

Revista Electrónica Nova Scientia

Efecto de la impermeabilidad del Mucílago de
Nopal en bloques de tierra comprimidos
Cactus stalk waterproof effect in compressed
earth blocks

**Yolanda Guadalupe Aranda-Jiménez¹ y Edgardo Jonathan
Suárez-Domínguez²**

¹Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad Autónoma de
Tamaulipas

²Investigación y Desarrollo, Mexican Institute of Complex Systems, Ciudad
Madero, Tamaulipas

México

Yolanda Guadalupe Aranda-Jiménez. E-mail: yoli212@yahoo.com.mx

Resumen

La arquitectura de tierra¹ es conocida desde hace siglos, sin embargo, actualmente es poco utilizada comparado con los sistemas constructivos comunes. Los bloques de tierra comprimido (BTC) son elementos constructivos con un potencial elevado para ser utilizado en las construcciones de vivienda en México, principalmente por su similitud con los bloques tradicionales, siendo conveniente mejorar sus características a partir de un estabilizante. Se realizó el estudio de BTC estabilizados con cemento y una sustancia proveniente de las pencas maduras de nopal. Se encontró que al añadir mucílago de nopal se observa un incremento significativo de la resistencia a la compresión húmeda y seca, lo cual estar relacionado con una disminución de la porosidad; se ofrecen algunas relaciones del efecto del mucílago en el sólido analizado.

Palabras clave: Bloques de tierra comprimidos, mucílago de nopal, porosidad en BTC, efecto impermeable.

