

Fibras para estabilizar tepetate utilizado en la construcción de bajareque Fibers to stabilize tepetate used in the construction of wattle and daub

C.U. Pérez-Bastida ^{a,*}, L.F. Guerrero-Baca ^b

^a Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, CDMX, México.

^b Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, 04960, CDMX, México.

Resumen

La construcción actual tiene un elevado impacto ambiental por lo que es urgente su renovación buscando materiales que consuman poca energía y no contaminen. En el presente texto se exponen resultados preliminares tendientes a la sistematización de la técnica tradicional de muros de bajareque mediante la implementación de tepetate estabilizado con fibras, mucílago del *Opuntia ficus* e hidróxido de calcio. Se detallan los resultados de estudios comparativos de la adherencia, agrietamiento y retracción de la materia prima para optimizar sus dosificaciones. Se ha podido comprobar que el empleo de fibras de gramíneas en proporciones de 1.5% a 2.0% en peso seco incrementan notablemente las cualidades del material resultante.

Palabras Clave: Tierra, Bajareque, Entramado, Mucílago del *Opuntia ficus*, Paja.

Abstract

The current construction has a high environmental impact, so its renovation is urgent, looking for materials that consume little energy and do not pollute. In the present text, preliminary results are exposed tending to the systematization of the traditional technique of wattle and daub walls through the implementation of tepetate stabilized with fibers, *Opuntia ficus* mucilage and calcium hydroxide. The results of comparative studies of adherence, cracking and shrinkage of the raw material to optimize its dosages are detailed. It has been verified that the use of grass fibers in proportions of 1.5% to 2.0% in dry weight certainly increase the qualities of the remaining material.

Keywords: Earth, Wattle and daub, Latticework, *Opuntia ficus* mucilage, Straw.

1. Introducción

Según la NAMA de vivienda, México se comprometió a reducir las emisiones de CO₂ al 50% (Comisión Nacional de Vivienda, 2016). Para este propósito los elementos elaborados con tierra representan una opción constructiva que ha tomado relevancia en los últimos años en varios países del mundo. Estos sistemas constructivos no requieren procesos industrializados o un gasto excesivo de energía para su realización.

La tierra es uno de los recursos más usados desde hace siglos en la construcción y perdura hasta la actualidad con técnicas antiguas y actuales (Gatti, 2012; Bestraten, 2011; Taghiloha, 2013; Salgado, 2016; Von Mag et al, 2011; Hernández, 2017; Álvarez, 2018; Dethier, 2019; Suarez-Domínguez et al, 2016). Representa la herencia de gran parte de civilizaciones del mundo, algunas con más de 5000 años de

antigüedad (Valles, 2010; López, 2018). Edificios emblemáticos de diversas latitudes dan cuenta de eso y siguen aún en pie. Este material se puede obtener de forma relativamente sencilla excavando en casi cualquier parte y representa una opción asequible para la gran mayoría de la sociedad, la cual continúa aumentando en número y en necesidades de espacio habitable.

El empleo sostenible de bienes locales representa una alternativa importante que puede ser potencializada para generar elementos constructivos que reemplacen total o parcialmente a sus similares de origen industrializado.

El bajareque es un sistema constructivo compuesto de mezclas de barro y agua que se aplica sobre una trama de refuerzo tejida mediante componentes de origen vegetal como pueden ser fibras largas, ramas, carrizos, rajas de bambú, madera, etc. El entramado puede tejerse y asentarse directamente sobre la cimentación o bien, ser estructurado

*Autor para la correspondencia: cesarupb.2020_m@comunidad.unam.mx

Correo electrónico: cesarupb.2020_m@comunidad.unam.mx (César Ubaldo Pérez-Bastida), lfgbaca@correo.xoc.uam.mx (Luis Fernando Guerrero-Baca).

dentro de marcos de madera a los que se clava, amarra o enlaza o ensambla, en una diversa serie de opciones de colocación y distanciamiento. Dicha estructura interna queda cubierta por completo al finalizar la aplicación, las mezclas son colocadas a mano o con herramienta ligera y en ocasiones son pintadas para facilitar sus procesos de mantenimiento (Guerrero, 2017; Maldonado et al., 2015; Henneberg, 2005; Carranza, 2010; Flores, 2020).

