

La tierra como material de construcción, propiedades y estabilizantes

Dayana Katerine Molina Contreras¹, Javier Eduardo Becerra Becerra²

Resumen

Los métodos de construcción en tierra se han adaptado a través de la historia, mediante diferentes técnicas para la planeación, ejecución y construcción de diferentes obras de gran importancia; al mismo tiempo han sido la razón de origen de las primeras unidades de vivienda en las que el desarrollo científico y tecnológico desea implementar estrategias para el mejoramiento de la calidad de la materia prima, que para el caso de estudio resulta ser la tierra. Éste un material no renovable compuesto por arcilla, limo y arena, posee unas características especiales entre las que se puede encontrar la cantidad de minerales y el porcentaje de los mismos establecidos mediante estudios que permiten su identificación cuantitativa y cualitativa.

Para las construcciones a base de tierra se pueden establecer distintas propiedades tanto físicas como químicas de los materiales usados; como la estructura, porosidad, densidad, textura y color, así como la resistencia a la compresión. Este trabajo presenta el análisis de diferentes investigaciones en las que se resalta el uso de la tierra como material de construcción, junto con el uso de ensayos para la caracterización mineralógica entre los que se resalta el análisis por fluorescencia de rayos X, siendo un método analítico con gran precisión y que no genera alteraciones a la muestra y el SEM-EDS que permite caracterizar composicionalmente los materiales y conocer el origen de estos.

Palabras clave: Adobe; BTC; Edificaciones; Tierra, Tierra apisonada.

Land as building material, properties and stabilizers.

Abstract

Methods of construction on land have been adapted throughout history, using different techniques for the planning, execution and construction of different works of great importance. At the same time, they have been the source of the first housing units. In which scientific and technological development wishes to implement strategies for the improvement of the quality of raw material, which for the case of study is land. This is a non-renewable material composed of clay, silt and sand. Also, it has some special characteristics such as the big quantity of minerals and the percentage of minerals established by studies that allow their quantitative and qualitative identification.

For soil-based constructions, different physical and chemical properties of used materials can be established; such as the structure, porosity, density, texture and color as well as the resistance to compression. This article presents the analysis of different research that highlights the use of land as a construction material, accompanied by the use of tests mineralogical characterization. Among which the x-ray fluorescence analysis is highlighted, being a very precise analytical method that does not cause alternations to the sample and the SEM-EDS that allows compositionally characterize the materials and know the origin of these.

Keywords: Adobe; BTC; buildings; soil, tamp down soil

1. Introducción

El presente documento está relacionado con el análisis de diferentes investigaciones realizadas en distintas zonas del país, así como en otras regiones del mundo, en las que se resalta la importancia del uso de la tierra como material de construcción. Su objetivo es la elaboración de un estudio detallado de sus características físicas y químicas como: dureza, resistencia a la compresión, composición química y mineralógica y una de las más importantes, su comportamiento frente a los diferentes agentes climáticos. Así mismo se analizan diferentes técnicas y estrategias implementadas para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas que permitan su uso como material de construcción.

Se resalta la importancia de ensayos de caracterización como: difracción de rayos X, SEM-EDS, petrografía de luz reflejada y transmitida, todos estos para el análisis mineralógico. De igual forma ensayos como: absorción de agua y de envejecimiento acelerado con el fin de valorar el comportamiento hídrico del material, contenido de humedad y determinar de manera rápida la resistencia del material ante diferentes agentes de alteración.

Por lo tanto, en este trabajo se encuentra el uso de la tierra como material de construcción desde sus inicios hasta la actualidad como lo son: adobes, tierra apisonada, concretierra y BTC junto con

estudios relacionados a estos usos. Además, se analizan algunos estabilizantes que permiten mejorar las propiedades de la tierra y diferentes ensayos tanto de caracterización mineralógica como hídricos y de envejecimiento acelerado.

2. Estado del arte

La tierra como material de construcción recibe otros nombres como barro el cual se encuentra formado por arcilla, limo y arena muy fina; bloques de tierra compuestos por gravas, arena y gravilla, bloques de tierra arcillosa que son fabricados a mano y finalmente los bloques de suelo o comprimidos moldeados y cocidos en ladrilleras. Esta también cuenta con ciertas características en el tamaño de sus partículas, que permiten una mejor identificación ya que las arcillas cuentan con diámetros menores a 0.002mm, los limos entre los 0.002mm y 0.06mm seguida de las arenas con diámetros entre 0.06mm y 2mm. (Minke, 2005).

La construcción de viviendas surge por necesidad de las personas en encontrar un espacio de refugio, protección y seguridad, es allí donde este material entra a jugar un papel muy importante debido a que cuenta con características, cualidades y propiedades que permiten su implementación para tal fin. En la actualidad un tercio de la población mundial vive en viviendas que fueron construidas en tierra. Colombia cuenta con 1.133 monumentos, de los cuales el 80% de ellos se encuentran contruidos de tierra y poblaciones rurales que tienen viviendas a

base de este material. (Kaffure, Ramos, & Camacho, 2015).

Las técnicas de construcción con tierra empezaron hace 9000 años. En el Turquestán se encontraron viviendas de tierra entre los años 800 y 600 a.C; en Asiria, cimientos de tierra apisonada con orígenes en el año 5000 a.C., las culturas que se encontraban en ese momento, en cada uno de los territorios de planeta, utilizaron la tierra como material en sus viviendas, aunque también fue usado en fortalezas y obras destinadas a eventos religiosos. Las bóvedas del templo Mortuorio de Ramsés II en Gourná de Egipto las cuales fueron construidas con adobes hace más de 3000 años. La ciudad de Arge Bam en Irán, cuenta con algunas construcciones con 2500 años de antigüedad.

En el siglo XVIII, fueron construidas ciudades en Marruecos en el valle de Draa a base de tierra. La técnica más utilizada fue la de tierra apisonada, la cual fue utilizada para la construcción de la Muralla China que años más adelante fue enchapada con algunas piedras naturales y ladrillos esto con el fin de darle una apariencia de una muralla de piedra. El centro de la pirámide de sol en México se encuentra formada por dos millones de toneladas de tierra apisonada, edificada entre los años 300 y 900. (Minke, 2005). Existen otras más construcciones de gran importancia que marcaron el uso de este material y su potencial para ser usado en este sector.

Con esto se evidencia como la técnica de tapial o tierra apisonada, era una de las más utilizadas y reconocidas por la sociedad. Es ahí donde la tierra comienza a tener diferentes usos como refuerzo de techos y paredes impidiendo la expansión del fuego, mejoramiento de la resistencia y durabilidad

de muros y consigo la estabilidad general de la edificación.

Existen diferentes tipos de tierra y no todas son adecuadas para construir, para cada una de las técnicas es necesario seleccionar la tierra que permita obtener el mejor funcionamiento, uno de los requisitos principales es que la tierra no debe contener humus, y la composición de esta debe ser analizada detalladamente con el fin de poder aprovechar cada una de sus propiedades y determinar si es necesario o no el uso de estabilizantes. Así, la tierra con alto contenido de materia orgánica y sales solubles deberán ser rechazadas como material de construcción.(Gatti, 2012).

