

ESTUDIOS DE RESISTENCIA DE LA TAPIA TRADICIONAL DE LA REGIÓN DE TEPEYAHUALCO, MÉXICO

María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes

Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, vizcarra@unam.mx

Palabras clave: resistencia a la compresión, tierra compactada, tapia, cal, puzolana

Resumen

En el SIACOT 2016 se presentó un primer avance de esta investigación que consistió en la documentación en campo de una variante peculiar de la tapia tradicional de tierra, que contiene cal y materiales de origen volcánico, y que ha sido identificada en la región de Tepeyahualco, Puebla, en México. En esta ocasión, se presentan los estudios de una serie de pruebas mecánicas hechas en laboratorio, que han permitido verificar algunos de los supuestos inferidos en la documentación de campo, mediante la comparación de la capacidad de carga directa de tres variaciones de la dosificación del sistema constructivo tradicional, además de una cuarta mezcla encontrada en una localidad aledaña, y que dio pauta para comprender el papel que juegan los componentes granulométricos dentro del sistema, en particular, la tierra. Los valores obtenidos arrojan resultados prometedores, que, sin embargo, es necesario verificar para tener un cabal entendimiento de un proceso constructivo complejo. También se observó que la composición de la mezcla de materiales ofrece una reacción química durante el proceso de fraguado de la mezcla, que genera ventajas tales como una mayor resistencia a la humedad capilar, la proveniente de la lluvia, la erosión eólica y la abrasión de origen antrópico, como resultado de la combinación de los materiales.

1 INTRODUCCIÓN

En la localidad de Tepeyahualco ubicada en el estado de Puebla, al oriente de la República Mexicana, existe una variante peculiar de la edificación de muros de tapia, cuya descripción y documentación detallada se expuso en Vizcarra y Guerrero (2016). La técnica que se ha desarrollado de manera tradicional en la región conserva el mismo procedimiento constructivo de muros de tapia convencionales pero incorpora materiales derivados tanto del entorno natural del sitio como de desechos de la industria que se realiza ahí desde hace décadas (figura 1).



Figura 1. Tapias de Tepeyahualco (acervo del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, LPSCT)

La tierra ha sido complementada y en algunos casos sustituida con una mezcla de residuos de cal y tres tipos de materiales rocosos triturados, que son producto de la actividad volcánica. El primero de ellos es la roca ígnea intrusiva llamada regionalmente *tezontle* que es una especie de espuma de lava de color negro o rojizo. El segundo material es la pumita (pumicita o piedra pómez) a la que localmente se le conoce como piedra *poma*, es de color crema amarillento, mucho más ligera y porosa que el tezontle. Finalmente, el tercer material volcánico que se emplea tiene una composición química parecida a la pumita pero por

efectos ambientales presenta una estructura cristalina discontinua con mayor porosidad y presencia de arcillas, y se le llama genéricamente *tepojal*, *tepezil* o “cacahuatillo” en la localidad.

Por otra parte, un componente esencial del sistema lo constituye el residuo del proceso de fabricación de hidróxido de calcio. Este material se compone mayormente de arenas de la roca caliza que no alcanzó a calcinarse en el proceso de obtención de la cal. Sin embargo, se ha visto que por haber sido térmicamente alterado, adquiere propiedades ligeramente aglutinantes por carbonatación, así como por reacción puzolánica con los agregados de origen volcánico.

Se trata de un producto residual de la fabricación de industrias caleras de pequeña escala, el cual conserva su conformación cristalina como carbonato de calcio, y por lo tanto, es químicamente inerte. Sin embargo, también contiene fracciones que sí alcanzaron la temperatura necesaria para convertirse en óxido de calcio, con lo que adquirieron propiedades reactivas.

Además de la reacción química entre la cal y el material volcánico que explica en gran medida la dureza y consistencia que muestran los muros de tapia de la región, existe una amplia gama granulométrica que permite la óptima densificación durante el compactado. La piedra pómez y el tepojal se agregan en partículas de muy diferentes tamaños que, por la geometría irregular de sus caras y aristas se “anclan” entre ellas.