El tepetate es abundante, económico, sustentable y de fácil adquisición en la Ciudad de México que actualmente no ha sido aprovechado como componente arquitectónico, sino que simplemente sirve como relleno de terrenos o subbases de calles y aceras despreciando su poder aglutinante y dejándolo simplemente compactado como componente inerte. Estudios preliminares han demostrado que si al tepetate se le aplican procedimientos de humectación controlada y se estabiliza con ayuda de mucílago de nopal (*Opuntia ficus*), gramíneas e hidróxido de calcio sus propiedades se potencian (Guerrero y Ávila, 2019). El presente trabajo describe los procesos de evaluación del comportamiento de capas delgadas de tepetate estabilizado y aplicado superficialmente, con respecto a su retracción y fisuración superficial durante el secado, así como el aumento de su cohesión en superficies verticales con la intención de ampliar sus posibilidades de aplicación.

Estos estudios tienden a la recuperación y sistematización de saberes de origen ancestral pues, como lo indica el Programa Nacional de Vivienda 2019-2024 en su apartado 7: “El uso de materiales, tipología y arquitectura vernáculos no sólo cumple una función social y cultural, sino que además puede rendir beneficios adicionales como el impulso a la economía local y la reducción del impacto ambiental de la vivienda” (Sociedad Hipotecaria Federal, 2019).

2. Materiales y Métodos

2.1. Componentes de mezcla

El material conocido bajo el nombre de tepetate tiene diferentes caracterizaciones dependiendo de la perspectiva con la que se analiza. En general se acepta que se trata de un horizonte o estrato de suelo con minerales de silicio y aluminio que se ha consolidado a través del tiempo como efecto de condiciones climatológicas, pero sobre todo por su relación con volcanes (Juárez y Rico, 2006). Se dice que es posible considerarlo como una arena pumítica o suelo de origen volcánico con características puzolánicas, esto se refiere a que tiene poco valor cementante pero que en presencia de humedad e hidróxido de calcio reacciona formando compuestos de mayor dureza (Martín, 2015). Los suelos volcánicos se caracterizan por tener arcillas jóvenes también conocidas como “materiales amorfos” tales como el alófono que funcionan como arcillas actuando como aglutinantes a nivel microscópico (Pérez, 2016).

El mucílago de nopal se obtiene de la especie *Opuntia ficus* la cual tiene gran distribución en América. Pertenece a la familia de las cactáceas. De todas las variantes de la especie ésta es la más común y se caracteriza por su cladodio o penca aplanada que tiene la cualidad de retener la humedad y sobrevivir en condiciones áridas gracias a su contenido de mucílago y pectina. El mucílago es un heteropolisacárido

viscoso que se puede extraer fácilmente de las pencas o cladodios y funcionar como aglutinante que hace que permanezcan unidas las partículas de una mezcla. Previene el secado rápido de mezclas de tierra, así como argamasas de cal y arena, ayudando a obtener procesos de fraguado sin fisuración. El mucílago disminuye el porcentaje de retracción de mezclas y aumenta la fluidez. Mejora las condiciones de adherencia y las propiedades físicas de las mezclas (Ávila, 2019; Aranda, 2013).

Para el presente trabajo se usó agua embotellada con la intención de eliminar impurezas o variaciones de pH derivadas de la presencia de sales solubles. El agua activa las fuerzas que unen a la arcilla.

La paja utilizada se compone de tallos secos de pastos, trigo, arroz u otras gramíneas que sirven como refuerzo de la construcción con tierra. Debe ser recortada y seleccionada según su consistencia. Su longitud debe ser de máximo 3 cm para evitar que sobresalga y dificulte su aplicación. El material debe encontrarse libre de materia orgánica y basura. Su correcta selección y mezcla garantiza una mayor adherencia. Las fibras vegetales se añaden para reducir las fisuras de retracción. Incrementan la ductilidad y la durabilidad del sistema (Febres, 2011).

