

# UNA APROXIMACIÓN A LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LA TIERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Bryan Guerrero<sup>1</sup>, Paulina Viera<sup>2</sup>, Génesis Pacheco<sup>3</sup>

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Central del Ecuador, Ecuador

<sup>1</sup>brguerrero@uce.edu.ec, <sup>2</sup>lviera@uce.edu.ec, <sup>3</sup>gdpachecoc@uce.edu.ec

**Palabras clave:** características, adobe, quincha, bahareque, tapial, BTC

## Resumen

La tierra es un material de construcción muy antiguo, y pese a existir una gran variedad de técnicas que la incorporan como parte de edificaciones; actualmente, en países como el Ecuador va quedando en desuso debido a que los profesionales de la construcción conocen muy poco o desconfían de sus características mecánicas y térmicas para poder incorporarla en sus diseños. Esta investigación tiene como objetivo principal presentar las características mecánicas y térmicas del adobe, tapial, BTC y bahareque o quincha, además de su viabilidad para ser incorporados en los diseños. Los resultados obtenidos indica que los sistemas con tierra analizados pueden ser considerados como materiales estructurales independientes, siempre y cuando se utilicen técnicas adecuadas de reforzamiento y estabilización para mejorar su capacidad resistente, y asegurar la estabilidad de las estructuras construidas con ellos. Por otro lado, los resultados de las propiedades térmicas se acercan a los valores recomendados para garantizar un adecuado confort higrotérmico en los espacios habitables. Estos hallazgos son un paso importante hacia la utilización de materiales sostenibles en la construcción, y alinearse con la tendencia mundial actual de realizar de edificaciones de baja energía incorporada. Es fundamental difundir estos resultados para fomentar la confianza en el uso de materiales de tierra.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante siglos, la tierra ha sido utilizada como material de construcción en diferentes técnicas, tales como el tapial, adobe, BTC y el bahareque (Vargas-Machuca, 2019a). En el contexto actual, la construcción sostenible es cada vez más relevante y los materiales de construcción naturales y locales son una opción atractiva y respetuosa con el medio ambiente. La tierra es uno de estos materiales sostenibles, ya que es abundante, renovable, reciclable y tiene un bajo impacto ambiental durante su extracción y procesamiento. Además, el uso de tierra puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que tiene una baja energía incorporada en comparación con otros materiales de construcción (Kibert, 2016).

A pesar de su potencial y sus beneficios, en algunos países como Ecuador, su uso está disminuyendo debido a la falta de conocimiento y confianza en sus propiedades mecánicas por parte de los diseñadores estructurales, así como a la falta de información y capacitación adecuadas para los trabajadores de la construcción (Cisneros; Suárez, 2020). Las propiedades mecánicas de la tierra, como material de construcción pueden variar en función de la estructura y textura del suelo, la técnica de construcción, el contenido de humedad, la compactación y el tiempo de curado (Catalán, 2018). También es importante mencionar que la tierra posee características térmicas importantes, que ayudan a contribuir al confort térmico de los edificios (García et al., 2019), y, proporcionan: mayor aislamiento térmico, la habilidad de mantener una temperatura constante durante períodos prolongados, y una resistencia natural al fuego (Khan et al., 2019; Lashkarara; Singh, 2015, Ali et al., 2016). Al comprender y aplicar adecuadamente estas propiedades los arquitectos pueden diseñar espacios que se adapten a las necesidades específicas de sus clientes, proporcionando ambientes térmicamente agradables.

Ahora, si bien en la literatura existe una abundante cantidad de referencias que presenten valores de propiedades mecánicas y térmicas, la variabilidad de datos puede dificultar obtener conclusiones claras y consistentes sobre este material. Por lo tanto, esta investigación tiene

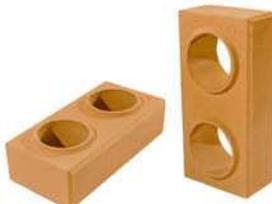
como objetivo recopilar y sintetizar esta información a partir de las técnicas constructivas de tierra más usuales (adobe, quincha/ bahareque, BTC, tapial), para obtener resultados confiables que puedan ser utilizados en futuras investigaciones y proporcionen una base de datos para que los profesionales de la construcción implementen este material en sus diseños.

