

# Diseño de adobes urbanos para construcción de vivienda en México

JORGE A. RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ<sup>1</sup>, MARCOS ALGARA SILLER<sup>1\*</sup>, ÁNGEL ISMAEL CÁRDENAS MARTÍNEZ<sup>1</sup> & GERARDO JAVIER ARISTA GONZÁLEZ<sup>2</sup>

1. Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
2. Facultad del Hábitat; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

\* Correspondencia: Marcos Algara-Siller, Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Edificio G-01, Calle Dr. Manuel Nava #8 en Zona Universitaria Poniente, CP 78290, San Luis Potosí, SLP, México; marcos.algara@uaslp.mx; Tel.: 52(444) 826-2330, ext. 2105.

Recibido: 17 enero 2014

Aceptado: 14 mayo 2014

*Proyecto realizado bajo el apoyo del Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí bajo convenio C12-FAI-03-47.47 y con recursos del fondo PROMEP de Apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento a través del convenio PROMEP/103.5/12/7964, ambos otorgados a Marcos Algara-Siller en 2012.*

## RESUMEN

Debido a la escasez de documentación sobre técnicas y materiales de construcción tradicional para entornos urbanos, se proponen bloques de suelo compactado que se adapten a las viviendas urbanas de la región y que sea rentables y con bajo impacto ambiental. Se busca la eliminación del proceso de cocción del ladrillo rojo debido a su alta contribución de gases de efecto invernadero y contaminantes, además de su fácil reintegración al ciclo de vida de la vivienda y capacidad térmica. Esto se logra a través de elementos aglutinantes y estabilizantes para cumplir con las normas de construcción de México. Este trabajo presenta distintas dosificaciones de aglutinantes y estabilizantes con materiales de la región y las capacidades de carga obtenidas. Los resultados son la base para normas específicas de adobe para uso urbano.

**Palabras clave:** adobe, bloque de suelo, uso urbano, impacto ambiental.

## ABSTRACT

**Urban adobe design for housing construction in Mexico.** Due to the lack of documentation and techniques for traditional construction materials for urban use, this project presents compacted soil blocks to suit the region's urban housing needs with as a profitable and low environmental impact option. The proposed material seeks the elimination of the high temperature furnaces needed on traditional brick manufacturing process, which contributes to pollution and green house gases. Furthermore, it reintegrates easier to the natural environment upon completion of the house's life cycle and offers better thermal behavior. This

work presents the various dosages tested with regional prime matter and their load capacities, which are higher than commercial red brick and concrete blocks. The results set the basis for urban use soil block specifications.

**Key words:** adobe soil block, urban construction, environmental impact.

## Introducción

Los materiales utilizados popularmente en la edificación impactan de manera considerable al ambiente debido a sus técnicas de elaboración. En el caso del block de cemento, el principal problema es el impacto de la industria del cemento que requiere grandes cantidades de energía. Esta se obtiene principalmente a través de aceites combustibles, carbón, coque y gas natural, además del uso de materiales de desecho para co-proceso como aceites gastados y estopas y telas impregnadas con este aceite. El consumo típico en una planta de cemento moderna es de 110-120 kWh por tonelada de cemento. La energía térmica se utiliza en el proceso de incineración, mientras que la energía eléctrica en la molienda de cemento (Madloul, 2011). En países industrializados el principal consumo de energía proviene de combustibles fósiles (75%) y el resto de energía eléctrica (25%).

Actualmente, la industria del cemento aporta una huella de carbono elevada con un estimado entre el 5 y el 7% del total de CO<sub>2</sub> antropogénico mundial (Chen, 2010).

Por otro lado, la fabricación manual de ladrillo recocido en México deriva en un producto de poca calidad. Sin embargo su uso es extendido a la par del block de cemento, e incluso más deseado para la vivienda de medio y alto nivel. La mezcla de arcilla con agua se hace directamente sobre el suelo, seguido de un secado al aire libre para finalizar con el proceso de cocción. Este parte del proceso es la que afecta en mayor medida el ambiente que lo rodea ya que se utilizan diversos materiales para los hornos: neumáticos, aceites usados, residuos industriales y materia orgánica de cualquier tipo. Entre las emisiones generadas en la cocción se encuentran: compuestos de azufre (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S), compuestos de nitrógeno (NO, NH<sub>3</sub>), material particulado, compuestos orgánicos de carbono, óxidos de carbono (CO, CO<sub>2</sub>) y compuestos de halógenos (HF, HCL) (Ramírez, 2011).

