



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Recibido: 19 de abril de 2022. Aprobado: 18 de octubre de 2022.

DOI: 10.17151/rasv.2023.25.2.7

Características mecánicas, granulometría y contenido de materia orgánica de los adobes usados en la Huaca Pucllana - Cultura Lima (200 – 700 d. C)

Mechanical characteristics, granulometry and organic matter content of the adobes used in Huaca Pucllana - Lima Culture (200 - 700 A.D.)

RESUMEN

La cultura Lima se desarrolló entre los años 200 y 700 DC entre los valles de Chanchay y Lurín en Perú. Tuvieron varios centros gubernamentales y ceremoniales, entre ellos el complejo arquitectónico conocido como la Huaca Pucllana, ubicado en Lima, el cual se edificó y habitó entre los años 450 y 700 DC. La construcción fue constante durante los años de actividad, generándose ampliaciones y modificaciones en las estructuras. Para esto se usó como unidad de construcción principal a los adobes, elaborados de forma artesanal en grandes cantidades. Es por ello, y a fin de estudiar la composición de las unidades de adobe se llevó un grupo de estos al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las unidades se sometieron a tres tipos de análisis: resistencia a la compresión no confinada, granulometría y contenido de materia orgánica.

El propósito de estas pruebas radica en la necesidad de conocer y entender las proporciones de partículas de suelo usadas en la elaboración de adobes, así como las calidades de bloques obtenidas

GUSTAVO RODRÍGUEZ SILVA

MSc. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

✉ gearodriguez@lamolina.edu.pe

ORCID: 0000-0002-0404-687X

Google Scholar

MICAELA ALVAREZ CALMET

MSc. Museo de Sitio Pucllana, Lima, Perú.

✉ micaela.alvarezcalmet@outlook.com

ORCID: 0000-0001-9534-2406

Google Scholar

JOSÉ ENRIQUE

CCENCHO HUAMANÍ

Arqueólogo. Museo de Sitio Pucllana, Lima, Perú.

✉ joseccenchoh@hotmail.com

ORCID: 0009-0002-4932-5386

Google Scholar

Cómo citar este artículo:

Rodríguez Silva, G., Alvarez Calmet, M y Ccencho Huamaní, J. (2023). Características mecánicas, granulometría y contenido de materia orgánica de los adobes usados en la Huaca Pucllana - Cultura Lima (200 – 700 d. C). *Revista de Antropología y Sociología: Virajes*, 25(2), 165-186. <https://doi.org/10.17151/rasv.2023.25.2.7>



a lo largo del período de uso de la huaca. En la fase de experimentación se aplicaron ensayos de laboratorio normados pero adaptados a este tipo de adobes considerándolos como suelo. Los resultados encontrados muestran una variación de calidades según la antigüedad de cada bloque lo que podría ser un parámetro a tomar en cuenta al momento de estudiar los indicadores del esplendor y decadencia de los pobladores de la Huaca Pucllana. Por otro lado, los resultados podrán ayudar en lo referente a las actividades de conservación y protección del complejo frente a los agentes climáticos.

Finalmente, es importante destacar que la investigación se elaboró por un equipo multidisciplinario compuesto por arqueólogos y un ingeniero agrícola. Gracias al intercambio de conocimientos, experiencias y diferentes puntos de vista se ofrece un panorama más amplio de la construcción en el antiguo Perú.

Palabras clave: adobe, compresión, granulometría, Huaca Pucllana, materia orgánica.

ABSTRACT

The Lima culture developed between 200 and 700 A.D. and is located between the Chanchay and Lurin valleys in Peru. They had several governmental and ceremonial centers including the architectural complex known as Huaca Pucllana, located in Lima, which was built and inhabited between 450 and 700A.D. The construction was constant during the years of activity, generating extensions and modifications in the structures. For this, adobes were used as the main construction unit, which were elaborated by hand in large quantities. For this reason, and in order to study the composition of the adobe units, a group of them was taken to the Soil Mechanics Laboratory at Universidad Nacional Agraria “La Molina”. The units were subjected to three types of analysis: resistance to unconfined compression, granulometry and organic matter content.

The purpose of these tests lies in the need to know and understand the proportions of soil particles used in the elaboration of adobes as well as the qualities of blocks obtained throughout the period of use of the huaca. In the experimentation phase, standardized laboratory tests were applied but adapted to this type of adobes, considering them as soil. The results found show a variation of qualities according to the age of each block that could be a parameter to consider when studying the splendor and decadence indicators of the inhabitants of Huaca Pucllana. On the other hand, the results could help in terms of conservation activities and protection of the complex against climatic agents.

Finally, it is important to highlight that the research was carried out by a multidisciplinary team formed by archaeologists and an agricultural engineer. Thanks to the exchange of knowledge, experiences and different points of view, a broader panorama of construction in ancient Peru is offered.

Keywords: Cadobe, compression, granulometry, Huaca Pucllana, organic matter.

Introducción

Perú es mundialmente conocido por su gran diversidad de culturas prehispánicas. Muchas de ellas destacaron en diferentes aspectos de desarrollo humano, por ejemplo, la agricultura, textilera y la construcción, entre otras. En cuanto a esta última, sus pobladores dejaron vestigios de grandes construcciones que contribuyeron con su desarrollo y prosperidad. Las funciones de estas varían desde obras hidráulicas, como canales tallados en piedra hasta grandes centros ceremoniales contruidos con bloques de tierra o adobe. Estos últimos se presentan como un conjunto de unidades conocidas como adobes. Al respecto, Varum et al. (2010) menciona que el Perú cuenta como común práctica ancestral la construcción con tierra, pero a la vez con suelos de gran actividad tectónica.