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1 Principales sistemas constructivos de tierra

Según Vargas-Machuca (2019 b), los sistemas constructivos con tierra más utilizados durante siglos en diferentes regiones del mundo incluyen técnicas tales como: el adobe, el tapial y el bahareque. Estos sistemas son ampliamente utilizados en diferentes países de América Latina, además de otras partes del mundo como en Marruecos, India, Nepal, España, entre otros (Elahjji; Chaaba, 2014). Se da una breve descripción de estos elementos constructivos, los cuales se tratarán durante toda esta investigación

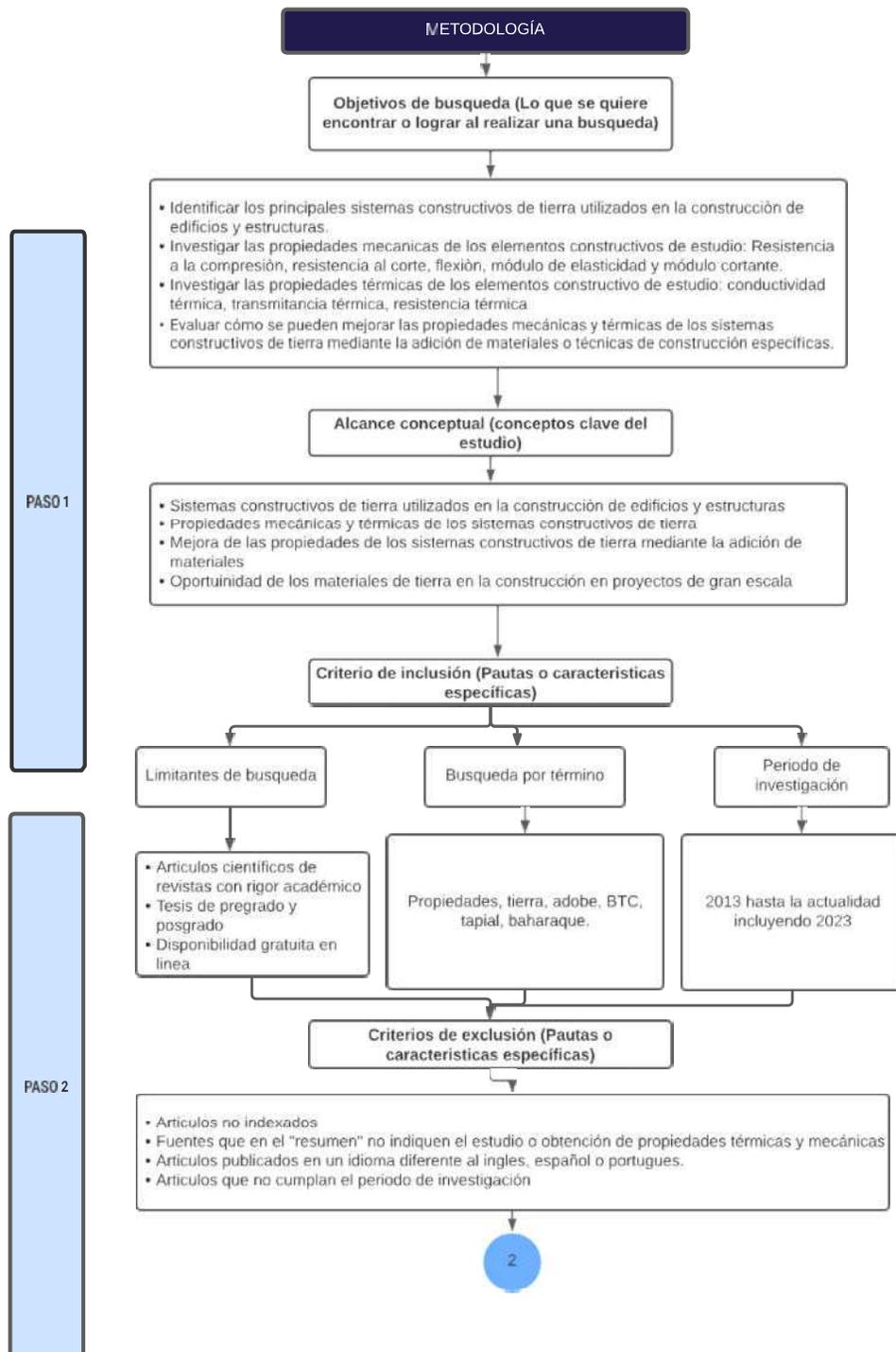
Tabla 1. Sistemas constructivos con tierra

