



INNOVACIÓN SOCIAL Y MATERIALES PARA LA VIVIENDA PARTICIPATIVA EN MÉXICO

Coordinadores:

Raúl Pável Ruíz Torres

Eddy González García

Juan Carlos Solís Granados



**INNOVACIÓN SOCIAL
PARA LA VIVIENDA PARTICIPATIVA EN MÉXICO**

INNOVACIÓN SOCIAL
PARA LA VIVIENDA PARTICIPATIVA EN MÉXICO

COORDINADORES

RAÚL PÁVEL RUÍZ TORRES
EDDY GONZÁLEZ GARCÍA
JUAN CARLOS SOLÍS GRANADOS

Universidad Autónoma de Chiapas
Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca



**INNOVACIÓN SOCIAL Y MATERIALES
PARA LA VIVIENDA PARTICIPATIVA EN MÉXICO**

ISBN UNACH: 978-607-561-410-6

ISBN UABJO: 978-607-8815-72-2

D.R. © 2026. **Raúl Pável Ruíz Torres**
Eddy González García
Juan Carlos Solís Granados

D.R. © 2026. **Universidad Autónoma de Chiapas**
Boulevard Belisario Domínguez Km. 1081 sin número, Terán,
C.P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México

D.R. © 2026. **Universidad Autónoma "Benito Juárez" de Oaxaca**
Avenida Universidad s/n, Colonia Cinco Señores, C.P. 68120,
Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México

La Universidad Autónoma de Chiapas forma parte la Red Nacional de Editoriales Universitarias y Académicas de México, Alttexto y de la Asociación de Editoriales Universitarias de América Latina y el Caribe, EULAC.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación o de la Universidad Autónoma de Chiapas; la información y análisis contenidos en esta publicación son estrictamente responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción parcial o total de los textos aquí publicados, siempre y cuando se haga sin fines comerciales y se cite la fuente completa. Las imágenes de portada, la composición de interiores y el diseño de cubierta son propiedad de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Esta publicación fue evaluada por pares académicos, mediante un proceso a doble ciego.

Hecho en México

Made in Mexico

ÍNDICE

11..... PRESENTACIÓN

13..... INTRODUCCIÓN

17..... CAPÍTULO 1. DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARTICIPATIVO DE LA VIVIENDA EN MONTE SINAI II, EL FÉNIX

SOLÍS GRANADOS, JUAN-CARLOS; GUTIÉRREZ ZENTENO, CÁNDIDA AREMI,
DEL CAMPO SARAY, FRANCISCO MARTÍN Y CRUZ SÁNCHEZ, CARLOS OCTAVIO

Resumen.....	17
El Diseño Arquitectónico Participativo.....	18
Fases del Proceso Habitacional.....	21
La Metodología del ProNaII 3211260.....	24
Las Etapas de Ejecución del ProNaII 321260.....	25
El DPA programado con base al ProNaII 321260.....	27
El DPA realizado en Monte Sinai II.....	28
Consideraciones finales.....	35

39..... CAPÍTULO 2. LOS COMPONENTES PARA MUROS EN UNA VIVIENDA EN LOS YUQUIS, TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

MOLINA NARVÁEZ, NGUYEN; GONZÁLEZ GARCÍA, EDDY;
JIMÉNEZ ALBORES, JOSÉ LUIS Y PÉREZ CASTRO, HAYDEE

Resumen.....	39
Introducción.....	40
Metodología.....	43
Resultados y discusión.....	46
Conclusiones.....	49
Referencias.....	50

53..... CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE VIVIENDAS DE ADOBE EN SAN MIGUEL CHICAHUA, OAXACA

GÓMEZ BARRANCO, HEIDY; RUÍZ TORRES, RAÚL PÁVEL; HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ,
MIGUEL ADRIÁN Y ALAVEZ RAMÍREZ, RAFAEL

Resumen.....	53
Introducción.....	54
Planteamiento de Problema.....	55
Objetivo.....	56
Estado del Arte: marco normativo.....	57
Análisis de la zona de estudio.....	58
Materiales y métodos.....	59
Propiedades mecánicas.....	61
Propiedades físicas.....	63
Conclusiones.....	73
Referencias.....	74

77..... CAPÍTULO 4. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA LOSA TÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN SOCIAL DE VIVIENDA EN CHIAPAS.

TRUJILLO SAMAYOA, RUBER; RUÍZ TORRES, RAÚL PÁVEL;
GARCÍA SOLORZANO, LUIS AARON Y HERRERA SOSA, LUIS CARLOS

Resumen.....	77
Introducción.....	78
Metodología.....	81
Resultados.....	88
Conclusiones.....	90
Referencias.....	92

95.....

CAPÍTULO 5.
BIOPOLIURETANO COMO MATERIAL NO CONVENCIONAL
PARA EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA

CABALLERO MORENO EDER ARMANDO; HERNÁNDEZ MIGUEL DILAN SAÚL;
MEZA GORDILLO ROCÍO Y RUIZ TORRES RAÚL PÁVEL

Resumen.....	95
Introducción.....	96
Conclusiones.....	107
Referencias.....	108

113.....

CAPÍTULO 6.
EL CARRIZO, *ARUNDO DONAX L.*, PARA SU INTEGRACIÓN
EN LA PRODUCCIÓN SOCIAL DE VIVIENDA EN ZONAS ÁRIDAS

LLAVEN JOSÉ, HÉCTOR DANIEL; QUIROA HERRERA, JAIME ANDRÉS;
VILLANUEVA SOLÍS, JORGE Y GONZÁLEZ CALDERÓN, ALLECK JOHNNATHAN

Resumen.....	113
Introducción.....	114
Metodología.....	117
Descripción <i>Arundo donax L.</i>	117
Uso en la construcción.....	121
Propiedades del material.....	124
Distribución de <i>Arundo donax L.</i> en La Comarca Lagunera.....	124
Ventajas e inconvenientes.....	128
Referencias.....	130

PRESENTACIÓN

La vivienda en México es un tema multifacético que requiere un abordaje integral que combine la exploración de materiales, sistemas constructivos y sistemas de organización e involucra de manera activa a la población de las comunidades; asimismo, la participación de diferentes disciplinas y sobre todo enfatice en la colaboración, el apoyo mutuo, el trabajo en equipo y encontrar las metas coincidentes para lograr el bien común y dar opciones que aporten elementos que coadyuven a mejorar las condiciones de vida de las poblaciones mediante la producción de vivienda con la participación social.