La porosidad, es aquel porcentaje de volumen del suelo que no es ocupado por partículas sólidas, sino que es ocupada por agua, gases y actividad biológica del suelo.(U.N.L.P., 2019)

Otra propiedad es la superficie específica, que consiste en la suma de todas las superficies de una partícula, por una unidad de volumen es decir que a mayor tamaño de cada una de las partículas menor será la superficie específica. (Rucks, Garcia, Kaplan, Ponce de Leon, & Hill, 2004)

En el suelo se pueden determinar dos tipos de densidades, la densidad aparente y la real. La densidad aparente, se define como la relación entre el volumen total de sólidos que se encuentra en un suelo y su masa. Se utiliza como indicador de calidad del suelo ya que permite determinar aquellas alteraciones que se generaron al momento de ejecutar una determinada actividad antrópica. Mientras que la densidad real se encuentra determinada por la mineralogía y la composición química que tenga la fase sólida del suelo, por tal razón es generalmente constate.(Novillo et al., 2018)

La textura, estructura y color son también propiedades importantes ya que permiten determinar la velocidad de filtración del agua, la resistencia de los agregados del suelo e inducir a simple vista los procesos o fenómeno por lo que ha tenido que pasar el suelo a través del tiempo. (Ramirez, 1997)

Los suelos se encuentran constituidos por una serie de minerales que dependen del tamaño de sus partículas, las que corresponden a sustancias inorgánicas naturales. Los suelos se dividen en gruesos y arcillas. En lo que respecta a la primera clasificación los minerales que predominan son los silicatos como el feldespato potásico (KAlSi_3O_8), sódico ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), y cálcico ($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$), micas ($\text{AC}_2\text{-3T}_4\text{O}_{10}$), olivino ($\text{MgFe}(\text{SiO}_2)$), serpentina amencita ($\text{Mg}_2\text{Al}(\text{SiAl})\text{O}_5(\text{OH}_4)$), también se puede encontrar óxidos como el cuarzo (SiO_2), la limolita, magnetita ($\text{Fe}_2+\text{Fe}_3+2\text{O}_4$) y el corindón (Al_2O_3), carbonatos tales como la calcita (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), finalmente se pueden encontrar sulfatos como la anhidrita (CaSO_4) y el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). (Juarez & Rico, 1973)

Las arcillas básicamente se encuentran constituidas por silicatos de aluminio hidratados (SiO_4Al), silicatos de magnesio (SiO_4Mg), hierro (SiO_4Fe), u otros metales igualmente hidratados; estos minerales generalmente presentan una estructura cristalina bien definida y constituida por láminas silíceas y aluminicas. De acuerdo con la estructura reticular, los minerales de arcilla se encuentran en tres grandes grupos: las caolinitas ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Los montmorilonitas [$(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}$] e ilitas [$(\text{OH})_{4-y}\text{K}_y(\text{Si}_{8-y}\text{Al}_y)(\text{Al}_4\text{Fe}_4\text{Mg}_4\text{Mg}_6)\text{O}_{20}$]. (Juarez & Rico, 1973)

3. Usos de la tierra en la construcción.

La tierra es uno de los materiales más importantes y más abundantes en la gran mayoría de las regiones del mundo, esta cuenta con propiedades y con ciertas características que le permiten ser usada en diferentes campos industriales, en este caso nos enfocaremos en el uso de ella en el sector de la construcción.

El sector de la construcción es uno de los sectores con más crecimiento a nivel mundial, esto se debe principalmente al crecimiento de la población, según la ONU “para el año 2100, la población mundial será de 11.200 millones de personas, debido principalmente al crecimiento demográfico en los países en vías de desarrollo”. El sector de la construcción ocasiona graves impactos al medio ambiente, por el uso de materiales convencionales como: emisiones de gases de efecto invernadero, consumo energético global y emisión de elevadas cantidades de sustancias contaminantes a la atmosfera. (Rincon & Medina, 2019)

A partir de esto se ve la necesidad de utilizar nuevos materiales no convencionales que permitan la mitigación de dichos efectos en el medio ambiente, como la tierra.

3.1. Adobes

Este tipo de técnica es una de las más antiguas, se conoce que civilizaciones como los persas, asirios, egipcios y babilónicos ya usaban este tipo de bloques en la construcción de edificios que en la actualidad son importantes para las culturas. En Perú, la cultura Chimú construyó en el año 900 d.C la ciudad de tierra llamada Chan Chan. (Moscoso, 2010)

El adobe es un bloque de tierra compuesto por arena, arcilla y gravas que tienen diferentes tamaños, también fibra vegetal como la paja; esta mezcla es agregada a un

molde que puede ser de madera o metálico durante este proceso se deben dar golpes con el fin de evitar vacíos en la mezcla, posteriormente el molde se sumerge en agua por un determinado periodo de tiempo para luego extraer el bloque y dejarlo secar al aire libre. (Yuste, s. f.) Los adobes se pueden fabricar de diferentes tamaños según como se desee utilizar o el aspecto que se le quiera dar a la edificación.

El adobe al tener ciertas propiedades térmicas permite ofrecer confort a la vivienda, ya que en épocas de verano ofrecen frescura, pero a su vez en épocas de invierno estas viviendas son cálidas. (Gatti, 2012). Igualmente hay que tener en cuenta otros aspectos que son de gran importancia como por ejemplo, el peso de estos adobes es mucho más grande que el de un ladrillo o bloque convencional; lo que ocasiona que al momento de un sismo este colapse con mucha más rapidez y que se rompa con violencia, además tiende a presentar cambios en la estabilidad de la edificación ante la variación de temperatura que se presentan con grandes periodos de tiempo.

Debido a esto y otros problemas que se presentan al hacer uso de adobes en las construcciones de edificios o casas, se han realizado investigaciones acerca de desarrollar sistemas de refuerzo que proporcionen una mejor estabilidad estructural. Es por esto que en algunos países se ha buscado construir o usar adobe reforzado con otros materiales que les permita recibir los esfuerzos de tensión, para esto se hace uso de barras de acero, bambú o madera. (Pons, 2001).

En un estudio realizado en la Pontificia Universidad Javeriana muestra los resultados que se obtuvieron de las propiedades mecánicas que se presentan en unidades de adobe, al ser sometidas a

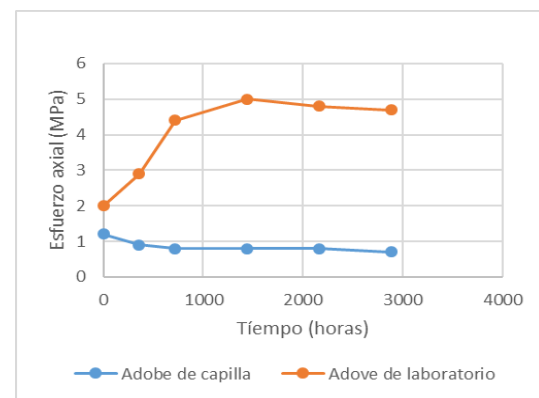
factores ambientales que eran simulados con procesos de radiación UVA y condensación. Para esto se utilizaron adobes con 300 años de antigüedad y adobes nuevos, en donde se logró concluir que la radiación UVA aceleraba las propiedades mecánicas del adobe nuevo, pero no tenía efecto sobre el adobe antiguo, como también que los cambios de resistencia se producen al haber variabilidad en la cohesión, ya que el ángulo de fricción no se modificaba con el pasar del tiempo. (Kaffure, Ramos, & Camacho, 2015).

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- ✓ Compresión inconfiada:

Tabla 1. Propiedades del adobe. (Adaptado de Ruiz, López y Rivera.)

Propiedades	Valor mínimo	Valor máximo
Resistencia a la compresión de piezas individuales de adobe (MPa)	0,2	6
Resistencia a la compresión de la mampostería de adobe (MPa)	0,2	1,6
Peso específico del adobe (KN/m3)	15	19
Modulo cortante de la mampostería de adobe (MPa)	20	45



Figural1: Variación del esfuerzo axial con el tiempo (Uribe, Ramos y Camacho, 2015).

En el caso del adobe de la capilla, no presenta ningún cambio con respecto a su esfuerzo axial, mientras que el adobe de

laboratorio si presenta variaciones de esfuerzo. La resistencia a la compresión del adobe de la capilla fue de 1.22MPa que, según la tabla1, este se encuentra por debajo de los límites establecidos por los autores. Para los de laboratorio, en cambio las compresiones se encuentran dentro de los límites. (Kaffure et al., 2015).

