

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

**Revisión sistémica sobre estabilizadores utilizados en adobe tradicional y
adobe estabilizados. Acercamiento a la eficiencia de los materiales
alternativos utilizados**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Arquitecto

Autor:

Jonathan Geovanny Sarmiento Tenesaca

Director:

Juan Fernando Hidalgo Cordero

ORCID:  0000-0002-2334-9569

Cuenca, Ecuador

2023-06-30

Resumen

Las investigaciones relacionadas con los estabilizadores en adobes son múltiples, a nivel local el uso de adobes en la construcción data de algunas décadas atrás, sin embargo, su uso se redujo en los últimos años por lo que se considera necesario su fortalecimiento en el entorno local. El estudio se desarrolló tomando en consideración diferentes tipos de composición de tierra y agregados vegetales, así como el proceso de compactación, para la determinación de la resistencia a la compresión, el objetivo fue determinar el tipo de estabilizadores, materiales y ensayos son apropiados para optimizar el sistema constructivo del adobe. Para el análisis de la información sobre la capacidad de los estabilizadores del adobe se realizó la búsqueda en libros, artículos científicos, revistas indexadas y otros trabajos similares en plataformas digitales como Science Direct, IEEE y Google Académico, para lo cual se recopilaron treinta autores que cumplieron con los criterios de análisis y de comparación. Evidenciando que las investigaciones realizadas y los ensayos de estabilizadores en adobe destacan que mejora la resistencia a la compresión, porque presentan mayores valores de resistencia a la compresión en adobes estabilizados que los adobes tradicionales, en especial con el empleo de cemento Portland tipo I.

Palabras clave: material de construcción, bloques de tierra, construcción tradicional



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Research related to adobe stabilizers is extensive; however, at the local level, the use of adobe in construction dates back several decades; however, its use has been reduced in recent years, which is why it is considered necessary to strengthen it in the local environment. The study was developed taking into consideration different types of composition of soil and vegetal aggregates, as well as the compaction process, for the determination of the compressive strength, with the objective of determining the type of stabilizers, materials and tests that are appropriate for optimize the construction system of adobe. For the analysis of the information on the capacity of the adobe stabilizers, a search was carried out in books, scientific articles, indexed journals, and other similar works on digital platforms such as ScienceDirect, IEEE and Google Scholar, for which thirty authors who met the criteria were collected. with the analysis and comparison criteria. Evidencing that the investigations carried out and the tests of stabilizers in adobe highlight that it improves the resistance to compression, because they present higher values of resistance to compression in stabilized adobes than traditional adobes, especially with the use of Portland type I cement.

Keywords: building material, earth blocks, traditional construction



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción.....	12
Problema y justificación	16
Objetivos	21
Objetivo general	21
Objetivos específicos	21
Capítulo I.....	22
Identificación de los aspectos generales de los sistemas constructivos de tierra y capacidad de los estabilizadores	22
1.1. Los sistemas de construcción con tierra	22
1.1.1. Tapia o tierra apisonada	23
1.1.2. Bahareque.....	24
1.1.3. Adobe	25
1.2. El adobe en los sistemas de construcción	26
1.2.2. Uso del adobe en la construcción moderna	29
1.3. Proceso de elaboración del adobe	32
1.4. Tipos de Adobe	34
1.5.1. Adobes no estabilizados	36
1.4.2. Bloques de tierra estabilizada	39
1.5. Composición y dosificación del adobe tradicional.....	40
1.6. Comportamiento sísmico de los diferentes tipos de adobe	41
1.7. Consideraciones generales de los estabilizadores del adobe	42
1.8. Tipo de estabilizadores de adobe	43
1.8.1. Estabilización física.....	43
1.8.2. Estabilización mecánica	44
1.8.3. Estabilización química	45
1.8.4. Estabilización orgánica	45
1.9. Capacidad de materiales estabilizadores	46
1.9.1. Según el origen natural.....	46
1.9.2. Según el origen mineral.....	48

1.9.3. Según el origen sintético	49
1.10. Ventajas y desventajas en el uso constructivo del adobe	51
Capítulo II.....	54
Revisión sistémica sobre ensayos de estabilizadores utilizados en el adobe	54
2.1. Análisis de los estabilizadores	54
2.1.1. Autores: Roux y Olivares (2002)	54
2.2.2. Autores: Guettala et al. (2005)	56
2.2.3. Autores: Useche y Durán (2006)	57
2.2.4. Autores: Rodríguez y Saroza (2006)	60
2.2.5. Autores: Morales et al., (2007)	65
2.2.6. Autores: Algara et al., (2012)	65
2.2.7. Autores: Roux y Guerrero (2012)	67
2.2.8. Autores: Rodríguez et al. (2014)	69
2.2.9. Autores: Nagaraj et al., (2014)	70
2.2.10. Autor: Quiteño (2015)	71
2.2.11. Autores: Vásquez et al., (2015)	72
2.2.12. Autores: Vásquez et al., (2015b)	75
2.2.13. Autores: Vilela y Loaiza (2017)	76
2.2.14. Autores: Jaimes et al., (2017)	77
2.2.15. Autor: Danso (2017)	78
2.2.16. Autores: Cañola et al., (2018)	79
2.2.17. Autores: Hossain y Mahmud (2018)	80
2.2.18. Autores: Sekhar y Nayak (2018)	82
2.2.19. Autores: Ureña et al., (2019)	83
2.2.20. Autores: Bailón et al., (2019)	85
2.2.21. Autores: Sánchez et al., (2019)	86
2.2.22. Autores: González et al., (2019)	87

2.2.23.	Autores: Cabrera et al., (2019)	88
2.2.24.	Autores: Gandia et al., (2019).....	89
2.2.25.	Autores: Cabrera et al., (2020)	89
2.2.26.	Autor: Ramírez (2021).....	91
2.2.27.	Autores: Rivera et al., (2021)	92
2.2.28.	Autores: Castrillo et al., (2021)	93
2.2.29.	Autores: Parlato et al., (2021)	94
2.2.30.	Autores: Prasanna et al., (2022)	95
2.2.31.	Autores: Cárdenas et al. (2018).....	96
2.2.32.	Autores: Cárdenas et al. (2020).....	97
Capítulo III.....		98
Análisis estadísticos sobre los ensayos de resistencia a la compresión en el adobe		98
3.1. Resultados revisión estadística estabilizadores del adobe.....		98
Conclusiones.....		106
Recomendaciones		108
Referencias		109

Índice de figuras

Figura 1. Sistemas de construcción con tierra	24
Figura 3. Esquema de ensayo de la normativa CTN 41/SC 10.....	31
Figura 4. Fabricación de adobes de tierra cruda	33
Figura 5. Elaboración de bloques de tierra comprimida	34
Figura 6. Elaboración del adobe no estabilizado	36
Figura 7. Proceso de fabricación del BTCNE.....	38
Figura 8. Bloques de tierra extruida	39
Figura 4. <i>Principales daños en construcciones de adobe</i>	52
Figura 10. Resistencia a la compresión para adobes con y sin compactación y sin agregados ni estabilizadores.....	100
Figura 11. Resistencia a la compresión para adobes con agregados vegetales.....	101
Figura 12. Resistencia a la compresión de adobes con y sin compactación con estabilizadores	102
Figura 12. Resistencia a la compresión de adobes con y sin compactación con agregados vegetales y estabilizadores.....	104

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del adobe	35
Tabla 2. Resultados de la prueba de compresión simple de adobes fabricados con prensa manual e hidráulica.....	55
Tabla 3. Resultados de prueba de resistencia de compresión	57
Tabla 4. Pruebas de materia prima.....	58
Tabla 5. Ensayos de resistencia a la compresión	59
Tabla 6. Características de los estabilizadores utilizados	60
Tabla 7. Estabilizadores y porcentajes utilizados.....	61
Tabla 8. Resultados del ensayo de compactación	62
Tabla 9. Valores de resistencia de compresión simple	63
Tabla 10. Valores medios de absorción capilar.....	64
Tabla 11. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión.....	65
Tabla 12. Resistencia de compresión para adobe tradicional y compactado con abono de caballo.....	66
Tabla 13. Resistencia de compresión para adobe compactado con fibra de Agave lechuguilla (Ixtle).....	67
Tabla 14. Tipos de mezclas con cal y cemento.....	68
Tabla 15. Resultados de pruebas de resistencia de compresión a muestras con cal y cemento	69
Tabla 16. Composición de muestra y resultado compresión simple.....	70
Tabla 17. Resistencia de compresión de las diferentes series	70
Tabla 18. Clasificación de suelos.....	71
Tabla 19. Resultados de las pruebas	72
Tabla 20. Resultados ensayo de resistencia de compresión.....	74
Tabla 21. Resultados ensayo de capilaridad.....	75
Tabla 22. Resultados de las pruebas de compresión	76

Tabla 23. Identificación de grupo a ensayar	77
Tabla 24. Resultados de la prueba de compresión simple	77
Tabla 25. Resistencia a la compresión de adobes de diferentes zonas de Huánuco, Perú .	78
Tabla 26. Resultados de la prueba de compresión en diferentes días de curado	79
Tabla 27. <i>Composición de muestra y resultado compresión simple</i>	80
Tabla 28. Resultados de la prueba de resistencia de compresión en mezclas con suelo dragado del río Brahmaputra.....	81
Tabla 29. Resultados de la prueba de resistencia de compresión en mezclas con suelo dragado del río Meghna.....	81
Tabla 30. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques de arcilla litomárgica estabilizados.	82
Tabla 31. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques lateríticos estabilizados.....	83
Tabla 32. Composición de muestra y resultado	84
Tabla 33. Composición de muestra y resultado compresión simple.....	85
Tabla 34. <i>Composición de muestra y resultado compresión simple</i>	87
Tabla 35. Resistencia a la compresión de adobes de con diferentes fibras vegetales	87
Tabla 36. Ensayos de resistencia de compresión	88
Tabla 37. Resultados de la prueba de compresión	89
Tabla 38. Ensayos de resistencia a la compresión	90
Tabla 39. Resultados de ensayos.....	91
Tabla 40. Resultados de la prueba de compresión simple	92
Tabla 41. Valores promedio de resistencia de compresión	94
Tabla 42. Resultados de la prueba de compresión	95
Tabla 43. Valores de resistencia de compresión.....	96
Tabla 44. Valores de resistencia de compresión en adobes.....	96
Tabla 45. Valores de resistencia de compresión en adobes.....	97

Tabla 46. Estadísticos del análisis de las variables de adobes no compactados y compactados.....	98
Tabla 47. Estadística descriptiva de la resistencia de los adobes de la muestra y resultados para prueba t.....	99
Tabla 48. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados elaborados sin agregados vegetales y estabilizantes.....	100
Tabla 48. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados observados elaborados con agregados vegetales	102
Tabla 48. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados elaborados con estabilizadores	103
Tabla 48. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados con agregados vegetales y estabilizadores	104

Agradecimiento

Agradezco a Dios por la vida y la salud. A Edgar, Elisa, Pablo Andrés, Juan Francisco, Dayana y Sara por su Amor, Fortaleza, Sabiduría, Paciencia y Ejemplo, siendo el motor fundamental para seguir adelante, Agradezco a ellos que son mi familia y a todos mis amigos que estuvieron en el camino de mi carrera, viéndome trascender, gracias por su apoyo.

Introducción

El adobe es un recurso que aprovecha las características físicas de sus componentes, por ende, se convierte en una alternativa para la construcción. Construir con adobe es una de las técnicas más antiguas, pues existen referencias de este material en las grandes civilizaciones del Medio Este como los asirios, babilonios, persas y sumerios; donde se evidencian construcciones con bloques de barro. El sistema de construcción con adobe fue empleado por civilizaciones de la antigüedad, pero la evolución de las construcciones se produjo de acuerdo al desarrollo tecnológico de los establecimientos poblacionales y sociales en los diferentes puntos del planeta (Yamín, 2007).

Existen evidencias en América del Norte, América Central, y, América del Sur del empleo del adobe en las edificaciones. El sistema de construcción con adobe se replicó a espacios de la vida cotidiana entre mediados del siglo XVI y XIX en la región de América Latina, en efecto en los cierres perimetrales de los hogares y propiedades se basan en edificaciones de tierra cruda con aglutinantes como la paja, cuyo secado dependía de la luz solar. El siglo XX estuvo caracterizado por el crecimiento del poder económico de los habitantes de la ciudad, debido a la exportación de cascarilla y sombreros de paja toquilla. Esto se refleja en la antigua casa Ordoñez Mata ubicada en el centro histórico de la ciudad de Cuenca, la misma que se caracteriza por el uso de fachadas renacentistas, con marmoleado en ventanas y arcos de medio punto (Junta de Andalucía de Cuenca, 2007).

Otros de los referentes arquitectónicos se ubican con las edificaciones religiosas, como el caso de la iglesia Nuestra Señora del Carmen actual sector virgen de Bronce cuya construcción se produce a inicios del siglo XX con el uso de paredes de adobe y paja, con una nave única decorada con pinturas murales. En similar apreciación, la casa de la Lira fue otra de la construcción del inicio del siglo XX en la ciudad de Cuenca (Junta de Andalucía de Cuenca, 2007).

Por otra parte, a finales del siglo XX, la concepción del sistema de construcción del adobe se asocia con la pobreza y retraso, por lo que surge una cultura de rechazo a este tipo de edificaciones por la supremacía de otros elementos convencionales para la época que implican mayores costos económicos (Lacoste et al., 2014). Es decir que, en la última década del siglo XX tomó mayor auge la lógica del crecimiento urbano el uso del adobe tenía una connotación de ancestralidad vinculada a que el uso de la tierra como material de construcción era símbolo de pobreza, como resultado se emplearon otros materiales de construcción (García et al., 2016).

Con el paso del tiempo, las construcciones de adobe en Ecuador principalmente en la región sierra son limitadas, puesto que este tipo de edificaciones se enfrentan a condiciones de humedad y exposición a factores atmosféricos que debilitan la infraestructura. En los poblados rurales algunas edificaciones que superan los 50 años presentan fisuras y se encuentran en un estado de abandono. Por ende, las construcciones con bloques de adobe se debilitan dificultando el registro de estas (Lara y Bustamante, 2022).

A nivel regional, como es el caso de Perú se encuentran las edificaciones más antiguas, en las ruinas de Chanchan, que son edificadas con tierra. Por medio de expediciones arqueológicas descubrieron pirámides hechas de adobe dispuestas en grandes bloques de manera horizontal, que con el proceso de erosión se asemejan a prominencias naturales (Rivasplata, 2015).

Las construcciones con adobe comparadas con otras edificaciones muestran menor resistencia versus el ladrillo. Sobre las propiedades fisicoquímicas se observa la resistencia al fuego en comparación con el acero, mientras se destaca la capacidad de regular la temperatura interna en las construcciones debido al espesor que en épocas de calor mantiene la frescura y el calor en temporada de invierno (Ortega, 2017).

Al respecto, el uso del adobe registra varios inconvenientes como baja resistencia a la compresión y menor durabilidad, por las condiciones climáticas como el agua lluvia que produce efectos adversos, sumado a los inadecuados procesos de construcción. Es más, la

excesiva exposición al agua provoca hinchazón en los muros y al secarse causa contracción, que se colapsan por las grietas estructurales y superficiales del barro (Sharma et al., 2016). Por ello se observa la necesidad del uso de estabilizadores naturales o artificiales para mejorar la durabilidad y la resistencia a la compresión, a través de procesos planificados de control de calidad y de la forma de estabilización, en busca de extender las aplicaciones en el sector de la construcción.

En la arquitectura se precisan normas para el uso de los materiales de construcción, en efecto las construcciones alternativas presentan múltiples consideraciones sobre las edificaciones elaboradas con tierra. Sin embargo, los modelos sobre la aplicación del adobe requieren de criterios para fortalecer el ciclo de humectación-secado. A nivel internacional se destaca el marco legal español la normativa CTN 41/SC 10 (2008) que menciona las condiciones técnicas para los bloques de tierra comprimida en muros de edificaciones con tierra cruda, se aborda en un 36% las especificaciones del adobe con especificaciones respecto a la densidad, características de los constituyentes, resistencia a compresión y durabilidad (Cid et al., 2011).

En la actualidad, el uso del adobe en la construcción de Ecuador es limitado debido a la percepción generalizada de que se trata de un material propio de construcciones de baja calidad, así como a la falta de normativas que fomenten su empleo, a pesar de que su utilización puede implicar costos y durabilidad distintos. Sin embargo, es posible mejorar las características de los adobes a través del análisis de diversos estabilizadores.

Los sistemas de construcción en un inicio no contemplaban el uso de estabilizadores, pero con el paso del tiempo se determinó que ciertos materiales pueden mejorar significativamente sus características y durabilidad de las edificaciones siempre y cuando se consideren las condiciones climáticas y de humedad, la calidad del suelo y de los demás materiales (Paredes y De la Cruz, 2017).

Un claro ejemplo se visualiza en la construcción vernácula, donde los muros de adobe que a nivel de las bases tienen una exposición directa a los agentes atmosféricos es la principal

fuelle de degradación en estas construcciones. Además, la ascensión de agua por capilaridad puede producir pérdidas de sección y comprometer su estabilidad produciendo la desintegración. A pesar de esas condiciones persisten edificaciones que en territorios con menor humedad se mantiene presentada disgregación superficial (Gómez, 2018).

En tanto que, el uso de estabilizadores refuerza la composición de los adobes tradicionales, lo que implica que los bloques presentan mejor resistencia a la compresión y por ende se evitan los agrietamientos. Estos aspectos son valorados durante el proceso de secado, traslado y ubicación en la obra.

A todo ello, tanto los adobes estabilizados como los no estabilizados precisan de materiales tienen diferentes propiedades y características que pueden afectar su durabilidad, resistencia y capacidad para soportar cargas estructurales (Rivera, 2012).

Las preguntas centrales del trabajo son ¿La relación de tierra con los distintos estabilizadores del adobe es factible de reproducirlas considerando los ensayos de resistencia de compresión? ¿Las investigaciones realizadas con el uso de estabilizadores son modelos contundentes de adoptar para mejorar la resistencia del adobe? El objetivo central de esta investigación es realizar una revisión sistémica sobre el tipo de estabilizadores y ensayos aplicados en la optimización del sistema constructivo del adobe.

Para lograr lo planteado, la presente investigación se plantea en tres capítulos, en el primer capítulo se identifican los aspectos generales de los sistemas constructivos de tierra y la técnica de construcción de adobe, en el capítulo dos se detalla los estabilizadores del adobe, mientras que en el capítulo tres se presentan los resultados de la revisión sistémica (estadística) de los estabilizadores.

Problema y justificación

En arquitectura convergen varios sistemas de construcción, en el caso de los materiales de construcción alternativos se presentan como una solución sustentable que reduce el impacto ambiental en el proceso de edificación. En particular, se destaca el uso de bloques de tierra como una opción que presenta propiedades físicas y materiales que pueden suplir el uso de otros elementos, destacándose la capacidad para regular la temperatura y humedad en el interior de una construcción, lo que contribuye a reducir los costos de energía asociados con la calefacción y el aire acondicionado (Vásquez et al., 2015)

En efecto, el adobe como material de construcción comprende a bloques de tierra no estabilizada o estabilizada con diferentes materiales ya sean con elementos naturales o industriales; por ende, se busca reducir la escasez de los recursos de construcción al igual que el uso eficiente de desechos de industria siempre y cuando se observen las cantidades necesarias en la elaboración de los bloques. Una condición que no ocurre con el cemento que precisa de un elevado consumo de energía para su producción generando altas emisiones de CO₂ (Poorveekan et al., 2021).

A nivel internacional en el caso de los sistemas de construcción en España, el uso del adobe requiere de especificaciones técnicas, sin embargo, los proyectistas actúan bajo su responsabilidad para la aplicación de elementos de construcción alternativos de calidad (Catalán, 2018). En México, el uso del adobe conlleva la reducción en los costos de fabricación y disponibilidad de elementos; con lo cual se presentan ciertas propiedades mecánicas óptimas para solucionar determinados aspectos como la temperatura. Sin embargo, se reconoce que este material es vulnerable a la humedad y el agua, lo que puede debilitar su estructura y hacer que se desmorone, por lo que su uso depende de las características de la construcción (Hernández, 2016).

En este caso se plantea como alternativa auto construible, no obstante, la aceptación en los sistemas de construcción se torna compleja e incierta respecto a los criterios de composición

en el tipo de adición de la materia orgánica, así como la evaluación de los tipos de estabilizadores (Gama et al., 2012).

Además, se ha identificado que el uso de sistemas alternativos de construcción, como el adobe, contribuye a fomentar la conciencia ambiental sin causar la degradación del paisaje o del territorio. El uso de recursos locales cataloga esta forma de construcción como una condición asequible desde el punto de vista económico, debido a que anexa el uso de recursos naturales y la incidencia solar. No obstante, cabe mencionar que, para el soporte de la estructura en eventos sísmicos, es imprescindible conocer la composición de la compresión y flexibilidad de los bloques de tierra como parte de los criterios en el proceso de fabricación (Roa y Larrota, 2020).

En similar apreciación que otras investigaciones sostienen que dotar de calidad a las construcciones con elementos alternativos se emplean distintos tipos de estabilizadores físicos, químicos y mecánicos con materiales minerales, sintéticos y naturales; por ejemplo: extractos de cabuya, residuos de agave, fibras de coco, cemento, fibra de vidrio, mucílagos, cal, cenizas, cáscara de huevo, arroz, viruta de eucalipto, gel de sábila entre otros estabilizadores. A partir de ello se destaca la necesidad de establecer mecanismos de evaluación de resistencias y elasticidad en el ámbito de la construcción (Paredes y De la Cruz, 2017).

Uno de los puntos de interés en la elaboración de adobe son las dimensiones, las mismas que se rigen por normas técnicas adoptadas por diferentes países. En las Normas Generales de Construcción que es la norma internacional que regula las prácticas de construcción, no se emiten disposiciones sobre las dimensiones de adobe (Organización de las Naciones Unidas, 2016). En tanto que, sobresale la norma E.080 de Perú con relación al diseño y construcción con tierra reforzada, las dimensiones se conciben de tres grupos: a) 10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo, b) 12 cm altura x 25 cm ancho x 50 cm largo y c) 15 cm altura x 30 cm ancho x 60 cm largo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017). En Ecuador las dimensiones varían entre 45-61 cm de longitud, 19,30 de ancho y 10-16 de altura, no

obstante, en las edificaciones del periodo colonial se contaban con dimensiones mayores (Moscoso-Cordero, 2016).

Al analizar el proceso de estabilización en adobe, se determina que las dimensiones antes descritas y las características del suelo son parámetros importantes para la resistencia y durabilidad del material. Siendo necesario establecer criterios técnicos en su producción de este elemento constructivo, para mitigar la vulnerabilidad frente a la humedad y los terremotos. En otras palabras, determinar las condiciones básicas en la composición del adobe implica el desarrollo continuo de estabilizadores como parte de la optimización de los sistemas constructivos (Guerrero L. , 2020).

Si bien la construcción en tierra se presenta como una alternativa sencilla y sostenible, es importante tener en cuenta que estas edificaciones también están expuestas al deterioro provocado por agentes naturales y el envejecimiento de los materiales utilizados en su construcción. En este sentido, surge la necesidad de valorar alternativas de estabilización del adobe las que se sustentan en ensayos enfocados en reducir la contracción, aumentar la densidad y mejorar la conductividad térmica del material, con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas (Gandia et al., 2019).

En concordancia con los criterios citados, se identifica que el sistema de construcción alternativo con adobe se convierte en una opción sostenible en la construcción de edificaciones, sin embargo, como problemática se denota la ausencia de estudios en la eficiencia de consideraciones técnicas sobre los diversos estabilizadores, por tanto, es posible que este tipo de edificaciones sean vulnerables ante la humedad y movimientos telúricos.

Por consiguiente, se plantea una revisión sistémica (estadística) sobre los tipos de estabilizadores, las propiedades del adobe, que permitan a los profesionales en arquitectura, ingeniería civil y constructores en general conocer a través de datos cuantificables las opciones de estabilización de acuerdo a variables identificadas en los diversos documentos científicos levantados sobre el tema.

Ante lo descrito la presente investigación se justifica desde el punto de vista arquitectónico, pues implica una revisión de los criterios de resistencia sobre los bloques de tierra como alternativas de construcción viables. Desde luego se da a conocer que el costo en los materiales es óptimo, de ahí la relevancia para la socialización de este tipo de recursos en la aplicación práctica de la arquitectura.

Desde el punto de vista ambiental, la investigación en mención toma trascendencia porque se incluye elementos del entorno, con lo cual se reduce espacios de contaminación ambiental, de hecho, el sistema de adobes replica el uso de elementos que son resultado de desechos de industrias acoplándose a un ciclo sostenible.

En referencia al ámbito académico, el estudio busca dotar de evidencia científica a los profesionales, arquitectos e ingenieros civiles datos relevantes sobre las características físicas y mecánicas de los estabilizadores del adobe que permita definir las condiciones técnicas particulares y la diferencia que tiene frente a la construcción de hormigón; puesto que normalmente es un trabajo artesanal.

La investigación cobra relevancia al buscar saber si los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión permiten establecer una relación entre los diferentes estabilizadores del adobe y la tierra como sistema de construcción. De manera que, los estabilizadores que constan en los diferentes estudios se convierten en referentes para mejorar la resistencia del adobe.

Por consiguiente, el presente estudio se justifica desde una perspectiva social, ya que interesa en indagar los distintos estabilizadores del adobe cuyo uso es aceptado como alternativa viable y sostenible para la construcción de viviendas y edificaciones. Para lograr esta aceptación, es importante contar con evidencia científica que respalde la eficacia de los estabilizadores en la mejora de las propiedades del adobe en este caso se indaga sobre la resistencia a la compresión.

Desde la perspectiva económica, el análisis de los distintos estabilizadores del adobe se refiere al potencial ahorro de costos que puede resultar de su uso en la construcción de

viviendas y edificaciones. Donde los materiales que aporten resistencia a la compresión generan una mayor durabilidad de las edificaciones y con ello, una menor necesidad de mantenimiento de las construcciones realizadas con este material, posicionándose como una alternativa económica frente a materiales de construcción convencionales.

Objetivos

Objetivo general

Realizar una revisión sistémica sobre el tipo de estabilizadores y ensayos aplicados en la optimización del sistema constructivo del adobe.

Objetivos específicos

- Analizar datos e información sobre la capacidad de los estabilizadores del adobe en libros, artículos científicos, revistas indexadas y otros trabajos similares en plataformas digitales como ScienceDirect, IEEE y Google Académico.
- Seleccionar los documentos con relación a las aproximaciones metodológicas tomando en cuenta los ensayos de resistencia a la compresión.
- Aplicar técnicas de correlación estadística con base a las variables asociadas al estudio, combinando de forma cuantitativa los resultados y hallazgos de los estudios en estimadores sobre la eficacia de los estabilizadores del adobe.

Capítulo I

Identificación de los aspectos generales de los sistemas constructivos de tierra y capacidad de los estabilizadores

La construcción es un sector con importancia significativa en la economía del país y la construcción sustentable es una alternativa, en tiempos modernos que puede suplir las necesidades en vivienda para no comprometer los recursos de las nuevas generaciones.

En el presente capítulo se detallan los aspectos generales de los sistemas constructivos de tierra, así como una aproximación de la evolución histórica de las técnicas tradicionales de construcción con el uso de adobe, como material objeto de investigación.

