



Estabilización de adobes con fibras de bambú. Caso de estudio: proyecto de construcción de viviendas de interés social en el barrio “El pantanal”, Granada, Nicaragua.

Stabilization of adobes with bamboo fibers. Case study: social interest housing construction project in the “El pantanal” neighborhood, Granada, Nicaragua.

Moreno Pelayes, Leandro¹ & García Torres, Jossie²

^{1,2} Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Simón Bolívar, Managua, Nicaragua

¹leomoreno.arquitecto@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0003-4805-0237>

² arq.josietorres@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-8172-0987>

Recibido el 14 de octubre de 2019, aprobado el 26 de noviembre de 2019.

RESUMEN | La utilización de la tierra como material de construcción ha cumplido un rol emancipador en comunidades y sociedades del mundo. El contexto nicaragüense cuenta con numerosos ejemplos que demuestran este hecho, sobre todo en el norte del país. En el proyecto de construcción del barrio “El Pantanal”, en Granada, este también ha sido el caso, donde una comunidad de mujeres constructoras, apoyadas por diferentes organismos e instituciones, ha autoconstruido decenas de viviendas de interés social de 60 m² utilizando técnicas ancestrales mejoradas, como el adobe, con propiedades sismo-resistentes. Sin embargo, la escasa investigación al respecto en la región, con nula o poca realización de ensayos de mezclas para adobes y estudios pertinentes en laboratorios que comprueben la resistencia para su correcto uso, han alimentado una vez más, al imaginario de que las viviendas en adobe están obsoletas y no son resistentes.

Estos factores llevaron a la realización de este trabajo, en el marco del Proyecto de Fortalecimiento de capacidades para la Gestión de la construcción segura en Nicaragua, coordinado por el Programa de Estudios Integrales, Habitabilidad y Territorio (PEI) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y con el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, COSUDE Nicaragua. Desde un enfoque participativo interdisciplinar, se diseñó una propuesta de innovación de mejora a los adobes que se venían usando en el proyecto del barrio “El Pantanal”, centrándose en la utilización de fibras naturales de bambú obtenidas fácilmente desde procesos manuales para ser aplicadas en las mezclas como estabilizantes de los mismos, con lo cual se obtuvieron resultados favorables en sus propiedades de resistencia a la compresión simple.

PALABRAS CLAVE | Adobe, bioconstrucción, bambú, fibras naturales, vivienda social, Nicaragua.

ABSTRACT | The use of the mud as a building material has contributed to emancipation in communities and societies around the world. In Nicaragua there are many examples of this – especially in the northern part of the country- and it has also been in the case of the construction of the project “Barrio El Pantanal”, in Granada, where a community of female constructors,

supported by various organizations and institutions have developed dozens of 60 square meter houses using improved ancestral techniques, like adobe, with mud quake-resistant properties. However, there has been rare researching in this regard in the region, and none or little realization of tests for either adobe mixes or pertinent laboratory studies that prove the resistance of the blocks for proper usage, this fact contributes, once again, to the thought that adobe houses are not resistant.

These factors have driven the realization of this work under of the project: Reinforcement of Capabilities, into the Safe Construction Management Program, coordinated by the Integral Studies Habitability and Territory Program (PEI) at the National University of Engineering (UNI) and with the support of the Swiss Agency for the Development and the Cooperation, COSUDE Nicaragua. Based on an interdisciplinary approach, an innovative proposal was developed for the improvement of adobes used in “Barrio El Pantanal” project, centered on the use of natural bamboo fibers easily obtained from different manual processes to be applied in the adobe mixes, with which favorable results were obtained in its simple compressive strength properties.

KEYWORDS | Adobe, bio-construction, bamboo, natural fibers, social house, Nicaragua.

1. Introducción

La presente investigación surge con el propósito de elaborar un prototipo de mejora a adobes para su uso en sistemas constructivos sismo-resistentes, basándose en el estudio de caso del proyecto de construcción de casas de interés social del barrio “El Pantanal”, ubicado en Granada, Nicaragua.

Un estudio previo sobre las prácticas locales de construcción del hábitat, realizado en el barrio por las organizaciones Habitat Cité, Abbè Pierre, CRAterre, La Casa de la Mujer, permitió documentar los métodos que utilizan los pobladores para acceder a la vivienda y la forma en que habitan y se apropian del barrio¹, para poder determinar posibles mejoras a las viviendas existentes y/o a las futuras por medio de la autoconstrucción, que aplique diferentes técnicas y combinaciones de materiales (naturales locales e industriales, reciclaje y reutilización, etc.), validado con normativas de sismo-resistencia y que logre además reducir los costos de construcción. El resultado de ese análisis determinó que se hacía necesario tener un mejor aprovechamiento del material local, revalorizando la puesta en práctica de los conocimientos de los constructores y las tradiciones constructivas locales.

Esta investigación, por lo tanto, tuvo como finalidad ahondar en el procedimiento constructivo del adobe utilizado comúnmente en este caso de estudio, entender el conocimiento local de la técnica y el material, conocer la procedencia de los recursos y, a través de un taller participativo con los actores involucrados, realizar nuevas pruebas de mezclas de adobe para que fuesen ensayadas y estudiadas en laboratorios.

2. Marco teórico

La tierra es uno de los materiales de construcción más utilizados, así culturas antiguas usaron la tierra tanto en la construcción de viviendas como en fortalezas, palacios y obras religiosas. Se calcula que hoy día un tercio de la humanidad vive en viviendas de tierra (Minke, G. 2010). La construcción con tierra y principalmente con adobe colonial ha persistido en Nicaragua desde que fue introducida por los españoles en 1610, a partir de este periodo las ciudades fueron construidas mayoritariamente con los sistemas tradicionales de adobe y

¹ Diagnóstico realizado a partir del análisis de las prácticas constructivas de la población del barrio San Ignacio del Pantanal, sistematizados en el informe de misión “Fotografías de un barrio en evolución”. Habitat Cité (2015).

taquezal².

El patrimonio arquitectónico del país está constituido principalmente de adobe, registrándose en el centro histórico de Granada el 48% de las edificaciones de adobe y un 28.9 % mixtas (adobe, taquezal con ampliaciones de otros materiales). En el centro histórico de León, el 27.8% las edificaciones son de adobe y un 30.5% mixtas. En el norte del país, en Ocotral, el 70% de las viviendas son construidas actualmente en adobe, siendo esta la zona que mantiene hasta hoy vigente la tradición constructiva (AECID. 2011).