La fricción entre los diferentes componentes aunada a la densificación por la inclusión de arenas finas que rellenan los huecos, el aglutinamiento de la arcilla presente en la tierra a la que se conoce localmente como “barro renegrado”, y el citado proceso de puzolanización le confieren al sistema notables cualidades resistentes.

Estos materiales, al igual que la tierra, son de fácil extracción y transformación manual, lo que permitió su desarrollo regional en diversos tipos de viviendas y espacios de trabajo, realizados en su mayoría por autoconstrucción.

Esta singular combinación de componentes y la permanencia en el uso convencional de pisonos y encofrados permite aseverar que se trata del proceso de evolución de una técnica tradicional, que, a diferencia de lo que se observa en la mayoría de las culturas constructivas ancestrales de México, ha encontrado una manera de adaptarse sin desaparecer.

2 OBJETIVO

Los avances que se exponen a continuación incluyen resultados de algunos ensayos de laboratorio que buscan evaluar la resistencia a la compresión de las mezclas de la tapia estudiada, con el fin de determinar la función de los distintos materiales utilizados en la tapia, y, en su caso, hacer recomendaciones a los artesanos sobre una mejor dosificación y combinación de materiales, con el fin de optimizar el sistema constructivo tradicional. Este trabajo se centra en los resultados de las pruebas que analizan la función de la tierra dentro del sistema, aunque continúan en estudio otros fenómenos que se han encontrado a lo largo de la investigación, como la aparente pérdida de resistencia de estas tapias con el paso del tiempo, las distintas resistencias a la compresión que presentan las probetas al colocarlas en las máquinas en sentido perpendicular o paralelo respecto al apisonado, la absorción capilar, entre otras.

3 ANTECEDENTES

En el trabajo de campo llevado a cabo en la zona, se encontraron cuatro variantes de la mezcla empleada para el tapial. La primera, como ya se mencionó, incluye material volcánico, residuos de cal, y tierra (mezcla T-1). En la segunda se sustituye la piedra poma por tezontle (mezcla T-2). En la tercera se omite la tierra (mezcla T-3) y en una cuarta variante, localizada en otra comunidad a 20 km de distancia, llamada El Fuerte, y que

tampoco lleva tierra, los residuos de material calizo son sustituidos por hidróxido de calcio comercial, proveniente de la calera de Tepeyahualco, y arena, en una proporción aproximada de 5% de cal aérea y 30% de arena (mezcla F-1) (ver figuras 2 y 3).

A continuación se detallan las dosificaciones comunes de cada uno de los ingredientes de las mezclas identificadas en campo en la tabla 1:

Tabla 1. Dosificación de las mezclas

Mezcla	Material en volumen						
	Residuo de cal	Cal aérea	Arena	Piedra pómez	Tepojal	Tezontle	Tierra
T-1	1	-	-	1	1	-	1/3
T-2	1	-	-	-	1	1	1/3
T-3	1	-	-	1	1	-	-
F-1	-	1/6	5/6	1	1	-	-

T-1 – Tapia de Tepeyahualco 1 (mezcla original); T-2 – Tapia de Tepeyahualco 2;
T-3 – Tapia de Tepeyahualco 3; F-1 – Tapia de El Fuerte



Figuras 2 y 3. Materiales de la tapia: a la izquierda, piedra pómez, tepojal, tezontle, barro renegrido al fondo; y a la derecha, residuo de cal (acervo del LPSCT)

En todas las variantes, la mezcla se hace en seco con los materiales descritos, y se le agrega paulatinamente agua en una proporción aproximada del 5% del volumen total de la mezcla (figura 4). Esta cantidad depende del grado de humedad que contengan los materiales al momento de hacer la argamasa. Ésta debe tener una consistencia húmeda, similar a las tapias de tierra (Hoffmann; Minto; Heise, 2011).



Figura 4. Materiales mezclados con el grado exacto de humedad (acervo del LPSCT)

Esta mezcla se deposita en capas de 20 cm a 30 cm que se apisonan dentro del encofrado. La única diferencia en el proceso constructivo con respecto a las tapias convencionales, es el espesor del muro, que en los casos de estudio, no suele superar los 25 cm. Una vez lleno el cajón se empareja la superficie con cuchara de albañil, se abre el encofrado y se recorre

sobre la cepa de cimentación para realizar el bloque contiguo.