Material	Definición	Descripción
Adobe	Consiste en construir muros con ladrillos prefabricados de arcilla, arena, agua y fibras vegetales. Estos mampuestos se realizan a mano utilizando moldes y se secan al sol. (Minke, 2006)	
Tapial	Técnica constructiva que utiliza tierra comprimida para la construcción de muros. Se apilan diferentes capas de tierra en moldes de madera o metal, para luego compactarla utilizando herramientas manuales o mecánicas. (Minke, 2006)	
BTC (bloque de tierra comprimida)	Estos bloques se fabrican con la compresión de una mezcla de tierra, arcilla y arena, sin la necesidad de cocción. (López; López, 2015). Por lo general esta mezcla es estabilizada con cemento.	
Bahareque / quincha	Construcción de un muro con una estructura de madera o bambú recubierta con una mezcla de tierra y paja (Minke, 2014; Lapunzina, 1995).	

## 3. METODOLOGÍA

Se empleó una metodología de tres pasos para investigaciones bibliográficas. El primer paso consistió en: establecer los objetivos y conceptos clave de búsqueda y el alcance conceptual. A continuación, se definieron criterios de inclusión, los cuales permitieron filtrar los estudios como tesis de grado y posgrado y, artículos científicos que cumplan rigor académico y que aborden el tema de construcción con tierra. Se usó bases de datos especializadas, tales como ScienceDirect y Google Scholar. Se consideró un periodo de los últimos 10 años. De igual

forma se estableció criterios de exclusión que permita descartar aquellos estudios no relevantes para esta investigación, y permitir un ahorro de tiempo durante el periodo investigativo. Los datos más relevantes de los estudios seleccionados, tales como los métodos de prueba, materiales, técnicas utilizadas, propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, a la flexión, al corte, módulo de elasticidad y módulo cortante) y las propiedades térmicas (conductividad, transmitancia y resistencia térmica) fueron recopilados en hojas de procesamiento de datos. Finalmente, se sintetizaron los resultados de los estudios seleccionados y se presentaron de manera clara y concisa a través de tablas y gráficos para resumir la información. La Figura 1 resume la metodología utilizada.