Recepción: 03-05-2013

Aceptación: 11-10-2013

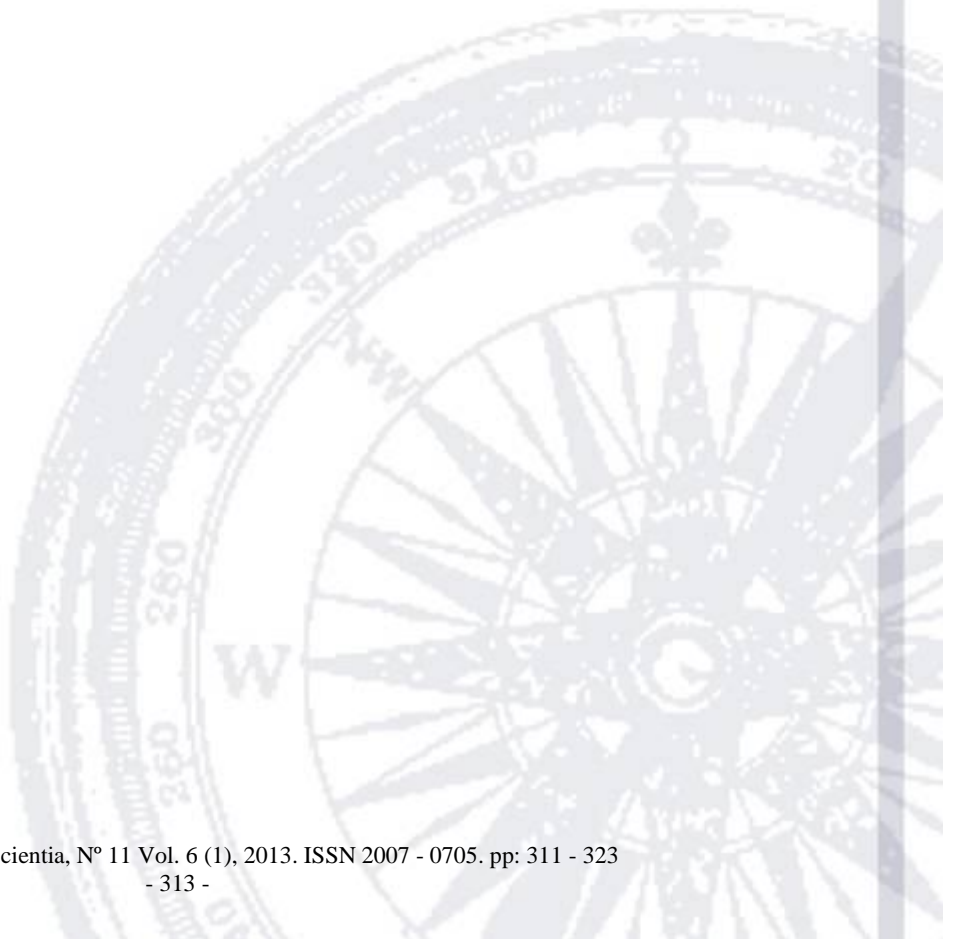
Abstract

Earth architecture is known for centuries, however, is rarely used today compared to common construction systems. Compressed earth blocks (BTC) are structural elements with a high potential to be used in housing construction in Mexico, mainly by its similarity to traditional blocks, being suitable to improve its characteristics with a stabilizer. This paper was performed with BTC stabilized with cement and a substance from cactus stalk. It was found that adding cactus mucilage a significant increase in wet and dry compressive strength, which seems to be

¹ Término con el que se denomina a todas aquellas construcciones realizadas con tierra cruda, cuyos componentes del suelo son: arcilla, arena y limo.

related to a decrease in porosity; some mucilage effect hypothesis in the solid analyzed are shown in this paper.

Keywords: Compressed earth blocks, cactus mucilage, BTC porosity, waterproof effect



Introducción

Hubert G. en su libro Earth Construction divide en 3 los sistemas de construcción con tierra cruda: i) sistema monolítico, ii) sistemas a base de bloques o tabique y e.iii) sistemas con estructuras diversas. Los BTC se encuentran dentro del segundo grupo y es una de las técnicas de construcción con tierra más populares desde la creación de la CINVA-RAM, prensa manual que sirve para su fabricación, creada en la década de los cincuenta.

La arquitectura de tierra tiene algunos inconvenientes principalmente relacionadas con la sismicidad y la humedad, entre los que se pueden mencionar la degradación ante los fenómenos atmosféricos y la fragilidad frente a desastres naturales (Maldonado et.al. 2002):

Se han introducido diversos materiales en estructuras de tierra como bagazo de agave para mejorar sus propiedades (Caballero et.al. 2010); por otro lado una sustancia que puede agregarse durante la elaboración del BTC para mejorar su estabilización es el mucílago, que contiene en su composición 2 polímeros, amilasa y amilopectina, los cuales forman capas sobre las superficies sólidas con diferentes propiedades mecánicas. Esta estabilización sirve además como conservación futura de los elementos producidos (Chiappero et.al. 2006)

El mucílago en solución acuosa mejora las características de cohesión durante la elaboración de BTC, este efecto ha sido aprovechado desde la antigüedad, principalmente para la elaboración de adobe en la construcción. Tiene la ventaja que, como el mucílago se encuentra en baja proporción en dilución, no se presentan problemas durante su incorporación a la mezcla de materiales para obtener elementos (adobe o bloques de tierra comprimidos).

El presente trabajo tuvo por objetivo ver el efecto del mucílago de nopal a bajas concentraciones en bloques de tierra comprimidos y describir algunas relaciones posibles entre los resultados obtenidos.

Método

La parte experimental de este trabajo se basó en la investigación desarrollada por Aranda y colaboradores en el 2010. Como la normativa en México con respecto al análisis de materiales a

base de tierra no se encuentra desarrollada (Cid et.al. 2011) se utilizaron normatividades vigentes en otros países para el análisis de materiales.

El mucílago de nopal se obtuvo a partir de pencas de nopal maduras (*Opuntia ficus indica* y *Opuntia rastrera*) obtenidas de la zona de marismas en Ciudad Madero, Tamaulipas. Se escoge esta especie ya que es la que contiene mayor cantidad de mucílago.

Se extrajo el mucílago de las pencas trituradas por macerado a 40°C en agua en relación 1:1 durante 72 horas, posteriores a las cual se retira toda la materia sólida por filtrado y se separa el agua utilizada por evaporación. Se utilizó arcilla de la localidad, Medrano (suelo denominado así por el banco del que se extrae) de Altamira y cemento portland CPO2.

La muestra la conforman 5 lotes constituidos por 10 BTC para cada una de las concentraciones (en % p/p): 0,1, 2, 3, y 4 y para cada una de las pruebas físicas: compresión seca y húmeda, abrasión o durabilidad, absorción de agua, porosidad, y permeabilidad. Teniendo un total de 250 piezas para el mucílago de nopal y la misma cantidad para el acíbar de sábila en total se fabricaron 500 BTC.

La propuesta de 10 bloques para experimentación, se sustenta en trabajos publicados Roux G.,(2002), McHenry P. (1996), Minke, G., (2001), que utilizaron esa cantidad de bloques asegurando así una desviación estándar de décimas.