Al igual que en todo proceso de mampostería, es necesario traslapar (contrapear) los módulos en las diferentes hiladas para asegurar el correcto funcionamiento estructural, especialmente en el caso de las esquinas.

Reacciones puzolánicas

Las puzolanas son materiales silíceos o sílico-aluminosos que en sí mismos no poseen propiedades cementantes, pero que reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio al encontrarse finamente divididos y en presencia del agua, a temperatura ambiente. De este modo forman compuestos insolubles con cualidades cohesivas que fraguan con mayor velocidad que el carbonato de calcio e incluso lo hacen bajo el agua, obteniéndose a veces resistencias notablemente elevadas (Guerrero; Soria, 2014).

Uno de los primeros materiales a los que se les encontró tal propiedad, fue una ceniza volcánica empleada desde la época romana en la provincia de Pozzuoli, en Italia, razón por la cual a este tipo de suelos se les designó como puzolanas. El término se generalizó para los suelos con características similares encontrados en otros sitios (Fernández, 1982: 299).

Las puzolanas pueden ser de origen natural o artificial. Las naturales son cenizas y tobas volcánicas (incluyendo pumita, pumicita o piedra pómez) de origen riolítico, dacítico o andesítico; rocas silíceas sedimentarias, tales como tierras diatomeas, pizarras opalinas y pedernales; arcillas y pizarras.

Las de origen artificial son normalmente subproductos industriales como es el caso de las cenizas volantes de altos hornos, polvo de ladrillo, cenizas de cascarilla de arroz o de caña de azúcar (Guerrero; Roux; Soria, 2014).

En las mezclas de las tapias de Tepayahualco se tienen distintas combinaciones de materiales puzolánicos (la piedra poma, el tepojal y el tezontle), que, al entrar en contacto con los restos de hidróxido de calcio presentes en los residuos de cal empleados en la mezcla, presentan las reacciones descritas anteriormente, en distintos grados.

Cuando el hidróxido de calcio se mezcla en adecuadas condiciones de humedad con polvos finos de arenas puzolánicas, las cuales están formadas por cristales reactivos de óxido de silicio y alúmina derivados de la fusión de materiales ígneos a elevadas temperaturas, adquieren la posibilidad de fraguar sin la presencia de dióxido de carbono y formar cristales de silicato de calcio hidratado así como de aluminato de calcio (Orea, 2013; Sepulcre, 2015).

Durante el trabajo de campo fue posible inferir que la composición de la mezcla de materiales da como resultado una reacción química, pues la mezcla fragua y endurece sin posibilidad de descomponerla en sus elementos originales, a diferencia de las tapias hechas sólo con tierra.

Según los testimonios de las entrevistas a los artesanos, si llueve o le cae agua, la tapia endurece más rápido. Así se infiere que existen reacciones puzolánicas en la mezcla que provocan los restos de hidróxido de calcio presentes en los residuos de la cal al entrar en contacto con la piedra pómez, el tepojal o el tezontle, que contienen silicatos.

Pero además de estos fenómenos químicos, el hidróxido de calcio puede endurecer lentamente si interactúa con el dióxido de carbono del aire, que es la reacción más conocida de esta sustancia. Entonces, el fraguado de estas tapias se vincula con una doble acción de la cal: como un proceso aéreo en las áreas externas del sistema y como una reacción puzolánica en su interior en donde no hay presencia de aire, pero sí de agua.

Es importante mencionar que el hidróxido de calcio puede permanecer sin reaccionar si conserva niveles adecuados de humedad y sin estar en contacto con el dióxido de carbono, y mantenerse durante años en buen estado mientras estas condiciones persistan. Incluso se sabe que entre más tiempo pase bajo el agua, se vuelve más reactivo a consecuencia de la disminución del tamaño de los cristales que lo componen (Rodríguez-Navarro; Hansen; Ginell, 1998).

4 METODOLOGÍA

Las pruebas se diseñaron mediante los protocolos de investigación realizados entre la Facultad de Arquitectura de la UNAM y la División de CyAD de la UAM-Xochimilco. Para la realización de las pruebas de compresión simple se usó como referencia tanto la norma mexicana NMX-C-036-ONNCCE (2013) como la ASTM C39 (2018), método estándar de prueba de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto, realizando una adecuación debido a que las probetas realizadas fueron cúbicas.

