

Dosificación de arena, arcilla y limo en las propiedades físicas y mecánicas del adobe en Chota y Bambamarca, Perú

Dosage of sand, clay, and lime in the physical and mechanical properties of adobe in Chota and Bambamarca, Peru

José Darwin Ticlla García¹ *  Miguel Ángel Silva Tarrillo¹ 

¹ Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

* Autor de correspondencia [e-mail: josedarwin.tg@gmail.com]

RESUMEN

La norma peruana E.080 no indica una dosificación estándar de limo, arcilla, y arena para la fabricación de adobes de barro. En ese contexto, el objetivo en este estudio fue determinar la influencia de diferentes dosis de limo, arcilla y arena sobre las propiedades físicas y mecánicas del adobe comprimido, fabricado con suelo fino y grueso. Para ello, se fabricaron 192 adobes con las dosificaciones: 70S10C20M, 65S10C25M, 70S15C15M, 65S15C20M, 60S15C25M, 65S20C15M, 60S20C20M, 55S20C25M. Todos los adobes fabricados cumplen con la norma E.080 (MVCS, 2017) y la norma UNE 41410 (AENOR, 2008) en relación a la variación dimensional, alabeo máximo (<10 mm), absorción por capilaridad (<22%), resistencia a ciclos de humectación-secado y a compresión (13.25 kg/cm² para BTC tipo 1 y 10.2 kg/cm² para adobes), pero los adobes 70S15C15M alcanzaron mayor resistencia a compresión (19.5 kg/cm²); los adobes 65S20C15M tienen la menor absorción (5.33%), y los adobes 55S20C25M tienen el menor porcentaje de arena por lo que, son más económicos. Por tanto, estas tres dosificaciones se pueden usar para la producción de adobes porque cumplen con los lineamientos técnicos y con las necesidades de los constructores en Chota, Cajamarca.

Palabras clave: suelo, resistencia a compresión, tierra comprimida, absorción, humectación.

ABSTRACT

The Peruvian norm E.080 does not indicate a standard dosage of silt, clay, and sand for the manufacture of mud adobes. In this context, the objective of this study is to determine the influence of different doses of silt, clay and sand on the physical-mechanical properties of compressed adobe, made with fine and coarse soil. For this, 192 adobes were manufactured with the dosages: 70S10C20M, 65S10C25M, 70S15C15M, 65S15C20M, 60S15C25M, 65S20C15M, 60S20C20M, 55S20C25M. All the adobes manufactured comply with the E.080 standard (MVCS, 2017) and the UNE 41410 standard (AENOR, 2008) in relation to

dimensional variation, maximum warpage (<10 mm), absorption by capillarity ($<22\%$), resistance to wetting-drying cycles and compression (13.25 kg/cm² for BTC type 1 and 10.2 kg/cm² for adobes), but the 70S15C15M adobes reached higher compression resistance (19.5 kg/cm²); the 65S20C15M adobes have the lowest absorption (5.33%), and the 55S20C25M adobes have the lowest percentage of sand, so they are more economical. Therefore, these three dosages can be used to produce adobes because they comply with the technical guidelines and with the needs of the builders in Chota, Cajamarca.

Keywords: soil, compressive strength, compressed earth, absorption, wetting.

INTRODUCCIÓN

El adobe se usa ampliamente en las construcciones de todo el mundo (Araya-Letelier et al., 2018); según la norma UNE 41410 (AENOR, 2008) en su fabricación se usa una proporción estándar de suelo (SCM) que pasa por procesos de compactación para obtener un producto económico, amigable con el medio ambiente y socialmente beneficioso para los usuarios el cual se denomina "Bloque de Tierra Comprimida" (BTC), debido a que, tiene menores dimensiones que un adobe, y requiere menor costo y tiempo de para su construcción (Kropotin et al., 2023).

Un estudio en adobe debe partir de la identificación de una dosificación adecuada para la fabricación de estas unidades (Ammari et al., 2017); sin embargo, las normas peruanas no establecen una dosificación estándar, solamente presentan un rango de proporción para cada tipo de suelo, siendo de: 15% a 25% de limo, de 10% a 20% de arcilla y de 55% a 70% de arena (MVCS, 2017).

Esto ha generado que, la fabricación de adobe en las regiones del país no se realice con una dosificación estándar, por el contrario, se utiliza diferentes proporciones; por tanto, es necesario realizar estudios para establecer dosificaciones de limo, arcilla y arena, para alcanzar mejor calidad y con ello

incrementar el soporte mecánico para que puedan ser utilizados en las construcciones rusticas de diferentes regiones del país. De acuerdo con INEI (2018) en el país, $2\,148\,494$ viviendas tienen en sus paredes exteriores al adobe o tapial como material predominante, con variaciones negativas en algunas regiones; no obstante, en la región de Cajamarca la variación es positiva, es decir cada año se incrementa el número de edificaciones de adobe o tapial. Esto muestra el uso masivo de adobes en el medio local, sin embargo, también representa una exposición al peligro, pues el adobe convencional posee baja resistencia sísmica (Henríquez et al., 2018). Para disminuir su vulnerabilidad a desastres naturales, es necesario fabricar adobes con mejores propiedades, con dimensiones iguales a un BTC, ya que un adobe de menor dimensión no solo representa un beneficio estético, sino que, también posee menor peso y densidad (Nadia et al., 2023).