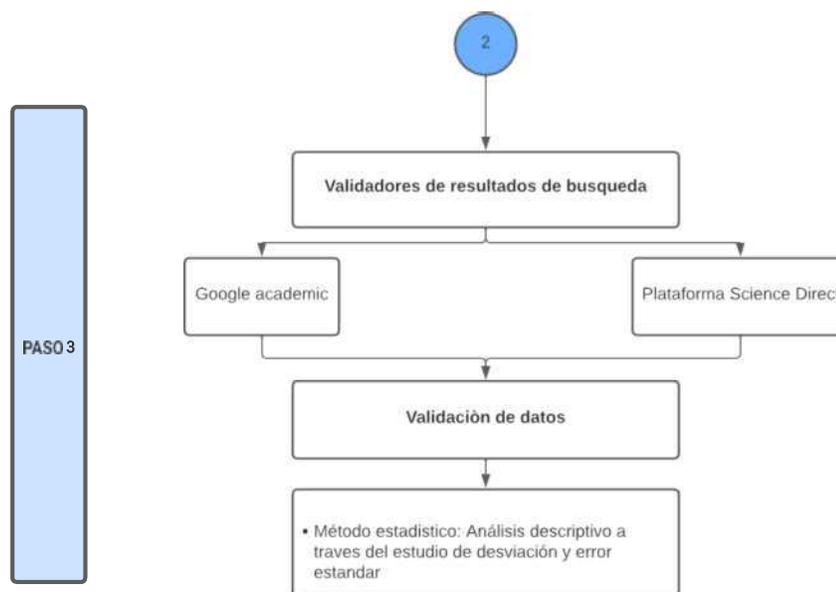


Figura 1. Metodología para investigaciones bibliográficas

## 4. RESULTADOS

Una vez revisado todo el estado arte según la metodología indicada en la Figura 1, se presenta los diferentes valores de propiedades mecánicas y térmicas obtenidas de la recopilación de aproximadamente 22 estudios entre las cuales constan artículos científicos, tesis de doctorado, maestría y grado.

### 4.1 Propiedades mecánicas

Con el objetivo de proporcionar una visión clara y concisa de los resultados, se presenta a continuación la tabla 2 que resume el rango de valores de las propiedades mecánicas más significativas de los materiales de tierra analizados.

Tabla 2. Propiedades mecánicas

Sistema	Autor	Espesor (cm)	características	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia al corte (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo cortane (MPa)
Adobe	[1]	4.5		1.23	0.11	0.052	236.2	59.04
	[2]	4.5		1.23	-	0.053	240.9	60.22
	[3]	40		1.1	-	0.49	98.1	27.4
	[4]	-		5.34	-	-	-	-
	[5]	-	Goma de tuna 15%	2.7	-	0.67	-	-
Quincha/ bahareque	[6]	10	Muro de quincha	-	0.13	-	-	-
BTC	[1]	-	Estabilizado con bioterre	1-5	-	-	-	-
	[2]	-	Estabilizado con cemento (7%) y fibra de banana (0-5% en relación al cemento)	6.26	-	0.91	-	-

	[11]	6.5		0.62 - 0.88	-			
		-		11.94	-			
	[6]	-		7.43	-	10.3		
		-		7.68	-	11.23		
		-		8.96	-	14.05		
				3.21	-			
	[12]	7.5	adición de cemento	6.48	-			
			adición de cemento	5.18	-			
			adición de cemento	5.83	-	0.91-14.05		
TAPIAL	[3]	40		0.55			66.6	31.2
	[7]	-		6.23				
	[8]	-		0.58	-	-	-	-
	[9]	-		1.5				
		20	con adición de limo 5%	1.20			175	
		10	con adición de limo 3% + cenizas volantes 28%	1.30			-	
		7	con adición de cemento 6% + cenizas volantes 12% + ceniza de fondo 18%	2.50			118	
		65	con adición de cemento 10%	3.10			-	
		20	con adición de cemento 6%	3.20			801	
		15	con adición de cemento 20%	3.30			-	
		20	con adición de limo 4% + cemento 4%	4.80			355	
		11.6	con Adición de cemento 6%	4.90			-	
	[10]	8	con adición de cenizas volantes 5% + residuo de carburo de calcio 7%	5.20	-	-	-	-
		15	con adición de cemento 10%	5.20			740	
		20	cemento 10% + cenizas volantes 5%	5.30			-	
		15	con adición de cemento 10%	5.40			-	
		14.2	con adición de cemento 7% + residuos fibras textiles de neumáticos	6.20			416	
		10	con adición de cemento 10%	6.50			-	
		10	con adición de cemento 10%	7.40			-	
	20	con adición de cemento 8%	9.40			1166		
	20	con adición de cemento 7%	10.00			-		
	20	con adición de cemento 8%	11.10			7500		

[1]: Catalán et al. (2019); [2]: Molina y Becerra (2020); [3]: Yamin et al. (2020); [4]: Briceño et al (2021); [5]: Bolaños (2016); [6]: Cuitiño et al. (2020); [7]: Vivek et al. (2022); [8]: Castillo et al. (2018), [9]: Villanueva; Isela (2022), [10]: Ávila et al. (2022); [11]: Lahdili et al. (2022); [12]: Zenteno (2019)

De igual manera se presenta la figura 2, la cual permite identificar patrones significativos que de cómo se desarrolla la resistencia a la compresión según el tipo de material, la misma que representa una propiedad fundamental para los ingenieros en la etapa de diseño estructural.