Aparecida et al. (2020) afirma: “La albañilería de adobe es uno de los sistemas de mampostería en tierra cruda más conocida, utilizada y difundida, siendo utilizados en la fabricación de cercos verticales, revestimiento de edificios y está presente en sitios arqueológicos”.

En cuando a sitios arqueológicos, los adobes se usaron en la construcción de importantes centros religiosos y políticos, algunos de dimensiones masivas como pirámides, Ceruti (2019). Ejemplos de ello tenemos a importantes centros ceremoniales como Pachacámac (Ychsma 1000-1533 d. C.), la ciudad de Chan Chan (Chimú 1000 - 1470 d. C.), las huacas del Sol y la Luna (Moche, 150-700 d. C.) y Huaca Pucllana (Lima 450-700 d. C.) que fueron levantados con adobes preparados por trabajadores que, muchas veces, dedicaban largas jornadas en su elaboración.

La razón por la que dichas civilizaciones confiaban sus estructuras al adobe era por sus bondades entre las que se mencionan: i. disponibilidad

de suelo como fuente abundante de materia prima para su fabricación; ii. requerimiento de mano de obra calificada para su producción, transporte, construcción y posible supervisión; iii. uso del sol como fuente de energía renovable y abundante para su secado. Según Grandreau y Delboy (2012), el 60% de los lugares calificados como patrimonio mundial en América Latina y el Caribe usaron al adobe en su construcción.

En cuanto al suelo, este sostenía actividades económicas tan importantes como la agricultura y la construcción, proporcionando materia prima a plena disposición. La construcción con adobes en la costa peruana era tan común que el cronista español Cieza de León (1553) afirmaba a su llegada al Valle de Pachacamac (actual distrito de Lurín-Lima), durante el s. XVI, que el templo de Pachacamac, “estaba edificado sobre un pequeño cerro hecho a mano, todo con adobes y de tierra”. Dicho templo se encuentra en lo que hoy se conoce como el Santuario de Pachacamac, ubicado al sur de Lima.

Marco teórico y conceptual

Para esta investigación se consideró estudiar los adobes producidos por la cultura Lima (200 – 700 d. C.), que dejó diferentes vestigios arqueológicos entre los valles de los ríos Chancay y Lurín en la región Lima. Como lugar específico de estudio, se eligió al sitio arqueológico Huaca Pucllana ubicado en el distrito de Miraflores. En relación con los adobes de la cultura Lima, una de las características más saltantes son su posición vertical y composición interna. Estas unidades de tierra se encuentran en todo el complejo e integran de forma masiva rellenos y muros perimetrales.

La Huaca Pucllana fue un centro ceremonial habitado por las gobernantes de la cultura Lima, pasó por diferentes construcciones y expansiones entre los años 450 y 700 d. C. En su época de máxima extensión llegó a cubrir hasta 18 hectáreas en la que se construyeron gran número de patios, muros y una pirámide central. Según Flores (2005, 2015), las dimensiones de esta última son 300 m de largo, 80 m de ancho y 25 m de alto, construidas enteramente con adobes y rellenos de material granular. Por otro lado, Chirinos (2017) indica que el complejo ha recibido, durante mucho tiempo, daños por terremotos y exposición a la intemperie, así como deterioro por origen antropogénico. Esta destrucción y descuido se prolongó hasta 1981, cuando se inició el Proyecto de Investigación Conservación y Puesta en Valor, producto de la cooperación entre el Instituto Nacional de Cultura, actual Ministerio de Cultura, y la Municipalidad Distrital de Miraflores.

La mayoría de los estudios realizados sobre construcciones de la antigüedad son de índole descriptiva y funcional, mas no sobre características de las unidades estructurales. Asimismo, el conocimiento sobre el adobe es, en gran parte, empírico ya que es complejo el tratar de estandarizar un material artesanal que es heterogéneo en su composición, como desconocido el suelo del que proviene. Resulta sustancial, para los investigadores de la tecnología de los materiales, proponer ensayos que puedan determinar las características mecánicas de los adobes “Lima”, siguiendo trabajos anteriores en otros sitios prehispánicos, como Pachacamac Pozzi-Escot et al. (2013) y Huaca de la Luna Aguilar et al. (2017).

Actualmente existe la norma técnica peruana (NTP) E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada, la cual propone ensayos de evaluación de calidad de adobe además de parámetros de diseño, pero ésta no es tan desarrollada como con otros materiales más controlados como, por ejemplo, el concreto o el ladrillo. Este impase se hace evidente cuando se ha de investigar las características de adobes prehispánicos, pues no existen ensayos específicos. Es necesario aclarar que no se calificó a los adobes prehispánicos bajo la óptica de normas actuales. Sólo se usó como referencia o guía para definir los parámetros más importantes en términos constructivos. Esta investigación propone la adaptación de algunos exámenes dirigidos a análisis de suelos contemplados en la NTP y la ASTM (*American Society of Testing of Materials*) y que pudieran aplicarse en los adobes.

Finalmente, el estudio aporta información sobre caracterización de materiales que pueden considerarse para labores de conservación del patrimonio. Estudios como Costa et al. (2018) sostienen que para labores de rehabilitación de edificios de adobe es necesario un conocimiento de materiales o en su defecto, trabajar con elementos compatibles. Por otro lado, los principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico (Cartas de Zimbabwe ICOMOS, 2003) en su punto 2.3 hacen hincapié en que la conservación demanda un amplio estudio de las características de los materiales y las estructuras.