En primer lugar se determinó la composición de la mezcla de residuos de cal, se hicieron varias tomas del material y mediante métodos empíricos se determinó un promedio en seis muestras, que el residuo de cal contiene un 15% de material activo (cal viva e hidróxido de calcio), y un 85% de áridos. La piedra caliza que no alcanzó a calcinarse y convertirse en óxido de calcio, cumple las funciones de un agregado más en la mezcla, el de las arenas.

En segundo lugar, para caracterizar y evaluar la tierra utilizada en la localidad, llamada “barro renegrido” por su color oscuro, se determinaron los límites líquido, plástico y de contracción mediante la prueba de los límites de Atterberg, con el fin de conocer el tipo exacto de tierra del sistema en estudio según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) establecido en la norma ASTM D2487-11 (2011). Con estos datos y con el análisis granulométrico efectuado en laboratorio, según el SUCS el suelo es de tipo “ML”, es decir, “limos arcillo-arenosos de baja plasticidad”.

Para iniciar las primeras aproximaciones a las pruebas de compresión, se partió de las cuatro mezclas con las proporciones recabadas en campo, descritas con anterioridad; tres de la tapia de Tepeyahualco (T-1, T-2 y T-3) y una de la tapia de El Fuerte (F-1).

Con esta base, y con el fin de caracterizar y entender cuál es la función en específico de la tierra, se hizo una variante experimental con la mezcla de El Fuerte (F-1a), en la que se introdujo la tierra en las mismas proporciones que la mezcla original de Tepeyahualco.

Para los ensayos se partió con el estudio de los límites de Atterberg para caracterizar la tierra del sitio y posteriormente para la prueba de compresión simple, se elaboraron probetas de 5x5x5 cm de cada una de las mezclas citadas.



Figura 5. Probetas de ensayo de las distintas mezclas (acervo del LPSCT)

Ya que se infiere que el hidróxido de calcio desarrolla por un lado reacciones puzolánicas y por otro, endurecimiento por carbonatación, y ambos tienen diferentes velocidades de reacción (Guerrero; Roux; Soria, 2014), se decidió realizar juegos de probetas por mezcla con periodos largos de fraguado. Se establecieron tres distintas etapas: uno, tres y seis meses (30, 90 y 180 días) con el fin de verificar los supuestos antes mencionados.

Después de estos periodos en los que las probetas se mantuvieron en áreas con temperatura y humedad controladas, fueron sometidas a los ensayos de compresión en dos fases. En la primera desarrollada en la UAM-Xochimilco se empleó una prensa manual digital ELVEC modelo E657-1 (figura 6). En la segunda fase realizada en la UNAM, se utilizó una máquina de compresión marca Instron modelo 400 RD con capacidad de carga de 100 ton.



Figura 6. Prensa manual ELVEC con una de las probetas a ensayar (acervo del LPSCT)

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a la compresión simple:

Tabla 2. Resumen de resistencia a la compresión de las mezclas a los 30, 90 y 180 días

Mezcla	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	30 días	90 días	180 días
T-1	3,56	2,67	6,23
T-2	5,03	1,99	1,44
T-3	2,47	1,48	1,40
F-1	1,84	2,13	2,46
F-1a*	3,33	3,45	3,80

* Muestra experimental con tierra

A la luz de estos datos, se analizan las resistencias obtenidas, en función del tiempo de fraguado y la combinación de las distintas mezclas, poniendo especial atención al papel que juega la tierra como parte del sistema.

Mezcla T-1

La mezcla original incrementó su resistencia casi al doble, después de 6 meses de fraguado, al pasar de 3,56 MPa a 6,23 MPa.

Mezcla T-2

En este caso, se observó un fenómeno de reducción de la resistencia, pues la primera tanda de probetas cuyo añejamiento fue de apenas 30 días, la resistencia fue de 5,03 MPa, teniendo un drástico decremento a los 6 meses, con una resistencia de 1,44 MPa. Se infieren dos posibles causas: la primera, que el excedente de cal no tuvo la suficiente cantidad de óxido e hidróxido de calcio para consolidar las reacciones puzolánicas, y la otra, un tanto aventurada pues las pruebas aún están en proceso de realización, es que el tepojal tiene un comportamiento inestable que se ha observado al analizar otras combinaciones de materiales que no es posible presentar en esta ocasión.