El adobe es un bloque macizo de tierra compuesta de arcilla, limo y arena sin cocer, el cual puede contener algunos elementos de sujeción interna o también llamados estabilizadores como paja, para incrementar las características mecánicas frente a la acción de factores externos. No todos los suelos pueden ser utilizados para la elaboración de adobe debido a que no presentan la calidad ni composición necesaria para la mezcla por falta de cohesión y plasticidad adecuada. Para la fabricación se usan moldes de madera o acero que pueden ser cónicos, cilíndricos o trapezoidales (Nieto y Tello, 2019).

1.1. Los sistemas de construcción con tierra

La tierra está presente desde las primeras expresiones constructivas del hombre en todas las regiones climáticas. La disponibilidad de materiales, así como las diferentes expresiones culturales crearon técnicas constructivas con uso exclusivo de tierra o en mezcla con materiales de procedencia vegetal, animal y mineral. Para el análisis de las características se puede clasificar en tres grupos las diferentes variedades de construcciones con tierra, las cuales son: a) tierra apisonada o tapia, b) adobe y c) bahareque (Viñuales, 2007).

La arquitectura con tierra está presente en todas partes del mundo, puesto que se trata de una prueba fehaciente de la vida de los pueblos, por lo cual es necesario estudiar las características del material usado, los diferentes aditivos y estabilizadores, para adoptar las mejores prácticas constructivas a favor de las nuevas y antiguas edificaciones.

1.1.1. Tapia o tierra apisonada

A lo largo de la historia, el ser humano utilizó la tierra como material de construcción por su mínimo costo o en algunos casos su costo nulo. Una de las técnicas de construcción difundida en diferentes zonas geográficas es la de tierra apisonada (TA), usando encofrados temporales mediante el apisonamiento de capas de tierra, técnica aplicada en la sostenibilidad ambiental en el manejo de materiales y los procedimientos de construcción. Existen dos criterios para realizar una adecuada compactación: a) Contenido de humedad óptimo (CHO) y b) Densidad seca máxima (DSM), las mismas que se determinan mediante ensayos de compactación Proctor estándar o modificado (Avila et al., 2020).

La técnica de tierra apisonada o tapia es la más antigua y difundida, consiste en la provisión de tierra húmeda o seca, la que se apisona con los pies y a veces para facilitar la compactación se coloca capas de fragmentos de cerámica. Tales rellenos no poseen sistemas de contención de presión interna, por lo que la textura de la tierra empleada varía, en especial en rellenos de volúmenes grandes debido a la utilización de varios bancos de material (Daneels, 2015).

De similar manera las construcciones hechas con tierra apisonada (TA) han resistido el paso de los años y el deterioro, como el caso del Otrar Tobe en Kazajistán, el Moenjodaro en Pakistán, el Ajina Tepa en Tayikistán, la Enorme Muralla Ming en China, y la Preceptoría Medieval de Ambel en España. Por lo tanto, la degradación de la resistencia de la TA debe ser evaluada con cuidado con la finalidad de desarrollar técnicas de remediación o readaptación, ya que los materiales orgánicos y microbianos pueden modificar las características físicas de la tierra usada, a la vez, la exposición al agua y al sol pueden provocar la degradación estructural del material de la TA. No obstante, esta técnica puede aplicarse en inmuebles nuevos de forma sencilla (Yi et al., 2021).

A continuación, en la Figura 1 se presenta a breves rasgos los sistemas de construcción relativos a la tierra apisonada:

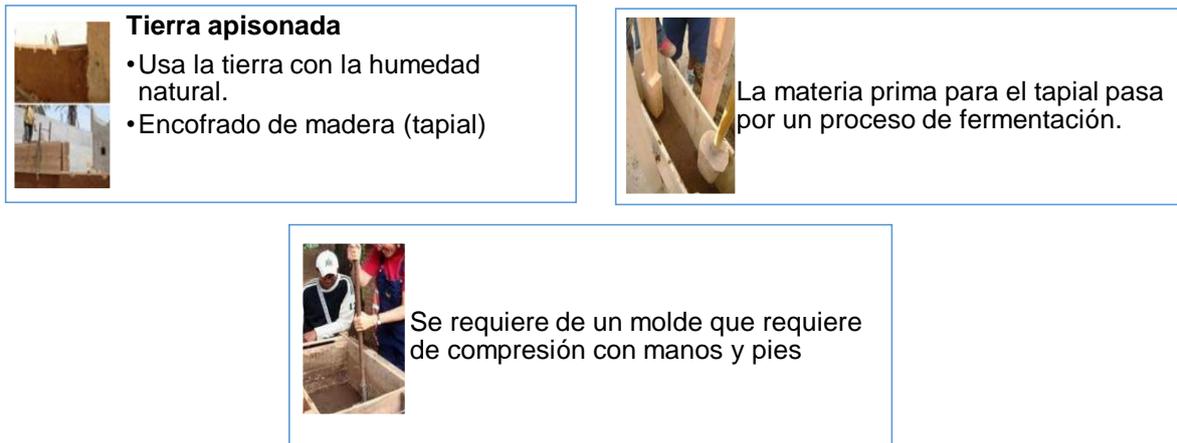


Figura 1. Sistemas de construcción con tierra
Fuente. Recuperado de Hurtado et al. (2018)

En la figura 1 se observan varias técnicas que usan la tierra apisonada, de ello se desprende -que las condiciones de fabricación dependen del tipo de entorno en donde se ejecuten. Entre las principales características se evidencia la aplicación de encofrados de madera que requieren compresión.

Las edificaciones en tierra apisonada, por lo general se construyen por artesanos sin los criterios técnicos adecuados; por consiguiente, los diseños surgen de las experiencias en los sistemas de construcción. Entre los recursos empleados está la paja y madera, para mitigar la vulneración sísmica, sumado a que el secado conlleva mayor grado de rigidez (Afanador et al., 2013).

La tierra es uno de los materiales accesibles y abundantes, que para el uso arquitectónico se recomienda la aplicación de suelos arenosos que presenten una curva granulométrica distribuida de forma uniforme, en caso de no lograr las condiciones adecuadas se añade cal e inclusive material pétreo con dimensiones mínimas (Hernández, 2016).

1.1.2. Bahareque

En este sentido, el Bahareque se define como una técnica tradicional utilizada en varios puntos a nivel mundial, consiste en un enrejado de materiales que se cubre con una mezcla de tierra y elementos orgánicos como paja, hojas secas, y otros. De esto se reconoce buena capacidad de aislamiento térmico y acústico, lo que las hace ideales para climas cálidos y

húmedos. No obstante, se requiere un mantenimiento adecuado para evitar el deterioro y la degradación de la estructura debido a la humedad (Roux y Guerrero, 2012).

En algunos países de origen anglosajón el bahareque se define como *Wattle and Daub*, se refiere a un sistema constructivo compuesto por elementos verticales, comúnmente troncos de árboles, y elementos horizontales de caña, carrizo o ramas que en conjunto forman una malla doble que crea un espacio interior. Luego, en dicho espacio se rellena con barro (Bonilla, 2012).

El método de construcción del bahareque requiere poca experiencia, conocimientos y herramientas básicas en construcción, presenta varias ventajas al ser económicamente viable debido a su bajo costo, por su fácil método de construcción es de beneficio social, reduce el consumo de materiales como el acero y el cemento mitigando el daño medioambiental. A ello, se suma una buena estabilidad y una resistencia sísmica de media a buena, pero la resistencia a la lluvia y al viento es media a baja (Viviendas Ambientales, 2010).

Este sistema, al recurrir a los sistemas de construcción que utilizan tierra se da uso a un material que provoca menor huella ecológica, se manipula sin la necesidad de implementar técnicas sofisticadas de mano de obra. De manera general presenta condiciones aislantes, de inercia y resistencia. Sin embargo, las propiedades mecánicas disminuyen ante la presencia de agentes externos como el viento y la humedad que erosionan las construcciones (Barros y Imhoff, 2010).

1.1.3. Adobe

La dimensión de los bloques de adobe varía según su forma, rectangular (40 cm largo, x 20 ancho x 10 alto) y cuadrado (36 cm largo x 36 cm ancho x 6 cm alto). En tanto que, la composición abarca entre 15-25 % de limos, 10-20 % de arcilla y 55-70 % de arena, se recalca que este tipo de tierra no es empleada para el cultivo. Uno de los puntos fundamentales en la fabricación es la dimensión del adobe, en cuanto a la altura debe superar los 8 cm de alto, 38 cm de ancho (Sandoval, 2021).

Desde tiempos inmemorables el adobe se convirtió en la opción arquitectónica tradicional para encarar los cambios climatológicos, así como los movimientos sísmicos. Ante la presencia de movimientos sísmicos la ductilidad interior de los adobes permite que las estructuras se mantengan estables, además de que al unir los adobes con morteros de tierra aceptan deformaciones sin llegar a agrietarse. Sin embargo, en caso de producirse grietas, éstas se pueden reparar con pocos recursos técnicos y materiales (Guerrero, 2020). Fue utilizado de forma amplia en todo el mundo por la simplicidad en la elaboración, bajo costo, así como por la inercia y aislamiento térmico que lo caracterizan (Idrogo, 2018).

1.2. El adobe en los sistemas de construcción

No existe registro fehaciente de la fecha cuando el hombre empezó a utilizar la tierra como material de construcción, según las construcciones halladas en Turkmenistán (8000 y el 6000 a.C.), se puede decir que se inició la construcción de viviendas con bloques de tierra (adobes) desde hace 9000 años con las primeras comunidades agrícolas entre 12000 y 7000 a.C. Existen varias construcciones hechas con tierra compactada desde hace 10000 años, que perduran hasta el siglo XXI. Por ejemplo, las edificaciones en la cuenca mediterránea de Cartago hechas por los fenicios, el templo Horyuji en Japón en la región del Himalaya y en Shimbam – Yemen, con edificios de hasta 11 pisos (Pacheco-Torga y Jalali, 2011).

De esa forma, la construcción con adobe es una de las más antiguas con referencias de este material en las grandes civilizaciones del Medio Este como los asirios, babilonios, persas y sumerios en donde se evidencian construcciones con bloques de barro (Yamín,2007). También existen evidencias en América del Norte, en el pueblo de Taos en Nuevo México; América Central; y, América del Sur, como es el caso del Perú en donde se encuentran las edificaciones más antiguas (Pacheco-Torga y Jalali, 2011).

En las ruinas de Chanchán, que son consideradas como las construcciones de tierra más antiguas, las expediciones arqueológicas descubrieron pirámides hechas de adobe organizadas en grandes bloques de manera horizontal, hoy en día con el proceso de erosión se asemejan a prominencias naturales (Rivasplata, 2015).

El sistema de construcción con adobe fue empleado por civilizaciones de la antigüedad, pero la evolución de las construcciones se produjo de acuerdo al desarrollo tecnológico de los establecimientos poblacionales y sociales en los diferentes puntos del planeta. Posteriormente surgió la necesidad de construir otro tipo de edificaciones como son de carácter cívico, administrativo y religioso, lo cual lo realizaron en plataformas de dos y tres cuerpos sobrepuestos (Guerrero, 2014).

En la época prehispánica fue común que el basamento, las plataformas y los arranques de los muros fueran hechos con piedras pegadas con barro crudo, las paredes construidas con adobe enlucido con cal y arena pintados con pigmentos minerales, que en muchos lugares permanecen aún intactas pese al pasar del tiempo, elaborados con formas ovoides y semi rectangulares. Los adobes construidos en moldes al parecer provienen desde la conquista española y la incorporación de nuevos elementos constructivos como arcos, bóvedas, cúpulas y contrafuertes.

Durante los siglos XVI al XIX, el método de construcción con adobe se extendió a diversos ámbitos de la vida cotidiana en América Latina. En particular, los muros perimetrales de hogares y propiedades fueron construidos con tierra cruda y aglutinantes como la paja, cuyo proceso de secado se realizaba mediante la exposición a la luz solar. A partir del avance en materiales de construcción, a finales del XX el uso del adobe se limitó debido a las condiciones de fragilidad frente a nuevos materiales como el cemento y el ladrillo (Lacoste et al., 2014).

En la última década del XX, la elección de este tipo de construcciones se fundamentaba por la facilidad para construir muros usando fibras vegetales entre un 10-30 %. En tanto que la funcionalidad consistía en proveer espacios de vivienda a bajo costo, cuya construcción se sujetó a pruebas de ensayo hasta lograr la consistencia y secado esperado por los constructores (Bel et al., 2016).

Las construcciones con adobe comparadas con otros elementos de construcción, muestran menor resistencia versus el ladrillo. Si la edificación se efectúa de forma técnica con la

incorporación de cimientos se incrementa la vida útil en hasta 10 años. Sobre las propiedades fisicoquímicas se observa la resistencia al fuego en comparación con el acero, mientras se destaca la capacidad de regular la temperatura interna en las construcciones debido al espesor que en épocas de calor mantiene la frescura y el calor en temporada de invierno (Ortega, 2017).

En esta misma línea de ideas, el adobe en el sistema de construcción representa un punto accesible en entornos con limitaciones en costos de fabricación. La presencia-mantenimiento de algunos proyectos de construcción motivó a los profesionales en arquitectura a una recopilación de la técnica para aplicarlas desde una perspectiva profesional, con el debate de criterios básicos destinados a la normalización del adobe en edificaciones en proyectos particulares (Rivero, 2007).

El adobe como técnica de construcción responde a una de las concepciones empleadas en la antigüedad cuyo uso se replica en las edificaciones actuales, de esta forma, se obtienen resultados morfológicos que aportan a la armonía de los espacios (Aresta, 2020).

A continuación se presenta los métodos para la construcción de muros con adobe representandos en la figura 2:

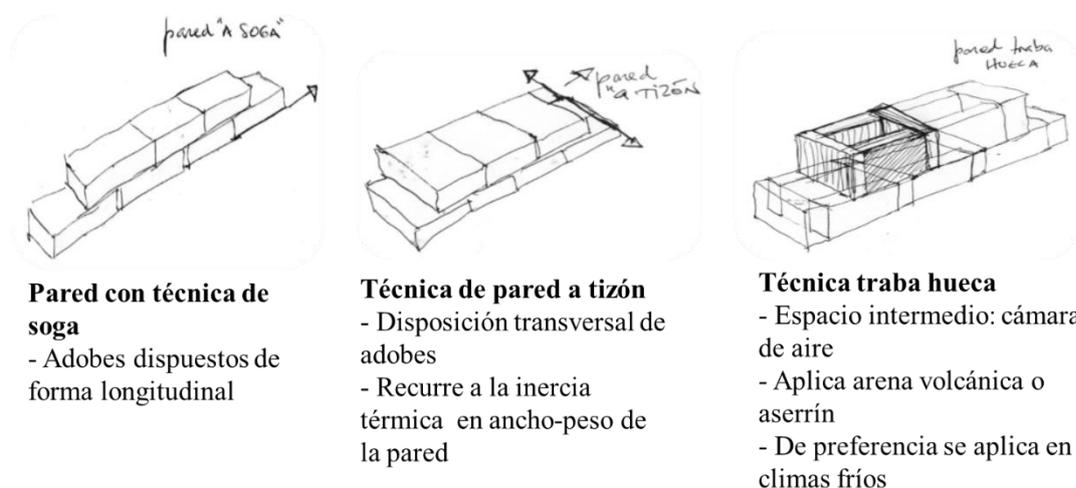


Figura 2. *Sistemas de construcción en la tierra*

Fuente: Adaptado de Aresta (2020)

En la Figura 2 se presentan las técnicas comunes replicadas en el uso del adobe en la construcción, con alusión a la pared con técnica de soga, es pertinente señalar el ancho de

la pared está dada por el ancho del adobe ya que los bloques se disponen de forma longitudinal, por lo general sirve para la división de compartimientos entre estructuras independientes. En relación a la pared a tizón, la disposición de los muros es de utilidad para la edificación de exteriores pues se constituye en un método portante; mientras que la técnica trabahueca implica establecer un espacio que se rellena con materiales naturales livianos.

Las edificaciones con adobe se les reconoce como principal atributo el origen del material con el uso de la tierra, así como la incorporación de elementos del entorno para la disposición de los acabados en la estructura. Junto a ello, el valor estético que apunta a la armonía de los elementos que se incorpora una vez finalizada la edificación. En caso de requerir reforzamiento en la estructura aún prevalece la necesidad de soportes para evitar el colapso de los muros (Díaz, 2011).

A la selección-extracción de los materiales se suma la preparación y modelado del adobe vinculados con componentes orgánicos e inorgánicos como parte del mejoramiento de las propiedades físicas-mecánicas (Rivera, 2012).

1.2.2. Uso del adobe en la construcción moderna

El sector de la construcción moderna es el responsable del 23% al 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero que conllevan el cambio climático, además consume el 40% de la energía a nivel mundial, dado uso de materiales no amigables con el ambiente (Architecture 2030, 2018). Algunos de los materiales de construcción tradicionales registran una huella de carbono casi nula. Pero en la construcción moderna se consideran los materiales tradicionales como primitivos, sumado a las condiciones de la falta de industrialización para su producción y los diseños.

A pesar de lo expuesto, el uso del adobe registra varios inconvenientes como baja resistencia a la compresión y menor durabilidad, considerando las condiciones climáticas como el agua de lluvia que produce efectos adversos en el deterioro de las construcciones, con aspectos como la excesiva exposición al agua provoca que se hinchen los muros y al secarse causa

contracción, que pueden llevar al colapso por las grietas estructurales y superficiales del barro. Por ello estudios han demostrado que es necesario el uso de estabilizadores naturales o artificiales para mejorar la durabilidad y la resistencia a la compresión, a través de procesos planificados, de control de calidad y de la forma de estabilización, en busca de extender las aplicaciones en el sector de la construcción (Sharma et al., 2016).

El uso del adobe en los sistemas de construcción moderna se basa como la reinterpretación de las técnicas tradicionales. La principal funcionalidad consiste en incrementar la resistencia contra vientos, movimientos sísmicos e inclusive la memoria histórica relativa a la producción de este material de construcción. Por consiguiente, se plantea la implementación de aditivos como los contrafuertes, el recubrimiento de barro en los muros para evitar el desprendimiento de polvo, el uso de materiales como base de cal o paja, arcilla y el uso de materiales de cubiertas que impiden la pérdida de la regulación térmica (Hastings y Huerta, 2015).

En arquitectura se precisan de normas para el uso de los materiales de construcción, en efecto las construcciones alternativas presentan múltiples consideraciones sobre las edificaciones elaboradas con tierra, sin embargo, los modelos sobre la aplicación del adobe requieren de criterios para fortalecer el ciclo de humectación-secado. A nivel internacional se destaca el marco legal español la normativa CTN 41/SC 10 (2008) que menciona las condiciones técnicas para los bloques de tierra comprimida en muros en edificaciones con tierra cruda, se aborda en un 36% las especificaciones del adobe con especificaciones respecto a la densidad, características de los constituyentes, resistencia a compresión y durabilidad, de forma adicional se plantean los ensayos para la evaluación por ejemplo el ensayo de erosión (Cid et al., 2011).

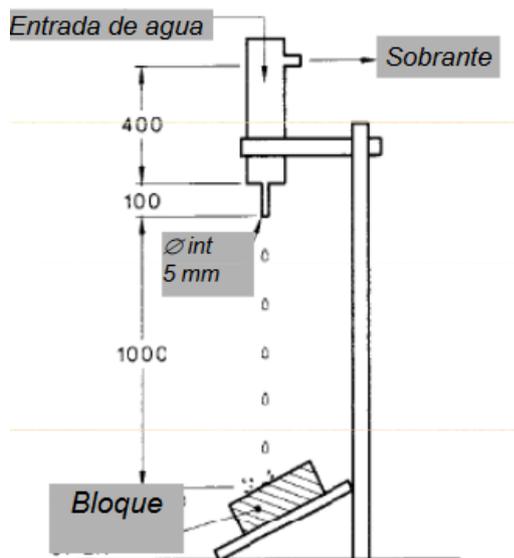


Figura 2. Esquema de ensayo de la normativa CTN 41/SC 10

Fuente. Recuperado de Cid y Cañas (2009, p. 30)

En la figura 3 se destaca el uso de ensayo mediante criterios reconocidos a nivel internacional como punto de referencia para garantizar la calidad del adobe en los sistemas de construcción modernos. Al identificar que la acción del viento provocaba el debilitamiento de las infraestructuras, se recurre al Ensayo de Erosión (SAET) para ello se emplea un bloque curado con las características de la norma CTN 41/SC 10, y se coloca una inclinación en un ángulo de 27 grados con una entrada constante de agua, de tal manera que la profundidad trazada en el elemento representa el nivel de afectación ante la presencia de lluvias.

En el contexto de Latinoamérica, el uso de la Norma E080 (2017) enfocada en el diseño y reconstrucción con tierra reforzada, determina que la construcción con adobe comprende el uso de bloques de tierra arcillosa secada al sol unida con mortero. En el caso del uso del adobe en las construcciones se emplea en las pruebas de campo para conocer la calidad de tierra. En primer lugar, se detalla la cinta de barro que consiste en realizar un cuerpo de 10 cm con 12 mm de diámetro, este producto se deja descolar por cuenta propia si llega a 20-25 cm el cuerpo es arcilloso, caso contrario tiene poca compactación. Como segunda prueba se presenta la resistencia seca que implica la elaboración de cuatro bolitas con la tierra del

espacio a edificar, bajo 48 horas de secado luego de ese periodo se procede a presionar con el dedo índice si se quiebra es preferible buscar otro tipo de material.

El propósito de las normativas técnicas involucra la experimentación previa al inicio de las edificaciones con adobe para seleccionar los compuestos adecuados en el adobe como material de construcción. De manera que el uso de los ensayos busca identificar las posibles falencias en las propiedades físicas-mecánicas que será soportadas con el uso de materiales estabilizadores.

1.3. Proceso de elaboración del adobe

La forma que pueden adoptar los adobes ya sean rectangulares o cuadrados, para lo cual se considera que: i) el adobe cuadrado no debe ser mayor a 40 cm por lado; ii) el adobe rectangular debe tener relación 1:2 ancho-largo; iii) la altura del bloque de adobe oscila entre 8 y 38 cm. Para la elaboración del adobe se deben seguir los siguientes pasos: a) cernir la tierra e hidratarla por mínimo 48 horas; b) secar sobre tendales, que no deben ser pasto, piedra o cemento, debe protegerse del viento y sol; c) el adobe terminado debe estar alejado de otro tipo de materiales que puedan afectar la durabilidad o resistencia (Rázuri, 2020).

En la fabricación de adobes se usa la tierra que se encuentra debajo de la capa orgánica ya que presenta mayor estabilidad, cuenta con la proporción necesaria de arcillas, limos y arenas para la adecuada transformación a material constructivo. Posterior a la extracción de la tierra, se la acomoda para el secado, se tritura para convertirla en polvo, y luego se tamiza para eliminar materiales de diámetro mayor a un centímetro y así asegurar el reparto continuo de las cargas estructurales. La cantidad de agua requerida para la mezcla con la tierra es muy alta ya que los suelos suelen tener alto contenido de arcilla, los que al secarse se retraen y se deforman, produciendo grietas de los adobes que a su vez pueden originar fallas en las cargas y presencia de flora y fauna parásita; razón por la que se agregan estabilizadores para prevenir la retracción, mejorar la resistencia y vulnerabilidad ante la humedad (Guerrero , 2014).

A continuación, se describen de forma detallada el proceso para la elaboración del adobe tradicional, ya que se aduce que esta técnica de construcción no tuvo cambios significativos. No obstante, en el paso 3 se expone la posibilidad de incorporar otros mecanismos para lograr la compresión de los bloques.

- Paso 1: se encuentra el adobe o ladrillo de tierra cruda que consiste en utilizar la tierra como material constructivo, solamente hay que agregar agua a la tierra, alguna fibra natural, formar una mezcla y luego colocarla en un molde. Entonces es posible que las técnicas ancestrales se modifiquen en la elaboración de ladrillos de adobe tecnificado, que es fabricado con maquinaria mecanizada y con la adición de sustancias para mejorar las características originales (Hurtado et al., 2018) tal como se muestra en la figura 2:



Figura 3. Fabricación de adobes de tierra cruda

Fuente: Adaptado de Hurtado et al., (2018)

- Paso 2: con el uso de materiales aparejados por unidades de tierra secadas al sol, los bloques de barro una vez listos se apilan en muros unidos por barro que actúa como mortero de pega.
- Paso 3: se considera el uso de los bloques de tierra con compresión. En este grupo se colocan materiales áridos y cementantes para mayor estabilidad de la mezcla, por lo que se precisa de la ayuda de maquinaria manual o mecánica para facilitar la producción con mayor eficiencia y velocidad, sin embargo, es necesario realizar

ensayos para determinar límites de consistencia y granulometría; conforme lo expuesto en la figura 3 (Hurtado et al., 2018).



Figura 4. *Elaboración de bloques de tierra comprimida*

Fuente: Adaptado de Hurtado et al., (2018)

La figura 5 muestra el uso de la compresión como modalidad en la elaboración de bloques de adobe de forma independiente a los materiales con los que se mezcla el barro, la diferencia con tierra cruda involucra el uso de presión con elementos externos para lograr mayor consistencia.

1.4. Tipos de Adobe

Dependiendo del tipo de suelo y a las modificaciones que se realicen para la fabricación del adobe, éstos se clasifican en (Quiteño, 2015):

Clasificación	Descripción
Adobe tradicional	Elaborados con tierra que mantiene su composición granulométrica natural.
Adobe modificado	Elaborados con suelo cuya composición granulométrica natural ha sido modificada para que sea apropiada en la fabricación de adobes.
Adobe estabilizado	Adobe tradicional o modificado, al que se le incorpora un estabilizante para mejorar las propiedades de la tierra.
Adobes no estabilizados	Se fabrican de forma tradicional, cuya elaboración es a mano y el proceso de secado natural al sol.
Bloques de tierra comprimida no estabilizados	Se compactan de forma manual o mecánica, se conforman con aglutinantes
Bloques de tierra extruida no estabilizada	Se componen de tierra y plástico, cuya elaboración es industrial
Bloque de tierra estabilizada	Fabricados con hormigón y vertidos en moldes

Tabla 1. Clasificación del adobe

Fuente: Adaptado de Quiteño (2015)

La plasticidad de los suelos y particularmente de las arcillas es importante conocer los límites de Atterberg, que permiten determinar la cantidad de agua que se debe mezclar con el material para obtener adobes en buenas condiciones, tales límites están compuestos por: a) límite de plasticidad - LP, b) límite líquido - LL, c) índice de plasticidad - IP y d) distribución granulométrica (Laborel-Préneron et al 2016).

La importancia de analizar los adobes estabilizados y sus estabilizadores radica en la posibilidad de mejorar las características del material y su durabilidad en la construcción. A pesar del uso del adobe por siglos en diferentes culturas, en la actualidad se limita la incorporación en los sistemas de construcción debido al desgaste de este recurso y debilitamiento de las edificaciones. En la siguiente sección, se abordan estabilizadores para los adobes, ya que la aplicación de los estabilizadores mejoraría resistencia y durabilidad generando impactos positivos a nivel económico y ambiental, lo que no ocurre con los adobes que al no ser estabilizados son propensos a fragmentarse.

1.5.1. Adobes no estabilizados

En varios países no industrializados, los adobes son fabricados de manera tradicional a mano y secados al sol, los cuales constituyen elementos de mampostería.

Materiales utilizados: vegetales como aglutinantes, entre ellos: paja, ramas de madera fina, coco, bagazo de caña de azúcar, fibra de agave, hibiscus cannabinus, aserrín, estiércol de vaca, melaza, entre otros.