Posteriormente a la hora de analizar los primeros lotes de BTC de mucílago de baja concentración, (de 1 al 4%), se decidió hacer otros 5 lotes constituidos por 10 BTC para las concentraciones del 10, 20, 30, 40 y 50% y se les realizaron las mismas pruebas.

A partir de los materiales anteriores se realizaron bloques de tierra comprimidos de mezclas de 50.4% de arcilla, 38.4% de medrano, 6.4% de cemento y 4.8% de solución de mucílago de nopal en agua a diversas concentraciones. Estos porcentajes corresponden en peso al volumen comúnmente utilizado en la preparación de BTC.

El proceso de incorporado de los materiales se realizó con la mezcladora parte del equipo de la prensa Adobe press 2000 de 500 Kg de capacidad durante 5 minutos, añadiendo primero el medrano, luego la arcilla y el cemento y, finalmente, el mucilago diluido.

Para el proceso de compresión de los BTC se utilizó la mencionada prensa hidráulica Adobe press 2000 aplicando su presión máxima durante 30 s. El contenido final de mucílago en las mezclas (en % p/p) fue el siguiente: 0.48, 0.96, 1.44, 1.92 y 2.4.

Las características físicas de los bloques se monitorearon de acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2004. Se determinó la compresión seca y húmeda de acuerdo a los puntos 3.4.1 y 3.4.2, respectivamente, de la NTC 5324; la abrasión se determinó de acuerdo al punto 3.4.3 de la norma técnica colombiana NTC5324; para la determinación de la porosidad se utilizó la norma técnica brasileña NBR 13555. La densidad fue obtenida a partir de la norma mexicana NMX-C-126-1982.

Aunado a estas pruebas se realiza el Experimento de Campo, el cual consistió en construir 3 octágonos a base de muretes de BTC. El primero denominado testigo sin adiciones de ningún tipo, el segundo adicionando los BTC con mucílago en diferentes concentraciones y el tercero y último con sábila o aloe vera; cuyo objetivo fue corroborar por medio de la observación, la estabilidad y la durabilidad de los BTC como mampostería, bajo las condiciones climatológicas de Tampico.

Se utilizaron diferentes formatos para la recolección de datos y análisis estadístico de varianza

Resultados y discusión

Resultados en cuanto a la resistencia a la compresión

Los bloques tuvieron las dimensiones de 14.0 ± 0.1 cm de ancho, 28.0 ± 0.1 cm de longitud y 10.5 ± 0.2 cm de altura.

Los resultados de la resistencia a la compresión seca y húmeda se muestran en la gráfica 1 y 2, donde puede apreciarse como la resistencia se incrementa con el % de mucílago para ambos casos. Para el análisis los autores plantean las siguientes ecuaciones

La relación entre la resistencia a la compresión húmeda f'_{ch} y la resistencia f'_{cs} a la compresión seca está dada por:

$$f'_{ch} = \psi f'_{cs} \quad \dots(1)$$

donde ψ es un coeficiente de escalamiento que se encuentra acotado entre 0 y 1:

$$0 < \psi \leq 1 \quad \dots(2)$$

de tal manera que la resistencia a la compresión húmeda siempre es menor que la resistencia a la compresión seca. Esto puede deberse principalmente a la modificación de las interacciones entre los sólidos (cementantes) y, por tanto, de la cohesión entre los elementos que componen los BTC. En este caso se aprecia que el valor de Ψ tiene un valor más cercano a 0.50 cuando no se añade mucílago de nopal como estabilizante.

Mucílago	%	ψ
0	0	0.50
0.48	0.48	0.57
0.96	0.96	0.83
1.44	1.44	0.66
1.92	1.92	0.67
2.4	2.4	0.68

Tabla 1.- Valores de ψ obtenidos a partir de los resultados experimentales de f'_{ch} y f'_{cs} .

Pudo observarse que el mejor caso de la relación entre la resistencia a la compresión húmeda y seca fue cuando el mucílago añadido correspondió a 0.96%, sin embargo no fue indicativo de la resistencia más alta, sino solo del mejoramiento a esa dosificación.