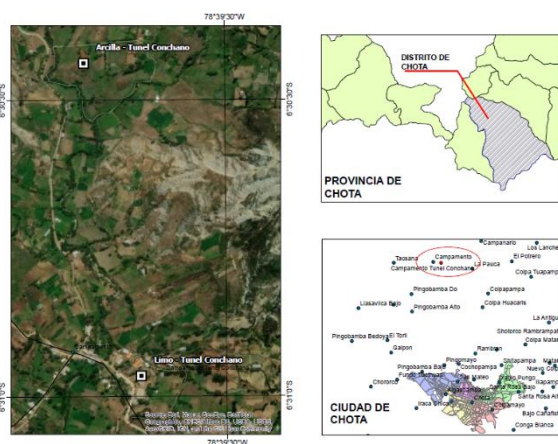
El distrito de Chota en el año 2017 había 6645 viviendas de adobe (INEI, 2018), por ello, es el material más utilizado y es en el ámbito rural donde su uso se incrementa, por ello, Eslami et al. (2022a); Ordoñez et al. (2022); Eslami et al. (2022b) han buscado mejorar al adobe para que tenga mayor estabilidad y compactación, pero los autores no llegaron a proponer

dosificaciones de arena-arcilla-limo en la composición del adobe (MVCS, 2017). Al incrementar la resistencia mecánica del adobe, también se toman en cuenta que sus dimensiones también pueden ser menores (Ordoñez et al., 2022). Es decir, al conseguir mayores esfuerzos mecánicos el adobe puede cambiar de dimensiones y seguir manteniendo las mismas características (Subramanian et al., 2022). Ammari et al. (2017), Araya-Letelier et al. (2018) y Teixeira et al. (2020) se obvia la denominación adobe y lo conocen como ladrillo de adobe o BTC, demostrando que, el adobe a pesar de su composición prima "tierra" al ser compactado con una dosificación estándar de arena, arcilla y limo, puede llegar a alcanzar mayores resistencias y menores dimensiones. Sin embargo, en Chota, generalmente se utiliza una dosificación de suelo indefinida, sin conocer el efecto que tendría el cambio de proporción de arena arcilla limo, en las propiedades de resistencia del adobe. En ese contexto, el objetivo en este estudio fue determinar la influencia de diferentes dosis de limo, arcilla y arena sobre las propiedades físicomecánicas del adobe comprimido, fabricado con suelo fino y grueso.

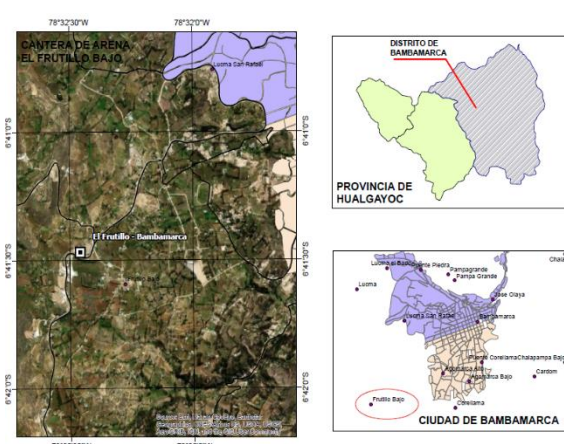
MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las canteras del C.P Campamento provincia de Chota y en el frutillo provincia de Bambamarca, ambos de la región Cajamarca.

En la tabla 1 se detallan las coordenadas de ubicación de la materia prima, siendo suelo arcilloso (C) y limoso (M) de dos canteras del centro poblado Túnel Conchano, distrito de Chota (Figura 1a). La cantera 1 con un área aproximada de 51,088 m² actualmente es utilizada para la producción de adobes en el centro poblado Túnel Conchano, del distrito de Chota, en combinación, con el suelo de la cantera 2 con un área aproximada de 42,644 m²; no obstante, el contenido de arena dentro del suelo de estas canteras es casi nulo, por lo que, se ha utilizado material granular de la cantera El Frutillo (Figura 1b) con un área de extensión aproximada de 42,410 m², actualmente esta cantera es utilizada con fines de producción de unidades de albañilería (ladrillos artesanales). Las evaluaciones se realizaron entre los meses de mayo a diciembre del año 2022.



1a-Canteras en Chota



1b- Cantera en Bambamarca

Figura 1. Localización de las canteras de suelo que, se han utilizado para la producción de adobes en Chota, 2022.

Previo a los ensayos de laboratorio, se realizaron pruebas *in situ*, tales como, prueba de la tira de barro, del corte, del lavado, detalladas en la norma E.080 y en el compendio de Blanco y Morales (2016); para asegurar que, se ubiquen canteras con suelo arenoso, arcilloso, y limoso. Luego utilizando herramientas manuales (palas, picos, escalera) se excavó una calicata de 1.2 m x 1.2 m y 2 m de profundidad en el centro de cada cantera.