El proceso de elaboración de forma genérica en primer lugar incluye la delimitación de dimensiones, luego la preparación de la tierra (cernido del material) antes de realizar el barro, luego iniciar con el proceso de hidratación. A partir del barro obtenido se da paso a la fabricación en las dimensiones ya seleccionadas e incluso agregar aditivos de ser el caso, un punto fundamental es que el secado natural de cada bloque que deberá ser lejos del sol y el viento. Al finalizar el proceso, el bloque de adobe no debe contener materias extrañas, grietas ni otros defectos que debiliten a degradar la resistencia o durabilidad (Brito, 2021).

Ventajas y desventajas: pese a que no ofrecen mayor resistencia a largo plazo a los adobes, ayudan a que en el secado se contraigan de forma uniforme (Laborel-Préneron *et al.*, 2016).

Lo más importante para la durabilidad del adobe es la relación arcilla-arena inherente que se encuentra en el suelo empleado para la fabricación. La mezcla tierra con agua constituye el barro que se coloca en moldes de madera, luego se apisona y se nivela a mano. Se saca los adobes y secan en una superficie plana, cubierta de paja o hierba para que los bloques no se peguen. Pasados algunos días los adobes están listos para el curado al aire que toma cerca de cuatro semanas (Babor y Plian, 2010)

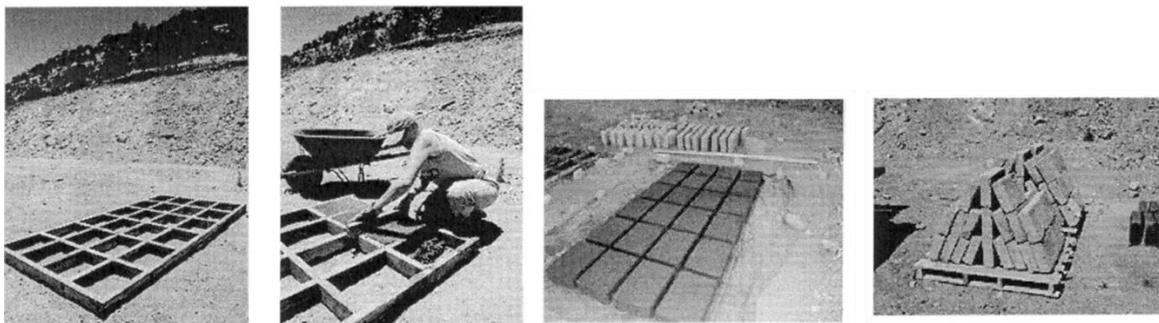


Figura 5. Elaboración del adobe no estabilizado

Fuente: Adaptado de Babor y Plian (2010)

Para la construcción con adobes se usa mortero de barro que es de las mismas características que los adobes, es decir, débil de forma relativa, susceptible a la hinchazón, contracción higroscópica, expansión, contracción térmica y deterioro, por lo que ningún otro material ha tenido éxito en la adhesión del adobe. Existen morteros de cemento y cal, pero son usados en adobes estabilizados ya que no son compatibles con los adobes no estabilizados por los materiales que poseen diferentes tasas de expansión y contracción térmica (Babor y Plian, 2010).

- **Bloques de tierra comprimida no estabilizados (BTCNE)**

Los BTCNE pertenecen a la familia de bloques de adobe, ya que se compactan de forma manual o mecánica, incluyen aglutinantes como lana, paja de cebada, cáñamo, palma, entre otros, mezclados con diferentes tipos de suelos, con la particularidad que los porcentajes de agregados vegetales son altos, favorecidos por la técnica de fabricación al provocar que el comportamiento reológico del material fresco tenga poco efecto (Laborel-Préneron et al., 2016).

Los beneficios de emplear BTCNE en la construcción son: a) disponibilidad de suelo para la fabricación en casi todas las regiones del mundo; b) es barato y asequible; c) de fácil manipulación; d) apto para ser usado como material de revestimiento en edificios; e) resistente al fuego; f) alta capacidad térmica, baja conductividad térmica y porosidad, por lo que es adecuado en temperaturas exteriores extremas y mantener el equilibrio en ambientes interiores; g) bajo consumo de energía en la fabricación (Ararsa, 2020).

El proceso de fabricación de los BTCNE es muy similar que los adobes no estabilizados, solo varía en la compresión del bloque mediante una máquina compactadora manual (Ararsa, 2020).

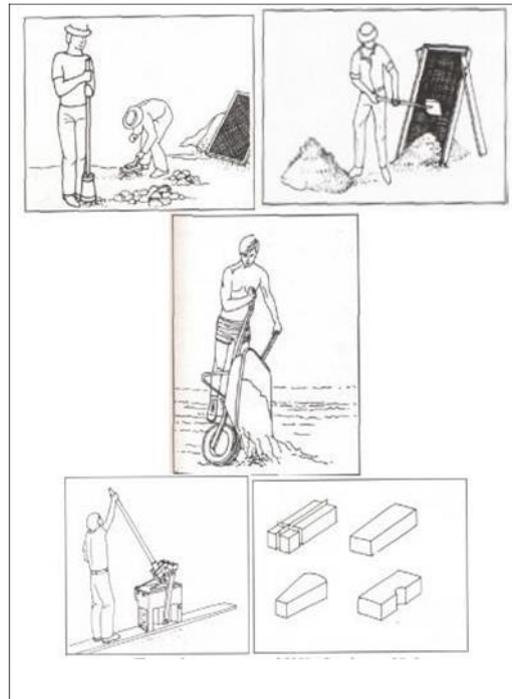


Figura 6. Proceso de fabricación del BTCNE

Fuente: Adaptado de Ararsa (2020)

- **Bloques de tierra extruida no estabilizados (BTENE)**

Los BTENE se fabrican con tierra en estado plástico, son parte de un proceso industrial, pueden presentar perforaciones, y se secan en un horno a 105 grados centígrados. Las fibras vegetales que se agregan a los BTENE son té, aserrín, tabaco, hierba, paja, viruta de madera, y fibra de madera, sin embargo, es preciso considerar que debido a que la mezcla debe ser fluida al pasar por la matriz mecanizada y en la salida de la extrusora, el uso de agregados de fibras vegetales no es muy común (Laborel-Préneron et al., 2016).

La ventaja de realizar la fabricación de bloques de tierra con extrusión es la producción de los bloques rápida, homogénea y de tamaños similares. No existen normas técnicas que regulen la elaboración del BTENE, por lo que la caracterización de este material no es sencilla y más bien se torna compleja. Además, la resistencia a la compresión de los bloques extruidos es anisotrópica (Andrew, 2016)

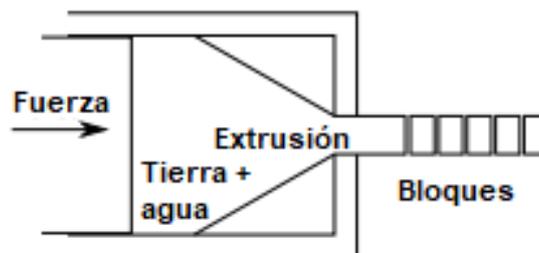


Figura 7. Bloques de tierra extruida

Fuente: Adaptado de (Andrew, 2016)

De acuerdo con Romero (2017) el bloque de tierra extruida se elabora en una pieza de tierra cruda en forma de paralelepípedo rectangular, no obstante, el extruido o secado no cuenta con proceso estandarizado ya que el fabricante será quien establezca las dimensiones que usualmente radican en 29,5 x 14 x 9 cm.

1.4.2. Bloques de tierra estabilizada

Suelen ser fabricados con hormigón por vibro compactación o vertido en moldes. Se agrega a la tierra un estabilizador (que es un aglutinante mineral, polímero, etc.) para mejorar la durabilidad (resistencia al agua) y las propiedades mecánicas del bloque, secándolos al sol por unas cuantas semanas y otros simplemente almacenados. Algunos de los materiales empleados como estabilizadores son cemento, cal, piedra pómez, yeso, basáltico, alginato, ceniza de carbón, polímero de remolacha y tomate, entre otros, (Laborel-Préneron et al., 2016)

El BTE es un compuesto fabricado mediante la compresión o prensado de forma mecánica o hidráulica que aporta propiedades en cuanto a resistencia y durabilidad de este tipo de construcciones (Cabrera et al., 2020).

La condición predominante es la resistencia mecánica, porque presentan un mayor grado de compactación que contribuye a la seguridad estructural de las construcciones, en el caso de los muros los bloques de tierra deben tener criterios resistencia mínima (Bailón et al., 2019)

El uso de elementos naturales representa menor peso mientras que incrementan la rigidez-resistencia comparadas con materiales de otro tipo de procedencia (Cifuentes y Cifuentes, 2019).

1.5. Composición y dosificación del adobe tradicional

El uso de adobe en la construcción requiere de un apoyo técnico, en efecto en la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017) propuesta por el gobierno de Perú se presentan consideraciones para la construcción de edificaciones de adobe reforzado, en ella se considera la relevancia de comprobar las condiciones del suelo con el propósito de garantizar la resistencia de los muros en este proceso se evidencia la resistencia, control de fisuras, cantidad de agua y la dosificación suelo-arena gruesa.

Tomando en cuenta lo anterior, es necesario seleccionar una buena tierra, ya que no todas las capas del suelo pueden ser usadas como material de construcción, debido a la presencia de alto contenido orgánico debilita la estructura. Entonces, en caso de mayor concentración de arena, se proporciona estabilidad ante las variaciones de humedad o temperatura, ante la falta de arcilla registra fragilidad y fácil erosión; mientras que, un suelo arcilloso es adhesivo, pero cuando hay variación de humedad y temperatura incrementa su volumen y provoca agrietamientos; ante ello las recomendaciones se sitúan en promedio de 15 a 20% de arcilla, 20 a 30% de limo, 40 a 60% de arena y de 0 a 10% de grava (Caicedo, 2020).

Se recomienda el uso de tierra areno- arcillosa con poco limo, ya que, con mayores proporciones de arcilla, el Adobe al secarse presenta grietas, mientras que mayores proporciones de arena o limo, disminuye la resistencia a la compresión, es decir, hace que el Adobe carezca de apropiada cohesión interna y se desgrane con facilidad (Achig et al., 2013). Existen diferentes criterios para el establecimiento de porcentajes adecuados para la elaboración del adobe, para efectos de la presente investigación se toma en consideración la norma peruana NTE E 080 (2017), en donde se establecen los porcentajes en volumen para la tierra:

- Arcilla: del 10% al 20%:
- Limo: del 15% al 25%; y,
- Arena: del 55% al 70%.

Además, considera el uso de varias fibras vegetales, estiércol y/o pelos de animal para evitar las grietas; en tanto que la compresión debe situarse entre 2,0 MPa y 2,5 MPa.

1.6. Comportamiento sísmico de los diferentes tipos de adobe

En las diferentes civilizaciones del mundo se pretende preservar las edificaciones históricas que usan el adobe como material constructivo, por el valor cultural que representan. Sin embargo, el adobe presenta un bajo valor de resistencia a la tracción y aceptable resistencia a la compresión, por lo que tales estructuras son capaces de sostener cargas de gravedad, pero son vulnerables a cargas laterales, como se evidenció en los terremotos de El Salvador (2001), Perú (2001), Bam en Irán (2003), China (2008), Chile (2010) y Nepal (2011). Es evidente que muchas de las edificaciones de adobe están construidas en zonas sísmicas, por ello es imprescindible reforzarlas para mantener su integridad (Meybodan et ál., 2019).

Diversos análisis a nivel mundial sobre las características estructurales y reacondicionamiento sísmico de la construcción con adobe discuten sobre el uso en el tiempo, destaca las características y desempeño de las estructuras de mampostería de adobe, así como la contribución en la conservación del patrimonio cultural; el comportamiento sísmico y su reacondicionamiento con base a las características mecánicas del adobe.

En este sentido, las pruebas de campo cuasi-estáticas, con mesa vibratoria de muros y estructuras de mampostería del material, además de ensayos no destructivos y/o destrucción menor, técnicas de fortalecimiento sísmico o modelados numéricos de estructuras de adobe han sido el común de las investigaciones (Figueiredo et al., 2013).

Sobre todo, en las evaluaciones de la mampostería de los edificios se destaca que la rigidez, resistencia e integridad de los muros tienen vital importancia, por lo que cualquier intervención en las construcciones conlleva el reforzamiento de los muros de carga. Existen dos técnicas de reforzamiento (Eslami et al., 2021)

- **De adhesión externa (externally bonded - EB):** a través de un adecuado enlucido, se aplica el material de refuerzo en las superficies externas de los muros.

- **De montaje cercano a la superficie (near-surface-mounted - NSM):** mediante el uso de un mortero de relleno, se inserta el refuerzo en ranuras precortadas, presenta mejor rendimiento que la técnica de adhesión externa porque la intervención es mínima y menores los desprendimientos prematuros.

En similar apreciación, tras analizar el compartimiento sísmico de ayuntamientos de tierra en estructuras con adobe, se plantea que tiene alta vulnerabilidad ante los sismos por el deterioro de los materiales que no ofrecen resistencia a la flexión y esfuerzos de tensión diagonal para el soporte de fuerzas externas. Junto a ello, los factores como la erosión y la desintegración en contacto frecuente con el agua generan el colapso de las estructuras (Ruiz et al., 2017).

Al referir en el contacto sísmico de las construcciones de adobe en Ecuador frente a eventos sísmicos, las afectaciones son severas debido al peso que se acumulan en los muros lo que limita la capacidad de disipar energía. En consecuencia, no es posible la medición de acciones sísmicas máximas, ya que se precisa de la distribución de materiales, organización estructural, tipo de suelo-pendiente, sistema de cubierta, abertura en muros, elementos no estructurales por nombrar algunos (Chacón et al., 2021).

1.7. Consideraciones generales de los estabilizadores del adobe

Existen varios métodos de estabilización de la tierra como físico, bioquímico, mecánico y orgánico, orientados a modificar las propiedades de capacidad de carga, resistencia a la tracción, durabilidad, comportamiento mecánico y sensibilidad a la contracción. El reemplazo de tierra pobre por una de buena calidad es otra de las formas de tener una base fuerte, pese a que existen preocupaciones ambientales por las implicaciones económicas del transporte de grandes cantidades de material y la eliminación de residuos industriales. Otras estrategias para mejorar la tierra comprenden la compactación, precarga, deshidratación, electro ósmosis, congelación geotextil y la columna de piedra (Singh et al., 2021).

Desde el punto de vista de Arista y Aguillón (2018) las pruebas de resistencia de compresión de los bloques de tierra que involucran estabilizadores, se realizan con la aplicación de

aditivos basados en mezcla de materias primas, por lo que el tipo de dosificación dependerá el grado de resistencia de la infraestructura.

Para mejorar las características de resistencia y rendimiento de la tierra y usarla en la construcción, se agregan varios elementos como estabilizadores. Se han identificado cuatro tipos de estabilización: a) por refuerzo, se agregan fibras naturales, sintéticas, artificiales o Nano; b) por impermeabilización, usando albúmina de suero de bovino, pero son escasos en investigación; c) por cementación, usan aglutinantes como cemento, cal y ceniza; además, d) por tratamiento con químicos, que también es de escasa investigación (Danso, 2017).

Los bloques de tierra estabilizada comprimida (BTEC) sustituyen al adobe tradicional, pero lamentablemente el uso de cemento o cal como estabilizadores constituyen un inconveniente ambiental por dos razones: a) la emisión de gases de efecto invernadero, y b) los materiales no están al alcance de todos debido a su costo, por lo que se torna imprescindible buscar opciones naturales y renovables (Rimbarngaye et al., 2021).

1.8. Tipo de estabilizadores de adobe

1.8.1. Estabilización física

La estabilización física corresponde al diseño de la mezcla de tierra con el propósito de optimizar las propiedades físico-mecánicas del bloque a través de una composición granulométrica adecuada, se trata de un sistema de construcción que cuenta con porcentajes de arena (39%) y materiales finos como arcilla y limos (61%) que en promedio soportan 0.673 MPa de resistencia a la compresión (Vázquez et al., 2015).

La modificación de las características de los suelos para otorgarle nuevas propiedades estructurales mediante la utilización de materiales geo sintéticos, constituye la estabilización física. Entre los elementos utilizados están los geotextiles, como el poliéster o polipropileno; las geomallas; estructuras en 3D fabricadas en polipropileno de alta densidad mono y bi orientadas; geomembranas; láminas poliméricas impermeables de Cloruro de Polivinilo (PVC); polietileno de alta o baja densidad (PEAD/PEBD); geo compuesto, elaborado para la estabilización de suelos uniendo el geotextil a una geomalla; las geo celdas, fabricados en

paneles de polietileno o polipropileno muy resistentes para confinar cargas (Rivera et al., 2020)

Para el caso de los adobes, la estabilización física se orienta a mejorar las propiedades físicas del material que constituye los bloques, esto es con una adecuada mezcla de tierras para obtener una óptima composición granulométrica y la adición de fibras. Se parte de un análisis granulométrico por tamizado del suelo, para identificar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas, que es la materia prima para elaborar los adobes aplicando la norma ASTM D-422 que establece el método para definir los porcentajes presentes en el suelo de varios materiales que atraviesan por algunos tamices. Posterior se realiza el cálculo de los límites de Atterberg como son: límite líquido -LL y límite de plasticidad – LP, con base en el procedimiento descrito en la norma ASTM D-4318 (Vásquez et al., 2015).

1.8.2. Estabilización mecánica

Desde la perspectiva de Guerrero (2020) este tipo de estabilización responde a una tendencia en que modifica los procesos de construcción tradicional porque introduce componentes constructivos ajenos al diseño tradicional cuya consecuencia es la pérdida de la sabiduría intrínseca en la elaboración ancestral del adobe a causa de las fuerzas mecánicas de compresión que en la mayoría de los casos responden a maquinaria industrializada.

Para aumentar la resistencia mecánica, la densidad del suelo, disminuir la porosidad y permeabilidad se realiza la compactación estática o dinámica, es decir la estabilización mecánica, con la finalidad de: incrementar la capacidad portante, reducir el asentamiento de las estructuras, controlar las variaciones volumétricas no deseadas, disminuir la permeabilidad al agua e incrementar la estabilidad de los taludes. Entonces, la compactación depende de la gradación del suelo, tipo y de la energía usada, mientras que el grado de compactación tiene relación con el contenido de humedad y el peso unitario seco (Rivera et al., 2020).

Entonces, la estabilización mecánica de adobes corresponde al sometimiento de la mezcla de tierra a compactación mediante una prensa hidráulica para mejorar la resistencia de

compresión (Vásquez et al., 2015). En tanto que la textura o gradación de los suelos depende de los elementos aprisionados de forma óptima que incluye la resistencia mecánica, la baja permeabilidad y la durabilidad (Tripura y Singh, 2014).

1.8.3. Estabilización química

En la estabilización química del suelo se le agregan productos químicos para modificar las características mediante una reacción fisicoquímica o a través de establecer una matriz para unir las partículas del suelo, para obtener mayor resistencia y durabilidad (Rivera et al., 2020). Para el caso de adobes, el primer paso del proceso de estabilización química es ejecutar un estudio de estabilizadores y luego elegir un compuesto óptimo calificado en términos de impacto ambiental producido, elementos reciclados que pueden usarse, costos implicados y mejoras técnicas que se alcance (Vásquez et al., 2015).

La estabilización a través de componentes químicos tecnifica el proceso de elaboración de bloques de tierra cruda, no obstante, deben prevalecer condiciones específicas los productos seleccionados, ya que de una forma u otras se genera impacto ambiental. Así, la estabilización precisa de elementos que modifican la estructura granular para dotar de cohesión en caso de excesiva plasticidad, razón por la cual el agua es un agente que es parte de la optimización (Iñiguez y Guzmán, 2016).

La estabilización es un campo de investigación sobre el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los componentes destinados para la construcción de bloques de tierra, sin embargo, las limitaciones corresponden a un impacto ambiental negativo, razón por la cual insta al análisis de medios de estabilización sostenibles (Alvarez, 2019).

1.8.4. Estabilización orgánica

Los materiales orgánicos se obtienen de fuentes vegetales, como la paja, las hojas de palma, la cascarilla de arroz y la savia de nopal, o de fuentes animales, como el pelo, los excrementos y la sangre. En todo caso, la elección del tipo y cantidad de estabilizante a utilizar en la fabricación de adobes depende de las características del suelo donde se van a ubicar los adobes (Ureña et al., 2019). Así se destacan los siguientes:

- **Estiércol de vaca:** estabilizador orgánico que aporta a cohesión y plasticidad al suelo, reducir la expansión-contracción mejorando la resistencia y dureza.
- **Paja:** fibra de origen vegetal que proporciona resistencia a la tracción, disminuye la densidad y acelera el secado.
- **Savia de nopal:** aporta a la durabilidad frente a agentes externos, dureza y resistencia a la compresión.
- **Sangre animal:** aporta dureza y resistencia al agua (Ureña et al., 2019).

Al respecto, se ejecutaron ensayos obtener sobre la resistencia a la compresión del adobe aplicando estabilizadores orgánicos como estiércol de vaca, sangre de toro, sabia de penca de tuna y paja. Entre lo más significativo, se destaca que la combinación de este tipo de estabilizadores (sangre de toro + estiércol de vaca) aumentó la resistencia de forma significativa en comparación con el adobe artesanal a base de barro y agua (Llunitagsi y Siza, 2017).

1.9. Capacidad de materiales estabilizadores

1.9.1. Según el origen natural

El uso de residuos o fibras naturales son catalogados como materiales apropiados de construcción, la importancia radica en la armadura y el aislamiento térmico-acústico en las edificaciones de adobe, ya que este tipo de productos denotar mayor flexibilidad a diferencia de los materiales procesados a nivel industrial. Al mismo tiempo, denotan la absorción de la humedad exterior, la resistencia mecánica y la conservación de la temperatura en territorios con climas variables (Campoverde, 2017).

Desde este punto de vista, el uso de materiales de origen natural para la estabilización de proyectos de construcción con ladrillos de tierra, de hecho, se recurren a fibras vegetales que al mismo tiempo actúa como impermeabilizante orgánico libres de componentes tóxicos. En este contexto, se enfatiza en la utilidad de la cáscara de arroz que es un subproducto del sector agropecuario de difícil biodegradación por ello se consolida como una alternativa

debido a las propiedades como resistencia, elasticidad, precio accesible y calidad; por todo ello es un producto viable y ecológico (Sánchez y Méndez, 2019).

Las apreciaciones descritas se ejecutan en la investigación efectuada por Paredes y De la Cruz (2017) quienes con el propósito de observar la resistencia en la elaboración de adobe, preparan un estabilizador a bases de para de páramo (10 cm), fibra de coco (10 cm) y cáscara de arroz (sin modificación) distribuidos en una porción de 5, 10, 15 y 20% con relación a la tierra distribuida en una adobera de 20 cm(largo), 15 cm (ancho) y 10 cm (altura) bajo un periodo de remojo de 12 horas. Obtienen como resultado, el producto presenta fisuras ya que la cáscara de coco es pequeña y no aporta con mayor cohesión con la tierra, incluso si se incrementa la mezcla se identificó una reducción en cuanto a la resistencia.

Al referir a la cabuya como parte del grupo de estabilizadores del adobe, Benites (2017) expresa que este tipo de fibra procede de una planta de 2 a 7 metros que una vez extraído debe reposar para activar las propiedades en un periodo de 5- 20 días. En concreto sobre la aplicación de este tipo de producto se toma en consideración la normativa E.080 de Perú, por ello se reemplazó el 50% del agua de mezcla por extracto de la fibra de cabuya con un periodo de secado por tres semanas, en tanto que los resultados demuestran que este tipo de fibra no mejora la resistencia a la compresión, debido a que no existe una aglomeración de las partículas de adobe en cuanto a la porosidad y densificación.

Bajo la concepción de criterios ecológicos y sostenibles, Weill (2021) plantea que la viruta como fragmento material residuos de las industrias maderas tiene una alta funcionalidad en el sector de la construcción. En esta misma tendencia, el aserrín es un estabilizante para la fabricación de adobes, por tanto, se plantean pruebas con productos que mantiene el 20% de este elemento adicionado con agua y tierra contrastadas con –adobes con 0% de aserrín. Por consiguiente, se observa un mayor porcentaje en lo concerniente a la fuerza de compresión con un promedio de 12,96 kg/cm².

1.9.2. Según el origen mineral

En los bloques de tierra con compresión (BTC) se incorporan productos de origen mineral como cemento-arena con la finalidad de proveer mayor estabilidad en las edificaciones, por ello se perfila como un medio eficiente y rápido. Para el uso de estos materiales se precisa de especificaciones técnicas, en el caso de Colombia se contempla la NTC 5324 que mantiene especificaciones sobre porcentajes de composición, dimensiones y texturas (Arteaga y otros, 2011). Entonces, para la aceptación de los bloques no deben presentar fisuras-desportillos, resistencia a la compresión húmeda y la abrasión.

Por parte de Cabrera et al., (2019) la adición de este tipo de componentes transforman al bloque de tierra en BTC como un mampuesto de fábrica empleando prensas mecánicas e hidráulicas que varía conforme a las necesidades de producción. Desde este punto, el uso de la cal es admitido a causa de las propiedades físicas, Calabuig (2015) lo considera como un fino calizo inerte que mejora la resistencia mecánica a corto plazo.

En lo que respecta a la capacidad estabilizadora de los materiales calizos, Quiteño (2015) afirma que la utilización de los materiales de origen mineral depende del tipo del suelo destinado para la construcción, por ello la cal presenta mayor resistencia a la compresión, en una muestra aplicada sobre un bloque de arcilla inorgánica de media plasticidad con 7% de cal se obtiene 13,31 kg/cm² una condición mayor a las muestras aplicadas en arena arcillosa (6,82 kg/cm²).

Para Serrano et al., (2017) dentro de las construcciones sostenibles, el uso de agregados finos es parte de las iniciativas de edificaciones sostenibles, al respecto plantean la observación de eco bloques elaborados con arcilla con yeso en diferentes proporciones en una dimensión de 25 cm x 7 cm x 13 cm sometidos a pruebas de resistencia, como parte de los hallazgos sobre los prototipos se determinó que la incorporación del -yeso mejora la composición de los cuerpos arcillosos con hasta 2.17 MPa, a pesar de ello se considera importante la inclusión de criterios de calidad para el uso de este tipo de recursos.

En este mismo contexto, Martínez et al., (2007) argumentan que los materiales sustitutos del cemento Portland denominadas puzolanas son aglomerantes de origen naturales como elementos portadores de sílice, tal como en el caso de óxidos y ceniza, de forma que la capacidad cementicia presenta aptitudes mecánicas favorables con un 40% de resistencias a la compresión.

Para Alvarado (2019) el material puzolánico se encuentra en yacimientos volcánicos con incidencia del aglomerante cal-puzolana, por ello se aplica en una muestra de bloques con ensayos a compresión, a así obtienen que la capacidad de los bloques de tierra es resistente a los agrietamientos a diferencia de las partes sin este tipo de aditivos. Por otra parte, se plantean dificultades en la asignación de proporciones adecuadas en el caso de construcción de muros portantes.

En suma, Rivera et al., (2020) expresan que, a diferencia de los materiales naturales, las cenizas volantes (CV) son resultado de procesos de explotación minera presentan impactos negativos en el medio ambiente por tanto se plantean otras formas de estabilizadores en el área de la construcción. De tal forma que la capacidad en cuanto al poder de cementación mejor en caso de adicionarse cal o yeso, puesto que generan resistencia fricción proporcionada entre las partículas, una condición necesaria en arcilla arenosa o limosa.