Durante la investigación se encontró una limitación en la disponibilidad de datos específicos sobre las propiedades de la quincha o bahareque. A pesar de realizar una búsqueda bibliográfica y la consulta de varias fuentes especializadas, no se pudo acceder a una cantidad suficiente de información para incluir en el análisis.

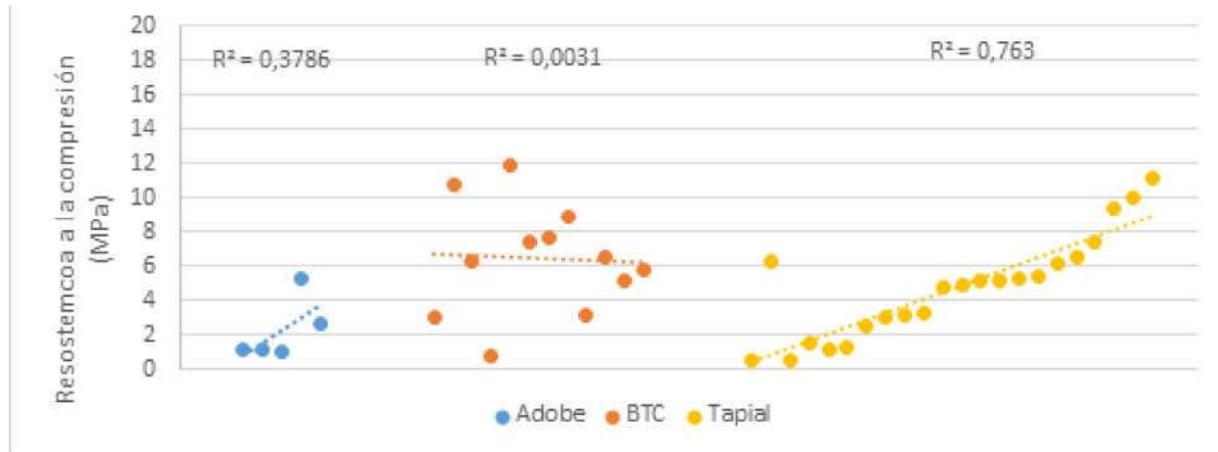


Figura 2. Resistencia a la compresión según el sistema constructivo

## 4.2 Propiedades térmicas

A continuación, la tabla 3 presenta las propiedades térmicas de los sistemas constructivos de este estudio de investigación.

Tabla 3. Propiedades térmicas

Sistema	Autor	Observaciones	Esesor (cm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/mK)	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Resistencia térmica (m <sup>2</sup> K/W)	Tiempo de retardo térmico (h:min)
Adobe	[1]		-	1600	0.95	-	-	
			-	1600	0.81	-	-	
			25	-	-	-	1.71	-
	[2]		48	1650	0.82	1.71	0.59	-
			27	1200	0.46	1.7	0.59	-
	[3]		12	750	0.2	1.67	0.6	-
		Adobe + totora	42	-	-	-	1.09	-
Quincha	[1]		9	400	-	2.64	-	-
			-	1289	0.17	-	-	-
			15	1900	-	1.69	-	-
			7	600	-	2.32	-	-
			30	-	-	1.9	-	-
			-	2000	1.2	-	-	-
	[4]		-	600-800	-	0.10-0.45	-	-
			10	-	0.17	1.7	0.59	-
baharaque	[5]	control	7	-	-	-	-	04:55
		con fibra	7	-	-	-	-	04:25
		con gravilla	7	-	-	-	-	04:35
		con poliestireno	7	-	-	-	-	05:00

BTC	[1]	con cemento	14	1449-2200	0.26-0.93	0.85-2.84	-	-
		con cemento + cascarilla de arroz	14	-	-	-	-	-
		con cemento + bagazo de caña	14	-	-	-	-	-
		con cemento + viruta de madera	14	-	-	-	-	-
	[6]		14	1625	0.79	2.84	-	-
			29	-	-	1.84	-	-
			14	1700	-	1.53	-	-
			15	-	-	2.77	-	-
			-	1750	0.93	-	-	-
			-	1700	0.81	-	-	-
	-	1700-2200	0.81-0.93	-	-	-		
Tapial	[7]		-	-	0.5	0.85	-	-
	[8]		35	-	0.6	1.71	0.58	-