La cal hidratada industrialmente (hidróxido de calcio) incrementa la resistencia mecánica a compresión y la absorción del agua reduciendo la retracción volumétrica. Protege las superficies de tierra contra los agentes climatológicos y permite el intercambio de aire y vapor de agua. No modifica la porosidad de la tierra y se requiere muy poca cantidad en todo el proceso. Agregar cal en exceso reduce el trabajo de las arcillas. El intercambio de cal y tierra produce una acción puzolánica (Guerrero et al., 2011).

2.2 Desarrollo metodológico

La investigación inicia con la determinación de los componentes, su obtención, inspección visual, limpieza de impurezas y posterior pesaje. La selección de los materiales será por separado en recipientes específicos para cada uno. La preparación de mezclas, superficies de aplicación y determinación de medidas se realizará de forma conjunta para evitar variaciones en el tiempo de secado. El espacio de trabajo deberá contar con áreas de trabajo húmedo y seco para la elaboración y posterior aplicación de revoques.

2.3 Dosificación de la mezcla y aplicación de revoques

La investigación comparó el comportamiento de diversos estabilizantes naturales adicionados al tepetate a fin de evaluar su porcentaje de adherencia, número de fisuras presentadas considerando su ancho, forma y profundidad y su porcentaje de retracción en un periodo de 72 horas.

Las medidas de los revoques se obtuvieron con vernier ya que cuenta con la precisión necesaria para la toma de medidas exteriores, interiores y de profundidad del elemento.

El porcentaje y el peso de las dosificaciones se obtuvo con báscula en recipientes separados para cada componente de la mezcla.

Derivado de la revisión de dosificaciones comúnmente usadas en la construcción con tierra se obtuvieron criterios generales referentes a la cantidad de agua; 16% para mezclas

sin cal y 25% para mezclas con cal determinadas por la propia plasticidad del material al ser mezclado por medios manuales. El porcentaje de mucílago de nopal se estableció al 16% y la paja del 1.5% al 2.0% (Díaz, 1984). El porcentaje de cal requerido se obtuvo mediante mediciones de pH a partir de la norma ASTM-D-6276–99^a, que arrojó una dosificación necesaria del 1.0% en peso seco (Guerrero et al., 2011). En total se elaboraron 16 muestras con 2 mezclas de control; Tepetate + agua y Tepetate + agua + cal. Las demás fueron las combinaciones resultantes indicadas en las Tabla 1 y 2.

Tabla 1: Mezcla de componentes sin cal

Mezcla	Tierra	Agua 16%	Mucílago 16%	Paja 1.5%	Cal 1.0%
Tepetate + agua	240 gr.	40 gr.	-	-	-
Tepetate + mucílago	240 gr.	-	40 gr.	-	-
Tepetate + agua + paja	240 gr.	40 gr.	-	3 gr.	-
Tepetate + mucílago + paja	240 gr.	-	40 gr.	3 gr.	-

Tabla 2: Mezcla de componentes con cal

Mezcla	Tierra	Agua 25%	Mucílago 16%	Paja 1.5%	Cal 1.0%
Tepetate + agua + cal	240 gr.	60 gr.	-	-	3 gr.
Tepetate + mucílago + cal	240 gr.	-	60 gr.	-	3 gr.
Tepetate + agua + cal + paja	240 gr.	60 gr.	-	3 gr.	3 gr.
Tepetate + mucílago + cal + paja	240 gr.	-	60 gr.	3 gr.	3 gr.

Se requirió un espacio de experimentación cerrado con acceso a tarja, mesa de trabajo y espacios de guardado, así como herramientas tales como coladeras, cubetas, martillos, clavos, cuñas, cubetas y superficies de trabajo. El área se dividió en trabajo en seco para la selección y pesaje de los componentes y en el área de mezclas donde se elaboraron y aplicaron los revoques.

A continuación, se enlistan las características y la obtención de los elementos de la mezcla:

El tepetate se adquirió en una casa de materiales y provenía de la región de Chalco. Permaneció empacado en sacos de polipropileno en un lugar a temperatura y humedad ambiental normal (19 a 23°C y entre 30% y 60% de humedad relativa).

Se cuidó que no contuviera materia orgánica y que estuviera libre de basura.