Conforme a los criterios descritos, se infiere que el uso el uso de los estabilizadores contribuye a fortalecer las características mecánicas de los bloques de tierra ya sean estabilizados por prensa mecánicas, hidráulicas o químicas; en realidad, se visualiza que la capacidad tiene relación directa con las proporciones consideradas en la mezcla de tierra.

1.9.3. Según el origen sintético

En vista a los problemas de explotación de recursos naturales en el ámbito de la arquitectura-construcción se contempla la necesidad de desarrollar materiales de construcción resistentes, así los principios de geo polimerización se expande en bloques de arcilla bajo modelos de experimentación. Al referir sobre los geopolímeros se hace alusión a la reacción química que se produce al mezclar aluminosilicatos con activadores alcalinos concentrados con frecuencia

hidróxidos y silicatos salinos que dan origen a una nueva composición geo molecular, con condiciones sobresalientes en cuanto a resistencia mecánica, al fuego y agentes corrosivos (Calderón, 2019).

En la aplicación de materiales sintéticos, Calderón (2018) expone el análisis de materiales de construcción frente a la aplicación de arcilla polimerizada en espacios de construcción con la finalidad de verificar el cumplimiento de estándares mecánicos-ambientales. Para lograr lo planteado, se recurre a diferentes tipos muestras con activadores alcalinos en el proceso de elaboración, por ende, la capacidad resultante involucra un mejor desempeño mecánico bajo una compresión entre 20-30 MPa con 80-90% menos de degradación ambiental que el proceso por cocción.

Otro de los componentes son las resinas acrílicas para Macías (2017) son una respuesta a los problemas de las construcciones con tierra con limitaciones en durabilidad en comparación con elementos como el acero y el hormigón. Del grupo de estabilizadores, las resinas tienen a mejorar los bloques de tierra, debido a los componentes químicos que modifican las unidades poliédricas necesarias la adhesión de componente; el principal aporte corresponde a la impermeabilización siempre y cuando las se agreguen pequeñas cantidades en la mezcla del proceso del adobe.

En el mismo orden de ideas, Arteaga y Loja (2018) quienes investigan el proceso de elaboración de adobe con relación a disminución del comportamiento mecánico del material, recurren a la aplicación de productos asfálticos como mecanismo estabilizador para ello recurren a pruebas de campo-laboratorio con análisis granulométrico, validación del diseño en varias dosis y ensayos. A modo de resultado, se precisa que la capacidad de los componentes asfálticos incrementa las propiedades de compresión, flexión y absorción que denota mayor resistencia que los adobes elaborados de manera tradicional y sin ningún tipo de estabilizadores.

En la literatura también se hace énfasis en el silicato de sodio, en la investigación de González (2014) se enfoca en los estabilizadores comerciales, por ello la solución del vidrio soluble

(silicato de sodio) presenta bajos costos, al mismo tiempo las cantidades requeridas varía entre 0.01% y 1% por peso para una distribución uniforme de la mezcla. En el caso del uso en bloques de tierra, presenta mayores ventajas en arenas arcillosas y arenas limosas, en donde se perfila como un componente estabilizador y evita el crecimiento de hongos. A pesar de lo antes mencionado, el autor afirma la funcionalidad de aplicarlo como recubrimiento superficial mezclado con agua limpia en 1:3 con periodos de secado.

En tanto que el uso del aceite de linaza como estabilizador en construcciones de adobe es replicado en el trabajo ejecutado por Zeas y Benalcázar (2021) en donde se plantea el uso de esta sustancia para mejorar la porosidad del bloque de tierra al igual que la resistencia mecánica. Por ello se propone la incorporación del 1% del peso en aceite en morteros con revestimientos de cal en donde se identificó un leve decrecimiento del diámetro de los poros de tal forma que si se incrementa el porcentaje se incrementa la porosidad, pero se reduce la resistencia, por ello se infiere que la capacidad en cuanto a permeabilidad depende de la cantidad de dosificación.

1.10. Ventajas y desventajas en el uso constructivo del adobe

La tierra al existir en abundancia es uno de los mejores materiales constructivos, pero por las malas interpretaciones lo han dejado en el abandono. Las ventajas se asocian a la abundancia, disponibilidad, bajo costo, es ecológico, no requiere de conocimientos especializados, fácil de trabajar, no necesita procesos de transformación industrial, ahorran energía, constituyen materiales aislantes del sonido, controlan cambios extremos de temperatura, resisten al fuego y permiten la autoconstrucción (Moscoso-Cordero, 2016):

El potencial ecológico de las construcciones con adobe y son parte de las ventajas. El proceso de elaboración con las técnicas ancestrales son mecanismos de transferencia tecnológica de las comunidades para las soluciones constructivas con los recursos del entorno. Además, enfatiza la facilidad para la ejecución, debido a que el mortero de liga contiene un barro de similares características a los bloques de adobe bajo principios de ductilidad, plasticidad 0.0y lentitud de secado que en conjunto permiten la corrección de fallas (Guerrero, 2014).

La principal desventaja del adobe es la penetración del agua, de manera que las estructuras presentan alteraciones en cuanto a la solidez y durabilidad, ya que en algunas ocasiones las lluvias llegan a colapsar las edificaciones (Ramírez, 2016). Entre las principales desventajas se anotan:

- Baja resistencia;
- Ante terremotos es vulnerable;
- Presenta lentitud en el proceso de fabricación;
- Requiere numerosa mano de obra;
- Ante la presencia de agua es propenso a daños

A modo de resumen, se muestran los principales daños en las construcciones de adobe. Las causas se encuentran en color azul, mientras que los daños más comunes se encuentran en color rojo, sin embargo, es posible que existan otros daños con diferente patología expuestos en la figura 4.

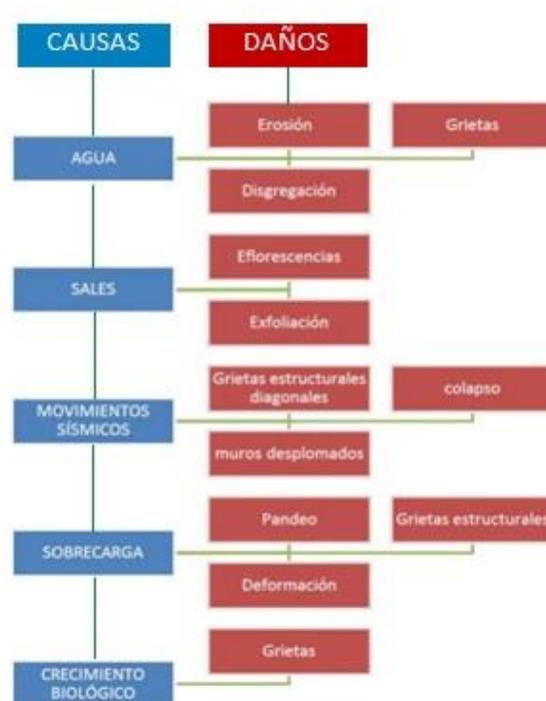


Figura 8. Principales daños en construcciones de adobe

Fuente: Recuperado de Moscoso-Cordero (2016)

Se describen de manera específica las condiciones que alteran las edificaciones construidas con adobe. Las fisuras estructurales disminuyen la rigidez y resistencia de los muros, por tanto, existe mayor predisposición al riesgo de colapso en el caso de terremotos, lo cual debe preverse los puntos de tracción en las mezclas de los morteros (Vargas et al., 2008).

En el marco de ventajas de usos de sistemas de construcción de tierra, se plantea el aporte a construcción económica, sostenible y ecológica, ya que utiliza materiales locales y renovables. Además, las paredes con estos sistemas de construcción tienen una buena capacidad de aislamiento térmico y acústico, lo que las hace ideales para climas cálidos y húmedos (Arista y Aguillón, 2018).

En efecto, las limitaciones de los sistemas de construcción del adobe son las siguientes:

1. Vulnerabilidad al agua: El adobe es muy vulnerable a la lluvia y la humedad, lo que puede causar la descomposición y el colapso de las paredes de adobe. Es importante proteger adecuadamente las paredes de adobe con techos y canales de drenaje para evitar la infiltración de agua.
2. Vulnerabilidad a los terremotos: El adobe es un material frágil y puede sufrir daños durante los terremotos. Las paredes de adobe son más propensas a agrietarse y colapsar en comparación con otros materiales de construcción.
3. Necesidad de mantenimiento: El adobe requiere un mantenimiento regular para evitar el deterioro y la degradación debido a la exposición al sol y al viento. Es importante volver a enlucir y reparar las paredes de adobe periódicamente para mantener su resistencia y estabilidad.
4. Limitaciones en el diseño: El adobe no permite diseños arquitectónicos muy complejos considerando la naturaleza frágil y limitaciones estructurales que posee.

Con lo expuesto, el sistema de construcción de tierra presenta ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta al considerar al momentos de construir con estos sistemas (Guillén, 2016).

Capítulo II

Revisión sistémica sobre ensayos de estabilizadores utilizados en el adobe

En la presente sección se abordarán una serie de estudios donde se ejecutan ensayos de resistencia a la compresión. Para ello, la organización de información se ubicó el nombre de los investigadores, una breve introducción a lo contenidos. Luego, se realiza una descripción del tipo de ensayos y normativa técnica considerada, en investigación analizado se presenta una tabla con información relevante del tema de estudio. Es pertinente acotar que la revisión de literatura tiende a variar en las dimensiones de los adobes y los números de pruebas efectuada, sin embargo, en la mayoría de estudios se ubican las dimensiones 10x10x10.

2.1. Análisis de los estabilizadores

2.1.1. Autores: Roux y Olivares (2002)

En artículo se analiza el adobe como material regional de bajo costo, con la posibilidad de ser utilizado en los muros de carga de viviendas de interés social en el área Metropolitana de Tampico, Madero y Altamira. Dicha mejora es el refuerzo de los adobes estabilizados con cemento Portland tipo I al 6% con diferentes porcentajes de fibra de coco, como material de refuerzo. La fibra de coco es abundante en la zona y presenta mejores características físicas (resistencia a la tensión) y químicas (resistencia a ácidos, sales y álcalis), frente a otras fibras naturales como lo es el caso de la lechuguilla y el bagazo de caña. En la fabricación de los adobes se empleó la prensa CINVA-RAM, de operación manual, y la prensa hidráulica ADOPRESS 2000, marca ITAL-MEX (Roux y Olivares, 2002).

Las pruebas se realizaron de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), a las de la American Association of State Highway and Transportin (AASHTO), a las de la American Society for Testing and Materials (ASTM), las Normas Técnicas de edificación de Adobe Tapial, Ladrillos y Bloques de Suelo-Cemento, del CYTED y las Normas de Clasificación de Terminología (ARS 670, ARS 671, ARS 672 y ARS 673 de 1996), Normas de Elementos Componentes (ARS 674, ARS 675, ARS 676, ARS 677, ARS 678 YARS 678 de 1996) Normas de Fabricación y Ejecución (ARA 680, ARS 681 y ARS 682 de 1996) del Centro Internacional de Construcción de Tierra (Roux y Olivares, 2002).

En lo que concierne a las pruebas de compresión, se obtuvo un total de 9 muestras para la compresión seca con prensa manual y un total de 5 muestras para la compresión de adobes húmedos, con un total de 8 observaciones analizando como la aparición de grietas, hongos, deformación y otros.

Dimensión	Población (%)	Adobes con prensa manual		Adobes con prensa hidráulica	
		Compresión simple seca Ruptura total (MPa)	Compresión simple húmedo Ruptura total (MPa)	Compresión simple seca Ruptura total (MPa)	Compresión simple húmedo Ruptura total (MPa)
30 cm x 25 cm	Sin fibra de coco	2,17	3,05	5,15	3,39
	Con 0,5% de fibra de coco	2,06	1,11	5,23	3,7
	Con 1% de fibra de coco	2,66	1,1	6,31	3,44
	Con 1,5% de fibra de coco	1,59	1,11	3,94	2
	Con 2% de fibra de coco	2,06	2	5,64	3,47
	Con 2,5% de fibra de coco	2,1	1,67	5,25	3,2

Tabla 2. Resultados de la prueba de compresión simple de adobes fabricados con prensa manual e hidráulica

Fuente: Adaptado de (Roux y Olivares, 2002).

En la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba de compresión simple de adobes fabricados con prensa manual e hidráulica realizados por Roux y Olivares (2002), donde los resultados evidencian que los adobes de prensa manual con 1% de fibra de coco tienen mejores resultados frente a la prueba de compresión con el valor más alto de 2,66 MPa, en cambio con 1,5% de fibra de coco la resistencia disminuye a un 1,59%.

De igual manera, los adobes que fueron fabricados con prensa hidráulica muestran una mejor comprensión con 1% de fibra de coco con un valor de 6,31%, siendo el menor con 1,5% de este mismo compuesto donde la comprensión disminuye a 3,94%.

Con los resultados se evidencia que los adobes con 1% de fibra de coco tienen un mayor nivel de comprensión, pero no con 0,5% más dado que la comprensión disminuye de forma significativa. De forma general se evidencia que los valores de comprensión de los adobes con prensa manual oscilan entre 1,59 a 2,66 MPa, en cambio los fabricados con prensa hidráulica van desde 3,94 hasta 6,31 MPa, por lo que se concluye que los adobes con prensa hidráulica tienen mejor comprensión que los de prensa manual.

2.2.2. Autores: Guettala et al. (2005)

Analizaron la estabilización de bloques de tierra mediante cuatro estabilizadores: cemento, cal, cemento más cal y cemento más resina. Se programaron dos tipos de pruebas: una en laboratorio y otra prueba al exterior, exponiendo paredes de bloques de tierra a los agentes climáticos reales. Se seleccionaron muestras de suelo de la región de Biskra, sureste de Argelia, han sido elegidas entre tres suelos diferentes. Las pruebas se realizaron bajo las normas ASTM (Guettala et al., 2005). El suelo está compuesto por caolín (una arcilla no expansiva y no absorbente) y illitas. El cemento empleado es local de marca CPJ 45 bajo la norma AFNOR, en tanto la resina usada fue de marca MEDALATEX, suministrada por Granitex compatible con la mayoría de marca de cementos y cal.

Se realiza el análisis minucioso del suelo para mejorar las propiedades, así como el proceso de mezclado. Los materiales suelo, arena, estabilizador fueron mezclados en seco, y luego se agregó agua. Los bloques se compactaron con una presión de 15 MPa. Las pruebas de resistencia a la comprensión se ejecutaron en la Escuela Nacional de Trabajo Público del Estado (ENTPE), bajo las normas francesas, en este caso se presentan los resultados con los porcentajes de los estabilizadores en peso:

Dimensión: 10x10x10cm	Cemento		Arcilla %		Cemento+arcilla		Cemento+Resina	
	5%	8%	8%	12%	5%+ 3%	8%+4%	5%+50%	8%+50%
Resistencia a la compresión (MPa)	15,4	18,4	15,9	17,8	17,5	21,5	17,2	19,5

Tabla 3. Resultados de prueba de resistencia de compresión

Fuente: Adaptado de (Guettala et al., 2005)

De la tabla 3 se evidencia que la mezcla cemento más arcilla se obtuvo un mayor grado de resistencia, ya que en un bloque de adobe con una dimensión de 10x10x10 cm y una composición de cemento y arcilla (8%+4%) obtuvo 21,5 de resistencia a la compresión, así cuanto mayor sea el valor de resistencia a la compresión, mayor será la capacidad del material para soportar cargas de compresión sin experimentar deformación o fallo del adobe. En contraste, las pruebas efectuadas en el adobe del 5% obtuvo el menor número con MPa, lo que implica que el cemento necesita de otro componente para ser más resistente.

2.2.3. Autores: Useche y Durán (2006)

En el estudio se analiza la producción de adobe estabilizado para la construcción de cerramientos verticales en el Monasterio Yermo Camaldulense Santa María de los Ángeles en Pregonero, Venezuela, en la ruralidad del noreste del Estado de Táchira, a través del marco experimental arquitectónico a escala real y de laboratorio, con técnicas contemporáneas para los sistemas estructurales y de instalaciones, así como la utilización de la máquina CINVA RAM, empleada de forma amplia para la fabricación de bloques de tierra comprimida, se obtuvo adobes eficientes para las condiciones del sitio aplicable a futuros proyectos constructivos (Useche y Durán, 2006).

El procedimiento adoptado fue que una vez tamizada la tierra, se la humedeció y agregó cal y cemento como estabilizadores, así como cascarilla de arroz, paja y otros materiales mineralizados como aligerantes. Se colocó 1,10 m de mezcla en el molde de la prensa CINVA RAM y a través de la aplicación del peso de un obrero se logró compactar el bloque de tierra de dimensiones 0,29 x 0,14 x 0,105 m, para luego colocar los adobes en un sitio seco y techado. Posterior se llevó una muestra al Laboratorio de Componentes Constructivos de la

Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET) para realizarle pruebas de calidad (Useche y Durán, 2006).

No se consideró el tamaño de las partículas del adobe, la resistencia a la compresión se la consideró normal entre 1,96 y 2,55 MPa. Las pruebas de módulo de ruptura se establecieron nulas para los cálculos estructurales. La absorción de humedad para adobes estabilizados se consideró normal entre 2 y 4 % del peso, aspecto determinante por la actuación de los factores climáticos en la duración y comportamiento de los adobes por la humedad en el sitio que se encuentra entre el 85 y 90%, así como el efecto del evo transpiración por la presencia cercana de la represa Uribante-Caparo, que incrementa la proliferación de microorganismos. También es necesario aprovechar las cualidades de termo masa del material para crear microclimas al interior de la construcción (Useche y Durán, 2006).

Las pruebas de laboratorio de la materia prima identificaron la presencia de lutitas de comportamiento arcilloso de adecuado nivel de plasticidad, firme y sin expansividad para adobes como se evidencia en la tabla 4:

Muestra	Pruebas	Resultados promedio	Observaciones
Tierra arcillosa	Sedimentación		
	Límite Plástico Límite Líquido	Índice de Plasticidad = 20 a 26	No presenta expansividad, firme
	Colorimetría	Amarillo claro	No existe material orgánico nocivo
Arena	Granulometría	Buena	Aceptable y óptima para usarla como agregado tanto para fabricación de adobe como como mezcla de concreto

Tabla 4. Pruebas de materia prima

Fuente: Adaptado de Useche y Durán (2006)

Los datos expuestos proporcionan información sobre las características de la tierra arcillosa y la arena utilizadas como materia prima en la fabricación de adobes. Al realizar las pruebas de materia prima para cada muestra, sobre la tierra arcillosa en la capacidad para sedimentarse el resultado promedio muestra que el índice de plasticidad se encuentra en el rango de 20 a 26, con ello no se presenta expansividad excesiva y es firme en su estado natural sin la presenciade material orgánico nocivo.

En tanto que, en la segunda muestra compuesta por arena el resultado promedio indica que la granulometría es buena, por lo que se considera un elemento aceptable y óptimo para su uso como agregado en la fabricación de adobes.

Además, en el mismo estudio se empleó resina acrílica en la mezcla para optimizar la impermeabilización, en cuanto a la resistencia promedio a la compresión (MPa) se efectuó en cuatro series evaluadas con la prensa CINVA RAM, cuyos resultados se exponen a continuación:

Dimensiones	Diseño de mezclas	Tierra %	Arena %	Cemento %	Material reciclado (adobes previos no estabilizados)	Resistencia promedio a la compresión (MPa)	Observaciones
0.29x 0.14 x 0.105 m	Mezcla 1	60%	13%	27%	0%	1,76	Se obtuvo un bloque más resistente a las contracciones por cambios de temperatura y erosión
	Mezcla 2	0%	27%	13%	60%	1,81	
	Mezcla 3	75%	17%	8%	0%	2,55	
	Mezcla 4	83%	10%	7%	0%	3,04	

Tabla 5. Ensayos de resistencia a la compresión

Fuente: Adaptado de Useche y Durán (2006)

La tabla 5 evidencia que la combinación tierra, arena, cemento en la mezcla 4 presenta mejor resistencia a la compresión con un valor de 3,04 MPa. El estudio señala que tal proporción

tuvo un 2% de humedad, con base a la prueba de absorción de agua, contenido de agua e impermeabilidad, además que la prueba de inmersión con el empleo de la resina acrílica no produjo cambios ni efectos aparentes. También presentó buen comportamiento a la prologada exposición ambiental. Respecto a la prueba de ruptura, tal proporción mostró solo pequeños desportillamientos en las esquinas, y evidenció dureza, así como compactación. Las diferencias de temperatura del interior de la construcción con el exterior fueron de 6 y 8 grados centígrados (Useche y Durán, 2006).

2.2.4. Autores: Rodríguez y Saroza (2006)

La investigación se desarrolla en el pueblo de Villa Clara, Cuba para identificar la composición óptima del adobe en la construcción de varias casas y una escuela mediante el análisis de compactación, resistencia a la compresión simple y absorción capilar tanto del adobe tradicional como del adobe estabilizado con cal, miel y asfalto en diferentes proporciones (Rodríguez y Saroza, 2006). El suelo utilizado tenía 60% de arena, 15% de limo y 25% de arcilla, las cuales se mantuvieron constantes. En la Tabla 6 se muestra las características de los estabilizadores empleados:

Dimensiones	Estabilizador	Propiedades más importantes
40cmx20cmx10cm	Cal hidratada	Porcentaje de CaO = 85% Residuos arenosos = 2,93%
	Miel de caña de azúcar	Porcentaje de sólidos solubles = 92% Porcentaje de sacarosa = 38,81%
	Asfalto AVE 200	Agua = 3% Densidad = 0,9937 g/cm ³ Viscosidad (25 grados C) = 0,018 m ² /s Viscosidad (40 grados C) = 0,0044 m ² /s Viscosidad (50 grados C) = 0,0026 m ² /s

Tabla 6. Características de los estabilizadores utilizados
Fuente: Adaptado de (Rodríguez y Saroza, 2006)

En la tabla 6 se detallan los materiales que se aplicaron como estabilizadores resultados de estabilización de adobes, en el caso de la cal hidratada se identificó un alto contenido de óxido de calcio (CaO) lo que resulta beneficiosos para la cohesión y resistencia del adobe, a ello, se suma un bajo porcentaje de residuos arenosos favoreciendo a la calidad de adobe.

En tanto que, se determinó que porcentaje de sólidos disueltos presentes en la miel de caña de azúcar utilizada en la estabilización de los adobes fue del 92%, como resultado, este tipo de componente actúa como aglutinante y mejora la cohesión del material.

Con respecto al uso de Asfalto AVE 200 se obtuvieron datos sobre la presencia de agua, la densidad y la viscosidad del asfalto a diferentes temperaturas, no obstante la variación de estos incide en la estabilidad de adobes.

Con lo expuesto, el uso de la cal implica mayor efectividad con respecto a los componentes utilizados y la pureza del material resultante, la miel de caña presentó propiedades de como aglutinante favoreciendo a durabilidad de adobe.

Materia orgánica	Cal%	Miel%	Miel y cal%	Asfalto AVE 200
	5%	3%	3%-2%	2%
25%	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%
	5%	3%	3%-2%	2%
50%	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%
	5%	3%	3%-2%	2%
100%	8%	5%	5%-2%	4%
	12%	7%	7%-2%	6%

Tabla 7. Estabilizadores y porcentajes utilizados

Fuente: Adaptado de Rodríguez y Saroza (2006)

Los datos expuestos en la tabla 7 describen que el estabilizador utilizado con mayor proporción es la cal con una concentración del 8% y 12%, de tal manera que existen diferentes porcentajes para proporcionar cierta estabilización y mejorar las propiedades del adobe, ya que la materia orgánica sola puede tener una menor resistencia y durabilidad.

En similar apreciación, se aplicaron los estabilizadores de miel y cal con una composición donde al tener un 7% de miel en la mezcla, se espera un mayor efecto aglutinante y una mayor cohesión del adobe, mientras que el 2% de cal se esperaría que proporcione estabilidad y resistencia adicional. Por otra parte, el uso del 6 % de Asfalto AVE 200 en la mezcla de adobe generar expectativas con respecto al efecto aglutinante y cohesivo del adobe optimizando la capacidad de soporte del adobe.

Por consiguiente, en la siguiente tabla se expone los resultados del ensayo de compactación realizado por Rodríguez y Saroza (2006).

Materia orgánica	yd (t/m ³)	Humedad óptima (%)
25%	1,27	31,57
50%	1,18	29,82,
100%	1,1	37,32

Tabla 8. Resultados del ensayo de compactación

Fuente: Adaptado de (Rodríguez y Saroza, 2006)

Los resultados de la tabla 8 exponen que el mayor valor de compactación corresponde a los adobes con materia orgánica al 25% con una densidad de 1,27 yardas cúbicas por tonelada métrica (t/m³) para el adobe compactado con una humedad óptima del 31,57% con lo es posible lograr compactación adecuada y una densidad óptima en el adobe.

En contraste, el menor valor de la prueba corresponde a los adobe con un 100% de materia orgánica con una densidad de 1,1 t/m³. En todo caso, considerando que las proporciones y la humedad óptima pueden variar según los requisitos y especificaciones de cada proyecto de construcción en particular, las pruebas de compactación permiten determinar la cohesión

y la resistencia del material mismo que se verá reflejado en estabilidad y durabilidad de las edificaciones con esta naturaleza.

En tanto que los valores de compresión aplicados corresponden a la norma UNE 103500:1994 con valores de compresión simple de 1 MPa de decir 10 Kp/cm², de los cuales se obtiene los siguientes resultados:

Tipo de adobe		Porcentaje de materia orgánica			
		25%	50%	100%	
		Valores medios de compresión (MPa)			
Adobe estabilizado	Adobe simple		1,54	0,94	0,83
	Cal	5%	0,45	0,42	0,48
		8%	0,41	0,54	0,56
		12%	0,43	0,48	0,42
		5%	1,44	0,98	1,22
	Miel	8%	1,34	1,24	1,24
		12%	1,42	1,31	1,28
		5%	1,37	1,32	1,00
	Cal y miel	8%	1,30	1,24	1,58
		12%	1,24	1,56	1,22
		5%	1,90	1,70	1,42
	Asfalto AVE 200	8%	1,56	1,22	1,21
12%		1,48	1,51	1,41	

Tabla 9. Valores de resistencia de compresión simple

Fuente: Adaptado de (Rodríguez y Saroza, 2006)

En la tabla 9 se exponen los resultados de los valores medios obtenidos en la prueba de compresión, así el uso del Asfalto AVE 200 como estabilizador obtuvo el valor más elevado comparado con la cal, miel y cal-miel con 1,90 MPa que indica la resistencia a la compresión del adobe que ha sido estabilizado utilizando un 5% de asfalto con un 25% de materia orgánica. Algo similar ocurren con los adobes de 50% de materia orgánica con 5% de asfalto con el 1,70 MPa

Por otra parte, se determinó que el valor más alto de resistencia fue de 1,58 MPa en bloques de mayor porcentaje de materia orgánica y 8% de cal y miel, lo que optimiza la unión de los componentes proporcionando una mayor resistencia a la compresión en este tipo de adobes

		Porcentaje de materia orgánica			
		25%	50%	100%	
		Valores medios de absorción (MPa)			
Adobe estabilizado	Adobe simple		3,28	3,2	3,78
	Cal	5%	3,06	3,12	3,4
		8%	3,17	3,29	3,27
		12%	2,91	3,4	3,38
	Miel	5%	2,47	2,25	3,33
		8%	3,73	3,02	3,22
		12%	3,73	2,9	3,21
	Cal y miel	5%	2,88	2,76	2,58
		8%	2,58	3	2,39
		12%	2,33	2,77	2,52
	Asfalto AVE 200	5%	0,81	1,24	0,89
		8%	0,8	0,89	0,82
12%		0,69	0,7	0,75	

Tabla 10. Valores medios de absorción capilar

Fuente: Adaptado de (Rodríguez y Saroza, 2006)

La tabla 10 muestra los resultados de los ensayos de absorción capilar, en donde nota que la mezcla de adobe estabilizado con bagazo de caña al 25% y asfalto AVE 200 al 12% presenta menor valor de absorción capilar con un valor de 0,69 g/cm².