Por esto, el mejoramiento de los materiales de construcción y su técnica de elaboración se vuelve un punto importante para la ciencia. Durante mucho tiempo el material de construcción predominante en climas cálido-secos y templados ha sido el suelo a través de diferentes técnicas. Los vestigios más antiguos que se tienen sobre esta práctica constructiva podrían ser los encontrados en Jericó, antigua ciudad situada en Cisjordania, en el periodo Neolítico Pre-Cerámico del 8,350 a.C. al 7,370 a.C.

Para lograr la transformación del suelo a un material de construcción, el hombre prehispánico adicionaba una serie de compuestos para estabilizar, modificar y controlar diferentes propiedades inherentes al material. De estos materiales, conocidos como materiales tecnogénicos, destaca por sus cualidades el adobe. Esto es fundamentalmente debido a cinco propiedades que lo caracterizan (Gama-Castro, 2012):

- Bajo costo de fabricación y gran disponibilidad.
- Alto ahorro de energía.
- Gran trabajabilidad.

- Fácil integración al ecosistema local, mediante los materiales y técnicas locales.
- Fácil reciclamiento de los excedentes de construcción.

A la utilización del suelo como material de construcción se le ha dado diferentes nombres. Se denomina barro a la mezcla de arcilla, limo, arena, agregados mayores como gravilla o grava. Los bloques de suelo arcilloso hechos a mano son comúnmente llamados bloques de barro o adobes. Por otro lado, cuando se habla de bloques comprimidos se emplea el término bloques de suelo, pero si son extruidos en una ladrillera y no son cocidos se emplea el termino ladrillo crudo (Minke, 1994). Los términos tierra, masa de barro y tierra arcillosa resultan ambiguos e imprecisos para la ciencia, de acuerdo con Ericksen y Ardón (2003). Esta ausencia de unificación de criterios en cuanto a la terminología ha propiciado un limitado conocimiento acerca de varias características específicas del adobe, como son:

- Composición cuantitativa de la pasta.
- Tipo de materia orgánica adicionada.
- Tipos de suelos o sedimentos utilizados para su elaboración.
- Técnica constructiva.

Es por eso que a partir de datos empíricos y algunas investigaciones previas se inicia la elaboración de un adobe compactado y estabilizado propio de la región árida y semiárida del estado de San Luis Potosí, México. Se comienza con la premisa de cumplir con las normas técnicas vigentes y aplicables. Los impactos positivos de este material es la reducción de generación de gases de efecto invernadero, evitar las emisiones a la atmósfera por la quema de combustibles no apropiados, reducir los costos energéticos y aportar un material de construcción de bajo costo, ambiental y económico.

## Metodología

### Granulometría del suelo

La materia prima principal de un adobe es el suelo, y este debe de cumplir ciertas características para que el producto final tenga la calidad deseable. La prueba granulométrica permite conocer la mecánica del suelo a través de su tamaño de partícula, para esto se utiliza el método de cribado por mallas, que generalmente llega hasta la malla N°200 (0.074mm).

Se realizaron pruebas a tres tipos de suelo: dos pruebas sobre suelo utilizado en al fabricación de los adobes presentados en el estudio; uno más de un posible nuevo banco de materiales en la región.

Las muestras de suelo se hacen pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes. El suelo que se retiene en cada malla se pesa. Después, se llena una tabla de la cual se obtienen los datos para elaborar la curva granulométrica. La curva granulométrica es necesaria para calcular el coeficiente de curvatura, coeficiente de uniformidad del suelo, y así definir con qué tipo de suelo se está trabajando.

El coeficiente de uniformidad se calcula con la siguiente formula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:  $D_{60}$ : Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 60% del peso pasante.  
 $D_{10}$ : Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 10% del peso pasante.  
 Un suelo con  $C_u < 3$  se considera muy uniforme.

El coeficiente de curvatura se define con la expresión:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Donde:

$D_{30}$ : Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 30% del peso pasante.

Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

Una vez obtenidos los porcentajes de muestra retenidos en cada malla, el coeficiente de uniformidad y el de curvatura se utiliza el Sistema Unificado de Suelos para identificar el tipo de suelo.

## Elaboración de adobes

Durante el proceso se elaboraron muestras de adobe compactado con diferentes formulaciones. Se utilizan dos tipos de suelo y distintas cantidades y tipo de estabilizante y de materia orgánica.

Las muestras de la A a la C se elaboran de manera tradicional, sin compactar y con el uso de abono de caballo por su contenido de paja. Se utilizan dosificaciones basadas en medidas empíricas según información de elaboración de productores de adobe tradicional. Para las muestras D a la F se utilizan dosificaciones reportadas en la bibliografía. A partir de la muestra G se estandarizaron las dosificaciones según los resultados obtenidos.

Además, se proponen muestras con mucílago de nopal de los llamados nopal tapón (*Opuntia robusta*) y nopal liso (*Opuntia ficus-indica*). Ambos nopales son muy comunes en la región, se conoce su manejo, producción y su mucílago se ha utilizado como protector natural en diversos elementos arquitectónicos tradicionales, mediante aplicación exterior. En esta propuesta se utiliza el mucílago como aditivo integral o sellador integral, es decir, se mezcla con los demás elementos para obtener adobes más resistentes a la lluvia. Otro de los elementos importantes es el uso del ixtle (*Agave lechuguilla*) que sustituye al abono o la paja. Esta fibra textil que proviene del maguey o agave es abundante en la región semi-desértica de la zona centro del estado de San Luis Potosí.

TABLA 1  
Materiales y dosificaciones empleadas en la elaboración de los adobes

Tipo	Suelo 1 (kg)	Abono (kg)	Cemento (kg)	Cal (kg)	Agua (L)	
<b>A*</b>	35	3.37 (8.8%)	0	0	14	
<b>B*</b>	30	3 (8.4%)	0	2.6 (7.3%)	14	
<b>C*</b>	44	4 (7.8%)	3.22 (6%)	0	21.3	
<b>D</b>	45	4.5 (9%)	0	0	8	
<b>E</b>	45	4.5 (8.5%)	0	3.5 (6.6%)	9	
<b>F</b>	60	6 (8.5%)	4 (5.7%)	0	9	
	<b>Suelo 1 (kg)</b>	<b>Ixtle (kg)</b>	<b>Cal (kg)</b>	<b>Yeso (kg)</b>	<b>Cemento (kg)</b>	<b>Agua (L)</b>
<b>G</b>	24.25	0.045 (2%)	0	0	0.75 (3%)	5
<b>H</b>	23.5	0.045 (2%)	0.75 (3%)	0.75 (3%)	0	5
<b>I</b>	22	0.045 (2%)	1.5 (6%)	1.5 (6%)	0	6.5
	<b>Suelo 1 (kg)</b>	<b>Ixtle (kg)</b>	<b>Cal (kg)</b>	<b>Yeso (kg)</b>	<b>Agua (L)</b>	<b>Mucilago (L)</b>
<b>J</b>	30	0.06 (2%)	2.0 (6%)	2.0 (6%)	4.5	Liso (5.5)
<b>K</b>	30	0.06 (2%)	2.0 (6%)	2.0 (6%)	5	Tapón (5.5)
<b>L</b>	22	0.025 (2%)	1.5 (6%)	1.5 (6%)	3	Tapón (2)
	<b>Suelo 2 (kg)</b>	<b>Ixtle (kg)</b>	<b>Cal (kg)</b>	<b>Yeso (kg)</b>	<b>Agua (L)</b>	
<b>M</b>	38	0.086 (2%)	2.6 (3%)	2.6 (3%)	6.9	
<b>N</b>	76	0.086 (1%)	5.2 (6%)	5.2 (6%)	13.8	

\* Fabricación tradicional sin compactar.

## Resistencia a la compactación

Al no existir una normatividad para el adobe, se utilizan las normas para ladrillo rojo y bloque de cemento como referencia. Por esto, los resultados son una guía para describir el comportamiento del adobe y su cumplimiento para carga estructural.