A partir de 1900 se dejó de construir con estos sistemas, cuando se introdujeron nuevos materiales y sistemas constructivos a base de concreto y hierro que cambiaron progresivamente el aspecto de las principales ciudades del pacífico. Eventos como los terremotos en Managua de 1931 y de 1972 y el huracán Mitch en 1998 dejaron evidencias no tomadas en cuenta de los factores influyentes en los colapsos de las edificaciones de tierra, como la falta de reforzamiento y mantenimiento de las mismas, desplazando estas técnicas tradicionales por nuevos sistemas constructivos (Guillén, D. 2014). Esta situación también ha motivado e impulsado en Nicaragua el estudio para la recuperación y mejoramiento de la técnica del adobe desde 1980 hasta la actualidad.

Hoy en día más de la mitad de las emisiones de CO₂ vertidos a la atmósfera provienen de la construcción de edificios e infraestructuras. Estos consumen entre el 45% y 65% de los materiales extraídos de la litósfera, asumiendo una parte significativa del impacto medioambiental global que vivimos hoy (Borsani, M. 2011). La utilización de materiales mínimamente procesados como el adobe, con procesos de transformación sencillos, plantean un impacto ecológico menor. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa autoconstruida de menor costo.

Sin embargo, una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico que generalmente no cuenta con un sistema o método, variando en cada cultura y región, la mayoría de las veces careciendo de un abordaje interdisciplinario. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece una base tecnológica universalmente válida.

3. Planteamiento del problema

Poniendo especial atención en el contexto del caso de estudio, la ciudad de Granada nos ofrece la experiencia tangible de la construcción con adobe. Aun así, la información técnica se encuentra carente de una estructura accesible que permita estudiarse como punto de partida para un mejoramiento de la técnica.

De esta manera, dado el alcance del marco de la investigación, el estudio se focalizó de la siguiente forma: ¿cómo podríamos mejorar las propiedades mecánicas de los adobes utilizados en el proyecto de construcción de viviendas en el barrio “El Pantanal” y regularizar su uso como método de construcción seguro?

Por medio del análisis cualitativo de los procedimientos utilizados en la elaboración de los adobes, se abordó el estudio del problema, potencializando así los conocimientos sobre su uso, dosificación y técnicas de fabricación. La aplicabilidad de los resultados obtenidos está centrada en poner a disposición una ficha técnica con una mezcla idónea que, por medio de ensayos de resistencia mecánica, permitan validarla técnicamente para que pueda ser regularizada por las instituciones competentes. De este modo, constituye una importante herramienta de aporte técnico, metodológico y científico para quien impulse su uso promoviendo construcciones seguras y elevando la calidad de las mismas, además, de motivar hacia próximos estudios en materia de construcción con adobe en el país.

² El Taquezal, o Bahareque como se llama en otros países, es una armadura de madera, con relleno de rocas argamasadas con tierra y estabilizantes, confinadas por reglas o cañas clavadas a los marcos de madera de la estructura portante del edificio.

3. Metodología

La estructura metodológica se desarrolló utilizando técnicas de análisis por etapas, tal como muestra posteriormente la figura 1, llevada a cabo en tres partes: entender, explorar y materializar. Durante la etapa I, el trabajo consistió en conectar a través de técnicas de investigación cualitativa y cuantitativa³, entrevistas por empatía y visitas de campo, con las personas e instituciones vinculadas al proyecto en estudio, para abordar y sintetizar la información con respecto a normativas y procesos de elaboración de adobes.

Se identificó como usuario clave a las mujeres constructoras del barrio especializadas en construcción con tierra, quienes ya habían participado en la autoconstrucción de las viviendas y a las cuales el resultado de esta investigación busca beneficiar directamente con la implementación de las pruebas mejoradas; como usuario primario a docentes, investigadores y actores relevantes en la construcción con adobe tanto en Granada como en las demás regiones del país; y usuario secundario al personal técnico de la “Casa de la mujer” organización de base que ha apoyado el proceso formativo y el apoyo técnico a la comunidad del barrio en conjunto con la Asociación Hábitat Cité.

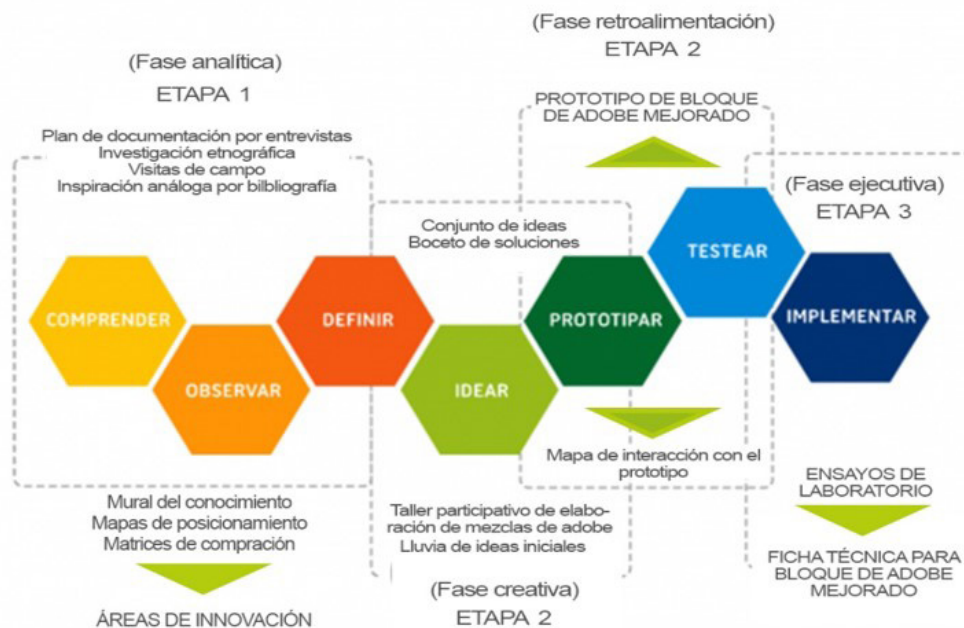


Fig. 1. Gráfico de las técnicas de análisis por etapa
Fuente: Diseño como proceso de pensamiento” Design thinking.