Materiales y métodos

Procedencia de toma de muestras

Liberotti et al. (2012) realiza una selección de muestras de adobe basado en etapas constructivas y puntos específicos del monumento tales como muros y rellenos. Por ello se aplicó este planteamiento y se coordinó con la dirección del Museo de Sitio Huaca Pucllana la selección de testigos

en función a su fase temporal y ubicación. Es importante mencionar que pobladores de la Cultura Lima realizaban constantes trabajos de modificación de la arquitectura. Este centro ceremonial se construyó en un período de aproximadamente, 200 años en diferentes fases constructivas, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de las fases temporales de construcción de Huaca Pucllana.

Fase	Detalle
Fase constructiva I – tardía (FCI-tardía)	Empiezan a aparecer los primeros adobes. Anteriormente se construía con tapial. Antes del año 500 d. C.
Fase I transicional (FCI- transicional)	Los adobes son usados como relleno de los espacios arquitectónicos de la fase anterior.
Fase II temprana (FCII temprana)	Se continúan los rellenos arquitectónicos. El centro ceremonial crece ligeramente en altura.
La Fase III/ - Tardío (FCIII / FCIII tardío)	Los adobes corresponden a las construcciones de mayor envergadura. En la fase tardía existe reutilización de adobes. Se encuentra antes del año 650 DC.

Fuente: información proporcionada por el Museo de Sitio Huaca Pucllana.

También, se presenta un mapa (figura 1) en donde se divide Huaca Pucllana en tres zonas de extracción de muestras: norte, central y sur.



Figura 1. Mapa de zonas de extracción de muestras de adobes en Huaca Pucllana.

Fuente: fotografía proporcionada por el Museo de Sitio Huaca Pucllana.

Se presenta en cada zona, los lugares de procedencia de los diferentes adobes para ensayos.

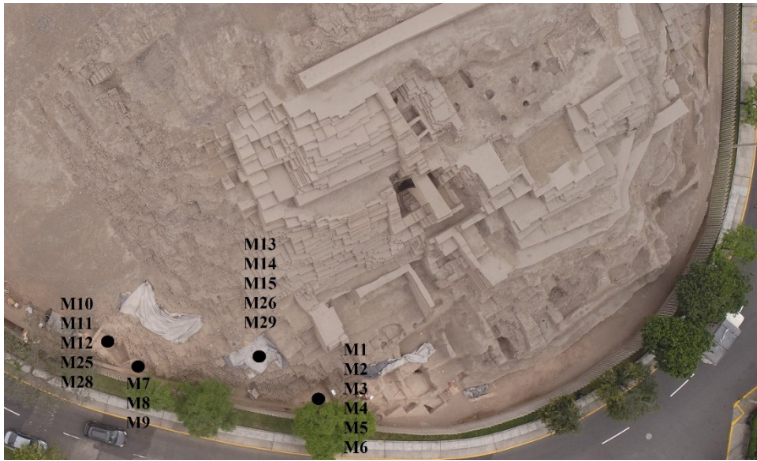


Figura 2. Mapa de puntos de extracción de muestras de adobes en zona sur.

Fuente: Fotografía proporcionada por el Museo de Sitio Huaca Pucllana.



Figura 3. Mapa de puntos de procedencia de muestras de adobes en zona central.

Fuente: fotografía proporcionada por el Museo de Sitio Huaca Pucllana.



Figura 4. Mapa de puntos de procedencia de muestras de adobes en zona norte.
Fuente: fotografía proporcionada por el Museo de Sitio Huaca Pucllana.

Descripción de muestras de adobe y disposición

Los adobes de Huaca Pucllana son bloques irregulares con forma de paralelepípedo cuadrangular que miden, en promedio, 18,9 cm de largo, 15,9 cm de ancho y 8,3 cm de alto. Externamente, presentan una textura uniforme con presencia de pequeños agregados redondeados y ausencia de fibras vegetales. En lo que respecta a la posición de las unidades en muros, estos se encuentran dispuestos de forma vertical. Villar (1982) denomina a este ordenamiento como «librero», ya que se encuentran acomodados uno a lado del otro descansando en el canto de menor longitud y exponiendo el canto mayor al frente. La unión de los adobes es mediante una argamasa colocada en la parte superior e inferior de las líneas de adobe, dejando un espacio libre entre bloque y bloque tal y como se aprecia en la figura 5.



Figura 5. Distribución de adobes en muro. Nótese el acomodo tipo “librero”, en la parte superior se observan adobes contemporáneos usados en labores de restauración.
Fuente: fotografía del trabajo de campo, 2020.

Ensayos de laboratorio practicados

Las muestras fueron trabajadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos para los ensayos mecánicos y de agua, suelos y fertirriego para los ensayos químicos, ambos pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Ya que no existe una normativa específica que procure el análisis de la tecnología de elaboración de adobes antiguos, se resolvió adaptar pruebas normadas relacionadas con resistencia, granulometría y determinación de materia orgánica en suelos con fines constructivos.