Para esta prueba se sigue la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, que establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines fabricados de concreto, cerámica, arcilla y otros materiales para la construcción.

Primero se realiza el método de cabeceo con azufre en la parte superior e inferior de la muestra mediante una placa metálica, para garantizar horizontalidad y evitar derrames. El papel del azufre en la prueba es proporcionar una superficie plana y nivelada para lograr ejercer una presión homogénea en toda la superficie de la muestra. Este procedimiento se realiza para los adobes tradicionales y se prescinde para los

adobes compactados ya que sus superficies son homogéneas y planas.

La prueba se realiza en un instrumento de compresión automática (Automax 5, tamaño del adobe 30 x 15 x 12.5 cm), el cual solicita información de la muestra: peso de la muestra, área que recibirá la carga y edad de la muestra; además de los parámetros de prueba como velocidad con la que se aplica la fuerza sobre la muestra (kg/cm<sup>2</sup>·s), la variación negativa en la cual la máquina se detiene automáticamente (toneladas), y la carga máxima a la cual llega la máquina detenerse (toneladas).

La norma NMX-C-404-ONNCCE-2012 establece las especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los bloques, tabiques (ladrillos) y tabicones para uso estructural en las edificaciones. En dicha norma se mencionan las resistencias mínimas a compresión sobre área bruta (Tabla 2). La resistencia que ofrece un buen comparativo es la del tabique en sus diversas presentaciones que exige un mínimo de 70kgf/cm<sup>2</sup>.

TABLA 2  
Resistencias mínimas a compresión sobre área bruta.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Bloque</b>	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
<b>Tabique (largo &gt; 300mm)</b>	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7 (70)
<b>Tabique (largo &lt; 300mm)</b>	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

## Resultados

En la tabla 3 se puede apreciar los resultados del cálculo de los diámetros de partícula encontrados a cada porcentaje, además del coeficiente de uniformidad y de curvatura. En la figura 1 se muestran las tres curvas granulométricas.

TABLA 3  
Resultados de la granulometría.

	D10	D30	D60	Cu	Cc
<b>Suelo 1</b>	0.19	0.28	0.40	2.10	1.03
<b>Suelo 2</b>	0.073	0.17	0.50	6.84	0.79
<b>Suelo 3</b>	0.10	0.32	0.44	4.4	2.3

La figura 2 expone los resultados de la prueba de compresión de los 14 tipos de adobes. La línea recta horizontal representa el límite mínimo que exige la norma NMX-C-404-ONCCE-2012.

Cabe reconocer que los adobes compactados logran, en la mayoría, cumplir con el mínimo de capacidad de carga de 70 kgf/cm<sup>2</sup>.

## Discusión de resultados

Los tres tipos de suelos utilizados corresponden a arenas finas-medias, con pocas partículas de arcilla y limo. Los suelos Tipo 2 y Tipo 3 contienen algo de arenas gruesas (6 y 11%