El trabajo concluye señalando que solo la prueba de resistencia a la compresión por sí sola no es suficiente para determinar la combinación más adecuada a la condiciones del sitio de construcción, sino que es necesaria la prueba de capilaridad que permite determinar la absorción de agua en las mezclas, en consecuencia, la mezcla idónea identificada por el autor es la de adobe estabilizado compactado con bagazo de caña al 25% con asfalto AVE 200 al 2%, con una resistencia a la compresión de 1,90 MPa y absorción capilar de 0,81 g/cm² (Rodríguez y Saroza, 2006).

2.2.5. Autores: Morales et al., (2007)

En la investigación se fabricaron series de cinco adobes compactados, sin cementante y estabilizados con ocho porcentajes de cemento que variaron entre el 2 % y el 16 % en peso, con 2% entre cada mezcla, se sometieron a ensayos de flexión, compresión y absorción para observar su comportamiento. Se elaboraron total 45 bloques, almacenados durante 28 días bajo cubierta, protegidas de los rayos del sol y del viento (Morales et al., 2007).

Los resultados de las pruebas de resistencia de compresión mostraron los siguientes valores:

Dimensiones	No.	Cemento %	Resistencia a la compresión (MPa)
5 x 5 x 5 cm	1	0%	3,73
	2	2%	3,53
	3	4%	4,90
	4	6%	6,08
	5	8%	8,14
	6	10%	8,34
	7	12%	9,81
	8	14%	10,10
	9	16%	10,30

Tabla 11. Resultados de la prueba de resistencia a la compresión

Fuente: Adaptado de (Morales et al., 2007)

La tabla 11 muestra valores de resistencia de compresión bajos para adobes compactados con porcentajes de poco material estabilizante, atribuido por las reacciones químicas de las mezclas debido a que, con pequeñas cantidades de cemento, se produce un efecto de encapsulamiento de las partículas de arcilla sobre las del cemento, obteniéndose por ello una estructura interna débil. Existen mejores valores de resistencia del adobe para porcentajes de cemento del 2 % al 8 %, por lo que la adición del cemento tipo Portland como estabilizante en los adobes compactados, contribuye a mejorar las características mecánicas.

2.2.6. Autores: Algara et al., (2012)

Presenta la fabricación de bloques de tierra adaptados a las características de viviendas urbanas, estabilizados para uso urbano en San Luis Potosí y compactados que ofrezcan el

menor impacto ambiental, con base a los principios de fabricación del adobe tradicional (Algara et al., 2012). El suelo empleado provino del municipio de Villa de Arriaga, San Luis Potosí y se mezcla con abono de caballo. Después se experimentó con dosificaciones estabilizadas como abono-cemento, abono-cal, para finalmente sustituir el uso del abono por Agave lechuguilla (ixtle), como elemento aglutinante. Los bloques fueron fabricados con una adobera mecánica de compresión variable, y al final se sustituye el uso del cemento por una mezcla de cal-yeso.

La finalidad es obtener la capacidad de carga que cumpla con las normas técnicas para uso estructural, aunque en estas normas no existen para materiales como adobe o bloque de suelo compactado, se utilizan las resistencias de diseño para el tabique o ladrillo recocido o para el bloque de concreto vibro comprimido (5,88 MPa) (NMX-C-404- ONCCE-2005). Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión para conocer la carga el máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento bajo las normas (NMX-C-036- ONNCCE- 2004, NMX-C-404-ONNCCE-2005) con las dimensiones 7 cm x 12.5 cm x 25 cm (Algara et al., 2012).

Muestra	Arcilla (%)	Abono de caballo (%)	Cemento (%)	Cal (%)	Adobe tradicional	Adobe compactado
					Resistencia promedio a la compresión (MPa)	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
A	91%	9%	0%	0%	2,02	7,22
B	86%	9%	5%	0%	1,61	5,59
C	84%	8%	0%	7%	1,70	8,82

Tabla 12. Resistencia de compresión para adobe tradicional y compactado con abono de caballo
Fuente: Adaptado de Algara et al (2012)

La tabla 12 muestra los resultados de las pruebas de compresión realizadas a las muestras de adobe tradicional, las cuales no cumplieron con el valor mínimo establecido por la norma que fue de 1,96 MPa a excepción del adobe tradicional no estabilizado que registró el valor de 2,02 MPa. En tanto, que el adobe compactado y estabilizado con cal presentó el mejor

valor promedio de resistencia a la compresión de 8,82 MPa, superior al establecido por la norma de 5,85 MPa correspondiente al bloque de concreto vibro comprimido.

Muestra	Arcilla (%)	ixtle (%)	Cal (%)	Yeso (%)	Cemento (%)	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
E	96,8%	0,2%	0,0%	0,0%	3,0%	3,75
F	93,8%	0,2%	3,0%	3,0%	0,0%	4,96
G	87,8%	0,2%	6,0%	6,0%	0,0%	8,89

Tabla 13. Resistencia de compresión para adobe compactado con fibra de Agave lechuguilla (ixtle)
Fuente: Adaptado de Algara et al. (2012)

La tabla 13 muestra los valores de resistencia a compresión del adobe compactado, se determinó que el mayor valor de resistencia fue de 8,89 MPa en la muestra compuesta en un 87,8% de arcilla lo que proporciona la cohesión y plasticidad al material, un 0,2% de ixtle que es una natural utilizada para optimizar la resistencia y las propiedades térmicas del adobe, al igual que el uso de 6% de cal y yeso.

Los resultados obtenidos exponen que el uso de cal y yeso sin cemento da origen a una mayor resistencia a la compresión, lo cual se sustenta en el análisis de la muestra que no dispone de cal-yeso pero sí un 3% de cemento obtenido el menor promedio de resistencia, por lo que estos adoben tendrían una alta probabilidad de experimentar una falla o deformación significativa.

2.2.7. Autores: Roux y Guerrero (2012)

La investigación tiene la finalidad de analizar las características de los bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal apagada (hidróxido de calcio) marca Calidra en lugar de cemento Portland CPO-20 marca Cemex con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes en la producción de cemento (Roux y Guerrero, 2012). Las normas empleadas para el presente caso son de la Industria de la Construcción, Concreto, Bloques, Ladrillos o

Tabiques y Tabicones (NMX-C-037, NMX-C-006 y NMX-C-010) debido a que no se cuenta con normas específicas para el diseño de bloques de tierra comprimida (BTC).

Se elaboraron los BTC de dimensiones 0,10 x 0,14 x 0,29 cm con una prensa manual CINVA RAM.

En este caso, se abordan los resultados se presentan en porcentajes por volumen agregado, como se detalla a continuación:

Mezcla	Arcilla%	Arena limosa%	Cal 3%	Cal 5%	Cal 7%	Cemento 6%	Cemento 8%
MCL1	46%	51%	3%	-	-	-	-
MCL2	45%	50%	-	5%	-	-	-
MCL3	45%	49%	-	-	7%	-	-
MCM1	45%	49%	-	-	-	6%	-
MCM2	44%	48%	-	-	-	-	7%

Tabla 14. Tipos de mezclas con cal y cemento

Fuente: Adaptado de (Roux y Guerrero, 2012)

En la tabla 14 se evidencian los diferentes tipos de mezclas que realizaron Roux y Guerrero (2012) para realizar el adobe, se identifica que casi en todos utilizan entre 44 y 46% de arcilla, entre el 48 y 51% de arenosa limosa, en el primero consideran un 3% de cal, en el segundo un 5% y en el tercero del 7%. En los dos últimos se incorpora el 6% y 7% de cemento respectivamente. En lo que respecta a las pruebas de resistencia de compresión, los resultados fueron:

No.	Resistencia de compresión (MPa)				
	Cal 3%	Cal 5%	Cal 7%	Cemento 6%	Cemento 8%
1	4,10	4,53	8,46	3,63	6,25
2	5,10	4,43	6,28	3,63	6,75
3	5,00	4,75	7,46	4,00	8,25
4	4,40	4,63	7,58	4,25	7,51

5	4,20	4,98	8,76	4,00	8,51
6	4,30	4,73	6,10	3,88	7,56
7	4,68	5,15	8,41	2,75	7,51
8	4,98	6,33	8,13	4,51	7,51
9	5,03	6,05	9,18	5,01	7,51
10	4,00	5,83	7,78	5,50	7,51

Tabla 15. Resultados de pruebas de resistencia de compresión a muestras con cal y cemento

Fuente: Adaptado de (Roux y Guerrero, 2012)

De la tabla 15 se nota que la capacidad de carga de los BTC estabilizados con hidróxido de calcio presenta resultados similares que la estabilización con cemento. El valor mayor de resistencia de compresión de 9,18 MPa se produjo con cal al 7%, superior a los 8,51 MPa con cemento al 8%, que implica que el uso de cal es más económico que el cemento en México.

2.2.8. Autores: Rodríguez et al. (2014)

Analizan la construcción de muros con ladrillo de adobe en un edificio piloto en Villa Clara-Cuba, como parte de incorporar recomendaciones-soluciones constructivas aplican una prueba de compresión en un suelo con características arcillosas, arenosas y calcáreas (Roux y Guerrero, 2012).

Parte del estudio, la muestra se basa en la composición establecida en la normativa NTE E.080 con las dimensiones 10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo, si bien en la investigación se centra en proporcionar capas una vez armados los muros con los de adobe, en este caso se refiere la siguiente composición aplicado en un ensayo simple de compresión sobre los bloques.

Muestra	Arcilla%	Estabilizadores porcentaje				Compresión ensayo simple (MPa)
		Materia orgánica%	Asfalto AVE%	Grava%	Arena%	
1	73%	25%	2%	-	-	1,9
2	75%	-	-	-	25%	1,22

3 50% - - - 50% 1,45

Tabla 16. *Composición de muestra y resultado compresión simple*

Fuente: Adaptado de Rodríguez et al., (2014)

Los resultados obtenidos acerca de la elaboración del bloque, se observa que con la incorporación de 2% del estabilizador de naturaleza asfáltica de AVE, junto con arcilla y materia orgánica donde se obtiene una resistencia a la compresión de 1,90 MPa. En otra parte, la incorporación de material como arena se reduce sustancialmente la resistencia sin agregar estabilizadores de fibra natural.

2.2.9. Autores: Nagaraj et al., (2014)

Desarrollaron un estudio en el cual se empleó la cal como reemplazo del cemento en ciertas proporciones y analizadas en diferentes tiempos de curado. Las pruebas de resistencia de compresión se realizaron con base a lo establecido en la Oficina de Normas de la India IS: 3495-1. Los bloques se fabricaron con el empleo de la prensa manual marca ASTRAM con las dimensiones 30,5 x 14,5 x 10,0 cm (Nagaraj et al.,2014).

Los resultados obtenidos de la resistencia de compresión son:

Serie	Tierra reconstituida %	Cemento	Cal	Resistencia a la compresión (MPa)								
				Días			Meses			Años		
				7	15	28	2	4	6	1	2	5
S1	92%	8%	0%	1,96	1,97	2,01	2,18	3,10	4,25	4,50	4,57	4,75
S2	92%	6%	2%	1,90	1,91	1,98	2,17	3,05	3,52	3,63	3,71	3,81
S3	92%	4%	4%	1,70	1,81	1,88	2,13	2,98	3,78	6,13	6,97	7,05

Tabla 17. *Resistencia de compresión de las diferentes series*

Fuente: Adaptado de (Nagaraj et al., 2014)

La tabla 17 muestra con el tiempo de curado mayor a un año en la serie 3 con presencia de cal al 4% y de cemento también al 4% a partir del primer año la resistencia de compresión se incrementa de forma importante, mientras que bloques preparados sólo con cemento y una cantidad de cal inferior a la óptima no ganan mucha resistencia.

2.2.10. Autor: Quiteño (2015)

En el estudio desarrollado en el Departamento de Ahuachapán, municipio San Lorenzo, El Salvador, relacionado con el uso de la cal como elemento para mejorar la resistencia en la producción de adobes elaborados con diferentes tipos de suelo como arena limosa (SM), arena arcillosa (SC), arcilla inorgánica (CL), y arcilla inorgánica (CH), los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia de compresión, según la norma ASTM, que demostraron que si existe incremento de la resistencia con el empleo de cal, y que además el suelo CL es el que presentó el mejor comportamiento (Quiteño, 2015).

Se clasificaron cinco tipos de tierra, con base a las normas ASTM D-423, D-424 D-427 con las dimensiones 10 x 15 x 30 cm para la determinación del índice de plasticidad, como se muestra en la Tabla 18:

Muestra	Límite líquido%	Límite plástico%	Índice de plasticidad%	Clasificación del suelo
Tipo 1	32,39	32,90	0,51	SM - arena limosa. Ligeramente plástico
Tipo 2	38,50	41,30	2,80	SC - arena arcillosa. Mediana plasticidad
Tipo 3	21,39	36,30	14,91	SC- arena arcillosa. Mediana plasticidad
Tipo 4	25,74	47,00	21,26	CL - arcilla inorgánica. Mediana plasticidad
Tipo 5	30,52	53,90	23,38	CH - arcilla inorgánica - Alta plasticidad

Tabla 18. Clasificación de suelos

Fuente: Adaptado de Quiteño (2015)

Para la fabricación de adobes se mezclaron los diferentes tipos de suelos en varias proporciones de cal, con la diferencia que el tipo 5 se mezcló con 50% de cascajo. Luego de someterlos a secado, se empleó una prensa multi-ensayo para la prueba de resistencia de compresión como se muestra en la tabla 19:

Muestra	Cal%	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
Tipo 1	0%	0,07
	4%	0,25

	5%	0,30
	6%	0,34
	7%	0,40
Tipo 2	0%	0,09
	4%	0,23
	5%	0,38
	6%	0,57
	7%	0,59
Tipo 3	0%	0,23
	4%	0,35
	5%	0,42
	6%	0,5
	7%	0,67
Tipo 4	0%	0,3
	4%	0,47
	5%	0,7
	6%	1,15
	7%	1,3
Tipo 5	0%	0,44
	4%	0,53
	5%	0,74
	6%	1,16
	7%	1,3

Tabla 19. Resultados de las pruebas

Fuente: Adaptado de Quiteño (2015)

De la tabla 19 se evidencia que con el incremento de cal en las mezclas aumenta la resistencia de compresión del adobe, así como que depende del tipo de suelo. También se nota que los adobes elaborados con suelo tipo 1 SM arena limosa registra menor resistencia a la compresión.

Con base a los resultados, se determinó que adobe con suelo tipo 4 CL presentó mejor resistencia a la compresión de 1,3 MPa superior a lo que establece la norma salvadoreña que define un valor aceptable de 1 MPa, con 7% de cal, con lo que se demuestra que los adobes deben ser fabricados con suelos que presenten al menos mediana plasticidad. Con la adición de cal no se presentaron fisuras con ningún tipo de suelo.

2.2.11. Autores: Vásquez et al., (2015)

En la fabricación de bloques de tierra comprimida mediante la utilización de tierra excavada y Residuos de Construcción y Demolición (RCD) triturado en lugar de agregado pétreo

convencional, cumplieron los requerimientos físicos y mecánicos de la Norma Técnica Colombiana 5324 con las dimensiones 30 cm de largo, 15 cm de ancho y 10 cm de altura (Vásquez et al., 2015). El material empleado fue limo de alta compresibilidad producto de la excavación del terreno del Conjunto Residencial Claro Verde en el municipio La Estrella de Antioquia, así como cemento Portland tipo I y arena de la Cantera Santa Rita S.A., en tanto que los residuos fueron aquellos generados por el Laboratorio Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico (EAFIT) (Vásquez et al., 2015).

Se empleó la máquina de tracción manual CINVA RAM para la fabricación del bloque de tierra comprimida. Los ensayos realizados fueron resistencia a la compresión, capilaridad y abrasión. A continuación, se presentan los resultados de la prueba de resistencia de compresión (Vásquez et al., 2015):

Diseño de mezclas	Tierra %	Arena %	Cemento %	RCD %	Resistencia a la compresión (MPa)
BC1	45%	5%	50%	0%	1,99
BC1	45%	5%	50%	0%	2,40
BC1	45%	5%	50%	0%	2,45
BC1	45%	5%	50%	0%	1,78
BC2	35%	5%	60%	0%	2,24
BC2	35%	5%	60%	0%	2,88
BC2	35%	5%	60%	0%	3,52
BC2	35%	5%	60%	0%	2,75
BC3	25%	5%	70%	0%	3,23
BC3	25%	5%	70%	0%	2,74
BC3	25%	5%	70%	0%	2,84
BC3	25%	5%	70%	0%	2,32
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	2,93
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	3,69
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	3,23
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	3,15
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	2,91
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	4,24
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	3,59

Diseño de mezclas	Tierra %	Arena %	Cemento %	RCD %	Resistencia a la compresión (MPa)
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	3,54
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	5,50
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	5,74
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	5,43
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	4,68

Tabla 20. Resultados ensayo de resistencia de compresión

Fuente: Adaptado de (Vásquez et al., 2015)

La Tabla 22 muestra las mezclas en la elaboración de bloques de tierra compactada, en la cual se evidencia que aquellas con RCD triturado presentan en todos los casos mayores valores de resistencia a la compresión en comparación de las que emplean cemento. Durante la prueba de compresión, todos los bloques presentaron fallas plásticas por la capacidad que tiene la tierra de deformación y soporte de carga. Las grietas verticales en los bloques fueron comunes en todos los casos en prueba, con mayor incidencia en los que tuvieron menor cantidad de agregado (Vásquez et al., 2015).

Diseño de mezclas	Tierra %	Arena %	Cemento %	RCD %	Coefficiente de capilaridad (g/cm ²)	Dictamen
BC1	45%	5%	50%	0%	22,47	Poco capilar
BC1	45%	5%	50%	0%	72,77	-
BC2	35%	5%	60%	0%	23,43	Poco capilar
BC2	35%	5%	60%	0%	24,21	Poco capilar
BC3	25%	5%	70%	0%	59,57	-
BC3	25%	5%	70%	0%	44,58	-
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	38,47	Poco capilar
BCRCD1	45%	5%	0%	50%	47,94	-
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	66,72	-
BCRCD2	35%	5%	0%	60%	61,42	-
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	31,62	Poco capilar

Diseño de mezclas	Tierra %	Arena %	Cemento %	RCD %	Coefficiente de capilaridad (g/cm ²)	Dictamen
BCRCD3	25%	5%	0%	70%	34,58	Poco capilar

Tabla 21. Resultados ensayo de capilaridad

Fuente: Adaptado de Vásquez et al (2015)

La tabla 21 muestra los resultados de las pruebas de capilaridad, que según la Norma Técnica Colombiana 5324 no existe criterio para calificar la capilaridad para valor mayores a 40 g/cm², en tanto que, para valores entre 20 y 40 g/cm² se consideran poco capilares.

De acuerdo a la norma ASTM c34 la resistencia mínima que debe tener un bloque de tierra comprimida es de para construir muros estructurales es de 3,4 MPa, por lo que los bloques estabilizados con RCD triturado al 60 y 70% se pueden usar para fines constructivos.

2.2.12. Autores: Vásquez et al., (2015b)

Proponen una combinación de materiales alternativos en reemplazo a los que de forma común se emplean como estabilizadores en la producción de bloques de tierra para mejorar las condiciones del ambiente (Vásquez et al., 2015b). Se usa el prensado hidráulico para lograr piezas de tierra que mejoren las características mecánicas del material. Para su estabilización se experimenta con fibras vegetales alternativas con características ecológicas y de menor impacto ambiental. Los ensayos de compresión y absorción por capilaridad se realizan bajo los lineamientos expuestos por la Normativa UNE-EN 41410:2008, sin embargo, el estudio se efectúa con las dimensiones 10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo para bloques de tierra comprimida (BTC). Las pruebas de compresión se han realizado a los 15, 25, 32 días de elaborados los bloques prensados con el fin de identificar la influencia del tiempo de secado en la resistencia a compresión y de esta manera conocer el tiempo óptimo de secado para conseguir una mayor resistencia de las piezas.

Material	Resistencia a la compresión (Mpa)
Adobe tradicional	0,518

Adobe tradicional estabilización física	0,673
Bloque prensado tipo	2,031
Bloque prensado, cáscara de arroz (3%)	2,612
Bloque prensado, cáscara de arroz (6%)	2,302
Bloque prensado, cáscara de arroz (10%)	2,849
Bloque prensado, cloruro de sodio (3%) + cal (2%)	1,708
Bloque prensado, cloruro de sodio (6%) + cal (2%)	1,159
Bloque prensado, cloruro de sodio (6%) + cal (2%)	0,765

Tabla 22. Resultados de las pruebas de compresión

Fuente: Adaptado de (Vásquez et al., 2015b)

De la tabla 22 se muestra que los mejores valores de resistencia de compresión se alcanzaron con el BTC con mezcla de arroz al 3% con 2,6 MPa. También es notorio que la compactación en prensa hidráulica genera un aumento significativo en la resistencia a la compresión en comparación con el adobe realizado por métodos tradicionales. La estabilización química es importante en la realización de una propuesta de mejoramiento para el adobe.

De los estabilizadores adicionados, la cáscara de arroz funciona como material de mejoramiento y optimiza las propiedades técnicas del bloque prensado. Su bajo precio, así como, el poco volumen necesario de material para realizar el mejoramiento, hace que el costo de optimizar la resistencia sea casi nulo.

2.2.13. Autores: Vilela y Loaiza (2017)

Realizaron ensayos para estabilizar un suelo idóneo con inclusión de cemento para la fabricación adobes, para lo cual se determinó granulometría, estructura en cuatro grupos de suelos, la densidad y resistencia a la compresión simple en adobes (10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo) aceptables en las construcciones rurales en Vinoyacu, cantón Loja, Ecuador (Vilela y Loaiza, 2017). Para la prueba de resistencia de compresión simple se empleó la norma AASHTO T-208-ASTM D. A continuación, se muestra los componentes de los adobes fabricados:

Grupo	% en cemento en peso	número de muestras
RG1	6%	40

RG2	8%	40
RG3	10%	40
RG8	0%	80

Tabla 23. *Identificación de grupo a ensayar*

Fuente: Adaptado de Vilela y Loaiza (2017)

En la tabla 23 se evidencia que se fabricaron 4 adobes, donde el primero utilizaron entre 6 y 8% y para efectos de comparación uno de los adobes no tiene cemento. Una vez definidos los grupos de adobes a probar, se realizaron la prueba de resistencia a la compresión, de lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Grupo	Porcentaje de cemento	28 días (MPa)
RG1	6%	1,42
RG2	8%	2,84
RG3	10%	4,12
RG8	0%	2,04

Tabla 24. *Resultados de la prueba de compresión simple*

Fuente: Adaptado de Vilela y Loaiza (2017)

La tabla 24 muestra que el grupo RG2, correspondiente a los adobes estabilizados con cemento al 8% y 10% a los 28 días presenta mayores valores de resistencia a la compresión con un valor de 2,84 MPa y 4,12 MPa, en comparación con el RG8 que es el adobe de control sin adición de cemento.

2.2.14. Autores: Jaimes et al., (2017)

Analizaron las características físicas y mecánicas de los adobes en la zona urbano-marginales de Huánuco, Perú, con la finalidad de poseer la referencia técnica de utilización (Jaimes et al., 2017). Se analizó la resistencia a la compresión y tracción de los adobes de acuerdo a la normativa E80 (Diseño y construcción con tierra reforzada) con dimensiones 10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo. Se empleó la norma E.080 para la prueba de resistencia a la compresión, cuyo valor mínimo de rotura es 1 MPa.

Muestra	Zona	Resistencia a la compresión (MPa)
1	La Florida	1,02
2	La Paz	1,38
3	Fondo Milagro	1,18
4	Chunapampa	1,29
5	Colpa baja	1,65
6	San Luis - sector 1	0,88
7	San Luis - sector 2	1,18
8	San Luis - sector 3	1,51
9	San Luis - sector 4	1,15
10	San Luis - sector 5	1,15
11	Héroes de Jactay	1,15
12	Santa Rosa Alta	1,33
13	Loma Blanca	1,2

Tabla 25. Resistencia a la compresión de adobes de diferentes zonas de Huánuco, Perú

Fuente: Adaptado de (Jaimes et al., 2017)

De la tabla 26 se nota que la zona de San Luis sector 3 presenta mejor resistencia a la compresión con un valor de 1,51 MPa, que cumple además con la norma E.080. Por el contrario, la zona La Florida presenta el menor valor de compresión con un valor de 1,02 MPa, lo que implica una resistencia menor a 0,49 MPa menos que la resistencia del mejor adobe.

2.2.15. Autor: Danso (2017)

Investigó las propiedades de los bloques de tierra comprimida estabilizados con un producto químico líquido (Pidiproof LW+) con contenidos de peso de 0,5, 1 y 1,5% de Pidiproof LW+ para producir bloques de tierra comprimida y curados a los 7, 14, 21 y 28 días. Los bloques se sometieron a pruebas de densidad, coeficiente de absorción, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por separación (Danso, 2017). La prueba de compresión se realizó de acuerdo con la norma BS EN 772-1 con las dimensiones 280 x 140 x 100 mm. Las

concentraciones de los materiales empleados en la fabricación de los bloques fueron: grava 8%, arena 37%, limo 22% y arcilla 33%. Se prepararon bloques de tierra comprimida de tamaño 280 × 140 × 100 mm con tierra y un contenido de 0,5, 1 y 1,5% de Pidiproof LW+ en peso. Los resultados de las pruebas de compresión fueron los siguientes:

Días de curado	Contenido de Pidiproof LW+	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
7	0,50%	1,11
	1,00%	1,01
	1,50%	1,4
14	0,50%	1,44
	1,00%	1,65
	1,50%	1,73
21	0,50%	1,87
	1,00%	1,8
	1,50%	1,91
28	0,50%	2,35
	1,00%	2,48
	1,50%	2,69

Tabla 26. Resultados de la prueba de compresión en diferentes días de curado
Fuente: Adaptado de (Danso, 2017)

La tabla 26 muestra el incremento continuo de la resistencia a lo largo del tiempo de curado para todos los contenidos químicos líquidos en los bloques de tierra comprimida, lo que evidencia que a mayor cantidad de adición de la sustancia química líquida Pidiproof LW+ en los bloques de tierra comprimida aumenta la resistencia a la compresión mientras mayor sea la edad de curado.

2.2.16. Autores: Cañola et al., (2018)

En la investigación se analiza el comportamiento físico mecánico de los bloques de tierra (adobe) a los cuales se agregan compuestos bituminosos con la ejecución de ensayos sobre

la resistencia a la compresión. Para ello, las fabricaciones de los bloques se conciben con la norma a NTC 5324 con dimensiones que oscilan entre 0.095 m de alto, 0.14 m de ancho y 0.295 m de largo (Cañola et al.,2018).