La fase creativa de la Etapa II, contó con un estudio experimental mediante un taller en las inmediaciones del barrio “El Pantanal”, que consistió en explorar e idear a través de técnicas participativas de trabajo con entrevistas grupales a los actores claves con los cuales se había hecho un acercamiento previo en la etapa I. Para este estudio se tomó como modelo de partida la evaluación de las mezclas de adobes de 30cm x 30cm x 12cm utilizados en la construcción de las casas del barrio en sus respectivas etapas I y II de las lotificaciones Brisas del Mombacho⁴.

³ La metodología cualitativa, tiene como objetivo la descripción de las cualidades de un fenómeno. En investigaciones cualitativas se debe hablar de entendimiento en profundidad en lugar de exactitud. La Metodología Cuantitativa es aquella que permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística. Mouly, G. (1978).

⁴ “El Pantanal” es el nombre comúnmente usado para el barrio San Ignacio del Pantanal, en Granada, que cuenta con diferentes etapas y nombres respectivos para cada lotificación interna.

Se elaboraron además nuevas mezclas que sirvieron para realizar prototipos de adobe para los ensayos, siendo sometidos luego a pruebas óptimas de compresión y resistencia, en el laboratorio de suelos del Instituto de Geología y física IGG-CIGEO de la UNAN –Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-. Ya en la etapa final III se realizó el análisis y recopilación de los resultados de dichas pruebas para la aplicación de éstos en una ficha técnica que pudiera cumplir con los requisitos necesarios para la regularización de su uso en la construcción de viviendas de adobe en la región.

4. Viviendas en adobe mejorado. Barrio “El Pantanal”, Granada, Nicaragua.

A partir del año 2007 y 2008, se comenzó con el asentamiento espontáneo en el barrio y hoy en día viven más de 2000 familias donde la mayoría ejerce trabajos como recolectoras y vendedoras de desechos, trabajadoras domésticas, algunas como comerciantes en el mercado municipal de Granada y otras en labores de cultivo. Solo un 10% posee un trabajo formalizado (Habitat-Citè. 2015).

Posterior al diagnóstico que realizaron conjuntamente las organizaciones involucradas en el barrio sobre los sistemas constructivos tradicionalmente utilizados, se pone en práctica la construcción de las viviendas en adobe mejorado que se encuentran actualmente en el barrio. Las futuras propietarias de las casas fueron involucradas durante todo el proceso de construcción, desde la elaboración de adobes, hasta los repellos con tierra, recibiendo una formación que les permitió adquirir capacidades técnicas para construir sus propias viviendas y posteriormente darles mantenimiento.

5. Evaluación del adobe mejorado utilizado en las viviendas

La técnica del adobe mejorado rescata los valores técnicos y culturales de la tierra. A partir del reconocimiento de los elementos que componen el material, una exploración de los recursos de la zona y una diversidad de pruebas de campo, el adobe mejorado puede garantizar muros de una edificación planificada, tecnificada, de calidad y segura, tal como muestra la imagen de referencia (izquierda), en la que el usuario se permita interactuar para su debido uso, mantenimiento y preservación.

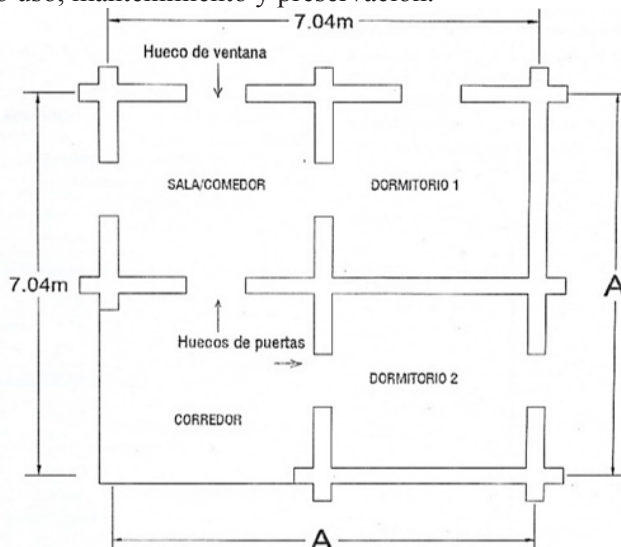


Fig. 2. Planta modelo referencial de una casa de adobe con sistema reforzado.
Fuente: Proyecto Taishin. El Salvador

Las primeras casas del barrio se realizaron con adobes mejorados de 40cm x 40cm x 10cm de alto. Actualmente se desarrollan viviendas de 60m² con adobes de 30cm x 30cm x 12cm de alto utilizando alrededor de 2200 unidades a un costo aproximado de C\$35 córdobas por cada unidad. Para estas dimensiones (30x30x12)

se requiere la utilización de un sistema reforzado de adobe con varas o cañas naturales. El personal técnico capacitado de la Fundación Casa de la Mujer, cuenta con las herramientas adecuadas para el proceso de elaboración de los adobes. Los moldes son metálicos, unos destinados para la realización de dos unidades y otros para la realización de tres unidades con las dimensiones de 30cm x 14cm x 12cm de alto ya que así, como se puede observar en la siguiente imagen, lo requiere dicha técnica con refuerzos.

El adobe mejorado consiste en un mampuesto hecho de una mezcla, proporcionada y probada, de diferentes tipos de tierra con otros materiales locales, que se elabora en un molde cuadrado y/o de otras formas complementarias, según el diseño que se quiera realizar. El adobe es secado al sol y se coloca posteriormente en hileras que se unen con mortero de tierra para formar paredes sobre los cimientos y los sobrecimientos consistentes.

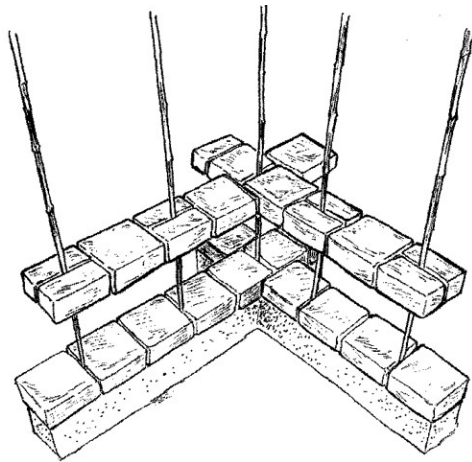


Fig. 3. Cuatrapeado del sistema constructivo reforzado de adobe con caña de castilla. Fuente: Proyecto Taishin. El Salvador



Fig. 4. Modelo de vivienda construida en el barrio con técnica reforzada de adobe. Año de construcción 2017. Fuente: Propia

El adobe mejorado consiste en un mampuesto hecho de una mezcla, proporcionada y probada, de diferentes tipos de tierra con otros materiales locales, que se elabora en un molde cuadrado y/o de otras formas complementarias, según el diseño que se quiera realizar. El adobe es secado al sol y se coloca posteriormente en hileras que se unen con mortero de tierra para formar paredes sobre los cimientos y los sobrecimientos consistentes.