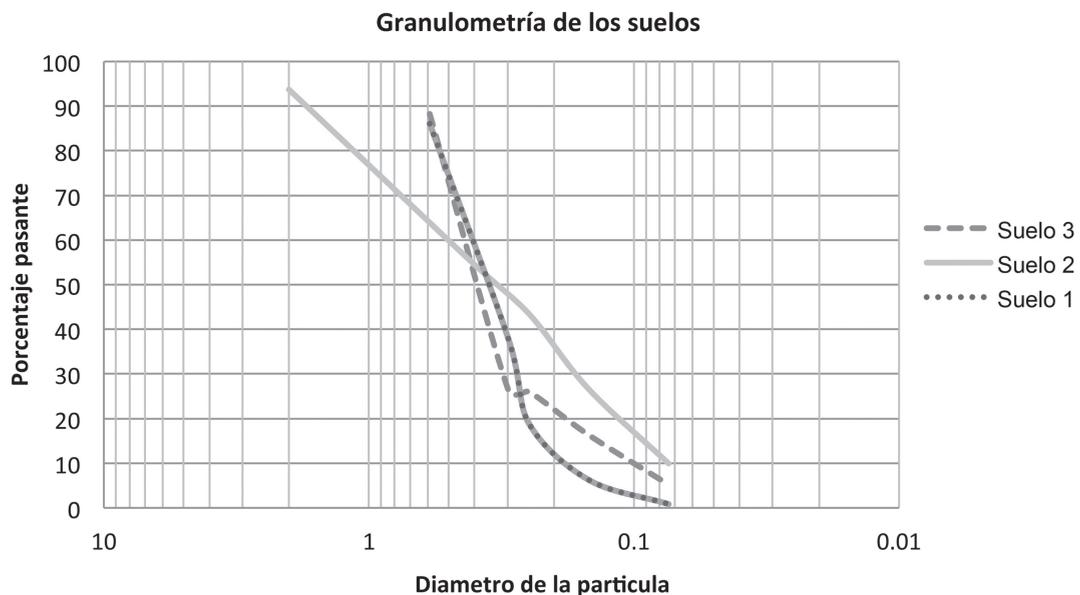
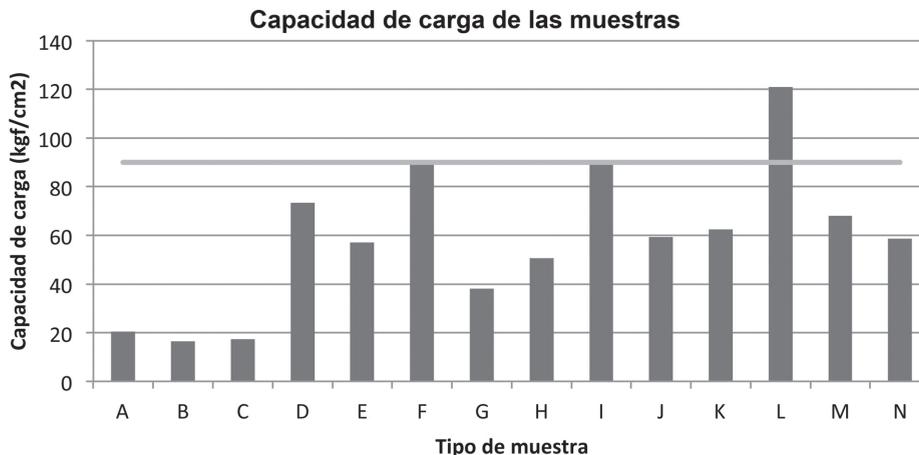


Figura 1. Curvas granulométricas de los suelos.



**Figura 2.** Comparación de la capacidad de carga.

respectivamente), mientras que el Tipo 1 no contiene arenas gruesas.

De los dos suelos con los que se elaboraron adobes, el suelo Tipo 1 tiene mejores características que el suelo Tipo 2. Las muestras elaboradas con el suelo Tipo 2 se desmoronan muy fácilmente, excepto en las muestras M y N donde se presentaron características óptimas para su falla.

En primera instancia se empleó estiércol seco de caballo como materia orgánica en la fabricación de los adobes porque, aparte del estiércol de vaca, es el usado comúnmente en la región. Se sustituye el estiércol por fibras de ixtle (*agave lechuguilla*) por las siguientes razones:

Los contenidos de material fecal en muros no promueven una buena percepción y puede ocasionar problemas de salud.

El ixtle sustituye correctamente a las fibras sin digerir que se encuentran en el excremento.

Además, el ixtle es una materia prima que se encuentra en abundancia en la zona semiárida de San Luis Potosí.

El implemento de mucílago surge de su uso como aditivo para pinturas impermeabilizantes (Aguirre, 2011). Su función, además de proteger contra la humedad, es como aglutinante en la mezcla. La concentración de mucílago que se obtiene depende de varios factores como: la temporada en la que se corta el nopal, su edad y la técnica de extracción.

De los dos nopales que se utilizaron, nopal tapón (*Opuntia robusta*) y nopal liso (*Opuntia ficus-indica*), el primero arroja los mejores resultados. Se considera que se puede mejorar la extracción de mucílago. No se puede dejar de lado la limitante sobre el uso del mucílago en un lapso de 3 días, después del corte de la penca, para evitar su pudrición y la pérdida de calidad. Esto se verifica con las muestras J y K cuyo mucílago se dejó reposar por más de tres días y su capacidad de carga se reduce notoriamente.