✓ Resistencia al corte:

Como se puede observar en la figura1, el adobe nuevo en un tiempo cero resiste un esfuerzo cortante mayor que el de la capilla (77%), pero va cambiando con respecto al tiempo. Con lo que los autores de la investigación lograron concluir que esto se debía a que el adobe de la capilla ha sido sometido a esfuerzos durante 300 años y que el tiempo de la investigación no era suficiente para lograr ver cambios significativos en este. Diferente en lo ocurrido en el adobe de laboratorio que se encuentra en procesos de compactación y que permite observar cambios notorios en sus propiedades. (Kaffure et al., 2015)

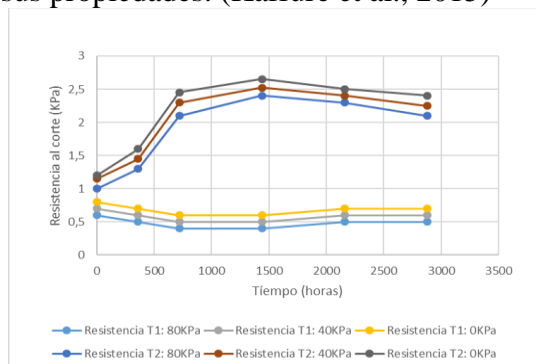


Figura 2: Variación de la resistencia al corte del adobe con el tiempo. (Uribe, Ramos y Camacho, 2015).

En la figura2 se encuentran representados los esfuerzos cortantes máximos. Se observa que la resistencia del material aumenta cada vez que aumenta la presión de confinamiento, igualmente que los adobes de la capilla (T1) no presenta cambios representativos de esfuerzo al ser sometidos a condiciones aceleradas de radiación y

condensación; mientras que el adobe de laboratorio (T2) presenta cambios estimables en sus esfuerzos. Se puede establecer con la figura2 que a medida que la edad del adobe es mayor, la resistencia es menor. (Kaffure et al., 2015)

✓ Modulo cortante G:

Este parámetro consiste principalmente en determinar la deformación que presenta el material al ser sometido esfuerzos de cortante. El modulo cortante para la capilla (T1) no presenta apreciables variaciones debido a la exposición a radiación UVA, pero el adobe de laboratorio (T2), este módulo aumenta con el tiempo. Al realizar la comparación entre la figura2 y la figura3 con respecto al adobe de laboratorio se observa que la resistencia y la deformabilidad mostradas son variables independientes. (Kaffure et al., 2015)

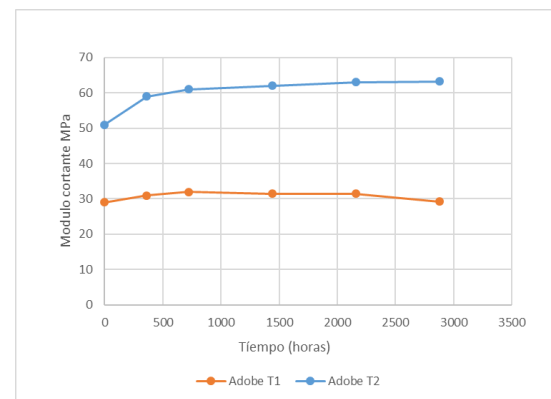


Figura3: Evolución del módulo de corte con el tiempo (Uribe, Ramos y Camacho, 2015)

✓ Angulo de fricción y cohesión del material:

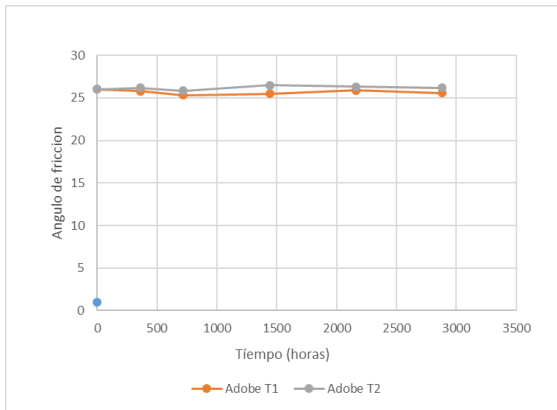


Figura4: Variación del ángulo de fricción (Uribe, Ramos y Camacho, 2015)

Como se observa en la figura4 el ángulo de fricción para el adobe de laboratorio presenta un incremento pequeño con respecto al adobe de la capilla. En lo que respecta a la cohesión, el comportamiento es del mismo tipo para el esfuerzo de corte. (Kaffure et al., 2015)

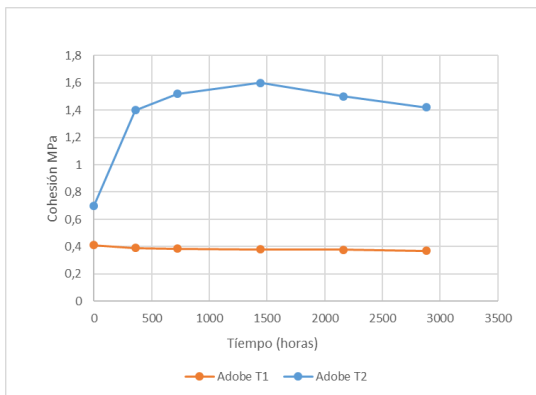


Figura5: Cohesión para los adobes (Uribe, Ramos y Camacho, 2015).

El adobe de la capilla, sus variaciones no son considerables, mientras que el adobe de laboratorio si se presentan cambios con respecto al parámetro de cohesión a lo largo del experimento. (Kaffure et al., 2015)

Luego de realizar los experimentos correspondientes para conocer el

comportamiento de los adobes, se realizaron análisis e interpretaciones de los datos obtenidos, encontrando que para la capilla de Tausa (T1) no presenta cambios en sus propiedades mecánicas al ser expuesta a procesos de radiación y condensación, pero en el adobe de laboratorio, se logra observar que la resistencia al corte, la cohesión y el módulo de corte van cambiando respectivamente. Al realizar los adobes se supuso que tanto el uno como el otro tenían las mismas propiedades físicas y mecánicas, por lo que se puede llegar a concluir que el adobe de capilla ha perdido un 80% de resistencia y un 60% de módulo de corte. El adobe de laboratorio alcanza su resistencia máxima a las 1440 horas ganando un 60% de esta es claro anotar que en ese mismo lapso se presenta un decrecimiento aproximadamente del 6% de resistencia. (Kaffure et al., 2015)

Igualmente, un estudio realizado por Catalán, Moreno, Galvan, & Arroyo, 2019 muestra la obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante diferentes ensayos, debido a la necesidad de una norma para este tipo de ladrillo hecho a base de tierra y otros materiales. En la actualidad no existe norma que tenga establecido parámetros o requisitos de las propiedades mecánicas que los adobes deban cumplir.

Hay que tener en cuenta que el 50% de la población en países en desarrollo viven en viviendas construidas a base de tierra. El estudio consistió en conocer la cantidad de viviendas que había en el estado de Guerrero (México), compuesto por siete regiones (Acapulco, Costa Grande, Costa Chica, Eduardo Neri, Norte, Tierra Caliente y Montaña) y dos zonas (D, C), de cada una de las regiones se determinaron las dimensiones que el ladrillo de adobe tenía y a partir de esto se obtuvo el promedios por

región y el promedio por las siete regiones y así encontraron las dimensiones de las piezas que fueron utilizadas en dicha investigación.(Catalán et al., 2019)

De acuerdo con esto, se realizaron adobes de 22.5cm de largo, 15cm de ancho y 4.5 cm de espesor y llevadas al laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad de Guanajuato.

Para el ensayo de resistencia a la compresión se definieron tanto las propiedades geométricas como los parámetros del mismo a partir de la norma mexicana. Cada pila construida tuvo una relación de altura-espesor de 4 con una velocidad de 10 KN/min con 3 ciclos de precarga y en el cuarto ciclo se llevó el espécimen a la falla.(Catalán et al., 2019). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 2. Esfuerzo resistente en compresión (Fm) y módulos de elasticidad (Em) en pilas. (Catalán, Moreno, Galvan y Arroyo, 2019).