Mezcla T-3

Residuo de cal, piedra pómez y tepojal: Al retirar la tierra, la mezcla tuvo decrementos importantes con el paso del tiempo, lo que hace inferir que la reacción puzolánica no es solamente entre la cal y la piedra pómez, sino también con las arcillas de la tierra

adicionada, cuya función es fundamental para la resistencia de estas tapias. La resistencia inicial a los 30 días fue de 2,47 MPa, y decreció a 1,40 MPa a los 180 días de fraguado.

Mezcla F-1

Al igual que la mezcla T-1, esta mezcla tuvo un incremento con el paso del tiempo, a los seis meses aumentó un 33%, al pasar de 1,84 MPa en las probetas de un mes, a 2,46 MPa seis meses después.

a) Variante mezcla F-1 (F-1a)

Con el fin de verificar la función de la tierra, aunque en esta localidad no acostumbran la incorporación de este material, se agregó a la mezcla en la misma proporción que en la mezcla T-1 y se observaron incrementos significativos en la resistencia a la compresión, y también una progresión en la resistencia con el paso del tiempo: los resultados son 3,33 MPa en las probetas de un mes, y 3,80 MPa en las de seis meses, que representan incrementos del orden de 80% con respecto a la mezcla sin tierra.

En los últimos dos casos, donde la resistencia sí se incrementa con el paso del tiempo, se puede inferir que el resultado se debe a que se tiene mayor control en la cantidad de cal que se agrega a la mezcla, situación que no es posible mantener constante cuando se utiliza el residuo de cal, donde no hay manera de controlar ni la cantidad ni la calidad del óxido e hidróxido de calcio presente en la mezcla.

6 CONSIDERACIONES FINALES

A la luz de estos primeros resultados, es posible inferir que las mezclas con tierra tienen una mayor resistencia en rangos bastante similares, excepto en las mezclas con tezontle, cuya resistencia al inicio incrementó en rangos bastante considerables, pero decayó al paso del tiempo.

También se ha observado que la tierra da estabilidad al sistema, evitando en casi todos los ensayos el decremento de las resistencias, salvo en la mezcla T-2. Para este caso, es necesario verificar las pruebas en las que se obtuvo un decremento de la resistencia con el paso del tiempo, para identificar qué componentes interfieren en el proceso de fraguado y puzolanización.

Para consolidar el entendimiento de la tierra dentro del sistema, en un futuro se prevé hacer nuevas pruebas bajo las siguientes premisas, en función de los resultados aquí presentados:

- Hacer pruebas incrementando la dosificación de la tierra, con el fin de confirmar y estudiar con mayor profundidad la función de las arcillas de este material.
- Hacer pruebas con distintos tipos de tierra para saber qué tan factible es utilizar este sistema constructivo con materiales similares en otras regiones, y verificar cómo funcionan distintos tipos de arcillas con las reacciones puzolánicas de estas mezclas.

Los decrementos en la resistencia de las mezclas señaladas en los resultados, pueden deberse a los siguientes factores:

- Que el residuo de cal no tenga suficiente cantidad de hidróxido de calcio, lo cual se infiere a partir de los resultados de la mezcla F-1, donde la dosificación de la cal está controlada, y cuya resistencia incrementó sin decrecer con el tiempo.
- Que la acidez presente en los suelos o los sulfatos que puedan estar presentes tanto en la piedra pómez como en el tepojal, inhiban la acción de la cal. (Fernández, 1982:252), lo cual se descartaría corroborando con pruebas sustituyendo el residuo de cal por cal aérea y arena, con dosificaciones controladas, tal como en la mezcla de El Fuerte (F-1).

Estos primeros números arrojan resultados interesantes, pues en las primeras inferencias producto de los estudios hechos en campo, existía la hipótesis de que la función de la tierra

en estas tapias influía poco en la resistencia y la conformación del sistema; en parte debida a la deducción de que las reacciones puzolánicas entre la cal y las piedras volcánicas empleadas en las mezclas aportaban la mayor resistencia.