6. Caracterización de los materiales para la elaboración de los adobes

Una de las mayores dificultades para la realización de las viviendas en adobe es el costo que incurre en la obtención de la tierra, debido que localmente en la zona del Barrio no se registran sitios de extracción de tierra apropiada para la construcción con adobe. Es por eso que la tierra para la construcción de las viviendas es comprada a las ferreterías de Granada que hacen de intermediarias.

Para la elaboración del adobe en las viviendas de “El Pantanal”, como en la mayoría de las construcciones de Granada, se utiliza la talpuja -Toba Pumítica-, que se localiza en los suelos de la región producto de la erupción del Volcán Apoyo 200 siglos atrás (Sussman, D. 1985). Para la estabilización del adobe y con el fin de dar mayor resistencia al relleno se utilizan fibras de zacate de arroz, material fácilmente localizado en la comarca de Malacatoya, a 28 kilómetros al norte de Granada, importante zona de producción de arroz de riego a orillas del Gran Lago Cocibolca.

En la imagen de la derecha se ubican los sitios identificados. Actualmente no existen bancos de tierra municipales que permitan la extracción regulada y controlada del material.

6.1 Unidad geológica característica de la región: La Talpuja

Del náhuatl tlalli ‘tierra’ y puxani ‘blando’. Esta unidad, a la que se conoce popularmente como Talpuja, se encuentra al nivel de toba pumítica, que es una roca arcillosa poco compacta compuesta de la aglutinación de fragmentos de Lapilli acrecional⁵ (pisolitos) y de cenizas volcánicas, cuya granulometría es homogénea de color rosáceo, también pudiendo ser de colores claros, blanco o gris. La pumítica está compuesta de restos de piedra pómez en su mayor estado de tenuidad. De la meteorización⁶ de la toba pumítica se conforma la arcilla.

6.2 Las fibras como componente estabilizante de las mezclas

Las fibras naturales en los materiales compuestos como el adobe cumplen un rol fundamental debido a que sus propiedades mecánicas aportan a mejorar la capacidad de cohesión y rigidez reduciendo la propagación de microfisuraciones que podrían producirse al perderse la humedad presente en las arcillas -contracción por secado del compuesto – Límite de Atterberg⁷-.

Es importante señalar que el aumento de las propiedades mecánicas de las piezas de adobe depende no solo del componente fibroso, sino también del comportamiento del resto de los materiales presentes en la mezcla, de sus relaciones entre sí, de su proporción volumétrica y de la distribución de dichas fibras dentro del compuesto.

Desde milenios los adobes eran estabilizados con pastos, mientras hoy en día, si bien la fabricación de adobes en algunas regiones y en especial en Nicaragua no se encuentra comúnmente tecnificada, se han ido mejorando los procedimientos de obtención y aplicación de las diversas fibras naturales a las mezclas. Para el caso de estudio de las viviendas de “El Pantanal” se utilizan las fibras de zacate procedentes del desecho de la cosecha de arroz, debido a su fácil obtención en las cercanías de Granada.

6.3 Fibras de bambú como estabilizante

El bambú ha cumplido tradicionalmente una función ecológica y social muy relevante. Además, su incipiente uso en la construcción en Nicaragua ha impulsado diversos estudios para explorar en profundidad sus propiedades y los diferentes usos a los que puede someterse. Esta planta, que pertenece también a la familia de los pastos Poaceae (gramíneas como el arroz, trigo y maíz) y al género Bambusoidae, tiene elevadas propiedades físico-mecánicas y extraordinaria durabilidad (López, L., Silva, F. 2000).

El culmo del bambú está compuesto de dos partes principales: los nodos y los internodos. La densidad de las fibras cerca de la pared externa es mayor a la de las paredes internas donde se encuentran más separadas, como así lo demuestra la imagen posterior.

⁵ Son fragmentos sólidos de material volcánico (piroclastos), a cuyo proceso de formación del agregado durante la columna eruptiva se le asocia la presencia de agua. DV Del Rio (2005).

⁶ En geología la meteorización es el conjunto de procesos externos que provocan la disgregación y descomposición de una roca al entrar en contacto con la atmósfera, con la participación además de agentes biológicos. Summerfield, M. (1991).

⁷ Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro –sólido, semisólido, plástico y finalmente líquido- son los denominados Límites de Atterberg. ASTM D4318-05 Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils.



Fig. 5. Mapeo de bancos de extracción de materiales
Fuente: propia

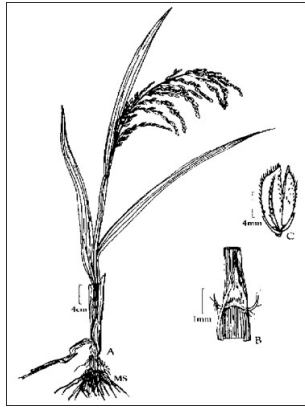


Fig. 6. *Oryza sativa*, comúnmente llamado arroz, es una especie perteneciente a la familia de las gramíneas (Poáceas). Fuente: (Ibrahim and Kabuye 1988), P. Taylor 9367 (US 2461385)



Fig. 7. Sección transversal de la pared del culmo.
Fuente: Propia

En la zona internodal las fibras continúan el eje longitudinal del culmo mientras que en la zona de los nodos cambian para poder trasladar los nutrientes a toda la planta de forma más eficaz.

El principal componente químico que se ve implicado en el comportamiento mecánico de las fibras de las plantas en general es la celulosa. En la composición biomolecular de la celulosa se encuentra carbono, hidrógeno y oxígeno. Ésta forma el esqueleto en la pared de las fibras y les proporciona resistencia mecánica.

Se considera que las fibras del bambú muestran diferentes ventajas con respecto a otras fibras naturales. Por ende, la utilización de las fibras del bambú para reforzar compuestos puede ser una alternativa para la mejora de las mezclas, considerando su aporte a la resistencia mecánica de los adobes, además de su rápido crecimiento (Estrada, M. 2010).