Especimén	P (KN)	Fm (MPa)	Em (MPa)
PL-1	43,16	1,35	230,92
PL2	43,21	1,28	219,24
PL-3	40,99	1,28	275,89
PL-4	43,84	1,36	210,86
PL-5	35,6	1,12	200,94
PL-6	37,66	1,18	197,64
PL-7	40,06	1,21	273,23
PL-8	38,36	1,19	317,67
PL-9	34,65	1,07	242,08
Promedio	39,73	1,23	240,92

En el ensayo de resistencia a cortante se utilizaron muretes a compresión diagonal para así obtener el esfuerzo y el módulo de rigidez. Ensayados a una velocidad de 5 KN/min con 3 ciclos de precarga, fijando una carga máxima de 13 KN para los 3 ciclos de precarga y al cuarto ciclo igualmente se llevó el espécimen a la falla.

(Catalán et al., 2019). A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

Tabla3: Esfuerzos a compresión (Vm) y módulos de rigidez al corte (Gm) en muretes. (Catalán, Moreno, Galvan y Arroyo, 2019).

Especimén	P (KN)	Vm (MPa)	Gm (MPa)
MT-1	7,5	0,1	98,72
MT-2	7,68	0,11	61,72
MT-3	8,55	0,12	64,06
MT-4	8,32	0,12	65,42
MT-5	8,1	0,11	60,23
MT-6	8,48	0,12	52,57
MT-7	10,07	0,14	35,53
MT-8	7,19	0,1	55,26
MT-9	6,27	0,09	48,46
Promedio	8,02	0,11	60,22

Se calculó la resistencia a la flexión utilizando pilas y aplicando una carga en el centro de ellas en donde la orientación y aplicación fue similar a la fuerza inercial que se genera en un sismo sobre un muro. Sin embargo, se presentaron fallas en algunas de las pilas. (Catalán et al., 2019). A continuación, se muestran los resultados:

Tabla4: Esfuerzos a compresión (Vm) y módulos de rigidez al corte (Gm) en muretes. (Catalán, Moreno, Galvan y Arroyo, 2019).

Especimén	Peso propio, Pp (KN)	Modulo de la sección (cm3)	Longitud entre apoyos (cm)	Carga (KN)	Pp+carga (KN)	Momento flexionante (N-m)	Esfuerzo flexion (Mpa)
PF-1	0,23	753,4	44,4	0,1	0,33	36,64	0,049
PF-2	0,14	753,4	34,4	0,2	0,34	29,05	0,039
PF-3	-	-	-	-	-	-	-
PF-4	0,23	753,4	45,4	0,2	0,43	49,22	0,065
PF-5	-	-	-	-	-	-	-
PF-6	-	-	-	-	-	-	-
PF-7	0,23	760,4	46,4	0,1	0,33	38,72	0,051
PF-8	0,13	760,4	31,4	0,5	0,63	49,27	0,065
PF-9	0,23	753,4	45,8	0,1	0,33	38,01	0,05
Promedio							0,053

Y finalmente el ensayo de resistencia a la compresión axial del mortero de adobe, compuesto por 8 botes de tierra, un bote de paja y el agua suficiente que permitió lograr

una mezcla homogénea y moldeable, con un volumen de 13KN/cm³, obteniendo como resultado una compresión axial de 1.9 MPa. Luego, las propiedades mecánicas de los adobes obtenidas son muy bajas, esto se debe principalmente a la falta de adherencia que existe entre cada pieza y juntas de adobe, es decir que este tiene baja resistencia estructural al aplicarle fuerzas inducidas fuera de su plano. (Catalán et al., 2019).

De lo anterior se puede resaltar, lo importante de investigar materiales que permitan mejorar las propiedades mecánicas de los adobes con el fin de brindar al mundo viviendas económicas, sustentables, pero sobre todo seguras.

Con relación al mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe mediante el uso de aditivos u otros materiales se toma como referencia a Morales, Ortiz, & Álvarez, 2007 donde se enfocan en la elaboración de especímenes de material convencional (barro) y otros modelos en los que se implementó el uso de cemento portland evaluando la firmeza de cada uno de ellos con el fin de establecer parámetros de resistencia a la compresión para mejorar la técnica del adobe como material de construcción para las edificaciones.

De forma significativa se puede evaluar los estudios realizados para la investigación mencionada anteriormente en la que se tiene una serie de modelos, 5 series de adobes compactados sin cementante y estabilizados con ocho porcentajes de cemento que variaron entre el 2 % y el 16 % en peso. Los mejores resultados obtenidos se tienen para las probetas que varían entre del 2% al 8% con buena resistencia a la compresión y adherencia.

Finalmente se concluye que el uso de otros materiales para el mejoramiento de los adobes genera aportes positivos, pero que esto son favorables para su uso en porcentajes pequeños ya que se busca mejorar el producto más no reemplazar la materia prima implementada inicialmente.(Morales, Ortiz, & Alvarez, 2007)

Para el año 2017 se realizó una investigación a cerca de las propiedades mecánicas y térmicas de adobes compactados con el fin de buscar un material alternativo que permita mejorar el comportamiento térmico y una buena resistencia mecánica de estos, al ser usados en el sector constructivo.(Chino & Gutarra, 2017)

Al suelo utilizado se le realizo pruebas de clasificación y además se identificaron los componentes mineralógicos, a partir de esto se construyeron adobes con diferentes porcentajes de cemento empezando con 0% y aumentando de 5 en 5 hasta llegar a 20% del mismo, allí fueron sometidos a ensayos de compactación con el fin conocer tanto la influencia de la compactación como la del porcentaje de cemento. Los resultados permitieron observar el buen comportamiento de los especímenes al agregar un % determinado de cemento mejorando así las propiedades mecánicas de los adobes. (Chino & Gutarra, 2017)

3.2.Tierra apisonada:

Esta técnica trata de incorporar la tierra en la construcción, dejando de lado los bloques que antiguamente se hacían, se realiza por medio de moldes sobre los cuales se vierte la tierra humedecida y preparada en capas delgadas, luego con un pisón se golpea repetidamente con el fin de comprimirla y obtener un elemento más denso.

La tierra apisonada permite alcanzar una mayor resistencia a la compresión, en donde los límites pueden llegar hasta los 40 kg/cm², las paredes de tierra apisonada tienen un buen comportamiento ante la intemperie, pero no mejora su resistencia a la tracción. Esta técnica permite una mejor continuidad en la pared ya que no se utiliza juntas para unir los elementos, como si se hace en los bloques de adobes o BTC, estas juntas si se realizan en dimensiones gruesas pueden llegar a disminuir la resistencia del muro, además, la tierra que se usa para las juntas ofrece menos resistencia a los esfuerzos, ya que esta no se comprime lo suficiente a comparación de los bloques fabricados.

El uso de moldes permite aumentar la densidad de la pared ya que se pueden introducir algunas capas de piedra dentro de la misma, estas piedras deben estar separadas entre sí, para que el reforzamiento funcione se debe tener en cuenta que la densidad de la piedra debe ser mayor que la densidad de la tierra apisonada, la combinación tierra-piedra genera una matriz que permita distribuir mejor los esfuerzos a los que es sometida, los esfuerzos horizontales junto con el peso de la pared genera ángulos más inclinados hacia abajo disminuyendo los riesgos de provocar esfuerzos de tracción en la base, esto permite construir las paredes de tierra apisonada ligeramente más delgadas. (Pons, 2001)

Con el fin de no dejar atrás todas aquellas estrategias para la implementación de técnicas ancestrales en el uso de la tapia pisada los estudiantes de algunas universidades como la Universidad Santo Tomas-Bucaramanga, desarrollan investigaciones en las que se determinan los procesos para la implementación de la tapia pisada específicamente en Barichara-Santander, siendo esta una de las

comunidades pioneras del uso e implementación de la tapia pisada como técnica para la edificación en esta zona del país, el estudio resalta los procedimientos, materiales así como las herramientas necesarias para ejecutar proyectos con esta metodología la cual se ha convertido en un negocio para esta región contribuyendo con el desarrollo económico del municipio