En las muestras de suelo trasladadas al laboratorio GSE-Chota se realizaron

ensayos fisicoquímicos según las respectivas normas técnicas peruanas tal como: NTP 339.127 Humedad (INACAL, 2019), NTP 339.128 Granulometría (INACAL, 2019), NTP 339.129 Límite líquido (INACAL, 2019), NTP 339.129 Límite plástico (INACAL, 2019), NTP 339.141 Proctor modificado (INACAL, 2019), NTP 339.152 Contenido de sales solubles (INACAL, 2015).

Tabla 1. Ubicación de las canteras de suelo para producción de adobes, 2022.

Cantera	Comunidad/Distrito	Coordenadas UTM WGS84		Elevación (msnm)
		Este (m)	Norte (m)	
1	Túnel Conchano/ Chota	756738.5	9279143.93	2304.91
2	Túnel Conchano/ Chota	758592.79	9279952.56	2328.40
3	Frutillo Bajo/ Bambamarca	771874.00	9259715.00	2300.00

Para producir adobes compactados de 29.5 cm de largo, 14 cm de ancho, y 9.5 cm de alto, con dosificaciones de 55, 60, 65 y 70% de arena (S), 10%, 15% y 20% de arcilla (C), y 15%, 20% y 25% de limo (M), formando los ocho diseños: 70S10C20M (1), 65S10C25M (2), 70S15C15M (3), 65S15C20M (4), 60S15C25M (5), 65S20C15M (6), 60S20C20M (7), 55S20C25M (8), se determinaron inicialmente las cantidades de materiales que, ingresaban por proporción; inicialmente se determinó el peso de suelo promedio para un adobe de 6.5 kg, en seguida, se calculó la proporción de mezcla de arena (S), arcilla (C), y limo (M), así mismo, tomando en cuenta los

resultados de compactación de la prueba de Proctor modificado, se estimó la cuantía óptima de agua en la mezcla para producir 1 adobe compactado por cada proporción, tal como, se detalla en la Tabla 2.

El proceso de producción de los adobes compactados consiste esencialmente en: secar la tierra, separar en tipos (arena-arcilla-limo) y pesar las cantidades de cada una, que fueron determinadas según las proporciones de mezcla de la Tabla 2. Luego se mezcló el suelo, con agua. En seguida, se dejó reposar la mezcla por 24 horas; al día siguiente, se coloca la mezcla en el molde BTC utilizando la técnica de lanzado, donde la mezcla es compactada

en capas simulando el ensayo de compactación, utilizando para tal caso un pistón metálico. Luego, se retiró el molde y se dejó secar los adobes por 28 días al aire libre en un lugar techado, antes de la realización de los ensayos normados en la E.080 (MVCS, 2017).

Después de 28 días se analizaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas

utilizando las indicaciones de la norma UNE 41410 (AENOR, 2008) y E.080 (MVCS, 2017) en el laboratorio GSE-Chota, además, se realizaron ensayos geométricos, de absorción de agua por capilaridad, de resistencia a compresión y resistencia a ciclos de humectación/secado.

Tabla 2. Dosificación de arena (S), arcilla (C), y limo (M) para la producción de adobes en Chota, 2022.

N° de diseño	Código	Dosificación			Peso del suelo (kg)			Agua (Lt)
		S	C	M	S	C	M	
1	70S10C20M	70	10	20	4.55	0.65	1.30	0.94
2	65S10C25M	65	10	25	4.23	0.65	1.63	0.93
3	70S15C15M	70	15	15	4.55	0.98	0.98	0.95
4	65S15C20M	65	15	20	4.23	0.98	1.30	0.94
5	60S15C25M	60	15	25	3.90	0.98	1.63	0.93
6	65S20C15M	65	20	15	4.23	1.30	0.98	0.95
7	60S20C20M	60	20	20	3.90	1.30	1.30	0.94
8	55S20C25M	55	20	25	3.58	1.30	1.63	0.93

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se detallan las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo de las canteras 1 y 2 del Túnel Conchano, Chota, y de la cantera 3 en El Frutillo Bajo, Bambamarca. Las canteras 1, 2 y 3 se catalogan como suelo arcilloso de alta plasticidad (CH), limoso de alta plasticidad (MH) y arenoso (SM), con LL de 58.0%, 53.2% y 19.4% e IP de 28.5%, 22.7% y 3.7%, respectivamente,

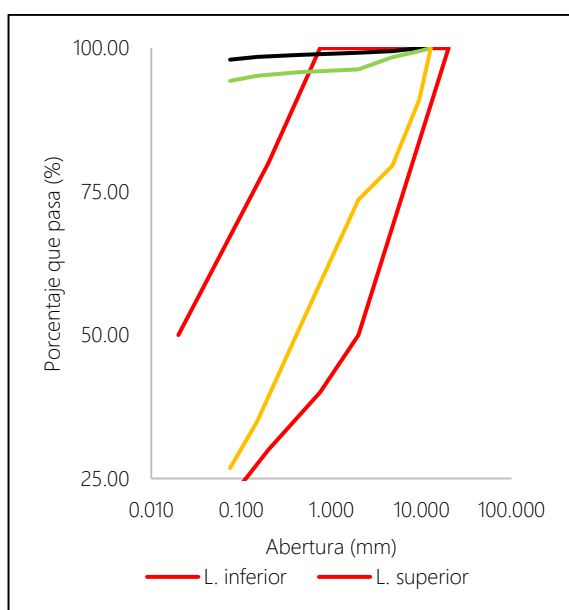
De acuerdo con los resultados ninguno de los suelos cumple con el huso de plasticidad de la norma UNE 41410 (AENOR, 2008); pero, al combinar SCM todas las mezclas cumplen el huso de plasticidad (Figura 3b). Así mismo, el suelo de las canteras del centro poblado Túnel Conchano no cumple con el huso de