En el presente libro, “Innovación social y materiales para la vivienda participativa en México” ofrecemos una perspectiva amplia y diversa sobre estos aspectos. Está distribuido en siete capítulos en los que abordamos los desafíos y retos, las visiones innovadoras en el campo del diseño y la construcción de viviendas en el contexto mexicano hacemos énfasis en las regiones territoriales con carencia y rezago de vivienda, tomamos como base el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (ProNall) 321260 que se titula “Desarrollo de un Modelo de Producción Social Replicable de Vivienda y Hábitat” y fue seleccionado entre diversas propuestas a nivel nacional en la convocatoria del año 2022 que emitió el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), hoy transformado en la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnologías e Innovación (SECIHTI) del gobierno de México, mediante los Programas Nacionales

Estratégicos (PRONACE) que pretende alcanzar, el objetivo de vivienda adecuada y acceso justo al hábitat. En suma, este libro se conforma de siete capítulos de las experiencias realizadas en comunidades rurales y periurbanas donde se intercambiaron conocimientos y saberes entre las personas, tanto de quienes habitan los territorios como del grupo de investigadoras e investigadores de la comunidad académica.

Raúl Pável Ruíz Torres
Eddy González García
Juan Carlos Solís Granados

INTRODUCCIÓN

Los capítulos del presente libro están ligados a la etapa número dos de las tres que conforman el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (ProNall) 321260, titulado “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat”, que forma parte del Programa Nacional Estratégico de Vivienda del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), actual SECIHTI, del gobierno de México.

En el capítulo I, Juan Carlos Solís Granados, Cándida Aremi Del Campo Saray, Francisco Martín Del Campo Saray y Carlos Octavio Cruz Sánchez exponen manifiestan la metodología y los hallazgos centrales en el texto denominado “Diseño Arquitectónico Participativo de vivienda en Monte Sinaí II, El Fénix”. En el documento describen el Diseño Arquitectónico Participativo (DAP) y las actividades realizadas en reuniones con dos familias de una comunidad rural, ubicada en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, México, con quienes trabajaron los talleres del DAP y conocieron de primera mano información relevante sobre la manera de vivir. Los autores destacan que este proceso participativo permitió identificar necesidades específicas, preferencias espaciales y patrones de uso cotidiano que, de otro modo, serían omitidos en un enfoque de diseño convencional y estandarizado. Subrayan la importancia de la co-creación como mecanismos para garantizar la pertinencia cultural, la apropiación tecnológica y la sostenibilidad social del proyecto de vivienda. Esos resultados serán utilizados en la fase siguiente del Proceso del Proyecto Ejecutivo de la vivienda demostrativa.

En el capítulo II, Nguyen Molina Narváez, Eddy González García, José Luis Jiménez Albores y Haydee Pérez Castro comparten el texto “Los componentes para muros de una vivienda en Los Yuquis, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas”, una colonia periurbana que presenta problemas de autoconstrucción porque usaron materiales de baja calidad, lo que resulta en vulnerabilidad estructural debido a la alta actividad sísmica de la zona. En el estudio se determinan las características de los materiales de autoconstrucción utilizados en las edificaciones, dicha información servirá como propuesta de un sistema constructivo para el piloto de vivienda experimental que cumplan con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012.

En el capítulo III, Heidy Gómez Barranco, Raúl Pável Ruíz Torres, Miguel Adrián Hernández Rodríguez y Rafael Alavez Ramírez, presentan “Caracterización de Propiedades Físico-Mecánicas de Viviendas de Adobe en San Miguel Chicahua, Nochixtlán, Oaxaca”, un estudio sobre la caracterización de piezas de adobe de construcciones deterioradas, en una localidad del estado de Oaxaca, que busca preservar los sistemas constructivos tradicionales en municipios con pobreza en México. Informes del CONEVAL y del INEGI señalan que San Miguel Chicahua, Nochixtlán, Oaxaca, enfrenta pobreza y desuso de materiales tradicionales, lo que amenaza su patrimonio cultural y arquitectónico. Los autores analizan adobes para determinar su absorción de agua, resistencia mecánica y calidad, obtienen resultados satisfactorios que cumplen con las Normas mexicanas, por lo que ofrecen una propuesta para ayudar a la preservación de la arquitectura de tierra y abonar al rescate del patrimonio construido.

En el capítulo IV, Ruber Trujillo Samayoa, Raúl Pável Ruíz Torres, Luis Aaron García Solorzano y Luis Carlos Herrera Sosa, “Conductividad Térmica de la Losa Térmica para la Producción Social de Vivienda en Chiapas”, muestran la conductividad térmica de la losa siguiendo la Norma ASTM C177 que indica la manera de medir el flujo de calor en estado estacionario y las propiedades de transmisión con un equipo de placa caliente con guarda. Los

resultados muestran valores de conductividad térmica en un rango de valores del concreto celular y el mortero cemento arena. La losa térmica, una tecnología no convencional, ofrece aislamiento térmico y también reduce el uso de cimbra, entre otros beneficios que, de manera conjunta, ofrecen una oportunidad para la autoconstrucción y la producción social de vivienda debido a su facilidad de construcción por partes y progresiva.

En el capítulo V, Eder Armando Caballero Moreno, Dilan Saúl Hernández Miguel, Rocío Meza Gordillo y Raúl Pável Ruíz Torres, exponen “Biopoliuretano como Material no Convencional para el Aislamiento Térmico de la Vivienda” que el aumento poblacional y la demanda de bienes y servicios incrementan la necesidad de energía, particularmente en el sector habitacional de México, por lo que una estrategia clave es el aislamiento térmico de las viviendas para reducir el consumo energético en enfriamiento y mejorar el confort térmico. No obstante, los aislantes térmicos de uso actual, que son derivados del petróleo, son no renovables ni contaminantes. Este capítulo revisa la química del poliuretano, los procesos de biodegradación y la síntesis de poliuretanos de base biológica, evalúa sus propiedades físico-químicas como aislantes térmicos, en comparación con los materiales convencionales.