6.4 Proceso de extracción de las fibras

Existen diferentes procesos mecánicos, biológicos y químicos para la separación de éstas. La extracción mecánica puede realizarse a través de máquinas descortezadoras o desgarradoras que por medio palas separan la pulpa de las fibras. Para el propósito de este trabajo, la obtención de las fibras se realizó mediante un proceso de extracción manual con el soporte de machetes afilados, tal como muestra la imagen izquierda, técnica que usualmente utilizan los artesanos del Municipio de Catarina, a 24 Km de la ciudad de Granada, para la elaboración de artesanías y canastos.

Actualmente esta transformación artesanal del culmo, abre nuevos horizontes para el uso del recurso. Los remanentes que no son utilizados por los artesanos para la elaboración de sus trabajos, son considerados desechos y prácticamente su uso final es para la quema. Por lo tanto, se trata de aprovechar la astilla, la viruta y el aserrín, que constituyen grandes cantidades de material remanente.

6.5 Entrevista Grupal: Taller de exploración participativa

Desde el conocimiento clasificado, a través del análisis cualitativo desarrollado durante la primera etapa de esta investigación, con el soporte de los participantes del taller, se consolidó el contexto de este proyecto y se identificaron las áreas temáticas del objeto de estudio. Se identificó, además que el desarrollo de las técnicas constructivas se ha basado en su gran medida en el empirismo, lo que ha dado como resultado en muchos casos un desprestigio de estas tecnologías autóctonas.

Del proceso de validación anterior se realizó una profundización analítica por nivel de prioridad de las

problemáticas identificadas permitiendo así identificar las áreas de oportunidad respectivas.

7. Áreas de oportunidad identificadas como punto de partida para las posibles soluciones

- Cada región posee características geológicas diversas. Para potenciar el uso de materiales locales es necesaria una caracterización de los suelos y de las mezclas con sus diferentes procedimientos por región, para aportar a una mayor eficiencia de la técnica y garantizar así una correcta ejecución.
- Siendo la región del pacífico nicaragüense, la zona de mayor sismicidad del país (Tanner y Shepherd. 1997), se hace necesario contar con mayor capacitación técnica dirigida a la comunidad en general.
- Actualmente se utilizan fibras de arroz como estabilizante de las mezclas, sin embargo, existen otras fibras en las cercanías de Granada como las fibras de bambú obtenidas de los artesanos del municipio de Catarina cuya utilización podría dotar de mejoras a los adobes en sus propiedades de capacidad de carga.



Fig. 8. Foto de la extracción de fibras de bambú obtenidas artesanalmente. Fuente: propia

8. Ideación

Para la etapa de ideación durante el taller se tomó como punto de partida: 1) la dosificación para la elaboración de las mezclas que ya utilizaba la Fundación Casa de la Mujer en la construcción de las viviendas de “El Pantanal”; y 2) el análisis, por medio de pruebas de campo, de las muestras obtenidas en los respectivos bancos identificados.

A. Prueba de la botella: basada en una experiencia cualitativa, esta prueba se efectúa en el suelo granular para obtener los porcentajes de arcillas, limos y arenas presentes en el suelo. En una botella circular se



Fig. 9. Fotografías de las muestras obtenidas. Fuente: propia

llena la tercera parte de suelo y las otras dos con agua, luego se agita y se deja reposar durante 5 horas. Las partículas más finas de suelo se quedarán en la parte superior y las más gruesas hasta el fondo de la botella. De este análisis se observó lo siguiente:

A. Prueba de la botella: basada en una experiencia cualitativa, esta prueba se efectúa en el suelo granular para obtener los porcentajes de arcillas, limos y arenas presentes en el suelo. En una botella circular se llena la tercera parte de suelo y las otras dos con agua, luego se agita y se deja reposar durante 5 horas. Las

partículas más finas de suelo se quedarán en la parte superior y las más gruesas hasta el fondo de la botella. De este análisis se observó lo siguiente:

- Material #1. Talpuja

Este componente, es arcilloso y limoso, de color rosáceo, con partículas muy finas y blandas. Es una tierra de baja densidad, producto del contenido de restos de piedra pómez.

- Material #2. Tierra arcillosa “Tendal 1”

Alto contenido de humedad. Dificultad para identificar claramente sus componentes. Es probable que el material haya sido mezclado con otros tipos de tierra para mejorar las propiedades de la mezcla, ya que, por lo general, esta tierra es utilizada para la elaboración de ladrillos de barro cocido.

B. Prueba del rollo o puro: esta prueba presenta variaciones dependiendo los diferentes métodos. En este caso se formó un rollo de suelo y agua de unos 20 cm de largo y 2.5 cm diámetro aproximadamente (imagen izquierda). Esta prueba sirve para determinar si el suelo tiene las características adecuadas para utilizarse en la elaboración de adobes; si el rollo se rompe entre los 5 y 15 cm el suelo es adecuado, si el rollo se rompe antes de los 5 cm se debe agregar suelo arcilloso y si el suelo se rompe después de los 15 cm, el suelo requiere que se le agregue suelo granular. (Proyecto Taishin. El Salvador. 2015)

- Material #1 y #2

La prueba realizada a la talpuja, demuestra que, si bien es roca arcillosa, su cohesividad es baja, ya que al realizar la prueba ésta se separó a los 4cm, como se observa en la imagen superior. De lo contrario, la muestra de tierra arcillosa del “Tendal 1”, no sufrió grietas, ni fracturas, manteniéndose la pieza de 20cm completa, pudiéndose observar que las arcillas poseen una cohesividad elevada y por eso se recomienda utilizarlas para el adobe en muy baja proporción agregando más arenas y gravas. Es por eso, que para la elaboración de los adobes del proyecto de las viviendas del barrio “El Pantanal”, los materiales son combinados con el resto de componentes logrando una mayor estabilidad en las mezclas.



Fig. 10. Foto de la prueba # B realizada
Fuente: Propia

8.1 Prototipo de adobes

Los participantes del taller, como parte del proceso de experimentación cualitativa, decidieron realizar dos tipos de mezclas con los materiales caracterizados previamente y poder obtener así diferentes prototipos que fuesen sometidos posteriormente a ensayos de laboratorio. Los materiales utilizados en ambas mezclas fueron trabajados variando sus dosificaciones y en una de ellas se varió el componente fibroso de zacate de arroz (utilizado ya en las mezclas del caso de estudio) por fibras de bambú⁸. Como instrumento para la recolección de los datos, se diseñó la siguiente ficha la cual validó los procedimientos realizados y las piezas obtenidas.