Los materiales se obtuvieron con tierra obtenida del Municipio El Retiro, departamento de Antioquía-Colombia, como estabilizador se agrega cemento portland tipo 1, emulsión asfáltica Sika (variación en porcentajes) y agua. Con relación a la prueba de compresión, cada conjunto muestral se conforma por 20 unidades de bloques con un periodo de secado de 28 días, conforme se observa en la siguiente tabla:

Muestra	Composición (tierra-cemento)%	Emulsión capa asfáltica Sika%	Compresión promedio (MPa)
1	100%	0%	3,4
2	75%	25%	2,5
3	50%	50%	2,3
4	25%	75%	2,1
5	0%	100%	2,1

Tabla 27. Composición de muestra y resultado compresión simple

Fuente: Adaptado de Cañola et al., (2018)

Al referir sobre la incorporación de la capa asfáltica al tipo de compresión, se estipula que sin la incorporación de 50% de emulsión de capa asfáltica presenta mejores propiedades de resistencia, sobre compresión de gran utilidad para el sector de la construcción.

2.2.17. Autores: Hossain y Mahmud (2018)

Se analiza diferentes materiales de construcción sostenibles para la fabricación de bloques de tierra comprimida con dimensiones 305 mm x 143 mm x 105 mm estabilizados BTCE para el desarrollo eficiente desde el punto de vista energético, ecológico, respetuoso con la agricultura y sostenible. Se emplea suelo dragado de los ríos Brahmaputra y Meghna de Bangladesh, India, en composiciones de con cemento que van del 10 al 17% y arena.(Hossain y Mahmud, 2018)

Cemento	Composición		Resistencia de compresión (MPa)
	Tierra dragada%	Arena silícea%	
17%	83%	0%	6,21
17%	67%	17%	8,83
17%	50%	33%	11,73
14%	86%	0%	5,38
14%	71%	14%	5,52
14%	57%	29%	5,86
13%	88%	0%	4,86
13%	75%	13%	5,14
13%	63%	25%	5,65
11%	89%	0%	3,93
11%	78%	11%	4,07
11%	67%	22%	4,21
10%	90%	0%	3,10
10%	80%	10%	3,59
10%	70%	20%	3,79

Tabla 28. Resultados de la prueba de resistencia de compresión en mezclas con suelo dragado del río Brahmaputra

Fuente: Adaptado de Hossain y Mahmud (2018)

Cemento%	Composición		Resistencia de compresión (MPa)
	Tierra dragada%	Arena silícea%	
17%	83%	0%	5,17
17%	67%	17%	4,17
17%	50%	33%	7,24
14%	86%	0%	4,83
14%	71%	14%	4,62
14%	57%	29%	4,17
13%	88%	0%	4,27
13%	75%	13%	3,10
13%	63%	25%	3,59
11%	89%	0%	3,59
11%	78%	11%	3,59
11%	67%	22%	4,48
10%	90%	0%	2,90
10%	80%	10%	3,10
10%	70%	20%	3,59

Tabla 29. Resultados de la prueba de resistencia de compresión en mezclas con suelo dragado del río Meghna

Fuente: Adaptado de Hossain y Mahmud (2018)

En las tablas 28 y 29 se evidencia que mayor concentración de cemento en la mezcla, se registran mejores valores de resistencia a la compresión. Se nota además que la mezcla con tierra dragada del río Brahmaputra tiene mejores valores de resistencia de compresión que las mezclas del río Meghna, por la presencia de materia orgánica en el último. También se nota que la presencia de arena en la mezcla incrementa los valores de resistencia de compresión.

2.2.18. Autores: Sekhar y Nayak (2018)

Elaboraron una investigación en la cual se analiza el empleo de escoria granulada de alto horno (EGAH) y cemento para la fabricación de bloques de tierra estabilizada comprimida (BTEC), con dos suelos locales del distrito de Dakshina Kannada, Karnataka, India. Los bloques fabricados fueron de tamaño 305 mm x 143 mm x 105 mm. Los cuales se curaron durante 28 días (Sekhar y Nayak, 2018). Los bloques fueron sometidos a una prueba de compresión de acuerdo con las especificaciones de la norma india IS. Para comprimir los bloques se emplearon una máquina de fabricación de bloques, con una presión de compactación del orden de 2-3 MPa.

Los resultados de la prueba de compresión en bloques de arcilla litomárgica estabilizada comprimida se muestran a continuación:

Serie	Arcilla litomárgica%	EGAH%	Cemento%	Resistencia a la compresión (MPa)
1	100%	-	-	1,05
2	75%	25%	-	1,61
3	71%	24%	6%	3,48
4	69%	23%	7%	4,75
5	68%	23%	9%	5,15
6	67%	22%	11%	5,55

Tabla 30. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques de arcilla litomárgica estabilizados.

Fuente: Adaptado de Sekhar y Nayak (2018)

En la tabla 30 se evidencia que se realizaron 6 ensayos, donde el primero comprende un adobe solo de arcilla litomárgica, el segundo posee el 75% de arcilla y el 25% de EGAH, el tercero posee el 71% de arcilla, el 24% de EGA y se empieza a agregar cemento en un 6%. Es así que los últimos dos ensayos se disminuye un 1% de cada uno de los componentes con referente al último en mención. En este sentido, la mayor comprensión se reporta en el último ensayo con una resistencia a la compresión de 5,55 MPa, pero el de menor resistencia fue el adobe que se constituyó el 100% por arcilla.

Los resultados de la prueba de compresión en bloques de bloques lateríticos estabilizados se muestran a continuación:

Serie	Tierra laterítica%	EGAH%	Cemento%	Resistencia a la compresión (MPa)
1	100%	-	-	1,52
2	80%	20%	-	2,13
3	78%	20%	2%	3,08
4	77%	19%	4%	3,91
5	75%	19%	6%	4,7
6	74%	19%	7%	5,25

Tabla 31. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los bloques lateríticos estabilizados.

Fuente: Adaptado de Sekhar y Nayak (2018)

En la tabla 31 se evidencia que los ensayos tienen los porcentajes de los bloques lateríticos similares que, en los bloques de arcilla, lo anterior con el objeto de comparación. Es así que la resistencia al igual que los ensayos es mayor cuando se incorpora un porcentaje mayor de cemento y menos de arcilla.

2.2.19. Autores: Ureña et al., (2019)

Se analiza la resistencia de la compresión de adobe elaborado con tierra de la región sierra de Ecuador con la incorporación estabilizadores inorgánicos. En este caso, se recurre a elementos como el estiércol de vaca (cm), savia de nopal (ns), paja (s) y sangre de toro (bb)

que se combinan en porcentajes individuales conforme lo establece la normativa técnica E.080 (10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo) elaborada en Perú en 2013 que en total mantuvo una muestra de 60 bloques de adobe (Ureña et al., 2019). En lo referente a los materiales y métodos, la tierra para la elaboración de adobe se extrajo de Latacunga-Ecuador, el segundo componente para la mezcla de lodo fue agua potable que luego se agruparon con los estabilizadores, en el caso de las muestras con bb se adiciona el anticoagulante DAFLOC 500 en un 10% del peso de sangre y el conservante antibacteriano en 5g por cada litro de sangre.

Con la incorporación del barro (BA) mantuvo una composición de arcilla, arena y agua con una duración de 30 días de secado con la distribución en porcentajes sobre la composición con forma de cubo con 0,10 de arista. Para la aplicación de la prueba se utiliza una prensa de presión de hormigón CONTROLS con una capacidad de carga máxima de 2000 KN, según las disposiciones de la norma técnica seleccionada se obtiene la siguiente tabla.

Muestra	Estabilizadores orgánicos en porcentaje				Compresión promedio (MPa)	Incremento %
	bb (sangre de toro) %	ns (savia de nopal) %	cm (estiércol de vaca) %	s (paja)		
BA	-	-	-	-	0,98	-
A- 1 s	-	-	-	3%	1,01	2,5
A- 2cm	-	-	10%	-	1,02	3,7
R- 1 bb	20%	-	-	-	1,04	5,3
R-2bb	20%	-	-	3%	0,99	0,5
R-3bb	20%	-	10%	-	1,13	13,1
R- 1ns	-	28%	-	-	1,03	4,4
R-2ns	-	28%	-	3%	1	1,5
R-3ns	-	28%	10%	-	1,07	8
R-4ns	-	28%	10%	3%	1,05	6,2

Tabla 32. Composición de muestra y resultado

Fuente: Adaptado de Ureña et al., (2019)

Conforme a los datos descritos en la tabla anterior, los bloques que tiene un mayor grado de compresión en el caso de la muestra R-3bb que mantiene un porcentaje de sangre de toro (bb) y estiércol de vaca (cm) presenta mayor consistencia con promedio de 1,13% con lo cual

de identifica que este tipo de materiales generan mayor compactación entre bb y cm, esto se contrasta con la composición de AB simple al tener mayor incremento en compresión.

2.2.20. Autores: *Bailón et al., (2019)*

En el trabajo tiene por objetivo indagar sobre la fabricación de adobes de adobe con el uso del cemento como estabilizador para la incorporación de una alternativa viable de construcción en la parroquia rural de Chuquiribamba-Loja-Ecuador. Bajo este contexto se analiza la estabilización mecánica-física en muestra de 300 mm x 150 mm y 70 mm (Bailón et al., 2019).

Para efectos del ensayo, se emplea un suelo compuesto por 42,49% entre limo y arcilla, con la respectiva incorporación de aglomerantes y agua; se prepara 12 especímenes sometidos a un periodo de secado por 18 días, es este caso se aplica la norma NEC-15 aborda desde la seguridad de las edificaciones para aplicar fuerza vertical mediante una prensa manual.

Punto	Composición (limo-arcilla)	Cemento	Agua	Compresión promedio (Mpa) en seco	Compresión promedio (Mpa) en humedecido
1	75,00%	0%	25%	2,48	Deshecho
2	68,75%	3,25%	28%	1,72	Deshecho
3	62,25%	9,75%	28%	4,72	1,52
4	62,00%	13%	25%	7,47	3,83
5	68,25%	9,75%	22%	5,21	2,97
6	74,75%	3,25%	22%	1,25	Deshecho
7	68,50%	6,50%	25%	4,00	Deshecho
8	68,50%	6,50%	25%	4,00	Deshecho
9	68,50%	6,50%	25%	4,00	Deshecho
10	68,50%	6,50%	25%	4,00	Deshecho

Tabla 33. Composición de muestra y resultado compresión simple

Fuente: Adaptado de Bailón et al., (2019)

Con base a la información proporcionadas en la tabla precedente, los puntos con las mayores dosificaciones es el punto 4 con la incorporación de 13% de cemento y 25%, el punto que en la aplicación de fuerza de compresión en estado seco alcanza 7,47 MPa y en caso de compresión húmeda se mantiene en 3,83 MPa, ofreciendo mayor resistencia que un bloque de tierra sin ningún material estabilizador.

Algo semejante ocurre con el punto 5, cuya composición de tierra representa 62,25%, 9,75% de cemento y 22% de agua, el resultado en cuanto a resistencia se mantiene en 5,21 en seco y en 2,97 cuando se humedece el ladrillo. Por otra parte, se observa que con mayor incorporación de agua con respecto al estabilizador las muestras se deshacen al aplicar la prensa manual.

2.2.21. Autores: Sánchez et al., (2019)

Con la finalidad de evaluar la resistencia a la compresión de un material granular compuesto por arcilla-arena con la aplicación del cemento como estabilizador elaborar un estudio experimental aplicados en adobes de 30 x 30 x 10 cm. Bajo este contexto, los materiales replicados fueron arcilla extraída de un relleno sanitario del caribe del río Magdalena-Colombia, en tanto que el cemento es tipo Portland 1 (Sánchez et al., 2019)

Con respecto a la prensa, se recurre a la marca Controls modelo 04700/ de una muestra de 20 briquetas con diferente proporción en la composición, para efectos de medir la compresión, ante ello se obtienen los siguientes resultados, en este caso los datos recopilados determinar información porcentual en cuanto a la humedad:

Muestra	Contenido de cemento (kg/m3)	Humedad (%)	Golpes de compactación (Unidad)	Relación arcilla/arena	Resistencia a la compresión (MPa)
1	0	16	25	1,5	0,49
2	150	9	25	1,5	1,49
3	150	16	25	1,5	1,27
4	0	9	25	1	0,82
5	0	9	35	1,5	0,67
6	75	12,5	30	1,25	0,99
7	75	12,5	30	1,25	0,94
8	75	12,5	30	1,25	1,00
9	150	9	35	1	1,49
10	75	12,5	30	1,25	1,14
11	0	9	35	1	0,60
12	0	16	35	1	0,54
13	0	16	35	1,5	0,62
14	150	9	35	1,5	1,36
15	0	16	35	1	0,57
16	150	16	25	1	1,32

17	150	9	25	1	1,92
18	150	16	35	1,5	2,16
19	0	9	25	1,5	0,61
20	150	16	35	1	1,31

Tabla 34. Composición de muestra y resultado compresión simple.

Fuente: Adaptado de Sánchez et al., (2019)

Con relación a la información proporcionada en la tabla anterior, se observa una mayor resistencia sobre la compresión, la composición entre la humedad en las que muestra la variación en la prueba aplicada, así con el 16% de humedad y sin estabilizador la compresión es de 0,004. En lo que respecta a la muestra 9 con una mayor cantidad de cemento, la humedad del 9% se obtiene 0,0122 como mayor resultado.

2.2.22. Autores: González et al., (2019)

Realizaron una investigación en la cual se estudiaron las características mecánicas de adobes de mezcla de tierra, arcilla, arena y fibras vegetales secas (González et al., 2019). Se empleó la norma NTC 5324 para la prueba de resistencia a la compresión.

Combinación	Tierra (%)	Arcilla (%)	Arena (%)	Heno (%)	Cascarilla (%)	Aserrín (%)	Resistencia a la compresión (MPa)
A1	60	20	16	4	-	-	1,92
A2	55	25	16	4	-	-	1,71
A3	60	22	15	3	-	-	0,95
B1	82	-	16	-	2	-	0,45
B2	85	-	12	-	3	-	1,2
B3	80	-	16	-	4	-	0,7
C1	30	55	-	-	-	15	1,82
C2	50	35	-	-	-	15	1,46
C3	40	40	-	-	-	20	1,44

Tabla 35. Resistencia a la compresión de adobes de con diferentes fibras vegetales

Fuente: Adaptado de (González et al., 2019)

De la tabla 37 se observa que las combinaciones A1 y C1 presentan los mejores valores de resistencia a la compresión con 1,92 y 1,82 MPa respectivamente.

2.2.23. Autores: Cabrera et al., (2019)

Elaboraron una investigación para evaluar la resistencia a compresión de los adobes o bloques de tierra comprimidos (BTC) producidos con tierra de la comuna de Monte Vera, Santa Fe, Argentina, estabilizados con cal, para posterior contrastarlos con BTC sin estabilizar y estabilizados con cemento; a fin de analizar la viabilidad de reemplazar de manera total o parcial a este último en la fabricación de los BTC, lo cual reduciría significativamente el impacto ambiental y el consumo energético vinculado a su elaboración (Cabrera et al., 2019).

Se elaboraron los BTC con tierra de la zona estabilizada con cemento portland CPC 40 marca Holcim y cal hidráulica marca Cacique, en diversas proporciones, mediante el empleo de una prensa de accionamiento hidráulico marca ECO MAQUINAS. La presión de la prensa es de 2,94 MPa por bloque. Las dimensiones de los BTC fueron de 7,5 x 15 x 30 cm, con dos huecos de 6 cm de diámetro.

Serie	No. de BTC	Dosificación			Cal (%)	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
		Tierra (%)	Arena (%)	Cemento (%)		
Cal 1	12	90%	-	-	10%	0,82
Cal 2	12	70%	20%	-	10%	0,86
Cemento 1	30	90%	-	10%	-	4,55
Cemento 2	12	70%	20%	10%	-	3,55
Tierra 1	12	80%	20%	-	-	0,76
Tierra 2	12	60%	40%	-	-	0,85
Tierra 3	12	100%	-	-	-	0,62

Tabla 36. Ensayos de resistencia de compresión

Fuente: Adaptado de (Cabrera et al., 2019)

De la tabla 36 se infiere que los valores de los BTC estabilizados con cal son bajos y no llegan a alcanzar la resistencia de compresión de los homólogos estabilizados con cemento, que registran valores muy superiores a 4 veces más que aquellos estabilizados con cal.

2.2.24. Autores: Gandía et al., (2019)

Desarrollaron una investigación en la cual evaluaron la inclusión de saliva sintética de termita (SST) para estabilizar la fabricación de adobe, analizaron las propiedades físicas, mecánicas y térmicas. La norma empleada en el análisis fue la Norma Técnica de Edificación (NTE) E0.80, utilizando una nueva metodología (Gandia et al., 2019). Las muestras se denominaron C (control), SST1, SST2, SST4 y SST8 que representaron 0; 0,1; 0,2; 0,4 y 0,8% de STS en masa en el adobe, respectivamente. Todas las muestras se hicieron en el mismo periodo, se secaron durante 35 días protegidas del sol y de la intemperie y se utilizaron las mismas dimensiones de las formas (30x15x8 cm). La SST fue elegida por la no toxicidad, el poder cohesivo y la repelencia al agua.

Las concentraciones de arena, limo y arena fueron 41%, 2% y 57%, respectivamente. Los resultados de las pruebas de compresión fueron:

Muestra	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
C	1,39
SST1	121
SST2	1,34
SST4	121
SST8	1,38

Tabla 37. Resultados de la prueba de compresión

Fuente: Adaptado de Gandía et al. (2019)

La tabla 37 muestra los valores de resistencia de compresión para las diferentes muestras con SST, de los cuales la mezcla de control y la SST8 con 0,8% de saliva sintética de termita es mejor que la de control, sin embargo, mejora las propiedades físicas, principalmente debido a su poder hidrofóbico.

2.2.25. Autores: Cabrera et al., (2020)

En el trabajo elaborado se realiza para evaluar el impacto ambiental y la resistencia a compresión de Bloques (12.5 x 12.5 x 6.5 cm) de Tierra Comprimida (BTC) elaborados con suelo de Santa Fe, Argentina, estabilizados con cal aérea hidratada y cemento Portland

comprendidos entre el 5 y el 10% en peso. Se fabricaron 12 series de bloques estabilizados con diferentes proporciones de cal y cemento (Cabrera et al., 2020).

Porcentaje estabilizador	Tierra (%)	Arena (%)	Cal (%)	Cemento (%)	Resistencia de compresión promedio (MPa)
Cemento 0%	50,00%	50,00%	0,00 %	0,00%	0,76
Cemento 2,5%	48,80%	48,80%	0,00 %	2,50%	0,81
Cemento 5%	47,50%	47,50%	0,00 %	5,00%	1,39
Cemento 10%	45,00%	45,00%	0,00 %	10,00%	5,09
Cemento 15%	42,50%	42,50%	0,00 %	15,00%	6,08
Cemento 20%	40,00%	40,00%	0,00 %	20,00%	7,53
Cal 0%	70,00%	30,00%	0,00 %	0,00%	0,57
Cal 2,5%	68,30%	29,30%	2,50 %	2,50%	0,57
Cal 5%	67%	28,50%	5,00 %	5,00%	0,57
Cal 10%	63,00%	27%	10,00 %	10,00%	0,66
Cal 15%	59,50%	25,50%	15,00 %	15,00%	0,6
Cal 20%	56,00%	24,00%	20,00 %	20,00%	0,54

Tabla 38. Ensayos de resistencia a la compresión

Fuente: Adaptado de (Cabrera et al., 2020)

De la tabla 38 se nota que la estabilización con cal no incrementa la resistencia a compresión de los adobes, sin embargo, la estabilización con cemento mientras se utiliza más porcentaje de concentración mejora la resistencia a la compresión, y en el presente caso con 20% incrementa ostensiblemente. Cabe notar que según los autores concentraciones mayores al 10% encarece el costo de la fabricación de los adobes.

2.2.26. Autor: Ramírez (2021)

La investigación se relaciona con la evaluación de las propiedades físico-mecánicas del adobe (10 cm altura x 20 cm ancho x 40 cm largo) con la adición de emulsión asfáltica al 2, 4 y 6% fabricados en el barrio El Labrador, de la localidad de Luya, provincia de Luya, Perú (Ramírez, 2021). Se fabricaron 24 adobes tradicionales, 72 adobes estabilizados (24 con 2%, 24 con 4% y 24 con 6% de emulsión asfáltica), los cuales fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, absorción y saturación total.

En la fabricación de adobe tradicional, luego de la identificación del suelo con mejor resistencia (tierra arcillosa), se procedió a incorporarle agua para posterior reposo de 24 horas. Luego se agregó paja para moldear la mezcla y secado por 25 a 30 días. En tanto que, para la elaboración del adobe estabilizado, se procedió de la misma forma del adobe tradicional con la diferencia que luego de agregarle paja a la mezcla, también se adicionó el estabilizante (asfalto) en las diferentes proporciones de acuerdo al peso seco, y posterior secado entre 25 y 30 días. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la Dirección de Transportes y Comunicaciones de la región Amazonas, Perú (Ramírez, 2021).

Adobe	Proporción de asfalto%	Resistencia compresión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Absorción de agua (%)	Desgaste promedio	Evaluación promedio
Tradicional	-	1,22	0,31	32,50%	6,22	Severo (S)
	2%	1,31	0,31	14,48%	1,95	Moderado (M)
Estabilizado	4%	1,39	0,32	12,07%	1,4	Ligero (L)
	6%	1,5	0,33	9,55%	1,1	Ligero (L)

Tabla 39. Resultados de ensayos

Fuente: Adaptado de (Ramírez, 2021).

Con base a los resultados mostrados en la tabla 39, se infiere que los adobes tradicionales y estabilizados cumplen la Norma E.080 – RNE que establece que el mínimo valor de resistencia de compresión es de 1 MPa, por lo que se evidencia que al agregar asfalto a la mezcla incrementa a la resistencia de compresión en 22%, llegando a alcanzar el valor de

1,5 MPa con 6% de asfalto. La resistencia de flexión también se incrementó 5,6% en el adobe estabilizado al 6% de asfalto respecto al adobe tradicional. También se nota que se reduce la absorción de agua y menor desgaste al 9,55% en el adobe estabilizado al 6% de asfalto respecto al adobe tradicional. La conclusión de trabajo señala que la adición de asfalto al 6% en la fabricación de adobes mejoró las propiedades físico-mecánicas del adobe tradicional (Ramírez, 2021).

2.2.27. Autores: Rivera et al., (2021)

La investigación analiza el uso del adobe en los municipios de Nunchía y Pore, del departamento de Casanare, Colombia. La metodología consta de observación directa a construcciones en adobe (40 x 40 x 10 cm); elaboración de fichas técnicas especializadas hechas a muestras, a partir de ensayos de laboratorio, para el estudio de las propiedades mecánicas (Rivera et al., 2021). Las pruebas de laboratorio establecieron las propiedades físico, mecánicas y químicas del adobe tradicional, que considera la selección del suelo con textura franco-areno-arcillosa y una distribución porcentual del 47% de arenas, el 28% de arcillas y el 25% de limos, valores promedio del ensayo de laboratorio de propiedades físicas denominado método de Bouyoucos. Como elemento aglutinante se identificó el uso de bosta (excremento de ganado vacuno o caballar).

Los resultados de las pruebas de compresión simple fueron:

Espécimen	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ²)
1 mes (suelo + agua + bosta + pasto)	0,53	5,39
1 mes (suelo + agua)	0,84	8,55
3 años (suelo + agua)	0,73	7,44
30 años (suelo + agua)	0,55	5,6
70 años (suelo + agua)	0,66	6,78
100 años (suelo + agua)	0,51	5,22

Tabla 40. Resultados de la prueba de compresión simple

Fuente: Adaptado de (Rivera et al., 2021)

La tabla 40 muestra que en el mejoramiento de la capacidad de resistencia a la compresión del adobe incide la modificación del tipo de suelo, la presencia o no de aditivos naturales, la selección de la composición porcentual de arenas, limos y arcillas, la priorización del uso de la humedad óptima para los procesos de mezclado y obtención de la mayor densidad máxima permisible; todo ello, para alcanzar mayor durabilidad.

2.2.28. Autores: Castrillo et al., (2021)

elaboraron un trabajo de investigación mediante el cual reproducen la fabricación de adobes tradicionales (28 x 14 x 10 cm), con enfoque en el efecto del tipo y la cantidad de fibra. Se elaboraron varios adobes en el laboratorio con 30% y 70% en volumen de aserrín o paja. Las físico-mecánicas se compararon con los valores de los documentos normativos internacionales (Costi de Castrillo et al. 2021). La reproducción se realizaron con dos adobes de referencia suministrados por un productor contemporáneo de Chipre (NB0) o reproducidos en el laboratorio con materia prima materia prima suministrada por el mismo productor (NB1), y diez adobes producidos en el laboratorio con distintos porcentajes de paja o aserrín (NB30, NB32 - NB40). La tierra está compuesta por arcilla y limo en 92% y arena 8%.

Adobe	Descripción	Paja%	Aserrín%	Tierra%	Resistencia a la compresión (MPa)
NB0	Productor contemporáneo de Chipre	20% - 40%		80% - 60%	2,44
NB1	Adobe fundido en laboratorio/secado utilizando materia prima premezclada suministrada por un productor contemporáneo	20% - 40%		80% - 60%	3,38
NB32	Adobes producidos en laboratorio		30%	70%	7,32
NB33	Adobes producidos en laboratorio		40%	60%	7,28

Adobe	Descripción	Paja%	Aserrín%	Tierra%	Resistencia a la compresión (MPa)
NB30	Adobes producidos en laboratorio		50%	50%	6,54
NB34	Adobes producidos en laboratorio		60%	40%	4,67
NB35	Adobes producidos en laboratorio		70%	30%	3,21
NB36	Adobes producidos en laboratorio	30%		70%	4,64
NB37	Adobes producidos en laboratorio	40%		60%	3,62
NB38	Adobes producidos en laboratorio	50%		50%	1,46
NB39	Adobes producidos en laboratorio	60%		40%	0,96
NB40	Adobes producidos en laboratorio	70%		30%	0,76

Tabla 41. Valores promedio de resistencia de compresión

Fuente: Adaptado de (Costi de Castrillo et al., 2021)

La tabla 41 muestra los valor de resistencia a la compresión en las diferentes composiciones, de lo cual se nota que las mezclas con aserrín presentan lo valores más altos de resistencia a la compresión.

2.2.29. Autores: Parlato et al., (2021)

Estudiaron la forma de mejorar las mezclas de materiales de construcción a base de tierra para aumentar sus propiedades mecánicas, sin adición de agentes químicos. Se realizó una estabilización física en un suelo de textura original mediante la adición de diversos tamaños de partículas. Se ejecutaron pruebas mecánicas en cinco mezclas de suelo diferentes cambiando la composición del suelo, los agregados y el agua (Parlato et al.,2021). Las mezclas numeradas 1, 2, 3, 4 y 5 se realizaron aumentando el porcentaje de arena desde el 25% hasta el 35% y disminuyendo el porcentaje de suelo de Florida (SF) del 60% al 45%. Todas las muestras se produjeron utilizando un 20% de agua y 80% de suelo (SF añadido

con arena) excepto las muestras construidas con la mezcla 4, que se hicieron con 25% de agua y 75% de tierra. Este incremento de agua fue necesario para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Al SF se le agregó arcilla, obteniendo un suelo compuesto por un 58% de tierra SF y por un 42% de arcilla. Después, para mejorar su comportamiento mecánico, se añadió al SF una arena piroclástica, llamada azolo, disponible en la zona de Etnean. Los resultados de la prueba de compresión en adobes de 160×40×40 mm se muestra a continuación

Muestra	SF%	Arena%	Agua %	Resistencia promedio de compresión (MPa)
1	60%	20%	20%	4,82
2	55%	25%	20%	6,34
3	50%	30%	20%	6,39
4	42%	33%	25%	3,05
5	45%	35%	20%	6,74

Tabla 42. Resultados de la prueba de compresión

Fuente: Adaptado de (Parlato et al., 2021)

Los datos obtenidos reflejaron que los bloques compuestos en un 50% de suelo de florida, un 30% de arena y un 20% de agua obtuvo una resistencia promedio de compresión obtenida fue de 6,39 MPa siendo el valor más alto a diferencia de los demás. Esto implica que, la distribución de estos materiales puede soportar una carga de compresión de alrededor de 6,39 megapascales antes de que se produzca una falla.