Por otro lado, es importante analizar las resistencias a la compresión de las tapias originales *in situ*, mediante muestras que se probarán en laboratorio, pues la inferencia inicial de que este sistema constructivo tiene mayor resistencia que las tapias de tierra, producto de la reducción en el espesor del muro, 25 cm en promedio, la mitad que las tapias tradicionales hechas sólo de tierra de la región de Puebla y Tlaxcala. En el caso de las probetas ensayadas, con las mezclas de Tepeyahualco, no siempre resulta ser mayor que las tapias antes mencionadas, según un estudio hecho en la zona en el año 2014, que señala resistencias a la compresión simple que oscilan entre los 2,05 MPa (21 kgf/cm²; según el documento citado) y 2,54 MPa (26 kgf/cm²) (Rodríguez, 2014:208). También es importante verificar tanto en campo como en laboratorio los decrementos en resistencias que se observaron en las mezclas que no contienen tierra y que fueron hechas con residuos de cal.

Finalmente, interesa recalcar el interés en el estudio de estas técnicas, para contribuir a su preservación y eventualmente su mejoramiento, pues su desaparición constituye una pérdida irreparable de información acumulada a lo largo de cientos de años de experiencia, que puede ayudar a encontrar caminos orientados a propuestas sostenibles en el ámbito de la arquitectura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM C39 (2018). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. USA: ASTM International
- ASTM D2487-11 (2011). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (unified soil classification system) USA: ASTM International
- Fernández, C. (1982). Mejoramiento y estabilización de suelos. México: Ed. Limusa.
- Guerrero, L.; Soria, F. J. (2014). Estabilización de suelos con cal y puzolanas. En Construcción con Tierra, No. 6. Buenos Aires, Argentina: Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. p.15-24
- Guerrero, L.; Soria, F. J.; Roux, R. (2014). Edificación de muros de tierra vertida estabilizados con cal y puzolanas. 14° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Memorias. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL; PROTERRA. 192-197.
- Hoffmann, M.; Minto, F.; Heise, A. (2011). Tapia. En Neves, C. y Faria, O. (Coord.), Técnicas de construcción con tierra. Bauru, SP. Brasil: FEB-UNESP/PROTERRA, p.46-61.
- NMX-C-036-ONNCE (2013). Industria de la construcción-mampostería-resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines -método de ensayo. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- Orea, H. (2013). El uso de la cal en la conservación de los monumentos arqueológicos e históricos: de la teoría a la práctica. En Barba, L. y Villaseñor, I. (Eds.). La cal: Historia, propiedades y usos. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, y Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, A.C.
- Rodríguez, M. (2014). El uso de tapia en las haciendas de Tlaxcala: un sistema constructivo alternativo para la arquitectura del presente y futuro. Tesis de doctorado. México: Facultad de Arquitectura, UNAM.
- Rodriguez-Navarro, C.; Hansen, E.; Ginell, W. (1998). Calcium hydroxide crystal evolution upon aging of lime putty. Journal of the American Ceramic Society, 81 [11] 3032–3034.
- Sepulcre, A. (2005). Análisis comparativo de determinados aspectos sobre la hidraulicidad en los morteros de cal. En Tratamientos y metodologías de conservación de pinturas murales. Palencia. España: Fundación Santa María la Real. p. 71-121.
- Vizcarra, M A.; Guerrero, L. F. (2016). Orígenes y desarrollo de la tradición constructiva de tapia en la región de Tepeyahualco, México. 16° Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra. Asunción, Paraguay: FADA-UNA/PROTERRA/CEDES/hábitat

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), de la Universidad Nacional Autónoma de México. Proyecto PAPIIT IT-400317, así como al laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, y al Laboratorio de materiales y sistemas estructurales de la Facultad de Arquitectura de la UNAM; y la Dr. Luis Fernando Guerrero Baca por la asesoría en esta investigación y en la elaboración del documento.

AUTORA

María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes, maestra en diseño arquitectónico, arquitecta, investigadora de tiempo completo en el Centro de investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje de la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Responsable del proyecto de investigación "Consolidación Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales como alternativa para una arquitectura sustentable: estructuras de tapia y madera".