[1]: Cuitiño et al, (2020); [2]: Banderas (2015); [3]: Wieser et al. (2020); [4]: Moreira; Chávzfz, (2015).; [5]: Roux-Gutiérrez (2018); [6]: Zenteno (2019); [7]: Cejudo (2013); [8]: Neila (2013)

En la Figura 3 se destaca la tendencia de la transmitancia térmica según el tipo de método constructivo con tierra. Esta propiedad permite contribuir a la creación de espacios confortables, reducir la dependencia de sistemas de calefacción o refrigeración, lograr una eficiencia energética óptima en los diseños arquitectónicos, y promover la sostenibilidad en la industria de la construcción.



Figura 3. Transmitancia térmica según el sistema constructivo

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

La falta de datos evidencia una necesidad de futuras investigaciones, con el fin de ampliar el conocimiento hacia este tipo de sistemas constructivos. Además, se destaca la variabilidad en los resultados atribuidos a la utilización de diferentes métodos experimentales, así como a las diversas condiciones en las que se realizaron los ensayos. Estas consideraciones subrayan la importancia de seguir investigando y estandarizando los métodos de prueba y las condiciones experimentales en el estudio de las propiedades de los sistemas constructivos de tierra, lo que permitirá obtener resultados más consistentes y confiables.

### 5.1 En cuanto a propiedades mecánicas

Al comparar los valores de resistencia mecánica correspondientes a los sistemas constructivos de adobe, quincha/bahareque, tapial y BTC (conforme se detalla en la tabla 2), con los de materiales industrializados, cómo el hormigón o el acero, se observa que los

sistemas de tierra poseen magnitudes inferiores. Sin embargo, el uso de la tierra es seguro siempre y cuando se utilicen técnicas de construcción adecuadas; como la incorporación de refuerzos estructurales de bambú o mallas metálicas, y la implementación de técnicas de compactación y estabilización que mejoren la resistencia sísmica de las construcciones de tierra.

Dentro de la mayoría de los estudios se proponen diversas maneras de mejorar las propiedades mecánicas de la construcción con tierra a través de la adición de diferentes estabilizantes químicos como: residuos de carburo de calcio, ceniza volante, escoria granulada molida de alto horno (GGBS) y cemento. También existen otras opciones, con menor impacto ambiental, tales como: vástago de plátano, cascarilla de arroz, bagazo de caño y viruta de madera.

La norma E080-Adobe (2017), indica un requerimiento de resistencia a la compresión para los bloques de adobe mayor a 1.2 MPa. Se sabe que una vivienda de uno o dos pisos pueden llegar a tener empujes por carga gravitacional de aproximadamente 0.1 a 2 MPa (Moreira; Chávez, 2015), En este sentido, el BTC y adobe podrían funcionar en propuestas estructurales de pocos pisos.

En la Norma NEC SE Vivienda (2014), el apartado 3.3.1. indica que en las edificaciones de tierra deben tener continuidad vertical en los muros, para que no se acumulen esfuerzos sísmicos. Esta reglamentación recomienda que se limiten estas construcciones a un solo piso y referencia a la Norma E.080 (2017), del Perú, para el caso del adobe y el tapial. En el caso de la quincha se establece que “preferentemente estas edificaciones deben tener máximo dos pisos” (NEC, 2015, p. 60).

Programas intensivos de investigación desarrollados en Perú han determinado varias técnicas aplicables para edificar y reforzar edificaciones de adobe de forma que sean sismorresistentes. Estos se resumen en: sistemas internos de refuerzo (inyecciones de mortero, refuerzo de las juntas entre hileras de adobes) y sistemas externos de refuerzo (mallas de caña y cuerdas, enjaulado de muros con columnas y vigas de madera, enmallado de acero y recubrimientos de ferrocemento, uso de tensores de acero, mallas de polímeros etc. (Parisi et al., 2021).