Por esta razón es de gran importancia generar un análisis pertinente a los resultados obtenidos en los que se determina la trascendencia de técnicas como esta, donde se observa la conservación del uso del barro como materia prima a un bajo costo y el uso del mismo de manera significativa por todos los habitantes del municipio como tradición contractiva de edificaciones de uno y dos pisos generando así aportes favorables para la historia en la aplicación de metodologías que dejan memoria.(Silva, Vecino, & Jimenéz, 2018)

3.3. Concretierra:

Para esta técnica se hace uso principalmente de tierra impermeabilizada junto con aceite quemado, pero adicional a esto se le agrega una cierta cantidad de cemento con el fin de mejorar ciertas propiedades mecánicas de los ladrillos o bloques con menores dimensiones que el bloque de adobe, donde no se hace uso de un % de cemento; con el uso de cemento más un refuerzo en acero se logra una mejor estabilidad de la construcción como también un mejor comportamiento sísmico de la misma. (Isidro, 2012)

Hay que tener en cuenta que no se puede hacer uso de cualquier tipo de cemento ya que debido a la cantidad de sales que contiene, se puede llegar a afectar la durabilidad y también la resistencia del bloque. Los estudios que sean realizado

hacen uso principalmente de cemento portland.

3.4. BTC:

Los bloques de tierra comprimida o BTC son uno de los métodos para el uso de la tierra como materia de construcción, se basa en la elaboración de bloques para mampostería, que se constituyen de tierra, agua y algún tipo de estabilizante (cemento, paja, fibras vegetales y cal), también se utilizan ciertos porcentajes de arena. Esta mezcla es colocada previamente en un molde para luego ser comprimida por la prensa, con el fin de reducir el contenido de vacíos y así aumentar la densidad del bloque y por consiguiente mejorar sus propiedades mecánicas. Luego de esto se saca del molde para luego ponerlo a secar al aire libre. (Sitton, Zeinali, Heidarian, & Story, 2018).

Las características mecánicas que tienen un bloque de tierra pueden variar, debido a los diferentes tipos de tierra que se utilicen, no toda la tierra es igual, por ende, sus propiedades, la proporción de los materiales y comportamientos ante esfuerzos cambian; según las características de la mezcla, las propiedades de resistencia o de rendimiento energético pueden variar. Con la tierra estabilizada se obtiene una mayor resistencia a la humedad, las paredes se vuelven impermeables, la resistencia a la compresión mejora, claramente los costos asociados a elaboración se incrementan con respecto a los bloques constituidos solo con tierra, pero igualmente su costo es inferior al de la mampostería común. (Pons, 2001).

Se encontraron dos estudios en los cuales se elaboran bloques de tierra comprimida o BTC con el fin de encontrar sus características mecánicas y su comportamiento en diferentes ensayos, cabe resaltar que en ambos estudios se hace uso de diferentes estabilizantes para aumentar la

resistencia a la compresión y tracción del elemento.

El primero es ubicada en Estados Unidos, en donde se fabrican 14 muestras de bloques para determinar la dosificación de cemento, tierra y agua apropiada con el fin de establecer un estándar de dosificación, para esto primero se clasifica el tipo de suelo como Arena- limo arcillosa, luego se realizaron mezclas con diferentes dosificaciones, en seguida se sometieron los bloques a pruebas de compresión y flexión (Sitton et al., 2018).

Tabla 5: Dosificación: relación tierra/arena, porcentaje cemento portland y porcentaje de agua. (Adaptada de Sitton, Zeinali, Heidarian, y Story, 2018)

Numero de mezcla	Relación Tierra/arena	Contenido de cemento portland	Contenido de agua
1	3,73	5,5%	10,7%
2	3,73	9,1%	10,4%
3	3,55	10,9%	10,3%
4	3,55	5,5%	11,7%
5	3,36	9,1%	11,5%
6	3,36	10,9%	11,4%
7	N/A	3,6%	9,9%
8	N/A	3,6%	8,4%
9	2,53	3,6%	9,9%
10	2,53	3,6%	8,4%
11	N/A	9,1%	9,7%
12	N/A	9,1%	8,2%
13	2,33	9,1%	9,7%
14	2,33	9,1%	8,2%

Resultados ensayos de flexión en tres puntos, compresión directa en bloques saturados y no saturados:

Tabla 6: Resultados ensayos de flexión en tres puntos, compresión directa en bloques saturados y no saturados a los 7 y 28 días. (Adaptado de Sitton, Zeinali, Heidarian y Story, 2018).

Numero de mezcla	Flexion en 3 puntos		Compresión directa en bloques saturados		Compresión directa	
	7D(MPa)	28D(MPa)	7D(MPa)	28D(MPa)	7D(MPa)	28D(MPa)
1	0,73	0,81	3,21	5,35	4,82	7,69
	0,78	1,01	-	-	8,01	8,43
2	0,97	1,16	5,09	7,32	8,21	12,07
	1,02	1,13	-	-	10,92	11,99
3	0,85	1,04	5,93	6,74	7,79	12,17
	1,05	1,31	-	-	10,2	11,39
4	1,37	1,42	6,15	5,82	12,02	12,97
	1	1,76	-	-	12,3	11,43
5	1,24	1,45	6,57	6,91	14,79	12,7
	1,22	1,7	-	-	12,51	13,57
6	1,12	1,66	7,81	8,22	11,96	14,58
	1,27	2,01	-	-	14,84	15,72
7	0,56	0,57	3,49	2,46	6,26	7,5
	0,75	0,86	-	-	5,63	7,73
8	0,6	0,16	2,09	3,18	3,72	4,91
	0,41	0,23	-	-	5,01	5,29
9	0,63	0,92	3,87	4,65	6,41	7,38
	0,78	0,91	-	-	6,64	7,03
10	0,49	0,62	2,60	3,67	4,29	6,47
	0,62	0,8	-	-	4,8	6,56
11	1,16	0,64	4,82	7,55	8,29	11,96
	0,85	1,74	-	-	8,65	11,36
12	0,51	0,48	3,63	4	5,31	9,28
	0,71	0,89	-	-	6,47	9,14
13	1,56	1,49	7,92	10,89	11,08	15,24
	1,19	1,62	-	-	12,5	13,35
14	0,97	1,03	5,59	4,9	8,16	11,54
	1,04	1,3	-	-	9,7	9,29

Los resultados del estudio se concentran en la tabla anterior debido a que en esta se puede observar que la mezcla numero 6 es la más adecuada para la elaboración de BTC ya que esta supera los 15Mpa en la prueba de compresión directa a los 28 días que se especifica como la mínima resistencia de un bloque de mampostería de concreto en la norma ASTM, lo que conlleva a que los bloques de tierra comprimida pueden remplazar a los de mampostería de concreto (Sitton et al., 2018).

En cuanto a segundo estudio, este se realizó en Egipto en donde se utilizó fibras del tallo del plátano para estabilizar los BTC ya que por sí solos estos tienen un mal comportamiento ante las sollicitaciones, las

fibras de plátano se utilizan para contrarrestar el impacto ambiental que ocasionan un estabilizante común, se utilizó fibras de plátano de diferentes longitudes para realizar 7 mezclas diferentes y 5 bloques de cada mezcla.

Tabla 7: Dosificación de las mezclas, (Adaptado de Sitton, Zeinali, Heidarian y Story, 2018).

Mezcla	Proporcion	Relacion
Arcilla	35%	En relacion a la mezcla seca(arcilla, arena y agregados)
Arena	35%	
Agregados	30%	En relacion a la mezcla seca(arcilla, arena y agregados)
Cemento	7%	En relacion a la mezcla seca total
Fibra de Banana	0-5%	En relacion al cemento
Agua	10-12%	

Luego de tener listos los bloques de tierra comprimida se sometieron a las pruebas de compresión y flexión.