Resistencia última por compresión no confinada

Según la Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada, en su artículo 8, uno de los ensayos de caracterización principales es la determinación de la resistencia de unidades de adobe elaborados con suelo. A fin de medir este parámetro, se usó la norma NTP 339.167 "Método de ensayo normalizado para la resistencia a la compresión no confinada de suelos" bajo los siguientes criterios:

- » Los adobes responden a una combinación de porciones de suelo con contenido de arcilla tal que permite que las partículas se adhieran entre sí generando cohesión.
- » Si bien la norma es expresa en considerar muestras de suelo no alteradas para análisis, los adobes podrían ser tomados como tal ya que presentan una antigüedad no menor a los 1300 años.
- » Los adobes no presentan saturación de agua, fisuras ni estratos.
- » Prensas hidráulicas convencionales usadas para materiales como el concreto no están calibradas para resistencias tan bajas como las que pudieran presentar los especímenes (la norma E.080 indica como resistencia última adecuada a valores por debajo de los 11 kg/cm²).

En cuanto al tratamiento de especímenes se tomó atención a lo expresado por Vargas et al. (2015), quien manifiesta que durante la extracción de muestras inalteradas en adobes y muros se corre el riesgo de fracturar o agrietar (fisuras no visibles) la muestra y adulterar así los registros. A pesar de que no es el mismo caso, ya que se trabajó con unidades de

adobes aisladas, se atendió a las recomendaciones con el uso de equipos para corte y mucho cuidado al momento de tallar las muestras.

Cada espécimen se sometió a la aplicación de una carga axial con deformación controlada, la cual brindó un valor conocido como resistencia última (q_u). Esta representa la carga máxima que puede resistir una muestra antes de acusar fatiga o falla en la forma de fisuras y desmoronamiento.

Se sometieron a prueba tres especímenes por cada fase de desarrollo de la cultura Lima, con el fin de mantener calidad de información recolectada y desechar valores discordantes o ajenos a la tendencia.

Análisis granulométrico

Resulta importante la determinación de la distribución de partículas de suelo que integran las muestras de adobe. Para este cometido, se recurrió a la NTP 339.128 “Método de ensayo para el análisis granulométrico” la cual contempla un ensayo de cribado mecánico y hidrométrico para partículas mayores y menores a $75\mu\text{m}$ respectivamente. Esta investigación se centró en el segundo tipo colocando muestras de adobes en suspensión de agua. La distribución de partículas se precisa mediante proceso de sedimentación basada en la ley de Stokes, usando un densímetro. De acuerdo con la descripción de Piani et al. (2018), en los ensayos granulométricos practicados sobre adobes, no es recomendable el uso de peróxido de hidrógeno en solución de pruebas hidrométricas. Esto debido a que se generan reacciones exotérmicas inestables al tomar contacto con materia orgánica en la forma de fibras vegetales. Es importante indicar que en todos los adobes trabajados no se encontraron dichas fibras.

Porcentaje de materia orgánica

Determinación de contenido, en porcentaje, de materia orgánica a través del método de pérdida por ignición en el cual se sometió cada muestra a una temperatura de 456°C por un espacio de seis horas. Finalmente, y de acuerdo con lo expresado por Flores (2005, 2015), quien menciona que los adobes son el resultado de amasar barro mezclado con fragmentos de cerámica y conchas de moluscos molidos (materia orgánica), se puede afirmar que durante los ensayos no se detectaron dichas fracciones por lo que se presume estarían finamente molidos o por lo menos en tamaños que no son fácilmente detectables a simple vista.

Resultados y discusión

Resistencia última (q_u) por compresión simple

Debido a la considerable dureza e irregularidad de los adobes se resolvió tallarlos en forma de prisma, a fin de que puedan ingresar en el dispositivo de compresión teniendo sumo cuidado en no fracturar o dañar la muestra. El tallado se efectuó mecánicamente con un equipo de corte según muestra la figura 6.



Figura 6. Tallado de especímenes en mesa de escuadra.

Fuente: fotografía del trabajo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

Se decidió no usar forma de cilíndrica ya que esto sólo aplica a masas de suelo inalteradas mientras que los adobes ya tienen una forma predefinida y cuando la consistencia del material lo permite. Se tallaron los testigos hasta obtener las dimensiones presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones de los adobes ensayados después del tallado.

No. de muestra	Largo (cm)	Ancho (cm)	espesor (cm)
M1	15,44	15,27	8,47
M2	16,01	15,03	9,49
M3	15,13	14,69	8,03
M4	14,16	13,74	9,02
M5	14,86	13,98	7,42
M6	15,58	14,30	7,74
M7	15,64	15,34	7,98
M8	16,71	16,56	7,48
M9	16,10	15,58	8,46
M10	15,44	12,55	10,55
M11	14,72	14,76	10,08
M12	12,71	14,75	10,05
M13	17,55	17,30	6,99
M14	17,29	17,18	7,46
M15	17,92	14,90	8,70
M16	17,18	14,65	10,55
M17	16,74	14,14	7,45
M18	17,96	13,40	8,33
M19	17,30	13,68	6,78
M20	17,64	13,92	6,64
M21	17,09	14,30	5,56
M22	16,28	15,70	6,13
M23	16,83	15,90	6,12
M24	18,35	14,82	11,15

Fuente: datos proporcionados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

Los resultados se agruparon según la época de posible elaboración y uso en la construcción de Huaca Pucllana, tomando el valor promedio de las resistencias obtenidas en laboratorio según la tabla 3.

Para adobes usados en rellenos, FCI presenta valores que van desde los 1,78 kg/cm² hasta 5,25 kg/cm². Los adobes de la FCII-Temprano presentan un incremento de resistencia llegando a un valor de 5,08 kg/cm² para muros en la pirámide principal. En la figura 7 pueden apreciarse los ensayos practicados sobre testigos tallados.



Figura 7. Ensayo de compresión simple no confinada.