Las muestras F, I y L arrojan los mejores resultados. Las dos primeras están muy cerca de la capacidad de carga media que establece la norma. La muestra F contiene cemento como estabilizante, mientras que las muestras I y L logran aumentar su capacidad a la compresión al sustituir al cemento con yeso.

En la muestra L se aprecia la mejoría que se obtiene con el mucílago de nopal, superando satisfactoriamente la norma vigente.

## Conclusiones

El adobe compactado y estabilizado demuestra que se puede tener un material de construcción óptimo para la construcción de vivienda urbana en una zona árida y semiárida como en la que se encuentra San Luis Potosí. De acuerdo a las normas de materiales comerciales, se puede construir mediante el sistema de muros de carga hasta 3 niveles.

Los insumos que se requieren se encuentran en un radio muy corto dentro de la Zona Centro del estado. Además de la baja huella ecológica en su fabricación, se promueve la creación de una industria para grupos minoritarios de esta zona con un potencial de uso muy elevado por el acelerado crecimiento de la capital del mismo nombre, San Luis Potosí.

De los suelos utilizados, solamente uno de ellos proporciona las características deseadas, pero su extracción no es la más cercana a la zona urbana de la capital. Se debe encontrar un banco de material de características similares a la mitad de la distancia actual de 100 km del banco actual, para considerarse en un rango de impacto aceptable.

La extracción y almacenamiento del mucílago de nopal se debe perfeccionar y estandarizar para que sea fácilmente incorporado a la línea de producción de los adobes. Una de las pruebas que requieren resultados robustos es la de intemperismo con este aditivo natural integral. Esto, con el objetivo de lograr un material con mejor desempeño en climas más húmedos. De esta manera, se podrían utilizar los adobes en la Zona Media y Huasteca del estado, donde las precipitaciones son mucho más abundantes y el clima llega a ser cálido tropical en la zona Huasteca, cercana al Golfo de México.

Recientemente se publicó la Norma técnica mexicana de edificación sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013 para Edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos que promovió la Secretaría de Economía de México. Esta extensa norma, que sirve como guía de manera voluntaria, ofrece ya algunos parámetros para materiales de construcción y sus valores de conductividad térmica y aislamiento térmico, trabajo inédito en el camino de lograr una vivienda sustentable en el país.

## Bibliografía

ALMUSAED, A. 2011. Biophilic and bioclimatic Architecture. Gran Bretaña: Springer.

CHEN, C., HABERT, G., BOUZIDI, Y., JULLIEN, A. 2010. Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant

variability evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 18, 478-485.

- ERICKSEN, P., ARDÓN, M. 2003. Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras: *Geoderma*, 111, 233-248.
- GEMMA, J. 2012. Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177-188.
- GATANI, M. 2000. Producción de ladrillos de suelocemento. Una alternativa eficiente, económica y sustentable. *Informes de la Construcción*, 51 (466).
- GUERRERO, L. 2011. Revestimientos. Técnicas de Construcción con Tierra. Red Iberoamericana PROTERRA.
- JUÁREZ, E., RICO, A. 2005. Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Mexico: Limusa.
- MADLOOL, N., SAIDUR, R., HOSSAIN, M., RAHIM, N. 2011. A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2042-2060.
- MINKE, G. 1994. Manual de construcción en tierra. Alemania: Fin de Siglo.
- MORALES, J., ORTIZ, M., ALVAREZ, R. 2007. Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *Naturaleza y Desarrollo*, 5 (1)
- Norma mexicana.- NMX-C-036-ONNCCE-2004.
- Norma mexicana.- NMX-C-404-ONNCCE-2012.
- Norma mexicana.- NMX-AA-164-SCFI-2013. Secretaría de Economía, Gobierno de la República Mexicana.
- RAMÍREZ, B. 2001. Estudio del impacto ambiental en el proceso de elaboración de ladrillo en la comunidad del Chote. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana.
- ROMERO, G. 2002. Construyendo con Adobe una Casa Resistente. Perú: Fondo Editorial Centro de Estudios y Prevención de Desastres.
- ROUX, S., 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. *Informes de la Construcción*, 53 (478).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Manual de métodos de muestreo y prueba de materiales. M-MMP-4-04-008-03.