En el capítulo VI, Héctor Daniel Llaven José, Jaime Andrés Quiroa Herrera, Jorge Villanueva Solís y Alleck Johnnathan González Calderón en el texto “El carrizo, Arundo donax L., para su integración en la producción social de vivienda en zonas áridas”, explican que el aumento poblacional exige la explotación de recursos naturales finitos a través de procesos industrializados contaminantes lo que causa una distribución inequitativa de recursos, genera marginación y demanda constante de vivienda. Ante esta situación, se requiere la búsqueda de alternativas sostenibles y ambientalmente responsables, por lo que una de ellas es el uso del carrizo, Arundo donax L., en sistemas constructivos mediante procesos de producción social del hábitat. Este material puede ser utilizado para construir componentes estructurales de

edificaciones como son muros y cubiertas, especialmente en las zonas áridas del norte de México, como La Comarca Lagunera. Concluyen que el carrizo ofrece múltiples beneficios económicos, sociales y ambientales debido a sus características vegetativas, rápido crecimiento, renovabilidad, resistencia, disponibilidad y adaptabilidad constructiva.

Como se puede apreciar, los capítulos exploran diferentes facetas de la vivienda y el hábitat. Es fundamental destacar que cada trabajo incluyó mesas de trabajo y pláticas con el grupo de investigadoras e investigadores del ProNall 321260 en los seis subsistemas: 1) técnica constructiva, 2) habitabilidad, 3) política pública y legal, 4) servicios y gestión de recursos, 5) desarrollo comunitario y 6) riesgos. Cabe recordar que los expertos que participan son de diversas disciplinas: arquitectura, biología, ingeniería civil, derecho, antropología, psicología, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería agroindustrial, entre otras. Uno de los objetivos del libro es reflexionar sobre las diferentes maneras de abordar el rezago de vivienda en México.

Capítulo 1

DISEÑO ARQUITECTÓNICO PARTICIPATIVO DE LA VIVIENDA EN MONTE SINAI II, EL FÉNIX

JUAN CARLOS SOLÍS GRANADOS¹
CÁNDIDA AREMI GUTIÉRREZ ZENTENO²
FRANCISCO MARTÍN DEL CAMPO SARAY³
CARLOS OCTAVIO CRUZ SÁNCHEZ⁴

Resumen

El propósito de este capítulo es mostrar el proceso del Diseño Arquitectónico Participativo (DAP) aplicado a la vivienda en la comunidad rural de Monte Sinaí II, El Fénix (MSII), ubicada en el municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas, México. Para lograr el objetivo primero conceptualizamos el DAP, después mostramos

¹ Docente de Asignatura en la Universidad Autónoma de Chiapas, juan.solis@unach.com
orcid 0000-0003-2609-3420

² Posdoctorante SECIHTI-UNACH, candida.gutierrez@unach.mx
orcid 0009-0001-7547-9349

³ Profesor de Tiempo Completo de la Escuela de Arquitectura Tecnológico Nacional de México-Tecnológico Superior de Jalisco, Unidad Académica El Grullo, arqsoluc@gmail.com
orcid 0000-0001-7211-5366

⁴ Profesor de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de Chiapas, cocruz@unach.mx
orcid 0009-0005-2254-3561

cómo realizamos la reunión con dos familias de la comunidad y la realización de dibujos libres sobre cartulina que son los insumos para la elaboración de los componentes del Proceso del Proyecto Arquitectónico. Este proceso se enmarca dentro del Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (ProNall) 321260, titulado “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat”, parte del Programa Nacional Estratégico de Vivienda del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) del gobierno de México. Los resultados obtenidos serán utilizados en la fase siguiente que es la elaboración de los componentes que configuran el Proyecto Ejecutivo como el Programa Arquitectónico, entre otros.

Palabras clave: Diseño Arquitectónico, Participativo, Programa Arquitectónico.

El Diseño Arquitectónico Participativo

Este trabajo toma como punto de partida el Proyecto Nacional de Investigación e Incidencia (ProNall 321260) denominado “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat”, el responsable técnico es el Dr. Raúl Pável Ruíz Torres, auspiciado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) del gobierno de México. Cabe mencionar que el ProNall 321260 se desarrolla en tres comunidades, dos en entornos rurales y una es una colonia periurbana. El presente trabajo trata del proyecto de vivienda y hábitat mediante el proceso del Diseño Arquitectónico Participativo (DAP) que se desarrolla en la comunidad en entorno rural denominada Monte Sinaí II, EL Fénix (MSII) ubicada en el municipio de Cintalapa de Figueroa en el estado de Chiapas, México.

El DAP es una metodología que implica la participación activa de los futuros habitantes en el proceso de diseño de los proyectos arquitectónicos, a diferencia del método convencional en el

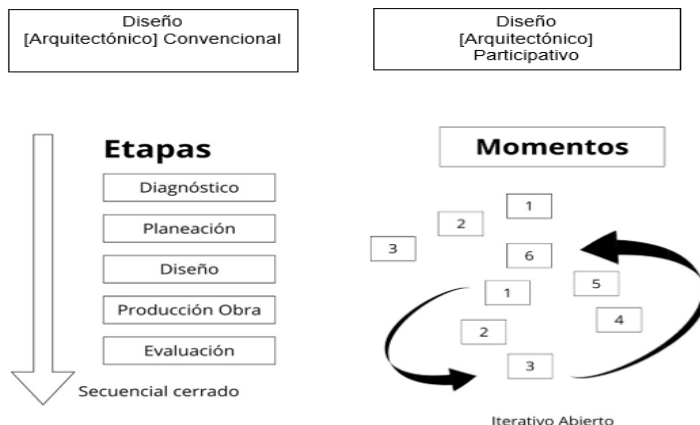
que las personas diseñadoras de los proyectos arquitectónicos toman las decisiones de manera unilateral; en contraste el diseño arquitectónico participativo busca integrar las necesidades, aspiraciones y saberes de quienes vivirán los espacios. Este enfoque fomenta una colaboración estrecha entre todos los actores involucrados, lo que puede llevar a soluciones más inclusivas, contextualmente apropiadas y apropiables.