## 5.2 En cuanto a propiedades térmicas

Según la Norma NEC-11 Capítulo 13 (2011), un material es considerado como aislante térmico cuando su coeficiente de transmitancia térmica es menor a  $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . El adobe, puede llegar a valores de  $0.67 \text{ W/m}^2\text{K}$ , la quincha y el bahareque, un valor de  $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , y finalmente el BTC y el tapial pueden llegar a valores de  $0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$  en base a la recopilación bibliográfica de este estudio. Ahora bien, otro estudio realizado por Cuitiño et al. (2020), mencionan valores máximos recomendados entre  $0.45\text{-}0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$  para garantizar confort higrotérmico. Los materiales de tierra se acercan notablemente, destacando que variables como el espesor y la densidad influye significativamente en los valores de transmitancia térmica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, M. H.; Jaafar, M. S.; Razak, S. A. (2016). Thermal performance of earth buildings: a review. *Energy and Buildings*, 128, 860-869.

Ávila, F.; Puertas, E.; Gallego, R. (2022). Characterization of the mechanical and physical properties of stabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 1-10.

Banderas, F. (2015). Utilización de un sistema constructivo con aislante térmico vegetal en viviendas de interés social rural en la región andina del Ecuador Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Bolaños, J. (2016). Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compacto con adición de goma de tuna. Repositorio Institucional UPN. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10482> [06/09/2023]

- Briceño, C.; Noel, M. F.; Chácará, C.; Aguillar, R. (2021). Integration of non-destructive testing, numerical simulations, and simplified analytical tools for assessing the structural performance of historical adobe buildings. *Construction and Building Materials* 290 (5)
- Castillo, W. A.; Palma, G.A.; Moncayo, H. C. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia), *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 24, pp. 77-88, julio diciembre, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3816>
- Catalán Quiroz, P.; Moreno Martínez, J. Y.; Arroyo Matus, R. Galván, A. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria* 29, e1861. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/2007-9621-au-29-e1861.pdf> [03/09/2023]
- Catalán, R. (2018). Construcción con tierra. Reinterpretación de una tradición. Universidad Politécnica de Madrid, p.12. Recuperado de [https://oa.upm.es/51489/1/TFG\\_Catalan\\_Diez\\_Raquel.pdf](https://oa.upm.es/51489/1/TFG_Catalan_Diez_Raquel.pdf) . [03/09/2023]
- Cejudo, D. (2013). Cap. 27 – Sistemas constructivos I: tapial. *Arquitectura popular Manchega*. Recuperado de: <https://www.arquitecturapopularmanchega.es/2013/06/cap27-sistemas-constructivos-i-tapial.html> [07/09/2023]
- Cisneros, J. M.; Suárez, F. (2018). Análisis comparativo de propiedades térmicas de paredes de adobe y concreto en la ciudad de Loja. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*, 17(1), 11-22. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-03082020000100138&script=sci\\_arttext&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-03082020000100138&script=sci_arttext&lng=es) . [03/09/2023]
- Cuitiño Rosales, M. G; Rotondaro, R.; Esteves, A. (2020). Análisis comparativo de aspectos térmicos y resistencias mecánicas de los materiales y los elementos de la construcción con tierra. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1). 138- 151. <https://revistadearquitectura.ucatolica.edu.co/article/view/2348>
- Elahjji, A.; Chaaba, A. (2014). Study of the influence of compactness and moisture on the mechanical properties of Moroccan rammed earth. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 363-371. [03/09/2023]
- García, A.; Monedero, J.; Marín, P. (2019). *Earth construction: from traditional to modern*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92798-1>
- Khan, M. S. Zain, M. F. M. Hussain, M. (2019). Thermal properties of building materials with earth construction: A review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(1), 70-79.
- Kibert, C. (2016). *Sustainable construction green building design and delivery*. Recuperado de: [https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2xgWCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=info:6dgFAEN26wsJ:scholar.google.com&ots=G90odLf6tv&sig=I4GYB5pksRA\\_qdl-gH030Eyy8Rk&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=2xgWCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=info:6dgFAEN26wsJ:scholar.google.com&ots=G90odLf6tv&sig=I4GYB5pksRA_qdl-gH030Eyy8Rk&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- Lahdili, M.; El Abbassi, F.-E.; Sakami, S.; Aamouche, A. Mechanical and thermal behavior of compressed earth bricks reinforced with lime and coal aggregates. *Buildings* 2022, 12, 1730. <https://doi.org/10.3390/buildings12101730>
- Lapunzina, E. (1995). *Arquitectura vernácula latinoamericana*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Lashkarara, S.; Singh, S. K. (2015). Thermal properties of stabilized adobe bricks. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(3), 259-264.
- López, D.; López, C. (2015). *Manual de construcción en tierra: bloque de tierra comprimida (BTC)*. Universidad de Granada.
- Minke, G. (2006). *Manual de construcción en tierra: tierra cruda, tapial y adobes*. Editorial Gustavo Gili.
- Minke, G. (2014). *Manual de construcción con tierra*. Ediciones Naturaleza y Arquitectura.
- Molina, D.; Becerra, J. (2020). La tierra como material de construcción, propiedades y estabilizantes. Universidad Santo Tomás. Recuperado de: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30482?show=full>. [03/09/2023]
- Moreira, A.; Chávez, J., (2015). La quincha como recurso de la materialidad para la construcción de viviendas bioclimáticas. Universidad San Gregorio de Portoviejo.