⁸ En este caso, es importante señalar que no se realizó una mezcla comparativa igualada, ya que hubo variación en los componentes y sus dosificaciones. Además, se requería de una prueba “testigo” con una mezcla en condiciones naturales, es decir sin fibras. Por lo tanto, este proceso es considerado como una prueba de experiencia cualitativa, así como las demás pruebas empíricas, a diferencia de que los ensayos en laboratorio muestran un estudio técnico más detallado.

Tabla 1. FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ELABORACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 1	
Grupo n°: 1	Mezcla n°: 1
Materiales utilizados: tierra arcillosa “Tendal 1”, talpuja, arena y zacate de arroz	
<p>Dosificación: (*unidad de medida y cantidades)</p> <p>3 carretillas de tierra arcillosa</p> <p>2 carretillas de talpuja</p> <p>1.5 carretillas de arena</p> <p>1.5 carretillas de zacate de arroz</p>	<p>Pruebas de Campo:</p> <p>Prueba # B. Rollito de 20 cm</p> <p>Prueba # C. Bolita⁹</p>
<p>Procedimiento de elaboración de la mezcla:</p> <p>Una vez tamizados todos los materiales, incluido el zacate de arroz, se procedió a la mezcla en seco. Formado el volcán con un hueco en el centro se le agregó el agua directamente de la manguera. Se fue mezclando con palas y luego se comenzó el mezclado con los pies. Se le fue agregando más fibra conforme se iba mezclando. La mezcla se dejó reposar durante 3 días enteros. Posteriormente se comenzó con el llenado de los moldes. Previamente se realizó una cama de talpuja y arena para acopiar las piezas. Se inició rellenando los costados del molde a presión y se iban incrustando los dedos. Los moldes metálicos se fueron mojando cada vez que se repitió el proceso. El molde se retiró con un movimiento hacia arriba constante sin vibraciones.</p>	
<p>Cantidades de piezas obtenidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 adobes de 30 x 30 x 12 cm de alto. • 7 medias unidades de 14 x 30 x 12 cm de alto. 	
<p>Observaciones:</p> <p>De aspecto arenoso. Se perciben algunas pequeñas grietas. Las esquinas fueron bien formadas.</p>	

Tabla 2. FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ELABORACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 2	
Grupo n°: 1 y 2 (Participación de ambos grupos)	Mezcla n°: 2
Materiales utilizados: tierra arcillosa “Tendal 1”, talpuja, arena y fibras de bambú	
<p>Dosificación: (*unidad de medida y cantidades)</p> <p>2 carretillas de tierra arcillosa</p> <p>1 carretilla de talpuja</p> <p>1 carretilla de arena</p> <p>1 carretilla de fibras de bambú</p>	<p>Pruebas de Campo:</p> <p>Prueba # B. Rollito de 20 cm</p> <p>Prueba # C. Bolita</p> <p>Prueba # D. De la Pastilla o “Galleta”¹⁰</p>
<p>Procedimiento de elaboración de la mezcla:</p> <p>Una vez tamizados todos los materiales se realizó la mezcla en seco, sin las fibras de bambú. Formado el volcán con un hueco en el centro se le agregó el agua por baldes. Se fue mezclando con palas y luego se comenzó el mezclado con los pies. Se le fue agregando la fibra conforme se iba mezclando con el agua. La mezcla se dejó reposar durante 3 días enteros. Posteriormente se comenzó con el llenado de los moldes con el procedimiento similar a la mezcla anterior.</p>	
<p>Cantidades de piezas obtenidas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 12 adobes de 30 x 30 x 12 cm de alto. • 6 medias unidades de 14 x 30 x 12 cm de alto. 	

⁹ Prueba de resistencia seca o de la bolita: se preparan tres o más bolitas del suelo a probar con un poco de agua hasta obtener un diámetro de 2cm aproximadamente. Se deja secar durante 24 horas y luego se presiona con el pulgar sobre el índice. La bolita no debe romperse, de lo contrario el suelo no es el adecuado. Proyecto Taishin. El Salvador (2015).

¹⁰ También llamado test de resistencia seca. Esta prueba identifica el tipo de tierra en función de su resistencia y consiste en moldear dos o tres pastillas de tierra bien húmeda de 1 cm de espesor y de 2 a 3 cm de diámetro. Luego dejar secar las pastillas al sol por dos o tres días. Posteriormente intentar romper la pastilla entre el dedo índice y el pulgar. Neves, C.; Faria, O.; Rotondaro, R.; Cevallos, P.; Hoffmann, M. (2009).

Tabla 2. FICHA DE CAMPO PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA ELABORACIÓN Y DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA 2

Observaciones:
De aspecto arenoso. Se perciben algunas pequeñas grietas. Las esquinas fueron bien formadas.

Fuente: Propia

9. Resultados finales obtenidos

Finalizado el proceso de exploración del taller se procedió a la realización de las pruebas de resistencia mecánica de las piezas obtenidas. El prototipo nro. 1 corresponde a la mezcla nro. 1; el prototipo nro. 2 corresponde a la mezcla nro. 2.

Una referencia para la proporción adecuada del material base de este estudio son los suelos con 40% de arena, 40% de limos y 20% de arcillas, sin embargo, esto va a depender de las características individuales de los componentes de los suelos a utilizar y su índice de plasticidad¹¹, entre otras. En cuanto a la plasticidad, para la mezcla de adobe, es conveniente utilizar suelos con bajo índice de plasticidad, ya que cuanto más alto sea, mayor será la cantidad de agua contenida en la masa que lo convierte en moldeable y una vez seco, se tendrán mayores retracciones, por cuanto evaporará un volumen mayor de agua.



Fig. 11. Foto del proceso de mezclado manual.
Fuente: Berrios, Carlos

9.1 Pruebas de campo

Las pruebas de campo tuvieron como objetivo comprobar de manera cualitativa la resistencia de las unidades obtenidas por cada tipo de mezcla, observando sus características físico-mecánicas.

La prueba de calidad por peso consistió en colocar un adobe sobre otros dos apoyado 5 cm en ambos lados, y sobre los 20 cm libres se debe parar una persona que pese al menos 150 libras durante un minuto. Ambos prototipos no presentaron afectaciones.



Fig. 12. Foto de prueba de calidad por peso en prototipo no. 1 y no 2, de izquierda a derecha.