Tabla 8: Resultados ensayos compresión (Adaptado de Mostafa y Uddin, 2016)

Mezcla	longitud de fibra (mm)	Muestra					Resistencia media a la compresión	Desviación estandar
		1	2	3	4	5		
1	0	3,71	3,96	4,02	3,98	3,77	3,84	0,07
2	50	5,68	6,13	6,21	6,02	5,76	6,02	0,13
3	60	6,16	5,89	6,18	6,19	5,78	6,58	0,12
4	70	5,7	6,25	5,88	6,13	6,02	6,47	0,1
5	80	5,88	6,18	6,15	6,02	5,57	6,39	0,11
6	90	5,81	6,17	5,87	5,68	6,02	6,13	0,13
7	100	5,68	5,67	6,08	5,81	6,05	5,96	0,12

Tabla 9: Resultados ensayos Flexión
(Adaptado de Mostafa y Uddin, 2016)

#	Resistencia a la flexión de la muestra					Resistencia media a la flexión	Desviación estandar	Modulo de flexión del bloque en el plano de falla (Mpa)
	1	2	3	4	5			
1	0,53	0,59	0,51	0,54	0,63	0,56	0,049	176
2	0,86	0,79	0,83	0,89	0,80	0,83	0,042	76
3	1,04	0,97	1,01	0,99	0,92	0,99	0,045	75
4	1,06	1,00	0,98	1,02	1,04	1,02	0,032	84
5	0,95	0,99	0,95	0,89	0,92	0,94	0,037	64
6	0,90	0,79	0,84	0,90	0,87	0,86	0,046	73
7	0,72	0,83	0,75	0,80	0,85	0,79	0,054	132

Teniendo en cuenta las tablas de resultados anteriores se encontró una dosificación adecuada proporcional a la longitud de las fibras de plátano, que son la 3 y la 4 las cuales arrojaron los resultados más altos en las pruebas de compresión y flexión respectivamente ya que estas distribuyen los esfuerzos en todo el bloque, lo que provoca que su falla sea gradual y no súbita. (Mostafa & Uddin, 2016)

4. Estabilizantes.

Debido a que las construcciones en tierra presentan cambios en sus características tanto mecánicas como físicas al ser expuestas a diferentes sollicitaciones, agentes ambientales, entre otras es necesaria la implementación de algún tipo de estabilizante que mejore sus propiedades de resistencia y de comportamiento. Algunos de los estabilizantes que se usan en la actualidad son el cemento, cal, productos animales, emulsión asfáltica y fibras de plátano.

4.1. Cemento:

El cemento es el principal estabilizante, el cual permite controlar de alguna u otra forma la cantidad de agua presente en la tierra a utilizar, mejorando la resistencia a la compresión y mejorando la estabilidad de un suelo. La dosificación de este se debe realizar de acuerdo con la cantidad de peso en relación a la cantidad de tierra que se va

a ser empleada en la mezcla, dependiendo principalmente al sistema de compactación que se vaya a usar, así cuando hay una menor compactación la cantidad de cemento necesario será mayor, pero si la compactación es mayor la cantidad de cemento será menor. (Gatani, 2000)

Con un 7% de cemento utilizado en la mezcla de bloques de tierra, se puede alcanzar una resistencia a la compresión de 3–4 MPa. (Mostafa & Uddin, 2016).

4.2. Cal:

Debido principalmente al intercambio de iones entre la cal y el suelo, este es considerado como un estabilizante para la tierra, ayudando a que el agua no se penetre con facilidad; como resultado de la aglomeración de partículas finas. La cantidad de cal depende de muchos factores tales como la humedad del suelo, es decir que cada caso deberá ser investigado para conocer así la cantidad necesaria para mejorar el comportamiento del suelo. (Minke, 2005)

4.3. Productos animales

Hay productos como la orina el estiércol y hasta sangre que fueron utilizados como estabilizantes para las construcciones con tierra. La sangre era utilizada principalmente como estabilizante y aglutinante y la orina únicamente como estabilizante. Cuando se hace uso del estiércol este se debe dejar reposar con el fin de que este se fermente en aproximadamente de 1 a 4 días, dicha estabilización sucede debido al intercambio de iones entre las arcillas y el estiércol. Una investigación que se realizó permitió observar que una muestra de revoque de barro al ser ensayada con la prueba aspersion de chorros se erosiona a partir de un tiempo de 4 minutos mientras que la muestra que contenía un porcentaje de estiércol de vaca presento algunos signos de

erosión a partir de las 4 horas. (Minke, 2005)

4.4. Emulsión asfáltica:

La tierra por sí sola es afectada por la humedad, lo que afecta la estabilidad de la estructura, por esto se añade emulsión asfáltica con el fin de impermeabilizar la estructura, esto por medio de productos derivados del petróleo, se usa la emulsión asfáltica para que las partículas de arcilla que se encuentran en la tierra no absorban agua, esto se debe a que la emulsión asfáltica encapsula cada partícula de arcilla. (Nureña & Vasques, 2017)

4.5. Fibras de Plátano:

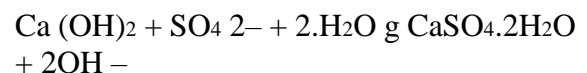
El uso de fibras de plátano se debe a la búsqueda de un estabilizante para los bloques de tierra que siguiera firmemente la idea de bajo impacto ambiental y reducción en costos; las fibras de plátano se extraen del tronco de la planta, su función como estabilizante se debe a que las fibras de banano presenta una alta resistencia a la compresión y tracción; El aumento de la resistencia se debe a la creación de una matriz isotrópica entre la mezcla de suelo y las fibras; esta matriz creada se opone al movimiento de partículas y genera estabilidad, ya que las fibras distribuir la tensión en toda la masa del bloque. (Mostafa & Uddin, 2016).

5. Caracterización mineralógica del BTC.

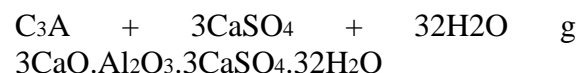
Para utilizar la tierra como material de construcción, en la actualidad es necesario hacer uso de diferentes estabilizantes que permitan mejorar las características mecánicas y de durabilidad del elemento que se está realizando como los bloques de tierra comprimida, adobes, btc o tapia pisada. Cuando se usa algún estabilizante dentro de la construcción es necesario determinar qué efectos tendrá sobre el

material al que va a ser agregado, es decir, como ya sabemos la tierra está compuesta por diferentes minerales en diferentes cantidades, los cuales pueden reaccionar negativamente con el estabilizante, teniendo así un efecto contrario al deseado, como la reducción de la resistencia del elemento. (Aguirre & Gutiérrez, 2013)

En el sector de la construcción es común identificar las características de los minerales presente en los agregados finos, antes de usarlos en la mezcla de concreto, ya que si estos contienen algunas cantidades de sulfatos pueden afectar las propiedades mecánicas del cemento; El hidróxido de calcio y los aluminosilicatos que se encuentran en el cemento son los más susceptibles a los sulfatos, debido a que los iones de sulfato pueden reaccionar con el hidróxido de calcio para formar yeso. (Aguirre & Gutiérrez, 2013)



Y los aluminatos cálcicos pueden formar etringita:



Estos dos factores afectan la durabilidad del concreto.

En cuanto a los áridos usados en la mezcla de concreto se ha encontrado que algunos tipos de estos pueden reaccionar negativamente con los iones hidroxilos y los componentes alcalinos que se encuentran en la pasta del cemento lo que puede generar un concreto expansivo, agrietamientos del hormigón, pérdida de resistencia y del módulo elástico; Esto se genera más que todo en áridos que contienen ciertas formas amorfas de sílice lo que produce una reacción álcali-sílice ASR, áridos carbonatados que contienen dolomita y

minerales arcillosos cuya reacción es álcali-carbonato y áridos que contienen filosilicatos generando la reacción álcali-silicato. (Aguirre & Gutiérrez, 2013)

Teniendo en cuenta lo anterior y debido a que los estabilizantes más comunes en la construcción con tierra son el cemento y la cal, es necesario determinar las características mineralógicas de la tierra que se usarán en la construcción y analizar si esta puede llegar a tener alguna reacción negativa con el estabilizante que se desee usar. (Ammari, Bouassria, Cherraj, Bouabid, & Charif, 2017)

Se encuentran diferentes maneras en las cuales se puede determinar los componentes mineralógicos de la tierra seleccionada, como lo son:

5.1. Análisis por fluorescencia de rayos X:

Esta se utiliza para determinar las concentraciones de elementos químicos en una determinada muestra. Es un método analítico con gran precisión y que no genera alteraciones a la muestra. (Valentinuzzi, 2008)

5.2. Difracción de rayos X:

La difracción de rayos-x es un método basado en la implementación de alta tecnología, destinado para el análisis de una infinita cantidad de materiales cuya finalidad está relacionada con la composición cuantitativa de la caracterización mineralógica de una determinada muestra. (Cartagena, s. f.)