gradación de la norma UNE 41410 (AENOR, 2008), en cambio, la cantera El Frutillo Bajo si cumple con este huso (Figura 2a). No obstante, todas las mezclas conformadas con SCM cumplen con el huso granulométrico de la norma UNE 41410 (AENOR, 2008) (Figura 2b). Así mismo, cumplen con el porcentaje de suelo sugerido por la norma E.080 (MVCS, 2017). En cuanto a las características químicas, el contenido de sales solubles es leve de 0.04% a 0.07%, y no representa un peligro para la mezcla, sin embargo, el porcentaje de materia orgánica excede a 2%, por tanto, es superior al límite normado, por lo que, el material tuvo que, ser tamizado previa a la fabricación de adobes para asegurarse que, la muestra este exenta de materia orgánica (Tabla 3).

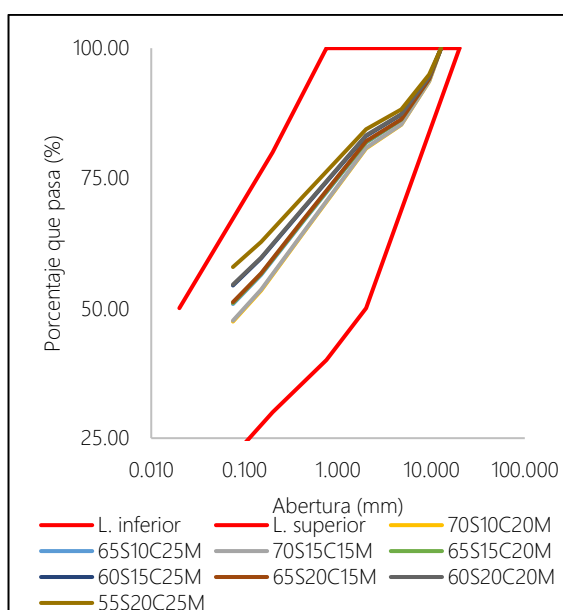
Tabla 3. Propiedades físicas, mecánicas y químicas del Suelo para Adobes, 2022.

Propiedades físicas, mecánicas y químicas		Cantera		
		Túnel Conchano, Chota	Frutillo Bajo, Bambamarca	
		1	2	3
Propiedades físicas	Humedad (%)	40.1	31.6	7.36
	Arena (%)	1.5	4.1	52.7
	Finos (%)	98	94.3	26.8
	LL (%)	58	53.2	19.4
	LP (%)	29.5	30.5	15.7
	IP (%)	28.5	22.7	3.7
Clasificación	SUCS	CH	MH	SM
	AASHTO	A-7-6 (19)	A-7-5 (16)	A-2-4 (0)
Propiedades mecánicas	DMS (gr/cm ³)	1.389	1.474	1.525
	OCH (%)	15.22	14.52	12.12
Propiedades químicas	Sales solubles (%)	0.07	0.05	0.04
	% materia orgánica	5.85	4.69	3.86

Nota: DMS densidad máxima seca, OCH óptimo contenido de humedad.