Fuente: fotografías del trabajo en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

En cuanto a los adobes usados en muros, la FCI-tardía acusa un promedio de 4,84 kg/cm² aumentando un 20% en la FCIII para el complejo norte (lugar usado como área gubernamental) y, en promedio, 4,62 kg/cm² para muros de pirámide. La FCIII-tardía registra una caída considerable de calidad de elaboración de adobe llegando hasta un 36,07% con respecto a la fase anterior. En general, se ve una mejora progresiva en la resistencia de los adobes con un descenso en la última fase. La figura 8 detalla el curso de la resistencia en adobes usados en muros y la figura 9 en rellenos.

Se evidencia una notoria diferencia de calidades entre los adobes usados para relleno y para muros. Al respecto, Ganoza (2016) sostiene que los rellenos se componen de adobes enteros y fragmentados producto de demoliciones. Por tanto, se podría suponer que los adobes usados en muros deberían tener mayor calidad que los usados en rellenos.

Tabla 3. Resistencia última por compresión simple en muestras de adobe.

No. de muestra	Procedencia	Ubicación temporal	Ubicación espacial	qu (kg/cm ²)	Promedio
M1				3,05	
M2				1,78	
M3				1,93	
M4				2,70	
M5	Relleno	FCI-Transicional	Pirámide	5,13	3,39
M6				5,25	
M7				3,46	
M8				5,09	
M9				2,16	
M10				5,50	
M11	Muro	FCI-Tardío	Pirámide	4,18	4,84
M12				3,97	
M13				4,25	
M14	Relleno	FCII-Temprano	Pirámide	5,81	5,10
M15				5,19	
M16				3,41	
M17	Muro	FCIII CN	Complejo Norte	7,29	5,81
M18				4,32	
M19				5,22	
M20	Muro	FCIII	Pirámide	5,15	4,62
M21				3,49	
M22				1,24	
M23	Muro	FCIII-Tardío	Pirámide	2,50	1,87
M24				2,01	

Fuente: resultados de ensayos proporcionado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

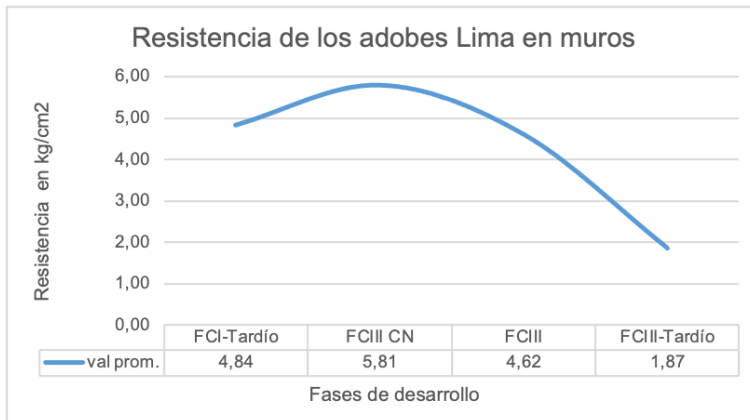


Figura 8. Variación de la resistencia promedio de adobes usados en muros.
Fuente: elaboración propia.

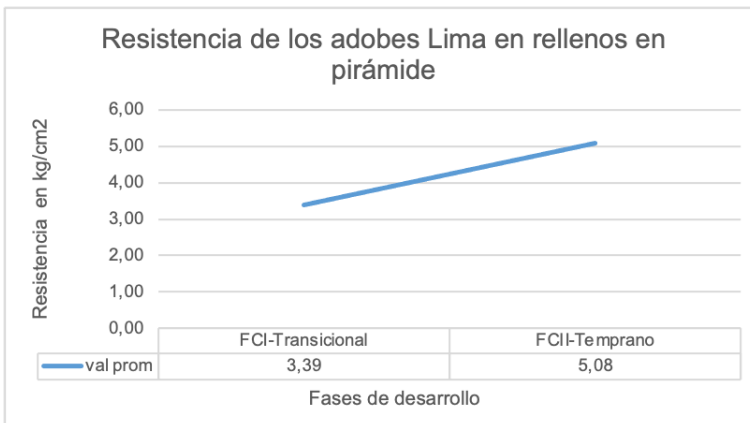


Figura 9. Variación de la resistencia promedio de adobes usados en rellenos.
Fuente: elaboración propia.

Tsai (2012) menciona que los procedimientos de elaboración eran, en algunas civilizaciones, supervisadas por funcionarios del gobierno. Esto conlleva a suponer que, ante los resultados obtenidos en las muestras, pudo no existir una adecuada inspección de calidad o al menos pudo haber momentos donde esta labor era deficiente o inexistente. Esto no quiere decir que los métodos o tecnologías usadas por los Lima estuvieran por detrás de otras civilizaciones. Al respecto, Sillar (2013) menciona el concepto de “elección tecnológica” el cual rescata el cómo se pueden lograr objetivos similares con diferentes materiales y técnicas.