Se tamizó por una malla No. 40 y el material que no pasaba fue triturado con medios manuales y herramienta simple en los casos en los que se encontraron partículas de mayor tamaño. Se eliminaron partículas de grava y se realizaron pruebas de caracterización de campo como se visualiza en la Figura 1. Estas pruebas de comportamiento general del material incluyeron la de cohesividad mediante barras (rollos), la caída de bola y la prueba de sedimentación (Minke, 2005; Hernández, 2016; Rodríguez et al, 2020; Carzas, 2014).

Figura 1: Pruebas de caracterización de campo.



Fuente: Elaboración propia

La prueba de sedimentación consiste en agregar agua en un recipiente alto y después colocar el tepetate para determinar aproximadamente la cantidad de partículas de mayor tamaño en el fondo y las de menor tamaño arriba. La prueba mostró un alto porcentaje de materiales arcillosos (alófanos), en menor cantidad limos y muy pocas arenas y gravas. El agua se aclaró por completo después de 2 horas mostrando mínima presencia de materia orgánica.

La prueba de caída de bola consiste en hacer una bola mezclando tepetate y agua hasta lograr una consistencia sólida de 4 cm de diámetro. Se dejó caer a 1.5 metros de altura y se revisó su respuesta al golpe. La prueba mostró fisuras de menor ancho que el componente lo que indica que el tepetate cuenta con material arcilloso en su composición.

La prueba de cohesividad consiste en hacer con tepetate ligeramente humedecido una serie de barras o cilindros de 1.5 cm de diámetro por 20 cm de largo. Cada barra se coloca cuidadosamente sobre un papel en la orilla de una mesa sobre la cual se jala lentamente hasta que quede colgando y se rompa. Se reciben con cuidado las fracciones rotas a fin de evitar que caigan al suelo y se puedan deformar. Posteriormente se miden las porciones en las que se rompió la barra. El promedio de las fracciones fue de 11.3 cm lo que confirmó lo observado en la prueba anterior con referencia la presencia y reactividad de los componentes arcillosos.

La paja utilizada era de trigo y se cuidó que estuviera libre de materia orgánica. Se cortó en las longitudes requeridas menores a los 3 cm para su adecuada manipulación.

El hidróxido de calcio se obtuvo de casas de materiales de la zona. El saco es de 25 kg marca Calhidra.

El tepetate se mezcló con agua en el porcentaje indicado en la Tabla 1 y 2 hasta alcanzar una consistencia plástica adecuada. Al cladodio del *Opuntia Ficus* se le retiraron las espinas para facilitar su manejo, después se cortó por la mitad, se raspó el interior con una cuchara hasta obtener el mucílago

y se dejó reposar en agua por 48 horas. Después se verificó que la longitud de los “hilos” que cuelgan cuando se vierte la solución viscosa de un recipiente a otro midieran 50 cm. Se realizaron ajustes en la cantidad de agua agregada a la mezcla con mucílago para alcanzar dicha longitud (Guerrero y Ávila, 2019). Los componentes se mezclaron con paja al 1.5% y cal al 1.0% midiendo en báscula cada componente y mezclando en diferentes recipientes para evitar su contaminación.

El revoque se aplicó en una tabla humedecida y dividida con cinta en segmentos iguales de 13 x 12 cm por 1 cm de espesor, con la ayuda de un molde de madera elaborado de la misma medida. El revoque se colocó con ayuda de una cuña y se inició la toma de fotos y medidas.

Las muestras con variantes que incluyeran mucílago se debían mantener adheridas a la superficie de madera haciendo más lento el secado y manteniendo una mayor cohesión entre las partículas de arcilla. Las gramíneas debían agregar cuerpo a la mezcla reduciendo en gran medida las fisuras en todo el revoque y la incorporación del hidróxido de calcio debía aportar una mayor solidez y una menor retracción.

Se colocaron las muestras de control, después las muestras con mucílago y al final las muestras con cal para ordenar el proceso y evitar combinar componentes. Todos los materiales fueron aplicados en un lapso de 2 horas. Se tomó registro cada 12 horas y se revisaron las imágenes con medios digitales para examinar las características de las fisuras.

debilitando las esquinas. La primera muestra se colapsó y la segunda permaneció adherida sólo en un mínimo porcentaje. Aunque se comportaron de forma muy similar mostraron ser insuficientes para implementarse en elementos constructivos.