El diseño arquitectónico [convencional] que es utilizado en la mayoría de las prácticas profesionales se fundamenta en criterios técnicos, funcionales y hasta artísticos, pero niega las bases ideológicas o políticas en la toma de decisiones dice Enet (2021), la autora menciona que las diferencias son ontológicas, epistemológicas, metodológicas y técnicas, es decir, es un asunto que se debe abordar de manera integral. Ahora bien, en lo tecnológico la diferencia es que el Diseño Arquitectónico Participativo es un “Diseño por momentos abiertos y evolutivos que se articulan a un proceso de producción de vivienda y hábitat que presenta incertidumbre”, que el modo de proceder es abierto, basado en *momentos* (Matus, 1998; Enet, 2008, 2012) a diferencia del diseño convencional que es por

etapas cerradas dentro de un programa predeterminado, un proceso lineal, que se realiza por etapas cerradas y progresivas, generalmente ligadas al ciclo de proyecto arquitectónico y, en algunos casos, con la obra, también omite otras dimensiones del hábitat que interactúan con el proceso y no se involucran en el proceso de gestión (Enet, 2021, pág. 86).

Para ayudar a visualizar las diferencias de los dos tipos de diseños arquitectónicos en la figura 1 los ejemplificamos.

Figura 1. Esquema de los Diseños Arquitectónicos Convencional y Participativo



Fuente: Elaboración propia con información de (Enet, 2021 y Enet, 2022, p. 35)

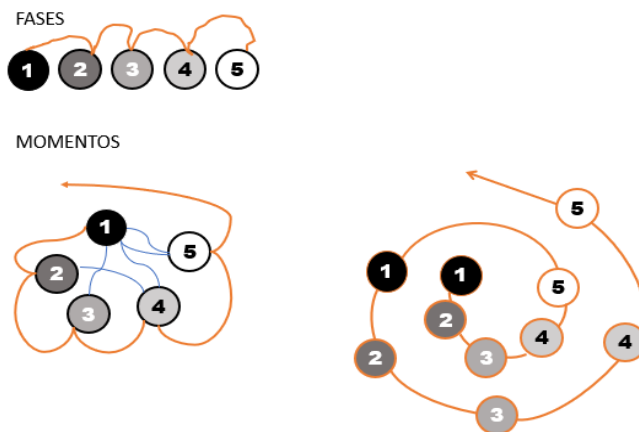
También, no se debe confundir *momentos* con *fases* [o etapas] y ciclos, pues de acuerdo a Enet:

Las fases [o etapas] permiten transformaciones de un estado a otro, precisan que se produzca una para que comience la otra. En el caso de los *momentos* pueden producirse a la vez dos o más de ellos con distintos niveles de prioridad y no pierden la visión de la totalidad (hologramático⁵), como se aprecia en la figura 02. Los ciclos son procesos más largos que se producen cuando ha pasado una serie de fases o momentos que han logrado que sus participantes adquieran

⁵ Para Morin (2004), el concepto hologramático representa una forma de pensamiento que abarca la multiplicidad, la incertidumbre y la recursividad inherentes a los sistemas complejos. Es una metáfora poderosa para comprender la integración de lo diverso y la unidad en la diversidad, así como la necesidad de adoptar una perspectiva transdisciplinaria que abarque las múltiples dimensiones de la realidad. El término hologramático, según Edgar Morin, implica una visión de la realidad como un holograma porque cada parte contiene y refleja la totalidad y la comprensión completa requiere considerar las interrelaciones y conexiones entre las múltiples dimensiones y niveles de existencia.

experiencia, conocimientos y capacidades autogestionarias o *autopoieticas*⁶ para avanzar en la transformación de nuevos objetivos y necesidades superadoras del ciclo inicial (Enet, 2022, pág. 86).

Figura 2. Diferencias entre Fases y Momentos



Fuente: Elaboración propia con información de (Enet, 2022, pág. 82).

Fases del Proceso Habitacional

De acuerdo con Ortiz (2012), el proceso habitacional se desarrolla en cinco fases que incluyen las actividades a realizar antes, durante y después de la construcción de la vivienda y son:

⁶ La teoría de la autopoiesis propuesta por Maturana y Varela (1972) describe un sistema que se autorregula y es autónoma de su organización.

1. Promoción e integración que las principales actividades que la caracterizan son la definición de la población objetivo o integración y capacitación del grupo participante y el análisis de viabilidad del proyecto.
2. Planeación en esta fase se realiza la adquisición de la tierra, se desarrolla el proyecto urbanístico y arquitectónico, la gestión del financiamiento y la tramitación de permisos y licencias.
3. Producción se refiere a la urbanización, construcción, ampliación o mejoramiento de la vivienda y la supervisión de las obras.
4. Distribución que trata de la venta o adjudicación de la vivienda producida, contratación del crédito individual o colectivo de largo plazo y firma de garantías (hipotecaria, solidaria u otra) por los adquirentes o participantes.
5. Uso que se refiere a la amortización del crédito, mantenimiento, ampliación o mejoramiento (en el caso de la vivienda incremental o progresiva), esta fase es permanente.

Figura 3. Fases del Proceso Habitacional



Fuente: Elaboración propia con información de Ortiz,2012, pág. 43-44

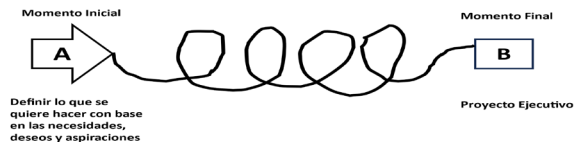
Ahora bien, para redondear el proceso del DAP, se debe tratar el término participación que se ha empleado en distintos ámbitos como social, académico, políticos, entre otros y, si lo llevamos al Diseño Arquitectónico podemos tomar a dos grupos de autores que son los más mencionados en este ámbito de nuestro país, Henry Sanoff (2000) la denomina como “la colaboración de personas que persiguen objetivos que ellas mismas han establecido”, y

Gustavo Romero, *et al* (2004) mencionan a la participación como: “(...) el trabajo colectivo de varias personas tanto en la determinación de los objetivos como en la definición de los caminos para llegar a ellos”. Lo antes mencionado, subraya la importancia de la colaboración de todos los actores involucrados en la actividad de diseñar espacios habitables. En este contexto podemos adoptar la siguiente definición del proceso DAP:

La construcción colectiva entre diversos actores que directa o indirectamente se verán implicados con la solución arquitectónica y que tienen el derecho a tomar decisiones consensuadas, para alcanzar una configuración física espacial apropiada y apropiable a sus necesidades, aspiraciones y valores, que sea adecuada a los recursos y condicionantes –particulares y contextuales– necesarios y suficientes para concretar su realización (Romero, *et al*, 2004, pág. 57).