2.2.30. Autores: Prasanna et al., (2022)

Analiza la estabilización de bloques de tierra con ceniza de bagazo de caña de azúcar CBCA (Sugarcane Bagasse Ash - SBA). Se fabricaron bloques de tierra estabilizada de dimensiones 15cm x 15cm x 15cm con varias combinaciones, con cemento OPC simple de grado 43 y CBCA de la fábrica de azúcar de Goa, con 28 días de secado (Prasanna et al.,2022). Los bloques estabilizados se probaron para determinar su resistencia a la compresión bajo la máquina de prueba universal de acuerdo con las especificaciones de BIS.

Tierra%	Cemento%	CBCA%	Resistencia promedio a la compresión (MPa)
100%	-	-	0,95
80%	20%	-	7,29
80%	10%	10%	2,58
80%	8%	12%	1,02
80%	6%	14%	0,65

Tabla 43. Valores de resistencia de compresión

Fuente: Adaptado de (Prasanna et al., 2022)

De la tabla 43 se puede notar que la estabilización con CBCA es más efectiva con concentraciones mayores de cemento del 10%, con lo cual registra mayores valores de resistencia a la compresión, que de acuerdo a la norma BUS el valor mínimo es de 1 MPa.

2.2.31. Autores: Cárdenas et al. (2018)

Compararon la capacidad resistente de adobes en la investigación ejecutada por que se centra en comparar los adobes tradicionales y adobes reforzados con varillas de vidrio en la ciudad de Cuenca-Ecuador. Para efectos del estudio se elaboraron 510 adobes de los cuales se tomaron 150 muestras con una dimensión de 10x10x10 cm y 40x20x10 cm (Cárdenas et al., 2018).

	Fibra (cm)%	Fibra %	Esfuerzo (MPa)
1	0,00	0	100%
2	0,00	0	114%
3	5,00	3,4	108%
4	10,00	6,80	94%
5	5,00	2,80	110%
6	10,00	7,90	108%
7	3,00	0,60	125%

Tabla 44. Valores de resistencia de compresión en adobes

Fuente: Adaptado de Cárdenas et al. (2018)

La información expuesta determina que, en el sexto caso, se observa con mayor resistencia de todas las muestras ensayadas, un valor que es mayor a lo que se establece en la norma E.080. En este sentido, la investigación se consideraron las técnicas de la normativa ecuatoriana y la Norma Peruana E.800 para la aplicación de los ensayos.

Los datos expuestos en la tabla de resultados, denotan que la fibra de vidrio genera una mayor resistencia del abobe a las fuerzas de compresión. Por lo que se recomienda el uso para mejorar la capacidad de resistencia.

2.2.32. Autores: Cárdenas et al. (2020)

En el marco de las investigaciones sobre ensayos de compresión, en el estudio efectuado por quienes analizaron una base de datos con pruebas de compresión sobre bloques de tierra sin cocer (Cárdenas et al., 2020). Para ello, a través de la revisión sistémica obtienen las siguientes medias:

Tipos de adobe	Resistencia a la compresión (MPa)
Sin estabilizar	1,15
Estabilizado	1,22

Tabla 45. *Valores de resistencia de compresión en adobes*

Fuente: Adaptado de Cárdenas et al. (2018)

Los datos descritos en la tabla 45 corresponde a una media de los datos evidenciados en países como Colombia, Ecuador, México, Perú y España. En este caso, los bloques de análisis alcanzaron 40 cm de ancho y 10 cm de altura como máximo, por lo que las piezas sin ningún tipo de estabilizador existen menor resistencia a las pruebas de compresión en comparación a los adobes estabilizados con materiales minerales como el cemento con una compresión mayor. Con esto, se confirma la ventaja de compactar adobe para maximizar la capacidad de resistencia de los muros con este tipo de material para la construcción.

Capítulo III

Análisis estadísticos sobre los ensayos de resistencia a la compresión en el adobe

En la presente sección se abordan la revisión sistémica sobre investigaciones aplicadas sobre diferentes estabilizadores en adobe, para ello se distribuyen los resultados según categorías basados en resistencia a la compresión del sistema constructivo del adobe en los últimos 20 años.

3.1. Resultados revisión estadística estabilizadores del adobe

Para efectos de la interpretación, tras la sistematización de la información se obtuvo una muestra de 326 muestras (observaciones) para ello, se organizan los datos en función de los siguientes aspectos:

- a) Total composición suelo
- b) Total de agregados
- c) Compactado
- d) Total de estabilizante
- e) Resistencia a la compresión observada (MPa)

La base de datos se ubica en el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) en función de las diferentes variables analizadas. Uno de los primeros análisis tiene relación entre los adobes con y sin compactación, en función de las 326 observaciones obtenidas de las investigaciones consideradas en este trabajo:

	Total Composición del Suelo (%)	Total de agregados (%)	Compactado	Total de estabilizantes (%)	Resistencia a la compresión observada (MPa)
N	326	326	326	326	326
Desviación estándar	21,5633	11,2718	0,4477	20,0856	3,1980
Varianza	464,9760	127,0540	0,2000	403,4320	10,2270
Mínimo	0	0	1	0	0,07
Máximo	100	70	2	100	21,5

Tabla 46. Estadísticos del análisis de las variables de adobes no compactados y compactados

Como se observa de la tabla 48 el valor mínimo alcanzado de la resistencia a la compresión es de 0,07 MPa, en tanto, el valor máximo es de 21,5 MPa, que se distribuye tanto para los adobes no compactados y compactados. Por lo demás se obtuvo una desviación de estándar es de 20,08 en el total de estabilizadores aplicados en los ensayos analizados.

Adobes compactados	Frecuencia	Porcentaje	Media	Sig. (bilateral)
Sí	236	72,4 %	4,24	
No	90	27,6 %	1,45	0,000
Total	326	100 %		

Tabla 47. Estadística descriptiva de la resistencia de los adobes de la muestra y resultados para prueba t

La tabla 47 muestra que, del total de datos obtenidos de adobes tradicionales y estabilizados, el 27,6% corresponde a adobes sin compactar y el 72,4% de los datos son adobes compactados. Lo que implica que las diferentes pruebas de las investigaciones analizados consideran la idoneidad de mantener el proceso de presionar los adobes recién moldeados para eliminar el aire atrapado y asegurar que las partículas del material se unan entre sí, garantizando la aplicación de los ensayos

De lo cual se observa que los adobes compactados presentan mayores valores de resistencia de compactación, con una media de 4,24 MPa, en contraste, los adobes sin estabilizar tienen una media inferior de 1,45. De acuerdo con los resultados se evidencia que mientras el adobe esté compactado, este tendrá mayor resistencia (MPa).

En lo que respecta a la prueba t, se muestra un valor de significancia menor a 0,05 lo que indica que el promedio de resistencia de las muestras de adobe no compactados es diferente al promedio de adobe compactado, lo que resulta estadísticamente significativo. En consideración de que al analizar que el valor promedio de resistencia es mayor de los que están compactados, se infiere que dicha diferencia surge por la mayor resistencia evidenciada por los adobes compactados.

A continuación, se presenta una síntesis sobre resistencia a la compresión para adobes con y sin compactación, sin agregados vegetales ni estabilizadores:

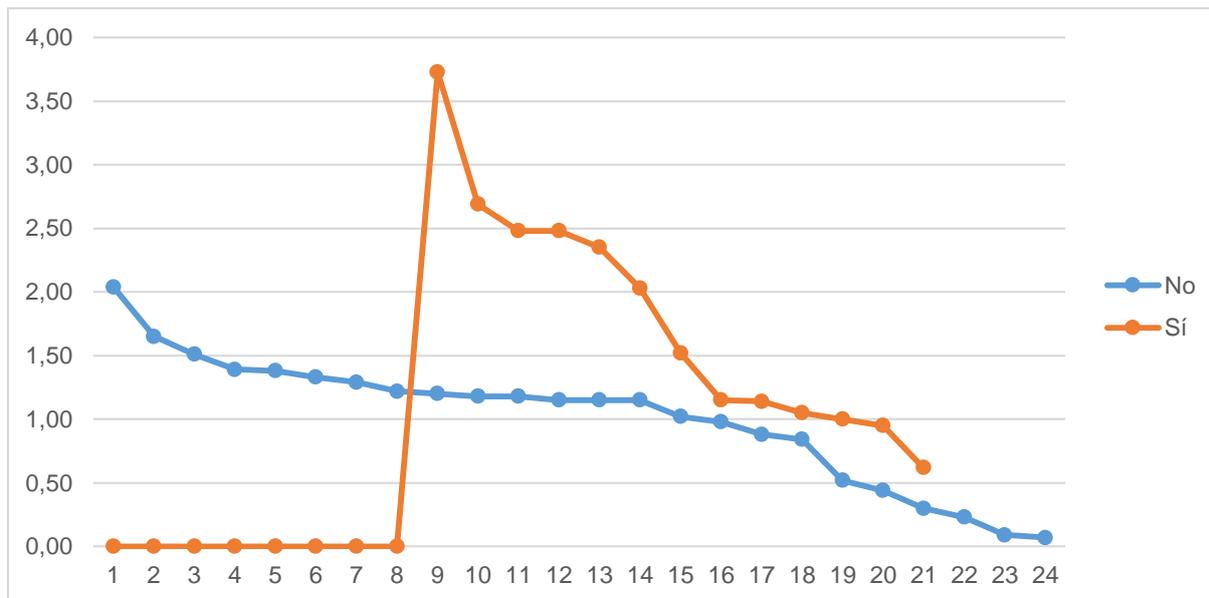


Figura 9. Resistencia a la compresión para adobes con y sin compactación y sin agregados ni estabilizadores

Autor	Con o sin compactar	Suelo (Arcilla, Cal y Arena)	Resistencia (MPa)
Vilela y Loaiza (2017) James et al. (2017)	No compactado	43,98% arena 33,33% Cal 22,69% Arcilla	2,04
		No especifica	1,65
Algara et al. (2012) Danso (2017)	Compactado	No especifica	3,73
		35,87% arena 23,91% Cal 40,22% Arcilla	2,69

Tabla 48. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados elaborados sin agregados vegetales y estabilizantes.

Con los datos de la figura 10 y tabla 48 se evidencia que los adobes que no se elaboraron con agregados vegetales ni estabilizadores que fueron compactados tienen mayor resistencia que los que no fueron compactados, dado que en el estudio de Vilela y Loaiza (2017) se

identificó que la resistencia máxima de los adobes sin compactar que se fabricaron con el 43,98% de arena, el 33,33% de cal y el 22,69% de arcilla presentaron una resistencia de 2,04 MPa, mientras que en la investigación de James et al. (2017) fue de 1,65 MPa.

Por otra parte, en lo que respecta a los adobes que no se elaboraron con agregados vegetales o estabilizadores que fueron compactados, en el estudio de Algara et al. (2012) encontraron que la resistencia fue de 3,73 MPa, mientras que en la investigación de Danso (2017) en un adobe realizado con 35,87% arena, 23,91% Cal y 40,22% Arcilla, la resistencia fue de 2,69 MPa.

Conforme a lo expuestos los adobes compactados sin agregados ni estabilizados logran un valor máximo de resistencia a la compresión en adobes de 3,7 MPa, de tal forma que presentan una mayor capacidad de resistencia. Los datos obtenidos se relacionan con el registro del trabajo de Roux y Olivares (2002) superando valor establecido por la norma peruana NTE E 080 (2017) de 2 a 2,5 MPa.

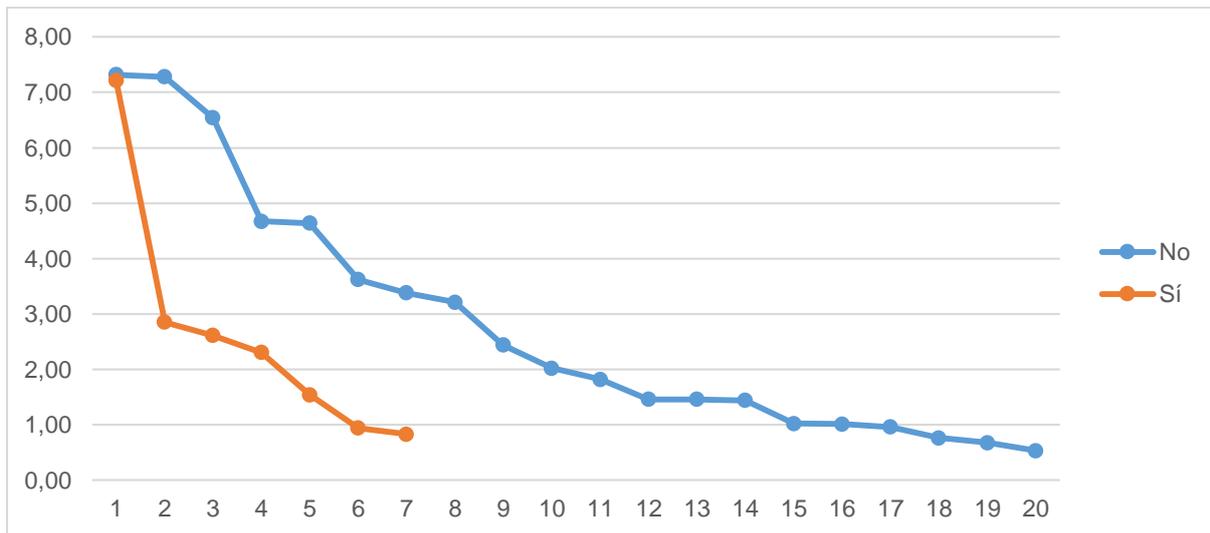


Figura 10. Resistencia a la compresión para adobes con agregados vegetales

Autor	Con o sin compactar	Suelo (Arcilla, Cal y Arena)	Agregado vegetal	Resistencia (MPa)
Costi de Castrillo et al. (2021)	No compactado	70%	30% Aserrín	7,32
		60%	40% Aserrín	7,28

Algara et al. (2012)	Compactado	91%	9% abono de caballo	7,22
		90%	10% cascara de arroz	2,85

Tabla 49. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados elaborados con agregados vegetales

En la figura 11 se presenta las observaciones de la resistencia a la compresión de adobes con agregados vegetales con y sin compactación, mientras que en la tabla 48 los estudios y el detalle de los adobes más resistentes encontrados.

El valor máximo se muestra en el trabajo Costi de Castrillo et al. (2021) quien refleja un mayor nivel de resistencia en adobes sin compactación de 7,32 MPa, que corresponde a la composición de 70% de suelo (arcilla y cal con 92% y arena con 8%) y 30% de agregado de aserrín. Por el contrario, en adobes compactados, en la investigación de Algara et al. (2012) la resistencia de adobe de 7,22 MPa, el mismo que fue elaborado con 91% de suelo y 9% con abono de caballo esta también considerable. Los dos valores de resistencia registrados superan la referencia normativa de 5,88 MPa, establecido en la norma NMX-C-404- ONCCE-2005.

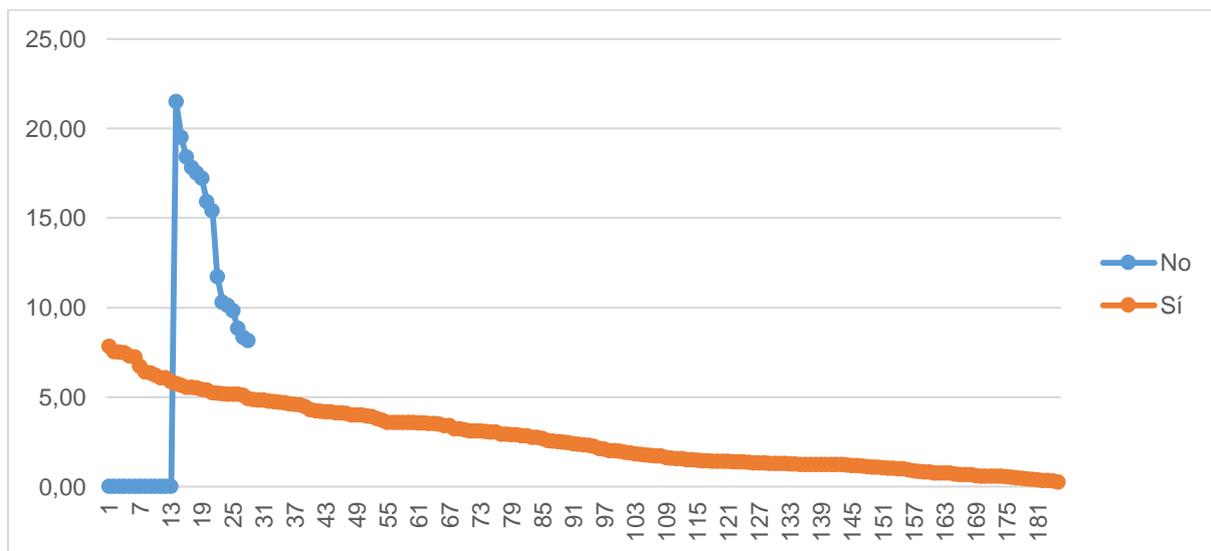


Figura 11. Resistencia a la compresión de adobes con y sin compactación con estabilizadores

Autor	Con o sin compactar	Suelo (Arcilla, Cal y Arena)	Estabilizador	Resistencia (MPa)
Vilela y Loaiza (2017)	No compactado	90,91%	9,09% cemento	4,12
Vilela y Loaiza (2017)		92,59%	7,41% cemento	2,84
Guettala et al. (2005)	Compactado	89%	7% Cemento 4% Cal hidratada	21,50
Guettala et al. (2005)		65%	32% Resina Medalatex 3% Cemento	19,50

Tabla 50. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados elaborados con estabilizadores

La figura 12 muestra los valores de resistencia a la compresión en adobes con y sin compactación que fueron realizados con estabilizadores. En la tabla 48 muestra los mejores valores de resistencia presentados, así como la composición en la fabricación. Con los resultados es evidente que los estabilizadores incrementan de forma sostenible la resistencia a la compresión, tal es así que el valor máximo de los adobes compactados es de 21,5 MPa. Estos valores se deben a la composición basados en arcilla 57%, cal 16% y arena 16% y 11% de estabilizadores (7% de cemento CPJ 45 y 4% de cal hidratada) conforme se registra en la investigación efectuada en Argelia, bajo normas ASTM por Guettala et al. (2005).

Mientras tanto, el valor máximo de resistencia a la compresión de los adobes sin compactar, con estabilizadores fue de 4,12 MPa con lo que sin duda se observa una menor resistencia en las pruebas de compresión, el adobe no compactado que presentó esta resistencia se elaboró con el 90,91% suelo (23,75% de arcilla, 30,31% de cal y 36,85% de arena) y 9,09% de estabilizadores (cemento Portland tipo I), bajo las normas AASHTO T-208-ASTM D (Vilela y Loaiza (2017)).

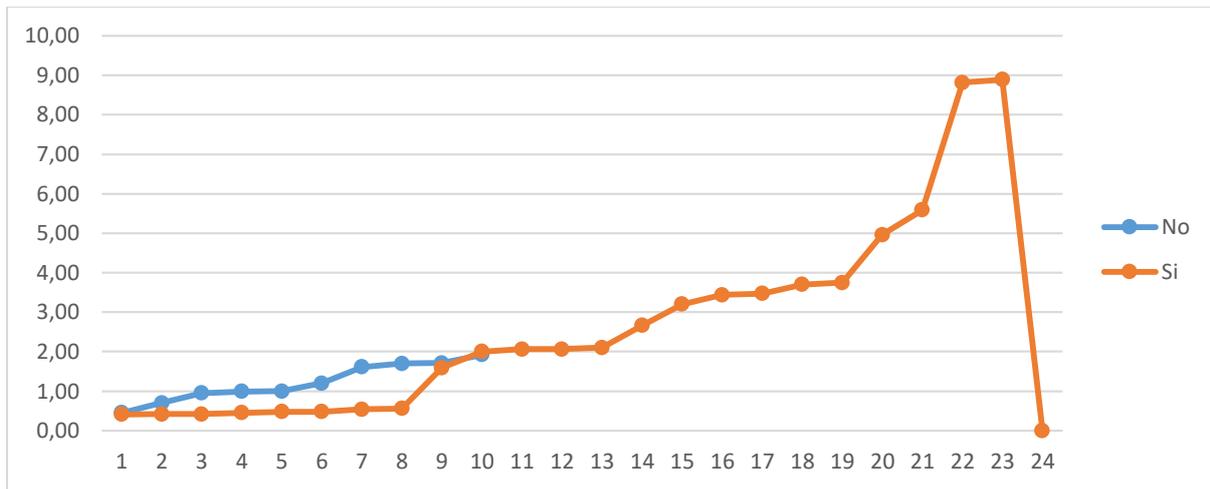


Figura 12. Resistencia a la compresión de adobes con y sin compactación con agregados vegetales y estabilizadores

Autor	Con o sin compactar	Suelo (Arcilla, Cal y Arena)	Agregado vegetal	Estabilizador	Resistencia (MPa)
González et al. (2019)	No compactado	40,40% arcilla 16,80% cal 22,80% arena	4% heno	16% arena	1,92
González et al. (2019)		43,70% arcilla 15,40% cal 20,90% arena	4% heno	16% arena	1,71
Algara et al. (2012)	Compactado	87,80 %	0,20% Ixtle (Agave lechuguilla)	6% Yeso 6% Cal hidratada	8,89
Algara et al. (2012)		85%	8% abono de caballo	7% Cal hidratada	8,82

Tabla 51. Caracterización de las muestras de adobe con mayor resistencia observados con agregados vegetales y estabilizadores

En la figura 12 se muestra la distribución de la resistencia que presentaron los adobes sin compactar y compactados que fueron elaborados con agregados vegetales y estabilizadores, donde se evidencia que los que fueron compactados presentaron una mayor resistencia que los que estuvieron compactados. Así, el valor más alto fue el evidenciado por Algara et al. (2012) en dos adobes, el primero fue elaborado con el 87,80% de suelo, el 0,20 % de agregado vegetal que es el Ixtle, y el 12% de estabilizadores, el 6% de yeso y el 6% de cal, que presentó una resistencia de 8,89 MPa.

Por el contrario, de los adobes que fueron elaborados con agregados vegetales y estabilizadores que no fueron compactados, donde el que mayor valor de resistencia presentó fue elaborado con el 40,40% de arcilla, el 16,80% de cal y el 22,80% de arena como agregados de suelo, mientras que de agregado vegetal se consideró el 4% de heno, el 16% de estabilizador de arena, que en conjunto implicó el 1,92 MPa de resistencia.

Conclusiones

En este trabajo se realizó la revisión sistémica sobre el tipo de estabilizadores y ensayos aplicados en la optimización el sistema constructivo del adobe. Se obtuvo las siguientes conclusiones con base a los objetivos formulados:

- Con respecto a la revisión sistémica, se determinó que el sistema de fabricación de adobes conlleva al uso de estabilizadores mejora la resistencia a la compresión de los adobes porque presentan mayores valores de resistencia a la compresión en adobes estabilizados que los adobes tradicionales, en especial con el empleo de estabilizadores minerales como cemento Portland tipo I.
- Con relación al segundo objetivo de la investigación sobre la selección con aproximaciones metodológicas de compresión de adobe, se determinó que la idoneidad de investigaciones efectuadas a partir de año 2000 que ejecutan estudios bajo la normativa técnicas internacional y regional. En función de ello, se concluyen que la estandarizar de la información de las diferentes pruebas, permitió identificar composiciones del adobe en función de porcentajes de composición de arcilla, cal y arena de los adobes, agregado vegetal y el uso de estabilizadores; con ello obtener los resultados de MPa en los diferentes ensayos de compresión. Tras la sistematización de la información se obtuvieron 326 muestras de los diferentes ensayos de compresión, de este grupo 72,4% fueron adobes compactados y el 27,6% adobes sin compactar.
- Con relación al tercer objetivo sobre la aplicación de un análisis estadístico, se concluyó que la media de los adobes compactados fue de 4,24 MPa, mientras que los adobes no compactados presentaron una media de 1,45MPa. Así, mientras los bloques de adobes sean compactados se incrementa la capacidad de resistencia a la compresión. Al aplicarla prueba de Levene se determinó que un valor probabilidad $p < 0,05$ lo que implica existe una diferencia significativa en los valores analizados.

- Con respecto al tipo de estabilizadores, se determinó que un agregado vegetal incrementa la resistencia de un adobe no compactado, mientras que un estabilizante incrementa la resistencia de un adobe compactado y la combinación de un agregado vegetal y un estabilizante no implica mayor resistencia del adobe.

Recomendaciones

- Establecidas las conclusiones de esta investigación se recomienda en trabajos futuros considerar otras variables de estudio como densidad, presión, elasticidad y tracción, que permitan complementar el análisis sísmico de los adobes estabilizados.
- Por otra parte, se reconoce la importancia de retomar el uso del adobe con el uso de estabilizadores que sean menos contaminantes en su producción y amigables con el ambiente, enfocados en proyectos de construcción sostenibles.
- A pesar de las ventajas del adobe en la construcción como alternativa de menor costo, sin embargo, en el medio local todavía existe la concepción mental que no permite el desarrollo en edificaciones de uso común, por lo que es recomendable propiciar el análisis de técnicas de fabricación local y coadyuvar a que se incentive el empleo de adobes estabilizados en el sector de la construcción.
- Es importante que a nivel académico se fomente realización de pruebas en adobes estabilizados para la emisión de una norma local que se ajuste a las diferentes condiciones de tierra, climatológicas y sísmicas del Ecuador, para que se constituya como fundamento para el empleo de adobes en la construcción.