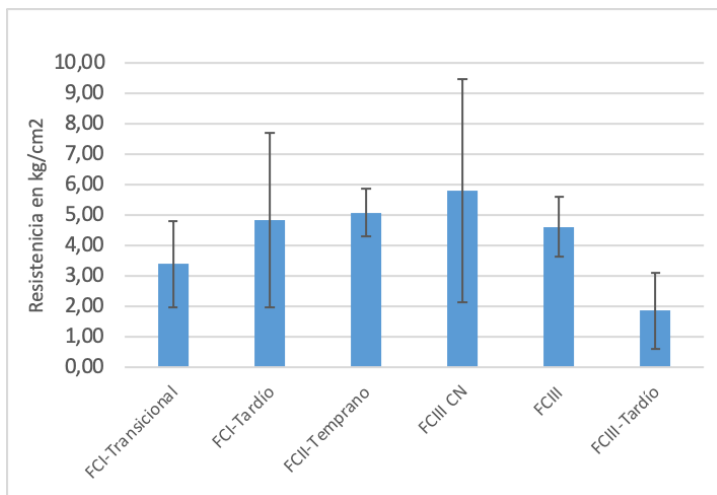


Figura 10. Esfuerzo último promedio de testigos de adobe según época con indicación de desviación estándar.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la investigación de Silveira et al. (2012), se efectuó un gráfico comparativo de promedio de resistencia a la compresión a fin de evaluar la tendencia y variabilidad de los resultados. Los rangos de los promedios van desde 1,87 kg/cm², en FCIII-Tardío, hasta los 5,81 kg/cm² en FCIII CN (figura10). Nótese la variabilidad de los datos siendo esto expresado por la desviación estándar.

Granulometría

Se practicaron ensayos de granulometría en muestras pertenecientes a la pirámide, la figura 11 presenta los resultados obtenidos. Nótese que los especímenes M25 y M27 presentan similares curvas con alta presencia de limos y arenas mientras que las partículas iguales o menores de < 0,0039 mm están por debajo del 10%. La muestra M26 presenta una curva más suavizada, pero con presencia de gravas (partículas > 2 mm).

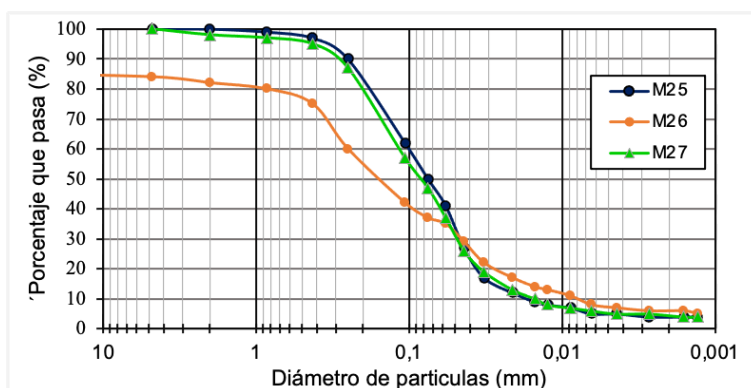


Figura 11. Curva granulométrica de las muestras ensayadas en laboratorio.

Fuente: gráfico proporcionado por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

De acuerdo con la tabla 4, en todos los casos, más del 50% de partículas pasó la malla No. 4 (4,76 mm) por lo que, y según el SUCS (Sistema unificado de clasificación de suelos), el suelo usado para la elaboración del adobe es del tipo arena limosa, mezclas de limo y arena y limo (SM). Con respecto a los porcentajes de partículas, se aprecia que en las tres muestras el contenido de arena es casi constante y alto (entre 47-53%). En cuanto al contenido de limo, similar situación se presenta en el contenido de arena, con excepción de la muestra M26 que denota presencia de gravas. Finalmente, la arcilla no supera, en ninguno de los casos, el 5%, siendo su presencia mínima.

Tabla 4. Porcentajes de contenido de partículas de suelo en adobes.

No. de muestra	Procedencia	Ubicación temporal	Porcentaje (%)				Clasificación SUCS
			grava	arcilla	limo	arena	
M25	Muro	FCI-Tardío	0	4	46	50	SM
M26	Relleno	FCII-Temprano	16	5	32	47	SM
M27	Muro	FCIII-Tardío	0	4	43	53	SM

Fuente: resultados proporcionados por el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNALM, 2022.

A modo de comparación, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] (2010) indica que los adobes para construcciones deben tener una gradación aproximada de arcilla entre 10-20%, limo 15-25% y arena 55-70%. Comparando los valores encontrados con los actuales, se visualiza que los adobes de la cultura Lima poseen una

cantidad inferior de arcilla, un exceso de limo y valores mínimos aceptables de arena.

En la figura 12 se ve el contenido de estas partículas para las diferentes fases de desarrollo de la cultura Lima. Nótese el contenido de arcillas y arenas que se mantienen casi constantes, por lo que existe la posibilidad que para la elaboración de los adobes se haya recurrido a un suelo o fuente única de materia prima.

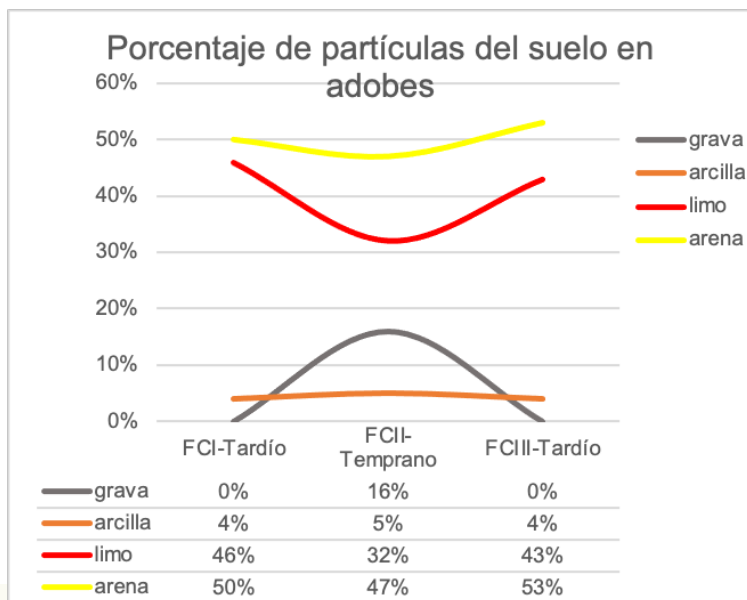


Figura 12. Variación del contenido, en porcentaje, de partículas de suelo según fase.