Relación volumen/ porosidad

La porosidad, la cual representa la fracción hueca de un material dado, se determina de acuerdo con la relación:

$$\phi = \frac{V_v}{V_T} \quad \dots(3)$$

donde ϕ es la fracción de porosidad, V_v es el volumen de espacio vacío y V_T es el volumen total del sólido, donde para fines prácticos en este contexto se va a considerar que V_v está ocupado por

aire, que tiene una densidad mucho menor que la del sólido. El volumen total del sólido está dado por:

$$V_T = V_v + V_s \quad \dots(4)$$

Donde V_s es el volumen debido al sólido presente en el espécimen.

Si se supone que los espacios vacíos se encuentran distribuidos de forma homogénea, entonces la fracción de porosidad será equivalente a la fracción de área superficial ocupada por los huecos presente en un corte transversal o longitudinal del bloque, de tal manera que:

$$A_v = \phi A_T \quad \dots(5)$$

Donde A_v es el área de espacio vacía y A_T es el área de la sección estudiada.

Si suponemos que el área vacía está dada por un conjunto de espacios vacíos en forma circular, se tiene que

$$A_v = \pi n r^2 \quad \dots(6)$$

Donde r es el radio de las esferas vacías. La ecuación (6) es válida para $n \geq 1$, $A_v \neq 0$ y $n \in \mathbb{N}$. Puede notarse que cuando $n \rightarrow \infty$ entonces $r \rightarrow 0$ en cuyo caso debería modificarse la absorción de agua,

Si el mucílago de nopal disminuye el radio de los poros entonces es de esperar que se incremente la cantidad de agua absorbida por efecto capilar, lo cual puede explicar el decremento de la compresión húmeda con respecto a la seca como se observa experimentalmente. Por otra parte, también, el mucílago podría estar recubriendo las partículas de sólido de tal manera disminuye la interacción agua-sólido. En la figura 3 se observa como disminuye la porosidad con el % de mucilago añadido.

Relación densidad - porosidad

La densidad aparente ρ de un sólido toma en consideración la porosidad y la no discontinuidad que puede estar presente en el sólido y está dada por:

$$\rho = \frac{m_s + m_m}{V_T} \quad \dots(7)$$

Donde m_s es la masa debida a los sólidos y presentes y m_m es la masa de mucílago que se encuentra en forma sólido. Debido a que el porcentaje de sólido añadido es bajo puede considerarse que $m_m \rightarrow 0$ o $m_s \gg m_m$ por lo que podemos considerar:

$$m_s + m_m \cong m_s \quad \dots(8)$$

Sustituyendo adecuadamente la ecuación (3), (4) y (8) en (7) encontramos que:

$$\rho = (1 - \phi) \frac{m}{V_s} \quad \dots(9)$$

A partir de la cual se tiene:

$$\frac{d}{d\phi} \rho = \frac{m}{V_s^2} (\phi - 1) \frac{dV_s}{d\phi} - \frac{1}{V_s} (\phi - 1) \frac{dm}{d\phi} - \frac{m}{V_s} \quad \dots(10)$$

Como experimentalmente la masa permanece constante podemos considerar:

$$\frac{d}{d\phi} \rho \rightarrow 0 \quad \dots(11)$$

Evidentemente la ecuación diferencial (10) queda:

$$0 = \frac{m}{V_s^2} (\phi - 1) \frac{dV_s}{d\phi} - \frac{m}{V_s} \quad \dots(12)$$

Y se resuelve:

$$V_s = C e^{-\phi} e^{\frac{1}{2}\phi^2} \quad \dots(13)$$

Donde C es una constante de integración. A partir de la ecuación (13) se puede determinar el volumen del sólido a partir de la porosidad, donde el valor de la constante C depende de la concentración de mucílago (Tabla 2).

<u>% Mucílago</u>	<u>C (en kg)</u>
0	5.64
0.48	5.25
0.96	5.44
1.44	5.31
1.92	5.20
2.4	5.22

Tabla 2.- Valores de C obtenidos a partir de los resultados experimentales de V_s y ϕ .

El valor de C está determinado por el efecto del mucílago en la mezcla, donde el comportamiento de C con respecto a la porosidad depende de la dosificación de mucílago, cuya concentración es baja.

Por otro lado, la gráfica 5 muestra una disminución en la abrasión que es la pérdida de peso producida por la fricción con otro objeto. Esto debe significar que existe una mayor cohesión entre los componentes del BTC cuando se añade mucílago de nopal, lo cual está en concordancia con los resultados de la disminución de porosidad. Sin embargo, en el caso particular de la densidad muestra un comportamiento extremal, es decir, que alcanza un valor máximo para cierta concentración, y a partir de esto disminuye.