Entonces en la *Fase de Planeación* [Diseño] del Proceso Habitacional podemos ubicar al Diseño Arquitectónico Participativo (DAP), que tiene al Momento Inicial (A) aquí se debe definir lo que se quiere hacer con base en las necesidades, deseos y aspiraciones de las personas y al Momento Final (B) que se trata del Proyecto Arquitectónico Ejecutivo, como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. Esquema del Proceso de Diseño Arquitectónico Participativo



Fuente: Elaboración propia.

La Metodología del ProNall 3211260

El ProNall 321260 indica que se desarrollará un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat, que se integre desde una estructura de cadena de valor y proceso de generación de sistemas tecnológicos para cocrear una red colaborativa y política de cooperación que detone capacidades humanas y económicas regionales, además que considere a los actores políticos, económicos y sociales, con una visión regional para el desarrollo de una vivienda adecuada y en concordancia de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que pueda replicarse en diferentes regiones del país. Se trabajará en tres comunidades del estado de Chiapas, una de ellas es MSII en el municipio de Cintalapa de Figueroa, comunidad indígena que desde hace alrededor de 15 años transitó al aprovechamiento forestal sustentable.

El ProNall 321260 está organizado de tal manera que el desarrollo sea más eficiente y eficaz a través de delegar responsabilidades de coordinación definiendo seis subsistemas: 1) política pública-legal; 2) habitabilidad; 3) servicios y gestión de los recursos, 4) técnica constructiva, 5) desarrollo comunitario y, finalmente, 6) riesgos; de tal manera que al definir coordinaciones en sesiones de trabajo con el perfil correspondiente, esta estructura permite realizar mesas de trabajo con esquemas de transversalidad de las diferentes disciplinas integradas en el proyecto, como ejemplificamos en la figura 5.

Figura 5. La Organización del ProNall 321260 con los seis subsistemas



Fuente: Elaboración propia con base en el proyecto PRONAI 321260, aprobado por SECIHTI

Las Etapas de Ejecución del ProNall 321260

El ProNall 321260 se divide en tres etapas:

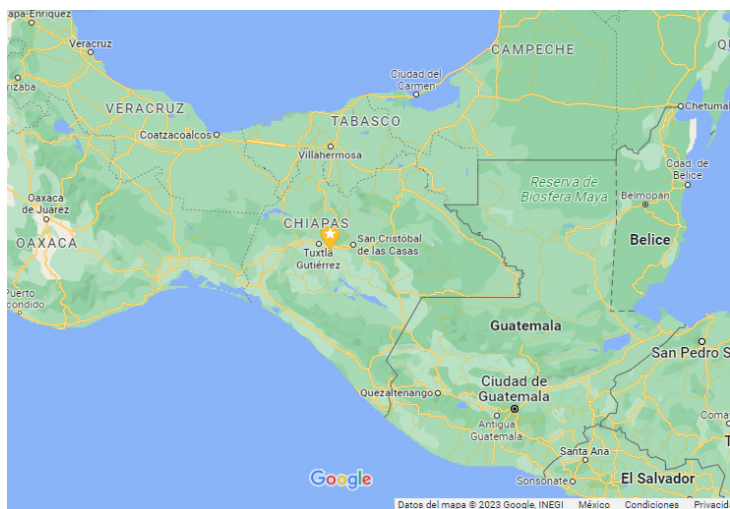
1. Caracterización y diagnósticos de la comunidad MSII y del de Producción Social de Vivienda y Hábitat (PSVyH), incluye foros y seminarios y reuniones con actores comunitarios, así como la identificación de saberes locales y modelos de negocio relacionados.
2. Implementación de los casos pilotos utilizando un modelo colaborativo-participativo comunitario con criterios y estrategias propuestos de los subsistemas y es aquí donde se encuentra el desarrollo del Diseño Arquitectónico Participativo (DAP).

3. Evaluación de los casos pilotos y elaboración del modelo de PSVyH, con la difusión activa de experiencias y propuestas en espacios relevantes para influir en políticas públicas. El ProNall tiene una duración de tres años y se encuentra, al momento de escribir este capítulo, en el segundo año de desarrollo (noviembre de 2023), con avances finales en curso.

La ubicación de la vivienda

Se tiene programado desarrollar una vivienda unifamiliar en la comunidad MSII allí habitan personas de pueblos originarios, específicamente de la cultura tsotsil, que llegaron desde una región conocida como Los Altos de Chiapas, la comunidad se ubica al poniente de la capital del estado de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez y administrativamente pertenece al municipio de Cintalapa de Figueroa, como se aprecia en la figura 6.

Figura 6. Ubicación geográfica de la comunidad Monte Sinaí II



Fuente: Google Maps, noviembre 2023 <https://www.google.com/maps/>

El DPA programado con base al ProNall 321260

El proceso del DPA constó de tres momentos: práctica, teoría y práctica propositiva. En el primer momento, la práctica, se llevarán a cabo sesiones con participación activa de los habitantes de la comunidad y podrían ser reuniones periódicas para delinear conjuntamente una posible solución arquitectónica.

Durante estas reuniones utilizamos material gráfico para respaldar las diversas opciones entre los participantes (Romero, et al, 2004). Se fomentó el uso del dibujo libre para que las personas puedan visualizar los espacios que necesitan. En el segundo momento, se realizó un análisis teórico y técnico por parte del diseñador de espacios físicos habitables, en este caso, se trató de una arquitecta,

se incluyó la revisión y discusión de los productos con las personas involucradas para fundamentar una propuesta. En el tercer momento, se presentará la propuesta y se colaborará activamente para retroalimentar el proceso.

Para la parte constructiva, se enfatiza el método de aprender-haciendo, es decir, el aprendizaje a través de la práctica, fortaleciendo así el capital humano en procesos y tecnología constructiva, en este sentido, podemos hablar de la autoconstrucción asistida o dirigida, eso es la práctica de edificar por los propios usuarios que puede ser individual-familiar o colectivo solidario (Ortiz, 2012), pero con el entendido de que se involucra en los seis subsistemas a la población en diferentes partes del proceso productivo, en el cual se fortalece la PSVyH.