Referencias

- Achig, M., Zúñiga, M., Van Balen, K., y Abad, L. (28 de Noviembre de 2013). Sistema de registro de daños para determinar el estado constructivo en muros de adobe. *Revista semestral de la DIUC*, 4(2), 14. [https://doi.org/ https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06](https://doi.org/10.18537/mskn.04.02.06)
- Algara, M., Cárdenas, Á., Arista, G., y Rodríguez, J. (2012). Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí. *Celaya Academia Journals*, 4(3), 83-87. shorturl.at/cgBNU
- Al-Jabri, K., Hago, A., Al-Saadi, S., Al-Harthy, I., y Amoatey, P. (2 de Agosto de 2021). Physico-thermal, mechanical, and toxicity properties of stabilised interlocking compressed earth blocks made with produced water from oilfields. (E. Ltd., Ed.) *Journal of Building Engineering*(42), 11. Retrieved 27 de Noviembre de 2021, from <https://sci-hub.se/10.1016/j.jobe.2021.103029>
- Alvarado, E. (2019). *Propuesta de desarrollo tecnológico para producción de bloques BTC*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13793/1/Edgar%20Fernando%20Alvarado%20Figueroa.pdf>
- Alvarez, S. (2019). *Comparación de las propiedades mecánicas de unidades y primas de bloques de tierra comprimida estabilizada con cemento*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13435>
- Andrew, J. (2016). *Fibre-reinforced Soil Based Construction Materials*. Durham University. https://www.researchgate.net/profile/Andrew-Corbin/publication/341287060_Fibre-reinforced_Soil_Based_Construction_Materials/links/5eb92878a6fdcc1f1dd00d78/Fibre-reinforced-Soil-Based-Construction-Materials.pdf
- Ararsa, W. (2020). Accessing the suitability of local soil for making Compressed Earth Blocks (CEB's) and Preparation of guide manual for Modern Houses in case of West shoa zone, Ethiopia. *ResearchGate*, 1-29. <https://www.researchgate.net/profile/Dr-Subash->

- Thanappan/publication/358529568_Accessing_the_suitability_of_local_soil_for_making_Compacted_Earth_Blocks_CEB's_and_Preparation_of_guide_manual_for_Modern_Houses_in_case_of_West_shoa_zone_Ethiopia/links/6206
- Architecture 2030. (2018). *The Building Sector*. <https://architecture2030.org/why-the-building-sector/>
- Aresta, M. (2020). *Estructuras en adobe: técnicas para la construcción de paredes de tierra*. <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/936145/estructuras-en-adobe-tecnicas-para-la-construccion-de-paredes-de-tierra>
- Arista, G., y Aguillón. (2018). Estrategias para la estabilización de arquitectura de tierra y la conservación del patrimonio construido con tierra. *Comparativo con BTC: su capacidad de carga*. https://www.researchgate.net/publication/337569706_Comparativo_con_BTC_Bloques_de_Tierra_Comprimida_Su_capacidad_de_carga_utilizando_mezclas_de_estabilizadores
- Arteaga, J., y Loja, L. (2018). *Diseño de adobes estabilizados con emulsión asfáltica*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30332/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Arteaga, K., Medina, O., y Gutiérrez, O. (2011). Bloque de tierra comprimida. *Facultad de ingeniería*, 20(31). <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940770005.pdf>
- Avila, F., Puertas, E., y Gallego, R. (20 de Octubre de 2020). Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review. *Construction and Building Materials*, 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121435>
- Babor, D., y Plian, D. (2010). The presevation of adobe buildings. *BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI*, 56(60), 17-25. <https://www.researchgate.net/profile/Dan->

- Babor/publication/43245264_The_Preservation_of_Adobe_Buildings/links/00463521e326bbe955000000/The-Preservation-of-Adobe-Buildings.pdf
- Bailón, E., Espinoza, R., y Acevedo, J. (2019). Bloque de suelo estabilizado en pequeño formato y tecnología de colocación en obra en vivienda de interés social. *Ingeniería y desarrollo*, 37(1). <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v37n1/2145-9371-inde-37-01-00105.pdf>
- Barros, L., y Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad. *Revista de la construcción*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2010000200004
- Bel, P., Moreno, J., Zavala, A., Folache, P., y Abad, I. (2016). *Arquitectura en tierra*. https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2017/22XIIICIATTI2016_Bel-Anzue.pdf
- Benites, V. (2017). *Adobe estabilizado con extracto de cabuya (Furcraea andina)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2993/ICI_237.pdf
- Bonilla, F. (2012). *Adobe alivianado para mamposterías no portantes*. [Tesis pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://1library.co/document/6zk8mmzx-adobe-alivianado-para-mamposterias-no-portantes.html>
- Brito. (2021). La elaboración de adobe sostenible. *DAYA*. https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/11/articulo04/uazuay.elaboracion_de_adobe_sostenible.html
- Buitrago, A., y Molina, G. (octubre de 2019). Título: Muretes no estructurales en bloques de tierra comprimida (BTC) de cenizas volcánicas, como material alternativo para construcciones sostenibles. Pereira, Colombia: Universidad Libre. https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Alzate-Buitrago/publication/340984146_Non-structural_walls_in_compressed_earth_blocks_BTC_of_volcanic_ash_as_an_alterna

tive_material_for_sustainable_constructions/links/5ea89adc92851cb2676233d4/Non-structural

Cabrera, S., Aranda, Y., Suárez, E., y Rotondaro, R. (2020). *Revista Hábitat Sustentable*, 10(2), 70-81. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>

Cabrera, S., Aranda, Y., Suárez, E., y Rotondaro, R. (2020). Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto. *Hábitat sustentable*. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/4325>

Cabrera, S., González, A., y Rotondaro, R. (2019). Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Evaluación de dosificaciones y resistencia a la compresión. *III ENCUENTRO LATINOAMERICANO Y EUROPEO DE EDIFICACIONES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES*, 1-9. <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5316/Cabrera%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cabrera, S., González, A., y Rotondaron, R. (2019). Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Evaluación de dosificaciones y resistencia a la compresión. *EURO e/ecs*. <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/5316/Cabrera%20et%20al.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Caicedo, R. (Diciembre de 2020). La Quincha en Chile Restauración de Monumentos Nacionales, Freirina, Región de Atacama. *Revista de restauración arquitectónica*, 7(14), 20. Retrieved 29 de Noviembre de 2021, from <https://editorialrestauro.com.mx/gremium/index.php/gremium/article/view/174>

Calabuig, R. (2015). *Efecto de la adición de la cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de hormigones con altos contenidos en cenizas volantes*. [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=78199>

- Calderón, J. (2018). Materiales de arcilla geo-polimerizada: tecnologías para la arquitectura del futuro. *Jornada de Doctorado del programa de Tecnología de la arquitectura, de la Edificación y del Urbanismo*. Barcelona. https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=UmPos34AAAJ&citation_for_view=UmPos34AAAAJ:u-x6o8ySG0sC
- Calderón, J. (2019). *Estudio experimental de geopolímeros de arcillas en función de la resistencia mecánica*. [Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://www.tesisenred.net/handle/10803/667124#page=44>
- Campoverde, R. (2017). *Realización de un muro portante de suelo mediante malla geotextil*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/16651/1/Campoverde%20Mu%C3%B1oz%20Ronald%20Alexander%20TESIS.pdf>
- Cañola, H., Builes, A., y Medina, C. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. *TecnoLógicas*, 21(53), 135-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.22430/22565337.1061>
- Cárdenas, X., Chuya, E., y Ayala, F. (2018). Comparación de la capacidad resistente de adobes y adobes reforzados con fibra de vidrio. *Seminário Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31796/1/documento.pdf>
- Cárdenas, X., Todisco, L., y León, J. (2020). Database with compression and bending tests on unbaked earth. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122232>
- Catalán, R. (2018). *Construcción con tierra, reinterpretación de una tradición*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior de Arquitectura]. https://oa.upm.es/51489/1/TFG_Catalan_Diez_Raquel.pdf
- Chacón, J., Suquillo, B., Sosa, D., y Celi, C. (2021). Evaluación y Reforzamiento de una estructura patrimonio de Adobe con irregularidad en planta. *Revista Politécnica*.

http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000100043

Cid, J., Mazarrón, F., y Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes De La Construcción*.

<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1262>

Cifuentes, W., y Cifuentes, E. (2019). Propuesta de aprovechamiento de la fibra de plátano en la región de Ariari departamento del Meta. [Tesis maestría] Universidad Pontificia Bolivariana.

<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4925/Propuesta%20aprovechamiento%20fibra%20de%20pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Costi de Castrillo, M., Ioannou, I., y Philokyprou, M. (2021). Reproduction of traditional adobes using varying percentage contents of straw and sawdust. *Construction and Building Materials*(294), 1-17.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123516>

Cuitiño, M. (29 de Marzo de 2019). Earth Construction: Ancestral Techniques for Current Problems. *Civil Engineering Research Journal*, 7(5), 2.

<https://doi.org/10.19080/CERJ.2019.07.555725>

Daneels, A. (2015). Los sistemas constructivos de tierra en México Prehispánico. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 1-13.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085993>

Danso, H. (7 de Noviembre de 2017). Experimental Investigation on the Properties of Compressed Earth Blocks Stabilised with a Liquid Chemical. *Advances in Materials*, 6(6), 122-128. <https://doi.org/10.11648/j.am.20170606.13>

Danso, H. (2017). Experimental Investigation on the Properties of Compressed Earth Blocks Stabilised with a Liquid Chemical. *Advances in Materials*, 6(6), 122-128. <https://doi.org/10.11648/j.am.20170606.13>

- Díaz, C. (2011). *La arquitectura en adobe: edificaciones, pruebas y comportamiento en el centro antiguo*, 16.
https://www.researchgate.net/publication/283992207_LA_ARQUITECTURA_EN_AD_OBE_EDIFICACIONES_PRUEBAS_Y_COMPORTAMIENTO_EN_EL_CENTRO_ANTIGUO_DE_VILLAVICENCIO
- Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP. (2020). *Memoria de sostenibilidad 2018-2019*.
- Eslami, A., Zahedi, A., y Mirabi, H. (18 de Agosto de 2021). In-plane seismic behavior of NSM strengthened adobe walls: Experimental evaluation of different reinforcements. (E. Ltd., Ed.) *Engineering Structures*(246), 13.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113016>
- Gama, J., Cruz, T., Pi, T., Alcalá, R., y Cabadas, H. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222012000200003
- Gandia, R., Correa, A., Gomes, F., Marin, D., y Santana, L. (2019). Physical, mechanical and thermal behavior of adobe stabilized with "synthetic termite saliva". *Engenharia Agrícola*, 39(2), 139-149. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n2p139-149/2019>
- García, G., Amaya, J., y Ordóñez, S. (2016). Desafíos de los procesos de producción y construcción en adobe en América Latina. *Seminario Iberoamericano de arquitectura y construcción con tierra*.
<https://doi.org/https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/38472/1/documento.pdf>

- Gómez, J. (2018). Procesos patológicos en muros de adobe. Panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura. <https://resarquitectura.blogs.upv.es/files/2018/07/76-ACint-low.pdf>
- González, C. (2014). *Construcción natural y tecnologías apropiadas*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3741.pdf
- González, K., Pita, D., Sánchez, R., y Pérez, L. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(3), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2019.20n3.030>
- Guerrero, L. (2014). Potencial ecológico de la edificación con adobe. *Gremium*(1). <https://editorialrestauro.com.mx/potencial-ecologico-de-la-edificacion-con-adobe/>
- Guerrero, L. (Enero de 2014). Potencial ecológico de la edificación con adobe. *Revista Gremium*(1), 13. Retrieved 29 de Noviembre de 2021, from <https://editorialrestauro.com.mx/potencial-ecologico-de-la-edificacion-con-adobe/>
- Guerrero, L. (2020). El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivo de adobe. *Intervención*. <https://doi.org/10.30763//Intervencion.236.v2n22.15.2020>
- Guerrero, L. (2020). El uso de tierra modelada en la intervención de componentes constructivos de adobe. *Intervención*, 11(22), 133-160. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8119043>
- Guettala, A., Abibsi, A., y Hoauri, H. (2005). Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. *Construction and Building Material*(20), 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.001>
- Guillén, P. (2016). *Arquitectura de Tierra*. https://issuu.com/winog.marzal/docs/guill__n_marzal_pablo_arquitectura_

- Gutiérrez, R. (2021). ¿Hacia un nuevo modelo? Avances en la gestión integral de residuos sólidos urbanos en la Región Metropolitana de Buenos Aires. *CLACSO*, 1-41. <https://www.jstor.org/stable/pdf/j.ctvtxw2j4.12.pdf>
- Hastings, I., y Huerta, G. (2015). *Reconstrucción y mejoramiento de la vivienda de adobe en la montaña de Guerrero*. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6086015.pdf>
- Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: análisis, conservación y mejora*. Barcelona. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107822/tfg_josune%20hernandez.pdf
- Hossain, A., y Mahmud, I. (2018). Compressed Stabilized Earth Block as a Sustainable Building Material. *Civil and Environmental Research*, 10(10), 49-53. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/CER/article/view/44968/46408>
- Hurtado, O., Cárdenas, J., y Acevedo, C. (2018). The Architecture on Land and its Construction Techniques, Millenary Tradition that is Reborn. (C. C. Attribution, Ed.) *Contemporary Engineering Science*, 11(68). <https://doi.org/https://doi.org/10.12988/ces.2018.87353>
- Idrogo, S. (2018). *Propiedades mecánicas del adobe compactado tradicional y el adobe compactado con ceniza de biomasa arbórea*. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14096/Idrogo%20Sempertegui%20%20Stewart%20Downey.pdf?sequence=1>
- Íñiguez, M., y Guzmán, S. (2016). Metodología para la elección de estabilizantes químicos para bloques de tierra. *Estoa*, 9(5).
- Jaimes, S., Matto, E., Arestegui, D., Torres, L., y Mariano, H. (2017). Caracterización física mecánica de los adobes usados en las viviendas de las zonas urbano marginales de la ciudad de Huánuco, Perú. *Revista Científica Investigación Valdiviana*, 11(3), 145-152. <http://diu.unheval.edu.pe/revistas/index.php/riv/article/view/117>

- Junta de Andalucía de Cuenca. (2007). *Guía de arquitectura Cuenca*.
https://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/arquitectura/fomento/guias_arquitectura/adjuntos_ga/Cuenca_e.pdf
- Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, A., y Kumar, S. (2019). Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. *Journal of Cleaner Production*, 630-654.
- Laborel-Préneron, A., Aubert, J.-E., Magniont, C., Tribout, C., y Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. *Construction and Building*, 111(10), 719-734. Retrieved 14 de Diciembre de 2021, from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01876690/document>
- Lacoste, P., Premat, E., y Bulo, V. (2014). Tierra cruda y formas de habitar el reino de Chile. *Universum*. <https://www.redalyc.org/pdf/650/65031069005.pdf>
- Lara, L., y Bustamante, R. (2022). Caracterización y Patología de los Muros de Tierra de las Construcciones Andinas Ecuatorianas. *Revista Politécnica*, 49(2).
https://www.academia.edu/74807746/Caracterizaci%C3%B3n_y_Patolog%C3%ADa_de_los_Muros_de_Tierra_de_las_Construcciones_Andinas_Ecuatorianas
- Llumitagasi, S., y Siza, A. (2017). Estudio de la resistencia a compresión del adobe artesanal estabilizado con paja, estiércol, savia de penca. [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26586/1/Tesis%201171%20-%20Siza%20Salazar%20Ana%20Lisette.pdf>
- Macías, A. (2017). *Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizadas*. [Tesis de grado, Universidad de Sevilla].
<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/66763/AO%20Tfg%20ETSA%20100.pdf?sequence=1>
- Malkanathi, S., Wicramasinghe, W., y Perera, A. (29 de Septiembre de 2021). Use of construction waste to modify soil grading for compressed stabilized earth blocks (CSEB) production. (E. Ltd., Ed.) *Case Studies in Construction Materials*, 15.

Retrieved 26 de Noviembre de 2021, from <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2214509521002321?token=A52326BDA0212B3D640E50D83E582C4A6A3F6BBCE439CC2936636B91849808D5334A8638FA5FE0623B120907AB7C1D0E&originRegion=us-east-1&originCreation=20211126231850>

- Martínez, L., Quintana, R., y Martirena, J. (2007). Aglomerante puzolánico formado por cal y caña de paja de azúcar. *Revista ingeniería de Construcción*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732007000200005
- Meybodan, H., Morshed, R., y Eslami, A. (11 de Mayo de 2019). Experimental investigation on the seismic behavior of adobe walls retrofitted with palm meshes. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 4. Retrieved 29 de Noviembre de 2021, from <https://www.semanticscholar.org/paper/Experimental-investigation-on-the-seismic-behavior-Gattesco-Dudine/a417effaf0240f256fee2323f5a53c72e4fdb75a>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada. N° 212-2017 Vivienda. Perú.
- Morales, V., Ortíz, M., y Alavéz, R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe. *Naturaleza y Desarrollo*, 5(1), 41-48. https://pdfhoney.com/compress-pdf.html#google_vignette
- Moscoso-Cordero, M. (2016). El adobe, sus características y el confort térmico. (P. vlrCPM, Ed.) *Congreso Internacional online Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional "Transformando comunidades hacia el desarrollo local"*, 5. Retrieved 29 de Noviembre de 2021, from <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobe-Moscoso.pdf>
- Nagaraj, H., Sravan, M., Arun, T., y Jagadish, K. (2014). Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. *International Journal of Sustainable Built Environment*(3), 54-61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.03.001>

- Nieto, L., y Tello, E. (2019). Adobe estabilizado con mucílago de penca de tuna, resistentes al contacto con el agua para la construcción de viviendas populares empleados en la sierra del Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628256/Nieto_PL.pdf?sequence=3
- Obafemi, A., y Kurt, S. (7 de Diciembre de 2015). Environmental impacts of adobe as a building material: The north cyprus traditional building case. (E. Ltd, Ed.) *Case Studies in Construction Materials*(4), 10. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2015.12.001>
- Organización de las Naciones Unidas. (2016). Normas generales de construcción. https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109372
- Ortega, P. (2017). Diagnóstico del sitio para el uso del adobe aplicado en viviendas en la parroquia Vilcabamba del Cantón Loja, Ecuador. [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2115/1/T-UIDE-0670.pdf>
- Pacheco-Torga, F., y Jalali, S. (3 de Diciembre de 2011). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. (E. Ltd, Ed.) *Construction and Building Materials*, 29, 512-519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- Paredes, F., y De la Cruz, G. (2017). Estudio de estabilizadores en el adobe. *SERTECPET*. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/download/59/32/169>
- Parlato, M., Porto, S., y Cascone, G. (2021). Raw earth-based building materials: An investigation on mechanical properties of Florida soil-based adobes. *Journal of Agricultural Engineering*, 52(2), 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.4081/jae.2021.1154>
- Poorveekan, K., Ath, K., Anburuvel, A., y Sathiparan, N. (25 de Enero de 2021). Investigation of the engineering properties of cementless stabilized earth blocks with alkali-activated

- eggshell and rice husk ash as a binder. (E. Ltd., Ed.) *Construction and Building Materials*, 14. Retrieved 27 de Noviembre de 2021, from <https://scihub.st/10.1016/j.conbuildmat.2021.122371>
- Prasanna, S., Sail, S., Patil, R., De Souza, M., Prasad, A., Gavandalkar, A., y Gaude, Y. (2022). Strength analysis of soil blocks admixed with sugarcane bagasse ash. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 10(1), 1-12. <https://cuhso.uct.cl/index.php/safer/article/download/2534/2115>
- Quiteño, A. (25 de Marzo de 2015). La cal como elemento que mejora la resistencia en la producción del ladrillo de adobe en el departamento de Ahuchapán. *Anuario de investigación*, 8. Retrieved 29 de Noviembre de 2021, from <http://www.diyys.catolica.edu.sv/wp-content/uploads/2016/06/30CalAnVol4.pdf>
- Ramírez, M. (2016). Cómo construir un prototipo de una cúpula de adobe con una técnica popular. *Legado de arquitectura y diseño*. <https://www.redalyc.org/journal/4779/477951060010/html/>
- Ramírez, O. (2021). Mejoramiento de las propiedades físico - mecánicas del suelo con incorporación de asfalto para elaborar adobes. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 4(3), 15-19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i3.802>
- Rázuri, C. (2020). Uso de la fibra de vidrio en la fabricación de adobe: Caracterización mecánica del nuevo material. Universidad Señor de Sipán. <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/8754/R%c3%a1zuri%20Rivas%20Carlos%20Enrique.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rimbarngaye, A., Mwero, J., y Ronoh, E. (24 de Octubre de 2021). Performance evaluation of compressed laterite blocks stabilised with cement and gum Arabic. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8(33), 1268-1278. <https://doi.org/DOI:10.19101/IJATEE.2021.874536>.

- Rimbarngaye, A., Mwero, J., y Ronoh, E. (2021). Performance evaluation of compressed laterite blocks stabilised with cement and gum Arabic. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8(83), 1268-1278. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2021.874536>.
- Ríos, E. (2010). Efecto de la adición de látex natural y jabón de resistencia. *CIIDIR OAXACA*. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/117
- Rivasplata, P. (2015). La arqueología precientífica en el Perú en el siglo XVIII. *Letras históricas*(13). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-83722015000200221
- Rivera, H., Valderrama, O., Daza, Á., y Plazas, G. (2021). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia). *Revista de Arquitectura*, 24(1), 74-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rivera, J. (2012). El adobe y otros materiales de sistemas constructivos en tierra cruda: caracterización con fines estructurales. *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 25(2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632012000200002
- Rivera, J., Mejía de Gutiérrez, R., Ramirez-Benavides, S., y Orobio, A. (15 de Julio de 2020). Compressed and stabilized soil blocks with fly ash-based alkali-activated cements. (U. d. Valle, Ed.) *Construction and Building Materials*. Retrieved 14 de Diciembre de 2021, from <https://sci-hub.se/10.1016/j.conbuildmat.2020.120285>
- Rivera-Salcedo, H., Valderrama-Gutiérrez, O., Daza-Barrera, Á., y Plazas-Jaimes, G. (2021). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia). *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.14718/>
- Rivero, S. (2007). El uso masivo de la tierra como material de construcción en Colombia. *Apuntes*. <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a15.pdf>

- Roa, M., y Larrota, M. (2020). *Construcción en adobe para las comunidades de recursos limitados*. [Tesis de grado, Universidad de la Gran Colombia]. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5727/Larrota_Elizabeth_Roa_Melina_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, M., Saroza, B., Nolasco, P., Barroso, I., Ariznavarrete, F., y González, F. (2014). Some recommendations for the construction of walls using adobe bricks. *Dyna*, 81(185). <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49631031021>
- Rodríguez, M., y Saroza, B. (2006). Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba. *Materiales de Construcción*, 56, 53-62. <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/27>
- Rodríguez-Mariscal, J., Canivell, J., y Solís, M. (24 de Junio de 2021). Evaluating the performance of sonic and ultrasonic tests for the inspection of rammed earth constructions. *Construction and Building Materials*, 299(123854), 13. Retrieved 26 de Noviembre de 2021, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821016147>
- Romero, A. (2017). Viabilidad constructiva del bloque de tierra en España. *Escuela Técnica de Construcción Arquitectónica*. <https://core.ac.uk/download/pdf/157761359.pdf>
- Roux, R., y Guerrero, L. (2012). Estudio Comparativo de bloques de tierra comprimida esatbilizados con cal y con cemento. *Construcción con tierra CT5*, 83-92. <https://core.ac.uk/download/pdf/151807279.pdf#page=115>
- Roux, R., y Olivares, M. (2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. *Infones de la Construcción*, 53(478), 39-50. <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/627/709>
- Ruiz, S., Ceron, L., y López, C. (2017). Evaluación del comportamiento sísmico de las casas consistoriales. *Revista de ingeniería de construcción*, 32(2).

<https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718->

[50732017000200003&script=sci_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732017000200003&script=sci_abstract)

Sánchez, E., Torres, G., y Esquivel, R. (2019). Desempeño de un material granular estabilizado con cemento cuando se aplica carga a compresión. *Tecnura*, 23(60), 59-71. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/22487638.14640>

Sánchez, S., y Méndez, J. (2019). *Impermeabilizante natural a partir de la ceniza cascarrilla de arroz para muros en adobe*. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5567/MONOGRAFIA%20MENDEZ%20Y%20FRESNEDA%20G11%20PTCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sandoval, G. (2021). *Evaluación de la erosión y la resistencia del adobe adicionado con cenizas de carbón y cal*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santo Domingo]. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4232/1/TL_SandovalAlvardoGrecia.pdf

Sekhar, D., y Nayak, S. (2018). Utilization of granulated blast furnace slag and cement in the manufacture of compressed stabilized earth blocks. *manufacture of compressed stabilized earth blocks*(166), 531-536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.125>

Serrano, M., Perez, D., Torraqdo, L., y Hernández, D. (2017). Residuos inertes para la preparación de ladrillos con material reciclable. *Industrial Data*. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81652135016.pdf>

Sharma, V., Marwaha, B., y Vinayak, H. (15 de Marzo de 2016). Enhancing durability of adobe by natural reinforcement for propagating sustainable mud housing. (E. B.V., Ed.) *International Journal of Sustainable Built Environment*(5), 15. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2016.03.004>

Singh, S., Singh, J., Kumar, R., y Gupta, P. (2 de Julio de 2021). Stability of compressed earth blocks using sugarcane bagasse ash and wheat straw. (E. Ltd., Ed.) *Materials Today:*

- Proceedings*, 5. Retrieved 26 de Noviembre de 2021, from <https://scihub.se/10.1016/j.matpr.2021.07.023>
- Toirac, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y sociedad*. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>
- Tripura, D., y Singh, K. (2014). Characteristic Properties of Cement-Stabilized Rammed Earth Blocks. *J. Mater. Civ. Eng.* 27. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001170](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001170)
- UNE Normalización Española. (2008). CTN 41/SC 10. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%2041/SC%2010>
- Ureña, M., Llumitasig, S., Tamaño, A., y Coello, D. (2019). Study of compressive strength in artisanal adobe stabilized with cow manure, nopal sap, straw and bull blood. *Rev. Tec. En g. Universidad Zulia*, 42(3), 112-117. <https://doi.org/https://doi.org/10.22209/rt.v42n3a02>
- Useche, I., y Durán, J. (2006). Adobe: Técnica constructiva, confort y ambiente. *Revista Científica UNET*, 18(1), 1-8. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/unet/v18n1/articulo10.pdf>
- Vargas, J., Ginoccino, F., Morales, K., y Iwaki, C. (2008). Uso de grouts de barro líquido para reparar fisuras estructurales en muros históricos de adobe. *V Congreso de Tierra en Cuenca de Campos*. https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2010/2010_9788469345542_p281-288_vargasneumann.pdf
- Vásquez, A., Botero, L., y Carvajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición. *Ingeniería y Ciencia*. <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v11n21/v11n21a11.pdf>
- Vásquez, A., Botero, L., y Carvajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197-220. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.11.21.10>

- Vásquez, M., Guzmán, D., y Iñiguez, J. (3 de Noviembre de 2015). Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 154-163. Retrieved 15 de Noviembre de 2021, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085965>
- Vásquez, M., Guzmán, D., y Iñiguez, J. (2015b). Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados químicamente. *In Tierra, sociedad, comunidad: 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 154-163. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6085965.pdf>
- Vázquez, M., Guzmán, D., y Iñiguez, J. (2015). Comparación entre propiedades físicas y mecánicas de adobes tradicionales y BTC estabilizados. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*. Cuenca. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085965>
- Vilela, D., y Loaiza, E. (2017). Ensayos preliminares de mezcla suelo-cemento, mejoran la estabilización de adobes para la construcción rural. *Bosques Latitud Cero*, 7(1), 127-132. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/176/172>
- Viñuales, G. (2007). Tecnología y construcción con tierra. *Apuntes*, 20(2), 220-231. <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a04.pdf>
- Viviendas Ambientales. (2010). FT/M-B. *Muros de Bahareque*. https://www.programaviva.org/wp-content/uploads/2019/03/FT_Muros-de-Bahareque.pdf
- Weill, J. (2021). *Variación de la resistencia a la compresión del adoben al incorporar aserrán de madera*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/7490/Jorge_Tesis_Titulo_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Yamín, L., Bernal, C., Reyes, J., y Ruiz, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes*(20). <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a09.pdf>
- Yi , L., Zhou, P., Pengpeng, N., Xingqiang, P., y Junjie, Y. (28 de Julio de 2021). Degradation of rammed earth under soluble salts attack and drying-wetting cycles: The case of Fujian Tulou, China. *Applied Clay Science*, 11. Retrieved 26 de Noviembre de 2021, from <https://sci-hub.se/10.1016/j.clay.2021.106202>
- Zeas, V., y Belnacázar, M. (2021). *Mejoramiento de bloques de adobe con fibras de cabuya y aceite de linaza*. [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37366>