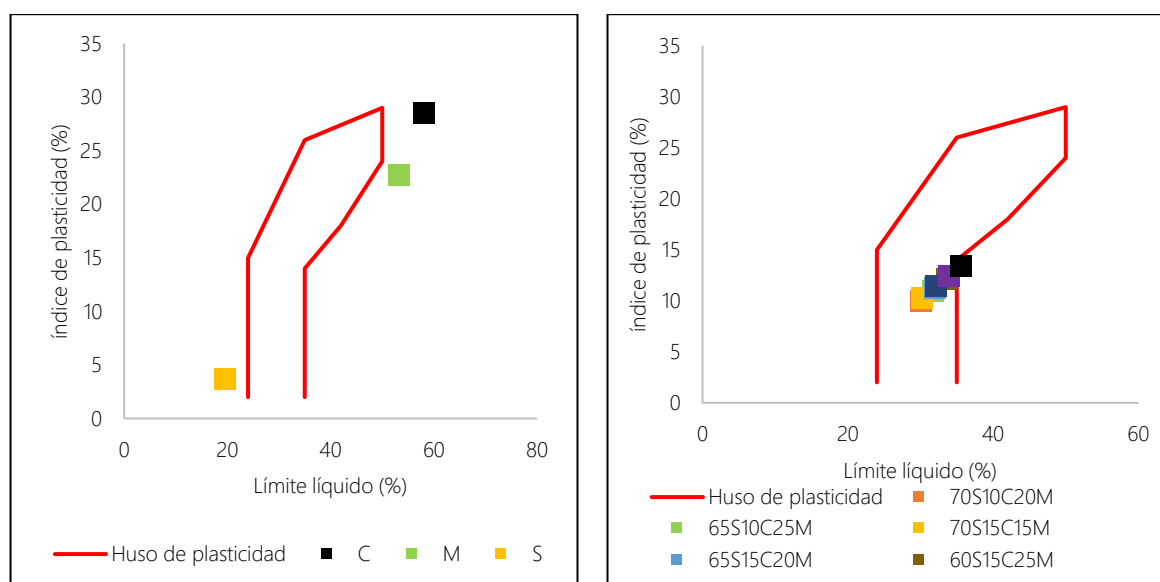


2a-Huso granulométrico del suelo para adobes



2b-Huso granulométrico de las mezclas de suelo

Figura 2. Huso granulométrico del suelo por cantera y en combinaciones SCM, 2022.



3a-Huso de plasticidad del suelo para adobes

3b-Huso de plasticidad de las mezclas de suelo

Figura 3. Huso de plasticidad del suelo por cantera y en combinaciones SCM, 2022.

Todos los adobes fabricados con diferentes dosificaciones de arena-arcilla-limo SCM en el distrito de Chota cumplen con las características dimensionales, es decir, su Tabla 4. Propiedades físico-mecánicas de los adobes compactados hechos con SCM en Chota, 2022.

variación dimensional y alabeo es menor a 10 mm, cumpliendo con la norma UNE 41410, siendo menor al 1% de variación dimensional (Tabla 4).

Propiedades físico-mecánicas	Adobes según diseño de mezcla de arena (S), arcilla (C), limo (M)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Arena (S)	70	65	70	65	60	65	60	55
Arcilla (C)	10	10	15	15	15	20	20	20
Limo (M)	20	25	15	20	25	15	20	25
Variación dimensional (%)	0.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.2	0.5	0.3
Alabeo (mm)	2.4	2.3	2.3	2.4	3	2.5	2.5	2.1
Absorción (%)	6.18	10.98	6.57	6.57	8.03	5.33	6.25	7.47
Peso (kg)	5.77	5.85	6.18	6.04	6.06	6.13	6.02	6.04
Resistencia a compresión (kg/cm ²)	16.74	15.58	19.50	16.59	19.46	19.13	19.20	19.23
N° de grietas aleatorias	2	2	2	2	2	1	1	1
N° de zonas de picado	3	3	3	3	3	2	2	2
N° de capas que, se han perdido	2	1	1	2	2	1	1	1

Los adobes presentan absorción de agua por capilaridad menor a 22%, cumpliendo así con otro criterio de la norma UNE 41410 Para bloques de tierra comprimida (AENOR, 2008). Los adobes elaborados con 65S20C15M en Chota tienen absorción de 5.33%, siendo menor que, la absorción de los adobes (10.98%) fabricados por Briceño y Marcos (2019), a pesar de que, su

dosificación era similar 65S10C25M, siendo la diferencia entre una y otra dosificación la distribución de finos, la mezcla con mayor contenido de limo tiene mayor porcentaje de absorción por capilaridad, lo que, no es favorable, debido a que, significa que, en contacto con el agua tendrá mayor humedad y por ende perderá resistencia, tal como, se menciona en la norma UNE 41410

(AENOR, 2008). Santos et al. (2020) y Santos et al. (2019) utilizaron 26% y 42% de arcilla en su dosificación para la producción de adobes, determinando que, estos alcanzaban absorción máxima de 19.65% y 24.87%, siendo mayores a los determinados en el presente estudio, entre tanto el contenido de arcilla en la mezcla también fue mayor, puesto que, en este estudio se utilizó como máximo 20% de arcilla tal como, específica el MVCS (2017), así mismo, Abbou et al. (2020) validaron el hecho de que, a mayor porcentaje de finos mayor absorción en los adobes, en cambio, para zonas lluviosas como el distrito de Chota, Guettatfi et al. (2023) recomiendan adobes con menor absorción, dado que, eso garantiza que, no se humedezcan frente al clima frío de la localidad.

Los adobes elaborados con SCM presentan buenas características mecánicas, todas las unidades cumplen con la resistencia mínima (13.25 kg/cm^2) para clasificarse como BTC tipo 1 según la norma UNE 41410 (AENOR, 2008), y cumplen con la resistencia a la compresión mínima (10.2 kg/cm^2) de la normatividad E.080 (MVCS, 2017), e incluso la dosificación 70S15C15M con mejores resultados mecánicos (19.5 kg/cm^2) supera en 6.25 kg/cm^2 a la resistencia mínima de la normatividad UNE 41410 (AENOR, 2008). Ahora bien, en el estudio realizado por Befikadu (2023) determinaron que, los adobes elaborados con suelo areno y limosos alcanzaron resistencias a compresión de (29.5 kg/cm^2), no obstante, esto se debe a que, el autor utilizó 6% de cal y cemento para lograr tales resistencias a la compresión, lo que, determina que, las unidades de adobe elaboradas con proporciones estándar de SCM presenten mayores propiedades mecánicas que, los adobes elaborados con un solo tipo de suelo, e incluso no requieran pasar por