Fuente: elaboración propia.

Se presume que dichas fuentes de materia prima podrían pertenecer a terrenos aledaños a la Huaca Pucllana, ya que la carta nacional geológica i-25 cataloga el área como depósito aluvional (Qp-al). Al respecto, Palacios et al. (1997) sostiene que dicha zona “se trata de depósitos de conos aluviales desérticos debido al poco transporte, arenas con diferente granulometría y en menor proporción limos y arcillas”.

Se ha encontrado una relación directa entre los contenidos de arcilla y la calidad en donde los bajos contenidos de este material producen “bajas” resistencias de los adobes. Dormohamadi et al. (2020) afirma, en sus investigaciones, que la resistencia de unidades de adobe está directamente relacionada con el contenido de arcilla de determinados suelos. También es importante anotar el caso estudiado por Morales (2008) en la Huaca de la Luna de la civilización Moche (150-700 d. C.), contemporánea

a la cultura Lima. Allí anota, si hubo la presencia de suelos con contenidos mayores de arcilla usados como cantera para la elaboración de adobes. Se presenta un claro manejo del contenido de arcillas y limos, sobre todo en estructuras sometidas a una erosión constante como es el caso de los escalones y zonas de alto tránsito.

Materia orgánica

Se encontraron contenidos mínimos de materia orgánica que no superan el 3%, tal y como se ve en la tabla 5. Al respecto Gama et al. (2012) postula que:

la pobreza en materia orgánica confiere a estos materiales una erodabilidad alta y un riesgo potencial a ser erosionados por el agua, particularmente en zonas lluviosas. Desde luego que el grado de consolidación y compactación que presentan los adobes atenúa este riesgo. (p. 184)

Esto podría justificar la prevalencia de los adobes del complejo arqueológico hasta la actualidad ya que se ubican en la franja costera peruana donde las precipitaciones son mínimas.

Tabla 5. Porcentajes de contenido materia orgánica en adobes.

Nº de muestra	Procedencia	Ubicación temporal	Ubicación espacial	MO %
M28	Muro	FCI-Tardío	Pirámide	1,76
M29	Relleno	FCII-Temprano	Pirámide	2,56
M30	Muro	FCIII-Tardío	Pirámide	2,61

Fuente: resultados proporcionados por el Laboratorio de Agua, Suelos y Medio Ambiente y Fertirriego de la UNALM. 2022.

Conclusiones

En el conjunto de adobes examinado, se encontró una calidad ascendente en las técnicas de elaboración de adobes por parte de los pobladores de la cultura Lima, llegando a su mayor valor en la FCII y FCIII de su desarrollo. No obstante, nótese una caída en el final de la FCIII con una resistencia menor a la mitad que la obtenida en períodos anteriores. Se plantea que los constructores de Pucllana tenían un claro conocimiento de la calidad y limitaciones al momento de elaborar adobes en función a su ubicación en la edificación, siendo las mejores unidades para muros, áreas administrativas y las de menor calidad para rellenos.

La resistencia a la compresión promedio global de todos los adobes ensayados no supera los 6 kg/cm², valor muy bajo si es comparado con los estándares actuales. Sin embargo, se concluye que sus características fueron suficientes para el empleo a la cuales fueron usados, aparte de estar supeditados al uso de suelos de limitados recursos.

En cuanto al suelo usado para su elaboración, este presenta altos contenidos de arenas y limos con porcentajes mínimos de arcilla lo cual podría justificar las bajas resistencias encontradas, al ser esta la partícula activa del suelo que cohesiona las otras. Asimismo, se entrevé que se sigue explotando el mismo suelo para el adobe en diferentes espacios de tiempo.

Los bajos contenidos de materia orgánica confirman la procedencia de los suelos usados, además de justificar su longeva existencia de 14 siglos sin deterioro significativo de origen climático. No queda claro aún si se usó algún tipo de aditivo de origen orgánico que pudiera mejorar las prestaciones de los adobes recién elaborados, por lo que se recomienda efectuar posteriores análisis que pudieran evidenciar la presencia de insumos añadidos durante la etapa plástica del adobe.

Finalmente, es recomendable en futuras investigaciones, ampliar los alcances de la campaña de laboratorios, realizando ensayos químicos, mineralógicos u otros relacionados con suelos como límites de Atterberg para conocer la plasticidad del suelo usado. También se sugiere ampliar la cantidad de unidades estudiadas ya que al ser éstas de fabricación artesanal su variabilidad es considerable.

Agradecimientos

El autor agradece a la ex directora del Museo de Sitio Huaca Pucllana, Dra. Isabel Flores Espinoza, quien autorizara inicialmente la realización de esta investigación; también al Lic. Pedro Vargas Navarte por su soporte y apoyo en los aspectos arqueológicos presentes en esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses para la publicación del artículo.

Contribución de autoría

Los autores se responsabilizan con el texto que se publica.