El DPA en Monte Sinaí II

Los actores sociales en el proceso del DAP

Los actores sociales en el proceso del DAP se dividen en tres grupos: el primero, la población de la comunidad MSII; el segundo, los investigadores e investigadoras del ProNall y, el tercero, se trata de la empresa de la Arquitecta Evelin Aguilar, empresa que está registrada como Organismo Ejecutor de Obra (OEO)⁷ ante los programas de vivienda⁸ de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) y la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) del gobierno de la República, pues son los organismos que dan asistencia técnica⁹ a las personas beneficiarias de los programas de vivienda, institución del gobierno de México que otorga apoyos y subsidios de vivienda dirigidos a personas que viven en condiciones de rezago habitacional, alto índice de marginación,

⁷ De acuerdo con las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social para el ejercicio fiscal 2023, los Organismos Ejecutores de Obras (OEO) son personas físicas o morales registradas ante la Comisión [CONAVI], responsables de otorgar asistencia técnica para desarrollar, acompañar y ejecutar las intervenciones de vivienda, bajo procesos participativos y de construcción a diferentes niveles, así como fomentar la cohesión social durante el proceso de intervención de vivienda.

⁸ En 2023 hay dos programas de acciones: Programa Nacional de Reconstrucción (PNR) y Programa de Vivienda Social (PVS).

⁹ De acuerdo con las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social para el ejercicio fiscal 2023, la Asesoría Técnica es la Asesoría calificada proporcionada a la población beneficiaria por prestadores de servicios registrados ante la Comisión durante todo el proceso de intervención de la vivienda. Podrá comprender aspectos técnicos en diseño y construcción, financieros, organizativos, legales y de gestión, adecuados a las características y necesidades de las familias beneficiarias del programa y atendiendo las condiciones de habitabilidad y seguridad estructural, con el objeto de asegurar una vivienda adecuada a través de procesos participativos, así como fomentar la cohesión social durante el proceso de intervención de vivienda. En el caso de cofinanciamiento con crédito, la asistencia técnica será otorgada por los Organismos Ejecutores de Obra dados de alta en el padrón de prestadores de servicios de la Comisión.

alto índice de violencia, personas con discapacidad y poblaciones originarias, según se menciona en la página de CONAVI.¹⁰

Durante el desarrollo del proyecto arquitectónico, los investigadores realizaron cinco viajes a la comunidad MSII. La primera visita tuvo lugar en noviembre del 2022, con el propósito de reafirmar los objetivos y alcances del ProNall y para presentar al equipo de investigadores, en ese momento se trasladaron 15 personas. Durante esta visita, tomamos muestras de suelo para su análisis en el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH.

En la segunda visita, que contó con la participación de 10 investigadores, llevaron a cabo tres talleres participativos comunitarios. Estos consistieron en un intercambio de información entre los investigadores y la población de MSII. Al finalizar el día, seis regresaron a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, mientras que cuatro permanecieron un par de días en la comunidad para continuar trabajando, durante esta estancia también realizamos los levantamientos físicos de las viviendas de dos familias con las que ya se había establecido un vínculo social durante el proceso de investigación.

La tercera visita tuvo lugar en abril de 2023, y contó con la participación de tres investigadores, durante esta visita, se realizó un reconocimiento más detallado del territorio de la comunidad MSII mediante caminatas comunitarias y vuelos con un vehículo aéreo no tripulado (Drone), mismo que tomó fotografías aéreas de la localidad.

La cuarta visita se llevó a cabo en el mes de junio de 2023, con el fin de realizar los talleres del DPA. La quinta visita tuvo lugar en agosto de 2023, el objetivo principal fue la presentación del proyecto ejecutivo de la vivienda.

Es importante destacar que se extendió una invitación a los pobladores de MSII para participar en talleres sobre ecotecnologías constructivas para la vivienda que han sido desarrolladas por el Cuerpo Académico: Componentes y Condicionantes de la

¹⁰ <https://www.gob.mx/conavi>

Vivienda (COCOVI) de la Facultad de Arquitectura de la UNACH y las instalaciones se localizan en Tuxtla Gutiérrez, como se puede apreciar en las figuras 7 y 8.

Figura 7 y 8. Mostrando las ecotecnologías constructivas desarrolladas por el C.A. COCOVI



Fuente: Elaboración propia.

Los talleres del DAP

Como ya se indicó, el ProNall consta de tres etapas y hemos realizado acciones correspondientes a la primera y segunda etapa del proceso metodológico y, en la segunda etapa está incluida la fase del DPA. El primer momento, en el proceso del DPA, fue haber ido a la comunidad a elaborar un diagnóstico que incluía un levantamiento físico de las viviendas y que servirían como casos similares.

Al realizar la cuarta etapa, en junio de 2023, ya se contaba con información que indicaba que el proyecto arquitectónico de la vivienda sería de uso común y se ubicará en el área destinada a los Asentamientos Humanos para beneficio de uso común

dentro del ejido¹¹ Monte Sinaí II, El Fénix. Cabe mencionar que se cuenta con el Certificado Agrario correspondiente e inscrito en el Registro Agrario Nacional¹² y bajo la jurisdicción administrativa del municipio de Cintalapa de Figueroa, Chiapas. De acuerdo con información proporcionada mediante la Plataforma Nacional de Transparencia con número de solicitud 330025123000287, los antecedentes del Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA), por resolución emitida con fecha 11 de diciembre de 2001, en el Juicio Agrario 515/1997 por el Tribunal Superior Agrario, se dotó de 1080.00 hectáreas al ejido Monte Sinaí II, Cintalapa de Figueroa, estado de Chiapas, con fecha 15 de octubre de 2003.

Es esencial destacar que, de acuerdo a la Ley Agraria¹³, los ejidos se dividen en tres tipos de tierra: 1) Asentamientos Humanos, destinados exclusivamente para uso habitacional y se dividen en solares. 2) Parcelas de cada ejidatario, son de uso individual exclusivamente para actividades agrícolas. 3) Tierras de uso común, dedicadas a actividades y espacios de beneficio colectivo para todos los ejidatarios, como es este caso.

Cuando llegamos a la comunidad, el terreno destinado para la vivienda se encontraba ocupado por las oficinas del ejido, estas oficinas estaban construidas por muros de tablas de madera, la estructura de la techumbre era de polines de madera y forrada de lámina galvanizada.