procesos de estabilización con productos químicos para cumplir con la norma UNE 41410 (AENOR, 2008). Santos et al. (2020) y Santos et al. (2019) utilizaron 26% y 42% de arcilla en la producción de adobes obteniendo adobes con 13.2 y 12.7 kg/cm^2 de resistencia a compresión, respectivamente, valores bastante bajos considerando que, estaban utilizando 6% de cemento como estabilizador, por lo que, aumentan la cuantía de cemento a 9% y con ello logran unidades de mampostería que, cumplen con un BTC tipo 2. Así mismo, Anglade et al. (2022) utilizaron proporciones de arena-arcilla 0%-100%, 30%-70% y 60%-40% obteniendo como máximo resistencias a compresión de 10.10 kg/cm^2 , 11.883 kg/cm^2 y 13.05 kg/cm^2 , respectivamente, por tanto, todos los adobes elaborados con las mezclas SCM logran mejores características mecánicas. La afirmación de que, la dosificación SCM logra mejores resultados que, dosificaciones de solamente arena-arcilla a la hora de elaborar adobes, también se confirma en el estudio de Nshimiyimana et al. (2020) que, al usar una dosificación de 60% de arcilla y 40% de arena se producen adobes de 8.15 kg/cm^2 , mientras que, al usar la dosificación de 40% de arena, 30% de arcilla y 30% de limo, los adobes alcanzan 20.39 kg/cm^2 siendo este valor similar al alcanzado para la dosificación 70S15C15M, pero no se tiene una dosificación igual o semejante a la que, utilizaron Nshimiyimana et al. (2020) debido a que, en la investigación solo se discurrieron las dosificaciones dentro del rango dado por la norma E.080 (MVCS, 2017), no obstante, considerando el estudio descrito, se sugiere que, en futuros trabajos se consideren otras dosificaciones de mezcla entre arena arcilla y limo. Así mismo, Abbou et al. (2020) utilizaron 70% de suelo arcilloso y 30% de suelo arenoso logrando adobes con 32.64

kg/cm² de resistencia a compresión, siendo incluso más resistentes que a los adobes fabricados en este estudio. Cabe recalcar que, el suelo arcilloso utilizado por Abbou et al. (2020) tenía mayores rangos de plasticidad que, el suelo arcilloso de la cantera Túnel Conchano, lo que, le da mayor plasticidad a la mezcla, pero, dichos

autores no solo utilizaron el suelo compactado como en el presente estudio, sino que, además estabilizaron la mezcla con 2% de cal, lo que, también explica el incremento en la resistencia respecto a las dosificaciones locales.

La dosificación adecuada es aquella que, presenta algún beneficio técnico para su uso en Chota (Figura 4). De esa manera, la dosificación mecánicamente más favorable es 70S15C15M (70% de arena, 15% de arcilla y 15% de limo), de este modo, la dosificación físicamente más favorable es 65S20C15M (65% de arena, 20% de arcilla y 15% de limo). La dosificación financieramente más favorable es la 55S20C25M (55% de arena, 20% de arcilla y 25% de limo), porque tiene el menor

porcentaje de arena y menor distancia de acopio. Estas tres dosificaciones pueden utilizarse para la producción de adobes porque, cumplen con los lineamientos técnicos y con las necesidades del constructor y propietario de viviendas rústicas en Chota. Las dosificaciones determinadas en este estudio son similares a lo determinado por Anglade et al. (2022) y Befikadu (2023), resultando en edificaciones más seguras, confortables, y sustentables.

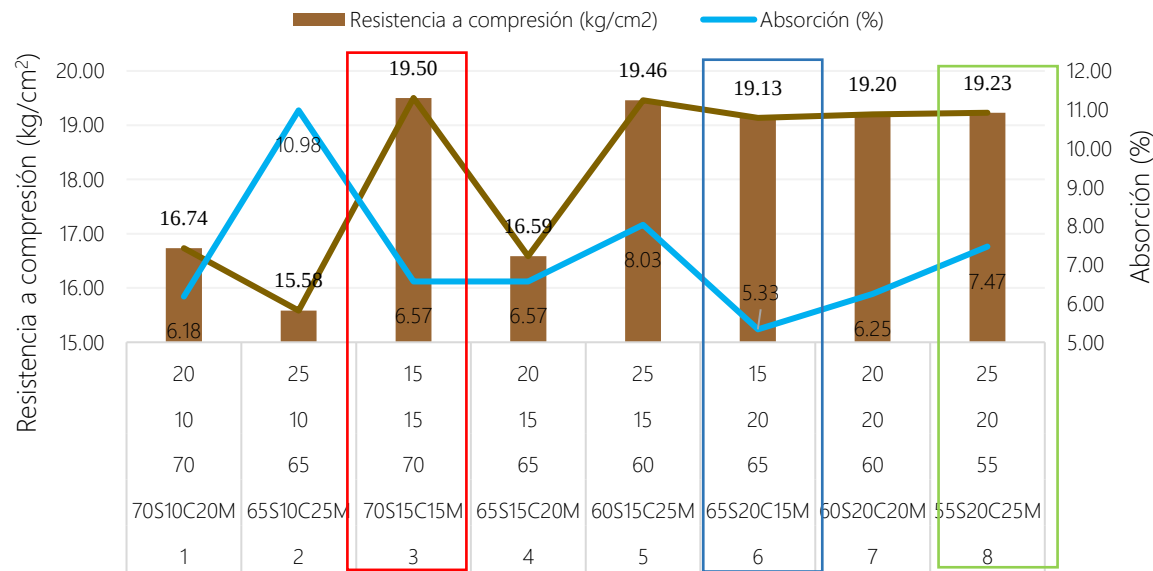


Figura 4. Resistencia a Compresión de los adobes compactados hechos con SCM en Chota, 2022.