5.3. Observaciones mediante microscopía electrónica de barrido:

Permite obtener información acerca de la topografía, composición y estructura cristalográfica de una muestra determinada. Este construye una imagen virtual a partir de señales emitidas por la muestra y esta es visualizada en tubo de rayos catódicos para

finalmente ser proyectados los datos en una computadora. (Ipohorski & Bozzano, 1920).

5.4. SEM-EDS:

La microscopía electrónica de barrido con microsonda de análisis elemental acoplada, permite caracterizar composicionalmente materiales y además de conocer temas como tecnologías utilizadas y origen de materias primas. Es bastante utilizada como una técnica analítica en análisis arqueométricos y como técnica exploratoria. (Lantes, Prieto, & Cosrtizas, 2011)

Un estudio realizado por (Gómez, Camacho, Álvarez, & Becerra, 2018) en la ciudad de Tunja (Boyacá, Colombia), relacionado con la caracterización mineralógica y petrográfica de bloques de tierra comprimida, este estudio se realizó para determinar las características físico-químicas de dichos materiales y evaluar su comportamiento en la restauración del convento Santa Clara la Real, para esto se elaboró 3 diferentes tipos de BTC los cuales se nombraron por el color que presentaban amarillo, rojo y gris, la tierra usada para estos BTC se extrajo de la formación geológica de Tilatá (plioceno superior-pleistoceno); para los BTC amarillos se usó tierra de la parte superior de la formación la cual se caracterizó como piedras de adobe amarillas con parches café; para los rojos se usó la parte del fondo de la formación: Arenisca de grano muy fino con una matriz arcillosa, color rojizo, con agregados de cuarzo de forma redondeada a rectangular y fragmentos líticos y finalmente los grises se elaboraron del material reciclado de las ruinas del Convento Santa Clara. (Gomez, Camacho, Alvarez, & Becerra, 2018).

Para la elaboración de los BTC principalmente se tamizó la tierra por una malla de 4mm y se estabilizó usando cemento y arena, la compresión de los

bloques fue realizado mediante una prensa hidráulica de 100KP/cm².

Ya elaborados los BTC se prosiguió a determinar su mineralogía por medio de la difracción de rayos x y microscopia electrónica de barrido, su petrografía mediante la microscopía óptica de polarización e igualmente con microscopia electrónica de barrido y se evaluaron las propiedades petrofísicas: sus propiedades hídricas, física y físico-mecánicas principalmente por la determinación de su absorción capilar de agua, porosidad, densidad, índice de compacidad, color, velocidad de ultrasonido y dureza superficial.

En cuanto a los resultados se encontró que todas las muestras mineralógicas luego de la difracción de rayos x no son muy diferentes, ya que poseen feldespato de potación, óxidos de hierro/hidróxidos, y siderita en variables concentraciones. La mayor diferencia se centra en la fracción de arcilla, también en los 3 casos se detectaron la caolinita y calcita, en el BTC rojo Se obtuvieron arcilla interestratificada, arcillas expansivas en el BTC gris y arcillas ílticas en el tipo amarillo.

En el aspecto Petrográfico, los resultados de la siguiente tabla muestran la diferencia en la textura de cada uno de los 3 tipos, esto se debe al volumen de los poros y esto a la diferencia de la tierra de origen, el tipo rojo es el más rico en el contenido de agregados (procedencia de tierra de barro) en comparación con el tipo amarillo (procedencia de limolita) y el tipo gris (agregados fracturados y muy heterogéneos, resultado del reciclaje natural), además se encontró que el tipo gris es el más poroso.

Tabla 10: Resultados ensayos petrográficos. (Gómez, Camacho, Álvarez y Becerra, 2018).

Tipo	Porosidad $n_0(\%)$	Densidad aparente $(kg \cdot m^{-3})$	Densidad real $(kg \cdot m^{-3})$	Saturacion del agua (%)
Rojo	29	1892	2648	15
Amarillo	31	1832	2671	17
Gris	37	1630	2600	23

Petrofísicamente los resultados obtenidos están todos en el mismo rango, el BTC rojo es el tipo que muestra el mejor comportamiento, aunque presenta dos desventajas menores y es que en comparación con los otros dos es material absorbe más agua durante las dos primeras horas de la prueba capilar de agua que la amarilla. El CEB gris es el más homogéneo en términos de color, además no muestra un comportamiento indeseable frente al agua, mostrando dilatación hídrica, el CEB amarillo muestra un comportamiento intermedio entre los otros dos tipos, muestra el menor coeficiente de capilaridad esto se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 11: Resultados ensayos petrofísicos. (Gómez, Camacho, Álvarez y Becerra, 2018)

Tipo	Índice de compacidad	Dureza (LEEB HLD)	Coeficiente de capilaridad $(kg \cdot m^2 \cdot hora^{0.5})$	
			Perpendicular a la estratificación	Paralelo a la estratificación
Rojo	0,72	269±68	8,6±0,5	10,7±0,8
Amarillo	0,69	248±24	8,0±2,2	8,4±1,8
Gris	0,63	209±43	13,9±0,8	13,4±0,6

En la restauración del convento según los resultados expuestos se determinó que es necesario tener un cuidado especial de estos materiales ante la exposición del agua, especialmente en el tipo gris, además que su disposición debe ser en la cara plana del bloque paralela al piso, así trabajaría con toda la fuerza antes la carga máxima,

también el resultado de esta investigación se centra adaptar técnicas antiguas de construcción mejorándolas con las ciencias y tecnologías actuales, generando así un elemento ecológico, amigable con el ambiente y de bajo costo. (Gomez, Camacho, Alvarez, & Becerra, 2018).

Igualmente cabe resaltar el uso de los siguientes ensayos:

5.5. Ensayos hídricos:

Permiten valorar el comportamiento hídrico del material en estudio y consigo la determinación de: contenido de humedad natural, coeficiente de saturación, densidad aparente, densidad real, porosidad abierta, porosidad total y el índice de porosidad.(Cultrone, 2004)

5.5.1. Humedad natural:

Es la cantidad de agua que se encuentra dentro del material en estado libre y que al ser expuesto a una determinada temperatura es evaporada, es decir que es el peso de agua que contiene una muestra en condiciones naturales.