- Neila, J. (2013). Las casas de nueva Granada. Sostenibilidad. Recuperado de: <https://sostenibilidadjavierneila.blogspot.com/2013/>. [07/09/2023]
- Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>
- Norma NEC-11 Capítulo 10 (2015). Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Norma NEC-SE-VIVIENDA (2014). Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
- Parisi, F.; Blondet, M.; Charleson, A.; Varum, H. (2021). Seismic strengthening techniques for adobe Construction. *Bulding*, p. 183-209.
- Roux-Gutiérrez, R. S. (2018). Bahareque y su Inercia térmica para muros de viviendas de interés social. *Revista Legado de Arquitectura y diseño*, 23, p. 25-39.
- Vargas-Machuca, C. (2019a). El patrimonio de la construcción en tierra cruda en Colombia. *Investigaciones antropológicas*, 13(2), 91-105. Disponible en: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion\\_antropologica/article/view/11048/8722](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/investigacion_antropologica/article/view/11048/8722)
- Vargas-Machuca, J. C. (2019b). Caracterización de materiales de tierra cruda para su aplicación en construcción de edificaciones sostenibles. *Revista científica agroecosistemas*, 7(1), 27-36.
- Villanueva, S.; Isela, C. (2022). Influencia de las fibras de las hojas de bambú en la resistencia a la compresión en muros de tapiales distrito de Rupa Rupa – Leoncio Prado Huánuco – 2022. Huanuco: Universidad de Huanuco.
- Vivek N. A.; Kumar P. P.; Reddy H. M. (2022). Experimental study on long-term strength and performance of rammed earth stabilized with mineral admixtures. *El-Cezerî Journal of Science and Engineering*, 9 (3); 1136-1148.
- Wieser, M.; Rodriguez-Larraín, S.; Onnis, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduña, Puno, Perú. *Estoa*, 10(19) 9-19.
- Yamin, L.; Bernal, C.; Reyes, J.; Valencia, D. (2020). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *APUNTES*, pp. 286-377.
- Zenteno, J. (2019). Comportamiento térmico y energético del bloque de tierra compactada (BTC). Cuenca: Universidad de Cuenca.

## AUTORES

Bryan Guerrero, ingeniero de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Central del Ecuador ha participado en diferentes talleres de construcción con materiales de tierra y fardos de paja.

Paulina Viera, ingeniera civil y magister en ingeniería estructural sismorresistente por la Universidad Técnica de Ambato. Doctorante en Ingeniería de la Construcción por la Universitat Politècnica de Valencia. Docente de la Universidad Central del Ecuador.

Génesis Pacheco, egresada de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Central del Ecuador, ha participado en construcciones sustentables con fardos de paja y tierra. Actualmente investiga metodologías de modelación estructural para muros portantes de paja.