Es conveniente mencionar que, mediante una asamblea ejidal, los ejidatarios acordaron que la vivienda sería de uso comunitario en lugar de pertenecer a una familia específica, por lo que se

¹¹ De acuerdo al artículo 9º de la Ley Agraria, los núcleos de población ejidales o ejidos tienen personalidad jurídica y patrimonio propio y son propietarios de la tierra que les han sido dotadas o de las que hubieren adquirido por cualquier otro título.

¹² Es una institución mexicana encargada de registrar y regular la tenencia de la tierra en el ámbito rural del país. Fue creado con el propósito de implementar y supervisar la aplicación de las leyes agrarias relacionadas con la propiedad, posesión y explotación de la tierra en las zonas ejidales y comunales.

¹³ Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de febrero de 1992, incluye la reforma publicada el 01 de abril de 2024.

trataría de una demostrativa para uso común y preferentemente un espacio para albergar a personas externas, es decir, que no habiten en la comunidad y que lleguen a realizar estancias de investigación o trabajos.

Es conveniente indicar que se realizaron tres talleres comunitarios participativos previos al DAP: 1. Pasado, presente y futuro de la vivienda; 2. Línea del tiempo de la comunidad y 3. Mapa comunitario. Utilizamos métodos y técnicas relacionadas con la etnografía, que es una de las herramientas más importantes para la comprensión del territorio y ayuda a describir una realidad social a través de la observación directa, entrevistas, participación en rituales y lectura de documentos (Soliz y Maldonado, 2006, pág. 21).

Antes de iniciar los talleres de DAP con las familias, tuvimos una reunión con la Arquitecta Evelin, durante esta junta, se discutieron las características de la familia, su manera de vivir, así como sus aspiraciones y expectativas. Solicitamos a la arquitecta que llevará a cabo las actividades que habitualmente realiza dentro del programa de Vivienda Social de CONAVI y tomamos el acuerdo de cuáles serían las técnicas a utilizar, decidimos que fueran entrevistas con preguntas semiestructuradas y la técnica del dibujo libre sobre cartulina, estas técnicas se desarrollaron mezcladas y con la experiencia de la arquitecta, aunada a la intervención de la antropóloga.

Las preguntas semiestructuradas eran de la manera de vivir y cómo se reflejaba en sus actividades, en los espacios de la vivienda y su comunidad, aunque en el diálogo se tocaban situaciones pasadas, el origen de la región geográfica conocida como “Los Altos de Chiapas”, región montañosa que se localiza al nor-oriental del estado.

Las preguntas semiestructuradas se enlistan a continuación:

1. ¿Qué actividades realizan en su vivienda?
2. ¿Cuántas personas viven en ellas?

3. ¿Con qué espacios cuenta la vivienda?
4. ¿Cómo cocinan?
5. ¿De qué tamaño es el predio dónde se ubica actualmente su vivienda?

Y otras más que se formularon según progresaba la entrevista.

La primera familia integrada por María y Gilberto participó en el taller DAP, que tuvo lugar en el área común utilizada por la comunidad como comedor comunitario, como mostramos en la figura 9. La segunda familia, conformada por Nayeli y Efrén, recibió el taller en su vivienda, donde realizan diversas actividades domésticas. Debido a compromisos laborales, Efrén no pudo participar, por lo que solo estuvieron presentes Nayeli, los tres investigadores y la arquitecta Evelin. Durante la sesión, las hijas e hijos de Nayeli observaron con curiosidad las actividades del taller, asomándose ocasionalmente, como mostramos en la figura 10.

Figuras 9 y 10. Taller de DPA con las Familias de María y Gilberto, y Nayeli y Efrén.



Fuente: Elaboración propia

A continuación, mostramos las fotografías de los dibujos realizados por ambas familias y cómo visualizan la futura vivienda, así como aparecen en las figuras 11 y 12.

Figura 11. Dibujo elaborado por María y Gilberto. Figura 12. Dibujo elaborado por Nayeli



Fuente: Investigación de campo.



Fuente: Investigación de campo.

Con este ejercicio logramos describir las características más importantes de las viviendas, en síntesis son las siguientes: el terreno donde se construya la vivienda fuera amplio, los materiales a utilizar fueran fáciles de adquirir y a la vez no costosos; los espacios sean los adecuados, por ejemplo, las recámaras sean las suficientes para los hijos (sic); las viviendas fueran frescas y amplias, pero a la vez no fueran frías en la época invernal, que incluya un baño (sanitario y regadera), se pueda colocar un fogón de leña y pueda tener el espacio para una futura ampliación.

Con esta información estuvimos en condiciones de realizar los bocetos de las primeras imágenes de la vivienda demostrativa y, a su vez, reunirnos con el comité del ProNall 321260, conformado por los coordinadores de los seis subsistemas, con la finalidad de realizar una retroalimentación que permitiera elaborar el proyecto ejecutivo de la vivienda demostrativa.

Consideraciones finales

Las familias seleccionadas tienen características parecidas a las que tienen otras en familias de la comunidad, sin embargo, las necesidades y aspiraciones manifestadas fueron tomadas de manera parcial para la elaboración del programa de necesidades para el proyecto arquitectónico, pues la vivienda demostrativa tendrá otras condicionantes que, en este caso, limitan alcanzar lo deseado por ambas familias.

Lo más sobresaliente para el desarrollo del proyecto arquitectónico de la vivienda demostrativa es: el presupuesto contemplado dentro del ProNall 321260, cabe mencionar que dicho techo financiero se determinó como base en los recursos económicos que se destinan para una vivienda, de acuerdo a las Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social de SEDATU-CONAVI.

Esta actividad mostró la importancia de conocer las aspiraciones y los saberes de las dos familias, no obstante, la obtención de información pudo ser más enriquecedora pues no se pudo contar con el intérprete que había participado en los primeros talleres comunitarios, por lo que solamente nos comunicamos en idioma español y, por tanto, hicimos a un lado el idioma tsotsil, idioma nativo de la gran mayoría de los habitantes de la comunidad.

La metodología ejecutada para el DAP estuvo basada principalmente en dos fuentes, la experiencia de la Arquitecta Evelin quien se desempeña como asistente técnica y los conocimientos adquiridos en trabajo comunitario, así como el apoyo en métodos etnográficos, también, usamos información tomada del 4º Diplomado de Iberoamericano Diseño Participativo Sustentable del Hábitat que impartió la Universidad Nacional Autónoma de México, durante el año 2023.