Conclusiones

En cuanto a las relaciones establecidas:

Se encontró que los bloques de tierra comprimido incrementan significativamente la resistencia a la compresión seca y húmeda hasta un $61.5 \pm 4.6\%$.

Relación volumen/porosidad: La porosidad disminuye conforme se incrementa la concentración de mucílago.

Relación densidad/porosidad: Se observa un comportamiento extremo, donde alcanza un valor máximo para cierta concentración y a partir de esto disminuye.

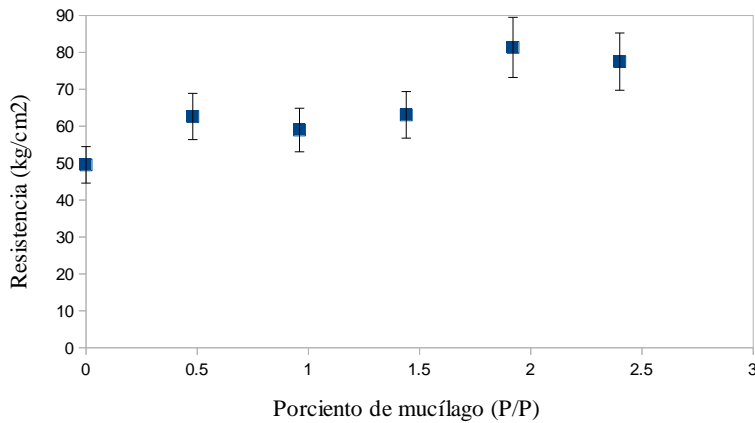
Los bloques incrementan su resistencia a la abrasión lo que podría verse reflejado en su durabilidad.

Los resultados aquí obtenidos muestran que el mucílago de nopal mejora, en general, las características de los bloques de tierra comprimidos debido a la reducción de porosidad relacionado con un cambio en la permeabilidad del sólido.

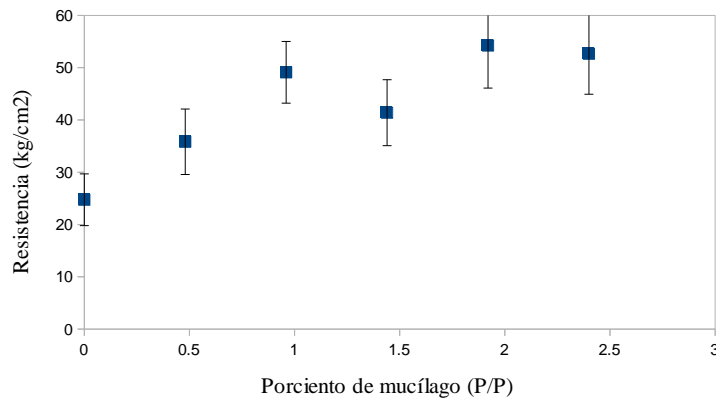
El efecto del mucílago de nopal en la permeabilidad al parecer es debido a una inhibición en la interacción entre el agua y el sólido que no permite el ascenso del líquido por capilaridad.

En el experimento de campo los bloques no mostraron grietas, coartaduras ni aparición de moho.