En las mezclas elaboradas con Tepetate + mucílago, se presentó una mínima mejora en adherencia, pero al igual que la anterior tuvo un aumento paulatino de fisuras que atravesaron por completo el revoque aumentando en la parte central lo que de nueva cuenta provocó su total colapso. Las 2 muestras se comportaron de forma similar en número de fisuras y retracción.

En las mezclas de Tepetate + agua + paja se presentó un rendimiento adecuado manteniendo una adherencia completa en todo el revoque con el pasar de las horas. Presentó algunas fisuras al centro que fueron aumentando su espesor, pero no su largo por lo que no llegaron a los bordes. No presentó una retracción significativa y en los 2 casos el comportamiento fue similar. Después de 72 horas el revoque estaba bien adherido.

En las mezclas elaboradas con Tepetate + mucílago + paja, el comportamiento fue similar al de la muestra anterior manteniendo una adherencia total a la superficie. Presentó todavía menos fisuras al centro que se mantuvieron estables reduciendo su largo y ancho. No presentó una retracción significativa.

Figura 2: La foto superior muestra los 2 revoques de cada mezcla recién aplicados, la foto inferior muestra los mismos revoques después de 72 horas

Tepetate + agua	Tepetate + mucílago	Tepetate + agua + paja	Tepetate + mucílago + paja	Tepetate + agua + cal	Tepetate + mucílago + cal	Tepetate + agua + paja + cal	Tepetate + mucílago + paja + cal
-----------------	---------------------	------------------------	----------------------------	-----------------------	---------------------------	------------------------------	----------------------------------



Fuente: *Elaboración propia*

3. Resultados y Discusión

En las mezclas de control elaboradas con Tepetate + agua se presentó una adherencia deficiente a las 24 horas de su aplicación. Desde los primeros momentos mostraron grietas que iniciaron en los bordes aumentando su ancho y largo y

En las mezclas elaboradas con Tepetate + agua + cal. Su adherencia fue deficiente colapsándose por completo en menos de 24 horas. Contaron con una retracción menor a 2 mm y fisuras que atravesaron en pocas horas el elemento restando su capacidad de cohesión. El comportamiento de ambas mezclas fue muy similar. Al agregar cal los revoques se tornaron en un color más claro y una apariencia menos porosa.

En las mezclas elaboradas con Tepetate + mucílago + cal se presentaron las mismas características de adherencia de la muestra anterior colapsándose por completo poco antes de las 24 horas. Las fisuras fueron menores que el ancho del componente. Presentó una retracción mayor. Las 2 muestras tuvieron un comportamiento similar.

En las mezclas elaboradas con Tepetate + agua + cal + paja el revoque no se mantuvo adherido a la superficie y colapsó a las 24 horas. Agregar paja al componente no aportó beneficios ya que generó algunas grietas al centro que fueron aumentando su espesor, pero sin llegar a los bordes. Presentó retracción y un comportamiento similar en las 2 pruebas.

En las mezclas elaboradas con Tepetate + mucílago + cal + paja el comportamiento fue similar al anterior formando una tableta sin cohesión a la superficie, pero con fisuras menores que el ancho del componente sin llegar a los bordes que redujeron aún más su espesor y largo en comparación con la mezcla anterior. No presentó retracción significativa y ambas se comportaron de forma similar.

Tabla 3: Resultados de las Mezclas

Mezcla	Adherencia	Fisuras	Retracción
Tepetate + agua	Deficiente	Mayores al ancho del componente	Colapso total del componente
Tepetate + mucílago	Deficiente	Mayores al ancho del componente	Colapso total del componente
Tepetate + agua + paja	Adecuada	Menores que el ancho del componente	Menor a 2 mm
Tepetate + mucílago + paja	Adecuada	Menores que el ancho del componente	Menor a 2 mm
Tepetate + agua + cal	Deficiente	Mayores al ancho del componente	Colapso total del componente
Tepetate + mucílago + cal	Deficiente	Generadas por el colapso del componente	Mayor a 2 mm
Tepetate + agua + paja + cal	Deficiente	Menores que el ancho del componente	Mayor a 2 mm
Tepetate + mucílago + paja + cal	Deficiente	Menores que el ancho del componente	Menor a 2 mm

4. Conclusiones

Resultado del análisis de los revoques se concluyen los siguientes puntos:

Las mezclas de Tepetate + agua y Tepetate + agua + cal resultaron inadecuadas debido a la retracción, fisuras y

desprendimiento que hicieron colapsar finalmente las muestras de revoques.

