [9] Huang, et. al (2021). Impacts of Initial Deviator Stress and Cyclic Confining Pressure on Mechanical Behaviors of Ningbo Clay under

- Cyclic Loading. International Journal of Geomechanics, 21(4), 06021004. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0001952](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001952)
- [10] Masoud, Z., y Khan, A. H. (2021). Prediction of unloading failure strain and undrained shear strength of saturated clays by limit pressure from prebored pressuremeter. Geotechnical Testing Journal, 44(5). <https://doi.org/10.1520/GTJ20200222>
- [11] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, Lima, Perú.
- [12] Pande, et. al. (2021). Review of experimental techniques for evaluating unsaturated shear strength of soil doi:10.1007/978-981-15-6463-5_57 Retrieved from www.scopus.com
- [13] Peng, et. al. (2017). Direct Shear Test of Unsaturated Soil. Earth Sciences Research Journal, 21(4), 183-188. <https://doi.org/10.15446/esrj.v21n4.66103>
- [14] Rozgonyi-Boissinot, et. al. (2021). Shear strength testing of consolidated claystones: Breakpoint detection of shear stress versus shear displacement curves, a statistical approach. GEM - International Journal on Geomathematics, 12(1) doi:10.1007/s13137-020-00168-6
- [15] Su, et. al. (2018). Characterization of the Undrained Shear Strength of Expansive Soils of High Water Content. MATEC Web of Conferences, 206. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820601002>