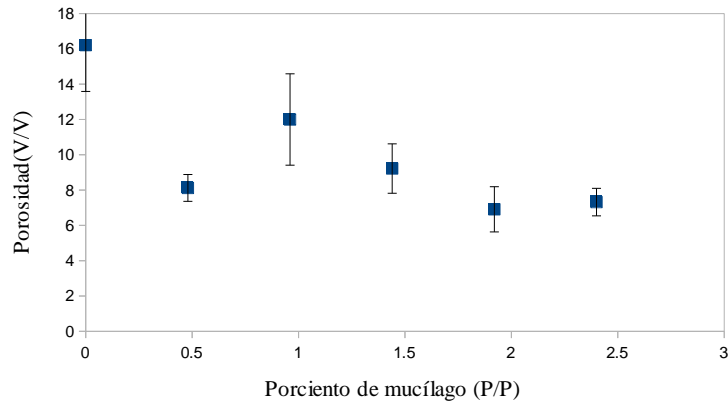
Gráficas



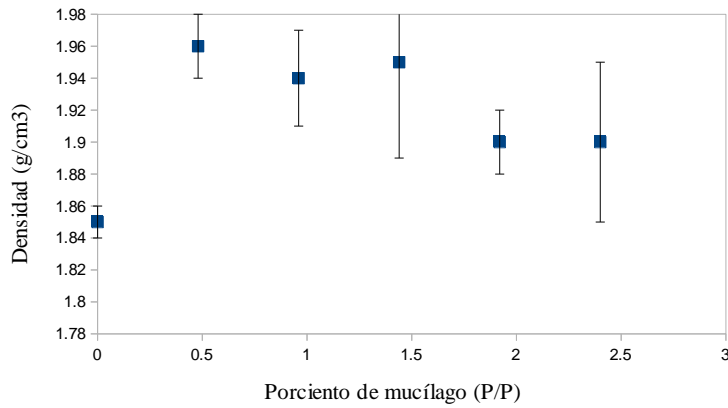
Gráfica 1.- Resistencia a la compresión seca en kgcm^{-2}



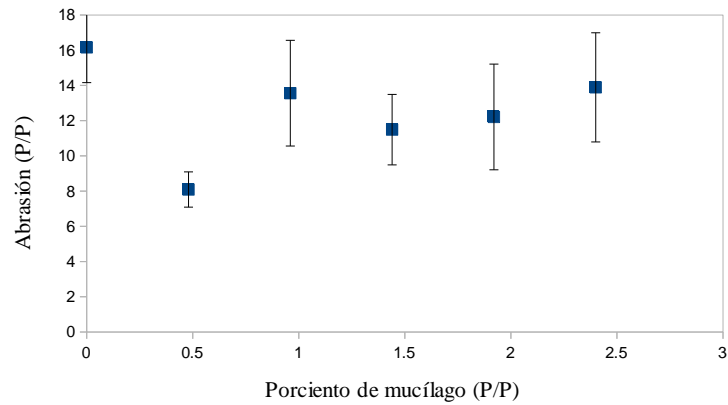
Gráfica 2.- Resistencia a la compresión húmeda en kgcm^{-2}



Gráfica 3.- Resultados de porosidad en volumen.



Gráfica 4.- Resultados de densidad en gcm^{-3} .



Gráfica 5.- Resultados de abrasión en peso perdido

Referencias

- Aranda-Jiménez, Y.G. González-Defelice, A.A. Roux-Gutierrez, R. Espuna-Mujica, J.A. Arvizu-Sánchez, E. (2012). Tierra Vertida. Hormigón Verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra de dos contextos. Informe Técnico. Programa de cooperación bilateral México- Argentina. CONACYT-MINCYT.
- Aranda Jimenez Y. G., Roux G. Ruben. (2010). Tesis de doctorado. FADU Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Caballero C. Magdaleno., Silva S. Luis., (2010) Resistencia Mecanica del Adobe Compactado Incrementada por Bagazo de Agave. Centro interdisciplinario de Investigacion para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca. Instituto Politecnico Nacional. 1-7pp.
- Cid J., Mazarrón F.R., Cañas I.; Las normativas de construcción con tierra en el mundo; Informes de la Construcción, 2011, 63:159-169
- Chiappero R. O. Supisiche M.C. Arquitectura de tierra: breves consideraciones sobre la conservación y restauración. Nobuko ed. Argentina 2006.
- Hall M., Djerbib Y.; Rammed Earth Sample Production: Context, Recommendations And Consistency; Construction And Building Materials; 2004; 18:281–286
- Houben H., Guillard H. Earth Construction. A comprehensive guide; London; 1994
- Lenci Stefano., PiattoniQuintilio,. Etc. A mechanical characterization of unfired dry earth: ultimate strength, damage and fracture parameters. 1-6
- Maldonado R., L., Rivera G., D. y Vela C., F. (2002). Arquitectura y construcción con tierra. Tradición e Innovación. Madrid, España: Marea.
- Sargentis G-fivos., Kapsalis V.C. (2009) Earth Building. Models, Technical Aspects, Test and Environmental Evaluation. International Conference on Environmental Science and Technology. 1-10pp.
- Vasilios Maniatidis V., Walker P.; Structural Capacity Of Rammed Earth In Compression; Journal Of Materials In Civil Engineering ; 2008.