Por otro lado, el análisis de correlación de Pearson de la composición e interacción SCM del suelo muestra que la resistencia a compresión está fuertemente

correlacionada con el contenido de arcilla (Tabla 5). Por otro lado, la arena y limo tienen correlación negativa y baja lo que, también se detalla en la Figura 5.

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre la dosificación según tipo de suelo (SCM) y la resistencia de los adobes, 2022.

Coeficiente de	Arena (S)	Arcilla (C)	Limo (M)
Pearson			
Resistencia a	-0.385	0.748	-0.270
compresión			

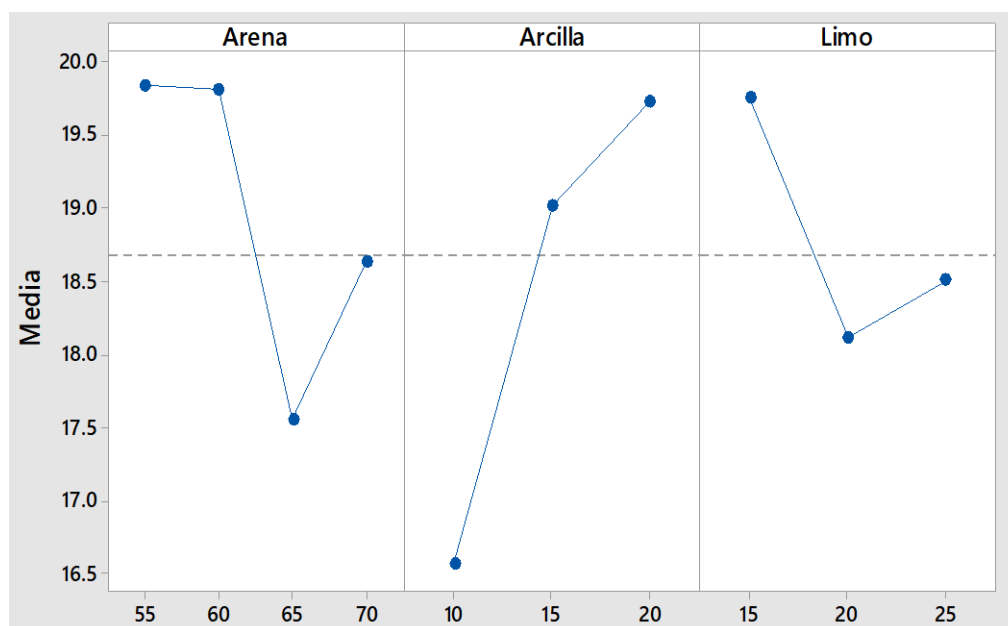


Figura 5. Relación entre el contenido de SCM de la mezcla y la resistencia a compresión del adobe en Chota, 2022.

CONCLUSIONES

El suelo arenoso (S) de la cantera Frutillo Bajo en Bambamarca, el suelo arcilloso (C) y el suelo limoso (M) de las dos canteras del centro poblado Túnel Conchano en Chota no cumplen los usos granulométricos y de plasticidad según norma UNE 41410.

Todos los adobes SCM presentan buena resistencia a ciclos de humectación-secado pero las dosificaciones con menor contenido de arena presentan menor número de grietas aleatorias, menor número de zonas de picado y menor

número de capas que, se han perdido al sexto ciclo de humectación-secado.

La dosificación mecánicamente más favorable es 70S15C15M por alcanzar la resistencia a compresión más alta; las dosificaciones pueden usarse en adobes porque cumplen con los lineamientos técnicos y con las necesidades de los constructores y propietarios de las viviendas rústicas en Chota, Cajamarca.

REFERENCIAS

Abbou, M., Semcha, A., & Kazi-Aoual, F. (2020). Stabilization of compressed earth block clayey materials from Adrar (Algeria) by lime and crushed