Referencias

- Aguilar, R., Montesinos, M. y Uceda, S. (2017). *Mechanical characterization of the structural components of Pre-columbian earthen monuments: Análisis of bricks and mortar from Huaca de la Luna in Perú. Case Studies in Construction Materials* vol. 6, 16-28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.11.003>
- Aparecida M., Lemos F., Alves O. Aparecida M., Teodoro S. y Aguiar, M. (2020). *Construção com Terra: Breve Histórico e Técnicas. Ensaios e Ciências*, 24(4), 357-364. DOI: 10.17921/1415-6938.2020v24n4p357-364
- Asamblea General del ICOMOS. (2003). Principios para el análisis, conservación y restauración de las estructuras del patrimonio arquitectónico...
- Ceruti, M. C. (2019). Montañas sagradas y pirámides de adobe en la religiosidad de la costa norte de Perú. *Facultad de Teología San Pablo; Yachay (Cochabamba)*; 36(69), 93-109. <http://hdl.handle.net/11336/131204>
- Chirinos, V. 2017. El Museo de Sitio de Huaca Pucllana: una experiencia peruana de reconciliación entre los limeños y su herencia prehispánica. *Gaceta de Museos*, (66), 42-47. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/gacetamuseos/article/view/10651>
- Cieza de León, P. (1553). *La crónica del Perú*. ...
- Costa, C., Cerqueira, Â., Rocha, F. y Velosa, A. (2018). The sustainability of adobe construction: past to future. *International Journal of Architectural Heritage. Conservation, Analysis, and Restoration*, 13(5), 695-710. DOI: 10.1080/15583058.2018.1459954
- Dormohamadi, M. y Rahimnia, R. (2020). *Combined effect of compaction and clay content on the mechanical properties of adobe brick. Case Studies in Construction Materials*, Volume 13. DOI: 10.1016/j.cscm.2020.e00402
- Flores, I. (2005). *Huaca Pucllana: esplendor de la cultura Lima*. Instituto Nacional de Cultura.
- Gama, J., Cruz y Cruz, T., Pi, T., Alcalá, R., Cabadas B., Jasso, C., Díaz, J., Sánchez S., López F. y Vilanova-de Allende, R. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2): 177-188. DOI: 10.18268/BSGM2012v64n2a3
- Gandreau, D. y Delboy, L. (CRAterre-ENSAG). (2012). *World Heritage, Inventory of earthen architecture*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- Ganoza, Y. (2016). Definición de una nueva fase constructiva en Huaca Pucllana. 31: 363-380. DOI: <https://doi.org/10.15381/arqueologia.y.sociedad.15381>
- Liberotti, G. y Daneels, A. (2012). Adobes en arquitectura monumental: análisis químico-físicos, arqueología y reconstrucción 3D para determinar las técnicas constructivas en los sitios de La Joya (México) y Arslantepe (Turquía). *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(1), 79-89. DOI: <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2012v64n1a7>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). *Manual de construcción / Edificaciones Antisísmicas de adobe 2010*.
- Morales-Gamarra, R. (2007). Arquitectura prehispánica de tierra: conservación y uso social en las huacas de moche, Perú. *Apuntes: Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural*, 20(2) 256-277. <https://hdl.handle.net/11537/27886>

- Palacios M., Caldas J. y Vela C. (1992). *Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica* hojas: 25-i, 25-j 24-i, 24-j.x. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico Lima. Perú, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (03 de abril del 2017). Modifican denominación y contenido de Norma Técnica contenida en el Reglamento Nacional de Edificaciones, como Norma Técnica E.080 "Diseño y Construcción con Tierra Reforzada" y aprueban anexos. ANEXO - RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 121-2017-VIVIENDA *Diario Oficial El Peruano* n.º 14031. <https://cutt.ly/aweq7q03>
- Piani, T. L., Krabbenborg, D., Weerheijm, J., Koene, L. y Sluijs, L. J. (2018). The mechanical performance of traditional adobe masonry components: An experimental-analytical characterization of soil bricks and mud mortar. *Journal of Green Building*, 13(3). DOI: 10.3992/1943-4618.13.3.17
- Pozzi-Escot, D., Bernuy, K., Torres, H., y Aching, J. (2013, agosto). Sismoresistencia de las construcciones en tierra del Santuario Arqueológico de Pachacamac [ponencia]. 13° SIACOT – Red Proterra, Valparaíso, Chile.
- Sillar, B. (2013) The building and rebuilding of walls: Aspirations, commitments and tensions within an Andean community and the archaeological monument they inhabit. *Journal of Material Culture*, 18(1) 27-51. DOI: 10.1177/1359183512473558
- Silveira, D., Varum, H., Costa, A., Martins, T., Pereira, H. y Almeida, J. (2012). Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions. *Construction and Building Materials*, 28(1), 36-44. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2011.08.046
- Tsai, H. I. (2012). Adobe Bricks and Labor Organization on the North Coast of Peru. *Andean Past*, 10(9). <http://dx.doi.org/10.3998/lacs.12338892.0002.004>
- Vargas, J., Gil, S., Jonnard, F. y Montoya, J. (9-13 de noviembre de 2015). Camino prehispánico Pando [Presentación en papel]. 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra, Cuenca, Ecuador.
- Villar P. (1982). Arqueología del departamento de Lima.
- Varum, H., Costa, A., Silveira, D., Oliveira, C., Figueiredo, A. (2010, Octubre) *Caracterização mecânica e reforço de construções em alvenaria de adobe*. [ponencia] – 8° Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica Decivil – Comunicações. Aveiro, Portugal.