La mezcla de Tepetate + mucílago y Tepetate + mucílago + cal aumentó la adherencia del componente, pero no lo suficiente para mantener unido el revoque a la superficie.

Las mezclas de Tepetate + agua + paja y de Tepetate + mucílago + paja brindaron un mayor cuerpo al revoque, presentaron una mínima retracción y mantuvieron la adherencia reduciendo también las fisuras en toda el área.

Estas 2 últimas fueron las que permanecieron adheridas a la superficie de madera y representaron la mejor opción para colocarlas en un panel con entramados.

Las mezclas con cal aumentaron la consistencia y tersura de los revoques, pero no se mantuvieron adheridas a la superficie en ningún caso, lo que supone un comportamiento adecuado para elementos autónomos, pero no para elementos tipo panel.

Al final de la investigación la cal se consideró sólo como un posible agregado para acabados finales en los que se aplique en capas delgadas o bien solamente como pintura para brindar mayor resistencia a la humedad.

El tepetate contiene materiales arcillosos amorfos que generan una retracción que provoca fisuras y desprendimientos, al agregar gramíneas del 1.5% al 2.0% y mucílago de nopal se reducen notablemente potencializando al material para aplicaciones en paneles con entramados. El tepetate implementado en sistemas constructivos como el bajareque puede significar una alternativa sustentable, accesible y abundante para satisfacer la demanda de espacios habitables y no depender sólo de sistemas constructivos industrializados que provocan en su manufactura, colocación y transportación gran cantidad de gasto energético y contaminantes. Se recomienda ampliar la investigación en lo referente a la resistencia a compresión de los componentes constructivos, así como en las cualidades higrotérmicas propias del sistema ya que el contenido de aire en las fibras confiere adecuadas propiedades aislantes del frío y el calor. Resulta necesaria la constante búsqueda de alternativas que consideren materiales de la región para poder adecuarlos a las necesidades humanas.

Referencias

- Álvarez, A. A. C., Haro, X. R. C., & Avilés, J. I. S. (2018). El alivianamiento en el tapial. *ASRI: Arte y sociedad. Revista de investigación*, 14, 19.
- Aranda, Y. (2013). Efecto de la impermeabilidad del mucílago de nopal en bloques de tierra comprimidos. *Nova Scientia, Revista de Investigación de la Universidad de la Salle Bajío, México*, 311-323.
- Ávila, E. (2019). *Epidermis Arquitectónica. Recubrimientos de Tierra Estabilizada Aplicados a la Vivienda Sostenible*.
- ASTM-D-6276-99^a (1999). Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de la Construcción*, 63(523), 5-20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Carranza, M. (2010). *¿Existen técnicas adecuadas de construcción con tierra para países sísmicos?*, Tesis de Master en Arquitectura y Sostenibilidad, ETSAB Universidad UPC, Universitat Politècnica de Catalunya. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13543/Carranza_Marcela_Tesina.pdf
- Carazas Aedo, W., & Rivero Olmos, A. (2002). Bahareque: Guía de construcción parasísmica. https://www.misereor.org/fileadmin/user_upload/misereororg/cooperation/forms/es/construction/guia-de-construccion-bahareque-parasismica.pdf