- sand. *Journal of Building Materials and Structures*, 7(1), 42-50.
<https://doi.org/10.34118/jbms.v7i1.137>
- Ammari, A., Bouassria, K., Cherraj, M., Bouabid, H., & D'ouazzane, S. C. (2017). *Combined effect of mineralogy and granular texture on the technico-economic optimum of the adobe and compressed earth blocks. Case studies in construction materials*, 7(1), 240-248.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.004>
- Anglade, E., Aubert, J. E., Sellier, A., & Papon, A. (2022). Physical and mechanical properties of clay-sand mixes to assess the performance of earth construction materials. *Journal of Building Engineering*, 51, 104229.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104229>
- Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico Valdés, F.C. y Cáceres, G. (2018). Influencia de la dosificación y duración de la fibra natural en las mezclas de adobe comportamiento mecánico de daños. *Construcción y materiales de construcción*. 20(174), 1-20.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.151>
- AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. (2008). *Norma española UNE 41410*. AENOR.
- Befikadu Zewudie, B. (2023). Experimental Study on the Production and Mechanical Behavior of Compressed Lime-Cement-Stabilized Interlock Soil Blocks. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2023.
<https://doi.org/10.1155/2023/2933398>
- Blanco, C. y Morales, P. (2016). *Sistema constructivo adobe/ tapial*. Guatemala: Arquitectos Sen Fronteiras.
https://www.udc.es/files/dhabitat/pcr/pcr2010/Ficha_tecnica_adobe-tapial.pdf
- Briceño, L.E. & Marcos, A.A. (2019). *Efecto del porcentaje de la fibra tipo E sobre la resistencia a la compresión, flexión, absorción y estabilidad dimensional del adobe*, Trujillo, 2018. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/39089>
- Eslami, A., Banadaki, H. M., & Ronagh, H. (2022a). Sand-coated reeds as an innovative reinforcement for improving the in-plane seismic behavior of adobe walls. *Construction and Building Materials*, 326, 126882.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126882>
- Eslami, A., Mohammadi, H., & Banadaki, H. M. (2022b). Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks. *Construction and Building Materials*, 325, 126808.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126808>
- Guettatfi, L., Hamouine, A., Himouri, K., & Labbaci, B. (2023). Mechanical and water durability properties of adobes stabilized with white cement, quicklime and date palm fibers. *International Journal of Architectural Heritage*, 17(4), 677-691.
<https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1959675>
- Henríquez, A. D, Martelo, R. J. y Acevedo, D. (2018). Innovation of Adobe Material in Construction Companies. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(3), 1-15.
<https://doi.org/10.12988/ces.2018.819>
- INACAL. (2019, 23 de octubre). *NTP 339.252 SUELOS. Guía normalizada para muestreo de suelos de la zona vadosa (zona no saturada por encima del nivel freático)*. 1ª Ed. Instituto Nacional de Calidad.

- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.127 SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.128 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.129 SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.141 SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³)). 1ª Ed.* Instituto Nacional de Calidad.
- INACAL. (2019, 24 de octubre). *NTP 339.152 SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua.* Instituto Nacional de Calidad.
- INEI. (2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares – Acceso a servicios básicos. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.* Instituto Nacional de Informática y estadística del Perú.
- Kropotin, P., Marchuk, I., & Penkov, O. (2023). On Using Unstabilized Compressed Earth Blocks as Suspended Weights in Gravity Energy. Available at SSRN 4414982.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2017). Norma E.080 *Diseño y construcción con tierra reforzada. Reglamento Nacional de Edificaciones.* MVCS. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/E_080.pdf
- Morales, V. J., Alavez Ramírez, R. y Ortiz Guzmán, M. (2019). Efecto de la humedad de compactación en las propiedades mecánicas de BTC. *Revista Científica de la Universidad Máximo Gómez Báez de Ciego de Ávila*, 8(1), 1-10. <http://revistas.unica.cu/index.php/ucienca/article/view/1433>
- Nadia, B., Fatma, K., & Nasser, C. (2023). Mechanical, thermal and durability investigation of compressed earth bricks stabilized with wood biomass ash. *Construction and Building Materials*, 364, 129874. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129874>
- Nshimiyimana, P., Fagel, N., Messan, A., Wetshondo, D. O., & Courard, L. (2020). Physico-chemical and mineralogical characterization of clay materials suitable for production of stabilized compressed earth blocks. *Construction and Building Materials*, 241, 118097. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118097>
- Ordoñez, D., Noa, M., & Carmen, C. C. E. (2022). Influence of PET Fibers on Compressive Strength Water Absorption Percentage and Density of Adobe. *Key Engineering Materials*, 913, 119-124. <https://doi.org/10.4028/p-h623i7>
- Santos, L. M. A., Silva Neto, J. A. D., & Azerêdo, A. F. N. D. (2020). Soil characterization for adobe mixtures containing Portland cement as stabilizer. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(1), 1-10. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0890>
- Santos, L. M. A., Azerêdo, A. F. N. D., Azerêdo, G. A. D., & Assis, S. R. H. D. (2019). Mineralogical, Physical, and Mechanical Properties of Soil for Using in Adobe Blocks. *In Earthen Dwellings and Structures*, 1(1), 93-103. Springer,

Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5883-8_9

Subramanian, G. K. M., Balasubramanian, M., & Jeya Kumar, A. A. (2022). A review on the mechanical properties of natural fiber reinforced compressed earth blocks. *Journal of Natural Fibers*, 19(14), 7687-7701.

<https://doi.org/10.1080/15440478.2021.1958405>

Teixeira, E. R., Machado, G., P. Junior, A. D., Guarnier, C., Fernandes, J., Silva, S. M., & Mateus, R. (2020). Mechanical and thermal performance characterisation of compressed earth blocks. *Energies*, 13(11), 2978. <https://doi.org/10.3390/en13112978>

Recibido: 01-06-2023 Aceptado: 21-07-2023 Publicado: 31-07-2023