Fuente: propia

11 Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. El límite plástico de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo. ASTM D4318-05 *Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of soils.*

9.2 Ensayos de laboratorio

Las pruebas de laboratorio realizadas en el Instituto de Geología y geofísica de la UNAN-Managua aportaron a la clasificación de los suelos y mezclas según las Normas ASTM. También se determinó la resistencia a la compresión en los bloques de suelos combinados con las fibras presentes en cada prototipo.

Pruebas realizadas:

- Granulometría por lavado ASTM D 422-02
- Límites de Atterberg (Límite líquido y límite plástico) ASTM D 4318-02
- Humedad in Situ ASTM D 2216-08
- Clasificación SUCS ASTM D 2938-02
- Resistencia a la compresión simple NORMA E. 080

Para el análisis de las pruebas de resistencia a la compresión simple o capacidad de carga se tomó en cuenta a un grupo importante de autores e instituciones internacionales (como Tejada, Moromi y Red Habiterra), y a la norma peruana RM 121-2017 (E. 080)¹² considerando que la resistencia mínima que debe alcanzar un adobe debe encontrarse entre 1,00 y 1,20 MPa como mínimo. Para este estudio se adoptó un valor mínimo



Fig.13. Máquina de ensayo de resistencia a la compresión simple en el laboratorio de suelos del Instituto de Geología y física IGG-CIGEO de la UNAN-Managua.

12 Artículo 8.- Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio. 8.1 Los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos) se realiza conforme al procedimiento siguiente: a) La resistencia se mide mediante el ensayo de compresión del material en cubos de 0.1 m de arista. b) La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente: fórmula $1.0 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$. c) Los cubos de adobes o muestras de tapial deben cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras (de seis muestras) sea igual o mayor a la resistencia última indicada. d) En el caso del tapial, de no existir muestras secas, se recomienda elaborar muestras comprimidas en moldes de $0.1 \times 0.1 \times 0.15 \text{ m}$. con 10 golpes de un mazo de 5 kg de peso.

Los resultados de las pruebas de ensayo en laboratorio son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 3. RESULTADOS DE LABORATORIO				
Pruebas	Mezcla 1	Mezcla 2	Suelo natural (tierra arcillosa)	Talpuja
Granulometría	Grava: 1%, Arena: 58%, Finos: 40	Grava: 1%, Arena: 61%, Finos: 38	Grava: 3%, Arena: 41%, Finos: 56%	Grava: 3%, Arena: 58%, Finos: 40%
Límite líquido	27	28	30	-
Límite Plástico	20	20	15	-
Índice de plasticidad	8	8	15	NP
Clasificación	CL	CL	CL	SM
Descripción	Arcilla de plasticidad baja	Arcilla de plasticidad baja	Arcilla de plasticidad baja	Arena limo-arcillosa
Resistencia a la compresión seco (kgf/cm ²)	11.10 - 12.20	11.5 - 15.62		

Fuente: Propia

9.3 Descripción de los resultados de laboratorio

- **Mezcla 1;** al realizarle granulometría por lavado y tamizado, se obtuvo 1% de grava, 58% de arena y 40% de finos, según su plasticidad el fino predominante es la arcilla. Esta mezcla presentó un límite líquido de 28 y un índice de plasticidad de 8. Clasificándose según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de las normas ASTM como CL (suelos arcillosos de baja plasticidad). Al realizar ensayos de compresión en los bloques se obtuvo una resistencia última a la compresión que varió de 11.1 Kgf/cm² a 12.2 Kgf/cm².
- **Mezcla 2;** al realizarle la prueba mencionada, se obtuvo 1% de grava, 61% de arena y 38% de finos, según su plasticidad el fino predominante es la arcilla. Esta mezcla presentó un límite líquido de 27 y un índice de plasticidad de 8. Clasificándose según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de las normas ASTM como CL (suelos arcillosos de baja plasticidad). Al realizar ensayos de compresión en los bloques se obtuvo una resistencia última a la compresión que varió de 11.5 Kgf/cm² a 15.62 Kgf/cm².
- **Tierra arcillosa;** (barro) se obtuvo 3% de grava, 41% de arena y 56 de finos, según su plasticidad el fino predominante es la arcilla. Esta mezcla presentó un límite líquido de 30 y un índice de plasticidad de 15. Clasificándose según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de las normas ASTM como CL (suelos arcillosos de baja plasticidad).
- **Talpuja;** se obtuvo 3% de grava, 58% de arena y 40 de finos, según su plasticidad el fino predominante es la arena. A esta mezcla no se le pudo realizar pruebas de plasticidad, se considera un suelo no plástico. Clasificándose según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) de las normas ASTM como SM (arena limo-arcillosas)

Los resultados de las pruebas de los prototipos de adobe mejorado nro. 1 y nro. 2 superaron la resistencia a la compresión simple de 1Mpa (10.2 kgf/cm²) de referencia.

Los componentes de suelos y la adición de la fibra de bambú en el prototipo nro. 2 dieron como resultado un adobe resistente a la compresión simple, con características de amarre superiores al adobe del caso de estudio.

9.4 Diseño de ficha técnica con los resultados de los prototipos finales sometidos a ensayos

Tabla 4. FICHA TÉCNICA ADOBE MEJORADO NO. 1

Ficha técnica: Prototipo de adobe mejorado no.1		
Dimensiones: 30x30x12 cm	Morfología: Bloque cuadrado, aristas definidas, superficie rugosa sin grietas, en fresco se observó porosidad baja	
Componentes de suelos: Tierra arcillosa (barro) Talpuja (arena limo-arcillosa) Arena	Componentes de fibras: Broza o zacate de arroz	Dosificación de la mezcla: (*unidad de medida y cantidades) 3 carretillas de tierra arcillosa (barro) 2 carretilla de talpuja 1,5 carretilla de arena 1,5 carretilla de zacate de arroz
Granulometría: Grava: 1%, Arena: 58%, Finos: 40 %	Fibra: 18%	
Resistencia a la compresión seco (kgf/cm²): 11.10 - 12.20		Límite líquido: 27
Clasificación de la arcilla: (CL) Arcilla de baja plasticidad- Índice 15		Limite plástico: 20
Observaciones:		Índice de plasticidad: 8