5.5.2. Absorción libre de agua:

Permite cuantificar la capacidad de absorción que tiene un material en lo que respecta a sus características de porosidad abierta y el grado de conexión que hay entre los poros, durante este proceso es necesario incluir el termino de adsorción para determinar la adhesión de las moléculas de agua.(Cultrone, 2004)

5.5.3. Coeficiente de saturación:

Corresponde al contenido máximo de agua, si se obtienen valores elevados la probabilidad de que el material presente alteraciones es alta junto con otros factores.(Cultrone, 2004)

5.5.4. Desorción de agua:

Permite determinar la velocidad con la que es evaporada el agua que se encuentra dentro del material, se mide a partir de intervalos de tiempo regulares.(Cultrone, 2004)

5.5.5. Succión de capilaridad:

Cantidad de agua que puede ser absorbida por un material inicialmente seco al ponerse en contacto con una superficie de agua libre. (Cultrone, 2004)

5.6. Ensayos de envejecimiento acelerado:

Este tipo de ensayos se utilizan para determinar de manera rápida la resistencia de los materiales rocosos y de otros materiales de construcción, ante la acción de diferentes agentes de alteración como: agua, hielo, sales solubles, contaminantes atmosféricos, etc. Igualmente permite conocer la durabilidad de las diversas litologías y la idoneidad de algunos productos de tratamiento.(Alonso, Ordaz, Valdeón, & Esbert, 1987) Dentro de estos ensayos encontramos:

5.6.1. Ciclos de humedad-sequedad: Este ensayo permite simular la alternancia de días secos y húmedos, además de la diferencia de temperaturas y humedad relativa entre el día y la noche. Los daños generados durante este, se deben principalmente a la acción del agua.(Cultrone, 2004)

5.6.2. Ciclo de hielo-deshielo: Su objetivo principal es conocer los efectos que tiene el hielo sobre los materiales en el interior del sistema poroso, ya que el incremento de volumen se debe al cambio del estado líquido a sólido del agua. (Cultrone, 2004)

5.6.3. Cristalización de sales: En este ensayo se realizan repeticiones de un determinado número de ciclos, en donde las muestras son colocadas en una solución

salina por cierto tiempo para luego dejarlas secar y así buscar que la sal se cristalice en su interior. La sal que es más utilizada es el sulfato sódico, al cristalizarse presenta dos fases estables, la primera anhídrica, con un aspecto pulverulento (thenardita) y la otra decahidratada que se cristaliza en finas agujas (mirabilita). (Alonso et al., 1987). Esto se realiza con el fin de conocer los efectos nocivos que tiene la sal sobre un material.

6. Conclusiones

A través del tiempo la tierra como material de construcción ha dejado de ser usada, debido al avance tecnológico que se presenta en la actualidad.

Los principales usos de la tierra fueron; los adobes, BTC y tierra apisonada donde los estabilizantes más usados fueron la cal y el cemento; estos permiten el mejoramiento de las propiedades de la tierra tanto mecánicas como de resistencia.

Dentro de la caracterización mineralógica, se resalta el uso de ensayos como el análisis por fluorescencia de rayos X, siendo un método analítico con gran precisión y que no genera alteraciones a la muestra y el SEM-EDS que permite caracterizar composicionalmente los materiales y conocer el origen de estos

Los ensayos hídricos, permiten determinar el comportamiento hídrico del material y de la humedad natural del mismo por lo que se consideran de gran importancia a la hora de utilizar la tierra como material de construcción.

Finalmente, los ensayos de envejecimiento acelerado con igual importancia que los anteriores, ya que permiten determinar la

resistencia del material ante diferentes agentes de alteración.

El uso de la tierra como material de construcción debería ser implementado en la actualidad ya es económicamente viable debido a que es un material que se encuentra en abundancia y que cuenta con propiedades aptas para tal fin.

REFERENCIAS

- Aguirre, A. M., & Gutiérrez, R. M. De. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas Durability of reinforced concrete exposed to aggressive conditions, *63*, 7-38.
<https://doi.org/10.3989/mc.2013.00313>
- Alonso, F. J., Ordaz, J., Valdeón, L., & Esbert, R. M. (1987). Revisión crítica del ensayo de cristalización de sales, (March 2014), 53-54.
<https://doi.org/10.3989/mc.1987.v37.i206.870>
- Ammari, A., Bouassria, K., Cherraj, M., Bouabid, H., & Charif, S. D. (2017). Case Studies in Construction Materials Combined e ff ect of mineralogy and granular texture on the technico-economic optimum of the adobe and compressed earth blocks. *Case Studies in Construction Materials*, *7*(April), 240-248.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.08.004>
- Cartagena, U. de. (s. f.). Difracción de rayos X. Introducción 1.
- Catalán, P., Moreno, J., Galvan, A., & Arroyo, R. (2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio Resumen Introducción, 1-13. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/au/v29/>

- 2007-9621-au-29-e1861.pdf
Chino, I., & Gutarra, A. (2017). PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS DE ADOBES COMPACTADOS, 13-17. Recuperado de http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Chino-Isabel_compactados.pdf
- Cultrone, G. (2004). *Estudio mineralógico-petrográfico y físico-mecánico de ladrillos macizos para su aplicación en intervenciones del Patrimonio Histórico*. Universidad de Granada. Recuperado de http://www.ehu.es/sem/BoletinSEM_pdf/Bol_Soc_Esp_Min_24_EJ.pdf
- Gatani, M. P. (2000). TRADICIONAL EN BASE A UN MATERIAL SOSTENIBLE (COMPRESSED EARTH BLOCKS : TRADITIONAL MASONRY BASED ON A MATERIAL OF.
- Gatti, F. (2012). ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra.
- Gomez, L., Camacho, N., Alvarez, M., & Becerra, J. (2018). *Technological characteristics of compressed earth blocks for its use as a building material*. Tunja, Boyaca .
- Ipohorski, M., & Bozzano, P. B. (1920). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales.
- Isidro, S. (2012). Sistemas Constructivos no Convencionales. *INGENIERIA CIVIL*, 5-6.
- Juarez, E., & Rico, A. (1973). *Mecanica de suelos*. Mexico: LIMUSA S.A.
- Kaffure, C. U., Ramos, M. A., & Camacho, J. (2015). Caracterización de unidades de adobe sometidas a radiación UVA, 28, 24-39.
- Lantes, O., Prieto, P., & Cosrtizas, A. (2011). Aplicación de la Microscopía Electrónica de Barrido al estudio de los acabados de cerámica antigua de Galicia, 117-125.
- Minke, G. (2005). *Manual-Construccion-En-Tierra*.
- Morales, V., Ortiz, M., & Alvarez, R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado, 5.
- Moscoso, M. (2010). EL ADOBE , SUS CARACTERÍSTICAS Y EL CONFORT TÉRMICO, 71-75. Recuperado de <https://www.eumed.net/libros-gratis/actas/2016/filosofia/El-adobe-Moscoso.pdf>
- Mostafa, M., & Uddin, N. (2016). Case Studies in Construction Materials Experimental analysis of Compressed Earth Block (CEB) with banana fibers resisting flexural and compression forces. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2016.07.001>
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos , Ecuador. Recuperado de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Nureña, J., & Vasques, I. (2017). Influencia del estabilizante de cemento y tipos de suelo sobre la resistencia y durabilidad de un adobe constructivo.
- Pons, G. (2001). COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN, 1-9.
- Ramirez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*.
- Rincon, N., & Medina, I. (2019). ANÁLISIS DE LA

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE
FRENTE A LA CONSTRUCCIÓN
CONVENCIONAL DESDE EL
PUNTO DE VISTA DE COSTOS Y
BENEFICIOS : CASO REFUGIO
TOIBITA , PAIPA - BOYACÁ
ANALYSIS OF SUSTAINABLE
CONSTRUCTION VERSUS
CONVENTIONAL
CONSTRUCTION FROM THE
POINT OF VIE, 1-13. Recuperado de
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD Y AIREACION 26-3-19.pdf

- Rucks, L., Garcia, F., Kaplan, A., Ponce de Leon, J., & Hill, M. (2004).
Propiedades Físicas del Suelo.
Recuperado de
<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Silva, L., Vecino, P., & Jimenénez, H. (2018). La tapia pisada como técnica constructiva vernácula.
- Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., & Story, B. A. (2018). Effect of mix design on compressed earth block strength. *Construction and Building Materials*, 158, 124-131.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>
- U.N.L.P., D. D. A. Y. R. N. F. D. C. A. Y. F. (2019). *Porosidad y aireacion, densidad real y aparente*.
Recuperado de
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/42969/mod_resource/content/1/POROSIDAD Y AIREACION 26-3-19.pdf
- Valentinuzzi, C. (2008). ANALISIS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X : IMPLEMENTACION DE GUIAS DE HACES EN.
- Yuste, B. (s. f.). Arquitectura de tierra.