- Díaz Gutiérrez, A. (1984). Sistema constructivo «Quincha Prefabricada». *Informes de la Construcción*, 36 (361), 25-34. <https://doi.org/10.3989/ic.1984.v36.i361.1962>
- Flores Meneses A. N. (2020). Panel ligero de tierra, cartón triturado y mucilago de nopal para vivienda rural en México [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación Unidad Tecamachalco]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/28901>
- Comisión Nacional de Vivienda. (2016). NAMA Mexicana de Vivienda Sustentable. <https://www.gob.mx/conavi/documentos/nama-mexicana-de-vivienda-sustentable-28728>
- Dethier, J. (2019). *Arquitecturas de tierra: El arte de construir con tierra: pasado, presente y porvenir*. Blume.
- Febres Torres, B. R. (2011). Vivienda de interés social de dos plantas en base a tapial como una alternativa para el barrio "Mirador" situada en la parroquia de Malacatos, ciudad de Loja: Materiales y estructuras.
- Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra: Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra* [Universidad Politécnica de Catalunya]. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-54P06akoc0J:https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/16141+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-b-d>
- Guerrero, L. F. (2017). Pasado y porvenir de la construcción con bajareque *Revista Restauro*, 4(8):69-80. Recuperado el 26 de octubre de 2020, de <https://editorialrestauro.com.mx/pasado-y-porvenir-de-la-construccion-con-bajareque/>
- Guerrero, L.F. y Ávila, E. (2019). Pañetes de tierra estabilizada con nopal. *Revista Nodo*, 14 (27): 53-62. DOI: <https://doi.org/10.54104/nodo.v14n27.167>
- Guerrero, L. F., Roux, R. S., Soria, F. J. (2011). "Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México". *Revista Palapa*. Universidad de Colima. Vol. 1. No.10. p.p.45-57.
- Henneberg, A. (2005). *La técnica constructiva del Bahareque en el estado de Zulia. Estudio comparativo*.
- Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: Análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal* [Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona]. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KXz2hsfRVZsJ:https://upcommons.upc.edu/handle/2117/107822+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-b-d>
- Hernández, H. M. (2017). Tierra vertida + PET, una aportación al sistema constructivo de muros de botellas de PET rellenas de tierra; Caso Centro Comunitario la Mezquitera [Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente].
- Juárez Badillo, E., y Rico Rodríguez, A. (2006). *Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos (1a ed. --)*. México, D.F.: Limusa.
- López Dávalos, A. (2018). Desarrollo de un nuevo bloque de tierra mejorado, con la incorporación de aditivos de compuestos orgánicos. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/121597>
- Maldonado Valverde, A. F., Espinoza Figueroa, F. E., & Mejía Coronel, D. P. (2015). Caracterización constructiva de elementos estructurales en el bahareque fibras, amarres y ataduras como representación cultural del Azuay. 15° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Retrieved from <http://dspace.ucuena.edu.ec/handle/123456789/35576>.
- Martín, S. O. O. (2015). Caracterización de arenas pumíticas del área metropolitana de Guadalajara para su uso en muros de tierra compactada. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ayeF4IC5pWAJ:https://rei.iteso.mx/handle/11117/3224+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-b-d>
- Minke, G. (2005). *Manual de Construcción en Tierra*. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/41593437/Manual-de-Construccion-en-Tierra-Gernot-Minke>
- Pérez, N. A. (2016). Los adobes arqueológicos de la Gran Pirámide de Cholula: Caracterización detallada de su composición relacionada con sus propiedades como material de construcción (Tesis de Doctorado) [UNAM].
- Rodríguez J. L. et al. (2020). Diseño de un sistema autoconstructivo a base de tapial y bajareque de bajo costo e impacto ambiental para una vivienda. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*, Vol. 7 no. 1, 11.
- Salgado, J. J. G. (2016). [Tapia] estabilización microbiológica una forma de autoconstrucción [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000753425
- Sociedad Hipotecaria Federal. (2019). Programa Nacional de Vivienda (PNV) 2019-2024. <https://www.gob.mx/shf/documentos/plan-nacional-de-vivienda-pnv-2019-2024>
- Suarez-Domínguez, E., Aranda-Jiménez, Y. (2016). *Tierra Vertida: Una descripción Global*.
- Taghiloha, L. (2013). Using rammed earth mixed with recycled aggregate as a construction material. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HzamOSiuIqoJ:https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/26068+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-b-d>
- Valles, N. C. (2010). Muros de tierra compactada-Tapia: Caracterización de sus propiedades (Tesis de maestría) [Universidad Nacional Autónoma de México]. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000654088
- Von Mag, A., Rauch, M. (2011). Paredes de tapial y su industrialización (encontrados y sistemas de compactación). *Informes de la Construcción*, 63(523), 35–40. <https://doi.org/10.3989/ic.10.013>