Fuente: Propia

Tabla 5. FICHA TÉCNICA ADOBE MEJORADO NO. 2

Ficha técnica : Prototipo de adobe mejorado no. 2		
Dimensiones: 30x30x12 cm	Morfología: Bloque cuadrado, aristas definidas, no presenta grietas, no presenta porosidad	
Componentes de suelos: Tierra arcillosa (barro) Talpuja (arena limo-arcillosa) Arena	Componentes de fibras: Viruta de Bambú	Dosificación de la mezcla: (*unidad de medida y cantidades) 2 carretillas de tierra arcillosa (barro) 1 carretilla de talpuja 1 carretilla de arena 1 carretilla de viruta de bambú
Granulometría: Grava: 1%, Arena: 61%, Finos: 38%	Fibra: 25%	
Resistencia a la compresión seco (kgf/cm²): 11.5 - 15.62		Límite líquido: 28
Clasificación de la arcilla: (CL) Arcilla de baja plasticidad- Índice 15		Limite plástico: 20
Observaciones:		Índice de plasticidad: 8

Fuente: Propia

10. Conclusiones

Enmarcando el propósito fundamental de este trabajo en lograr una mejora en las propiedades de resistencia para esta tecnología apropiada que se utiliza como técnica de autoconstrucción en los diferentes contextos del país, se concluyó en lo siguiente:

1. La caracterización del caso de estudio y sus dinámicas utilizadas en la elaboración de las mezclas, visualizó las limitantes y potencialidades a las que se enfrenta el sistema, por tratarse de una técnica viva en evolución; la utilización de todos estos materiales con procesos sencillos de obtención, tiene un impacto ecológico menor y se reivindican como una solución real y efectiva para la construcción de hábitat popular.
2. Existe experiencia empírica en diferentes puntos de la región que constituyen un enorme potencial de conocimiento, pero que requiere de una adecuada valorización para poder conjugarlo con estudios

técnicos y lograr de este modo mayores avances tecnológicos-sociales-culturales-ambientales en relación a estas prácticas constructivas tradicionales presentes en Nicaragua.

3. El análisis por etapa aportó a identificar las posibles áreas de oportunidad: la Talpuja como tierra característica en Granada y las fibras naturales presentes en la región. Por los alcances de este proyecto se decidió trabajar sobre las fibras dando resultados que superaron los estándares normativos de resistencia a la compresión simple para adobes.
4. En la actualidad la manipulación artesanal del culmo del bambú es un proceso sencillo. El municipio de Catarina y sus alrededores es conocido por la utilización de bambú para artesanías. Las astillas, virutas y aserrín son considerados un desecho utilizándose solo para la quema. La investigación identificó la posibilidad de gestión y uso de este recurso en las mezclas de adobe.
5. Las bases metodológicas cualitativas y cuantitativas, y los procedimientos presentes en este trabajo conforman un antecedente importante de referencia para futuras investigaciones. Sin embargo, se identifica la necesidad de realizar cartillas o manuales de construcción por región y poner los resultados de todo el proceso a disposición de la comunidad en general.

11. Recomendaciones finales

1. Realizar la mayor cantidad de pruebas de laboratorio posibles como la prueba de la resistencia a la flexión. Este ensayo no se pudo realizar por razones logísticas de laboratorio, pero se considera fundamental y necesario a la hora de validar los prototipos estudiados.
2. Experimentar con la reacción puzolánica de la talpuja, en combinación con otros materiales como, por ejemplo, cenizas volcánicas, permitirá conocer las posibilidades de innovación en los procesos ecológicos para la creación de nuevos materiales de construcción. La talpuja, por encontrarse en la clasificación de las tobas pumíticas, requiere de una caracterización detallada que permita conocer y predecir el comportamiento de estos materiales y sus posibilidades de reaccionar químicamente para crear compuestos cementantes¹³, como nuevas propuestas de innovación.
3. Impulsar en organismos e instituciones competentes el abordaje interdisciplinar e interinstitucional de estudios sobre las mezclas de adobe y las diferentes técnicas constructivas de aplicación en las regiones del pacífico.
4. Aplicar metodologías colectivas que impulsen el rescate de valor del conocimiento empírico presente en las construcciones de adobe en Nicaragua.
5. Promocionar la técnica a través de los resultados tangibles de ésta y futuras investigaciones en materia para ponerlas a disposición de la comunidad en general.

13 La acción puzolánica de las tobas pumíticas ha sido reconocida desde la antigüedad en todo el mundo. Se sabe que en el siglo VII a.C., en la isla griega de Santorín, se usó un suelo de origen volcánico y de carácter pumítico para hacer más resistente al agua la cal destinada al revestimiento de las cisternas. Alrededor del año 150 a.C., los romanos continuaron desarrollando la técnica descubriendo una amplia variedad de puzolanas a lo largo de todo el imperio (Vargas del Río, Zárate del Valle, Gutiérrez Pulido, 2005). Las puzolanas son materiales silíceos o silico-aluminosos que por sí mismos poseen poco o nula propiedad cementante, pero que finamente divididos y en presencia de humedad e hidróxido de calcio, reaccionan químicamente a temperaturas ordinarias para conformar compuestos cementantes. A este proceso de cuantificación de su capacidad de reacción es lo que se denomina como acción puzolánica.

12. Referencias bibliográficas

- AECID (2011). Programa Patrimonio para el desarrollo. 20 años con Nicaragua. Agencia Española de cooperación internacional para el desarrollo. Managua: AECID.
- BORSANI, María S. (2011). Estrategias, alcances y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelonatech. <http://hdl.handle.net/2099.1/13759>.
- ESTRADA, M. (2010). Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*guadua angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos. 10.13140/RG 2.1.3984.3046. Universidad Nacional de Colombia.
- GUILLÉN, D. (2014). Una arquitecta al rescate del adobe. Managua: Artículo del Nuevo Diario.
- MATUS, F. (2006). Sistema constructivo de adobe aplicado a un modelo de vivienda. Programa de Estudios ambientales urbanos territoriales. Estelí-Condega. Nicaragua.
- MEJÍA LACAYO; J. (2013). La arquitectura del barro. Revista de temas nicaragüenses. Los sistemas de construcción en Nicaragua. Está indicando: volumen 58 de la página 237 a la 249.
- MINKE, G. (2010). Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. España: Ecohabitar.
- Proyecto Taishin (2015). Criterios técnicos de diseño y construcción con adobe para vivienda de un nivel. Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano. San Salvador, Salvador.
- VAN LENGEN, J. (1997). Manual del arquitecto descalzo. México: Pax México.
- YAÑEZ PARAREDA, G. (2008). Arquitectura solar e iluminación natural. Madrid: Munilla-Lería.
- ZULETA BILBAO, H. (1988). Diccionario de la construcción. Paraguay: Géminis.