Podemos concluir que el uso de un método de Diseño Arquitectónico Participativo (DAP) es fundamental para garantizar que el espacio físico se ajuste a las necesidades y aspiraciones de los habitantes. Sin embargo, es importante seleccionar el

método de DPA que sea óptimo para las condiciones y características de la comunidad y al contexto determinado.

Esto nos lleva a considerar las siguientes premisas: comprender lo mejor posible a los habitantes de la comunidad; comprender con exactitud la función y uso que tendrá el proyecto arquitectónico; evaluar las necesidades y capacidades de los actores sociales involucrados, especialmente de los futuros habitantes del proyecto arquitectónico, así como revisar los recursos disponibles: espacio físico (tierra), económicos, materiales, tiempo, la capacidad organizativa de las personas para determinar la participación de manera equitativa y representativa, también es importante el aspecto legal concerniente a la posesión y tenencia de la tierra.

Referencias

- Enet, M. (2021). El diseño participativo y su vocación para la comprensión de aspectos sociales, de género, sustentabilidad y derechos. *Revista Diseño y Sociedad*, 50-51, primavera 2021-otoño 2021, enero-diciembre 2021. División de Ciencias y Artes para el Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco. P.78-89. Consulta 02/02/2024, disponible en: <https://disenoy sociedadods.xoc.uam.mx/index.php/disenoy sociedad/article/view/478/472>
- García R. W., (2012). Arquitectura participativa: las formas de lo esencial. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 14, 4-11. ISSN. 1657-0308 Consulta 07/02/24, disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=125125877002>
- Sanoff, H. (2000). *Community Participation Methods in Design and Planning*, Toronto/Nueva York, John Wiley & Sons.
- Romero, G., et al, (2004). *La Participación en el Diseño Urbano y Arquitectónico en la Producción Social del Hábitat*. CYTED-Habyted-Red XIV.F Tecnologías Sociales y Producción Social del Hábitat. México, D.F.

- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), Gobierno de México (2022). Programa Nacional Estratégico de Vivienda (ProNaEV), Proyecto de Investigación e Incidencia (ProNall 321260) “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat”, responsable técnico: Raúl Pável Ruíz Torres. Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas.
- Enet, M. (et al.) (2008). Herramientas para pensar y crear en colectivo en programas intersectoriales de hábitat. Buenos Aires: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. CYTED.
- Enet, M. Clase (2021). Inter, transdisciplina e intersectorialidad en el Barrio intercultural sustentable. Documento pedagógico del Diplomado Participativo del Hábitat. UNAM-HIC-AL. México.
- Enet, M. (2022) Diseño Participativo Sustentable, el tejido que fortalece la Producción y Gestión Social del Hábitat. (Capítulo I de Libro) Material pedagógico para Diplomado en Diseño Participativo. UNAM- HIC-AL – México.
- Enet, M. El diseño participativo y su vocación para la comprensión de aspectos sociales, de género, sustentabilidad y derechos, pp 78-81, Revista Diseño y Sociedad, Revista internacional de investigación científica sobre los campos del diseño 50-51, primavera 2021 (enero-junio de 2021)-otoño 2021 (julio-diciembre 2021). División de Ciencias y Artes para el Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. <https://disenoysociedad.ojs.xoc.uam.mx/index.php/disenoysoiedad/issue/view/37>
- Maturana, H.R. y Varela, F.J. (1973). Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*, 5(4), 187-196. [https://doi.org/10.1016/0303-2647\(74\)90031-8](https://doi.org/10.1016/0303-2647(74)90031-8)
- Morin, E. (2004). El Método 6: Ética (The Method 6: Ethics). Coyoacán, México: Ediciones Coyoacán.

- Ortiz F, E. (2012). Producción social de la vivienda y el hábitat Bases conceptuales y correlación con los procesos habitacionales. Ciudad de México: Habitat International Coalition.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. Registro Agrario Nacional. Consulta a través de la Plataforma Nacional de Transparencia, con número de solicitud 330025123000287, con fecha 22 de marzo de 2023.
- Soliz, F., y Maldonado, A. (2006). Guía de Metodologías Comunitarias Participativas. Clínica Ambiental. Mantra Editores. <https://www.clinicambiental.org/wp-content/uploads/docs/publicaciones/guia5.pdf>
- Romero, G., Mesías, R., Enet, M., Oliveras, R., García, L., Coipel, M., & Daniela Osorio. (2004). La participación en el diseño urbano y arquitectónico en la producción social del hábitat. DF: CYTED.

Capítulo 2

LOS COMPONENTES PARA MUROS EN UNA VIVIENDA EN LOS YUQUIS, TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

NGUYEN MOLINA NARVÁEZ¹

EDDY GONZÁLEZ GARCÍA²

JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES³

HAYDEE PÉREZ CASTRO⁴

Resumen

Los Yuquis es una colonia periurbana localizada al norponiente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, donde la autoconstrucción de viviendas es con materiales de baja calidad, lo que trae como consecuencia la vulnerabilidad estructural por encontrarse en una zona altamente sísmica. El presente trabajo tiene como

¹ Profesora de asignatura y encargada de los laboratorios de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, nguyen.molina@unach.mx

² Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, eddy.gonzalez@unach.mx

³ Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, luis.jimenez@unach.mx

⁴ Profesora Investigadora de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de la UJAT, haydee.perez@ujat.mx

objetivo caracterizar física y mecánicamente los componentes de la construcción localizados en Los Yuquis, así como la propuesta del sistema constructivo de la vivienda, derivado del proyecto de Investigación “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat, financiado por el CONAHCYT, actual SECIHTI. En la colonia se encontraron 2 proveedores de ladrillos (ladrillera 1 y ladrillera 2) y uno de bloques (bloquera 1), pero al realizar las pruebas de resistencia a la compresión de las piezas, de acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, ninguno de los tres proveedores cumplió con este parámetro, por lo que fue necesario proponer otro proveedor de ladrillos (ladrillera 3) cuyos resultados fueron satisfactorios. La propuesta es que se utilicen como mampostería confinada en la vivienda, de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de mamposterías de la Ciudad de México del 2023.

Palabras clave: Ladrillo, bloque, resistencia a la compresión

Introducción

El presente trabajo proporciona información de los resultados de la caracterización de los materiales localizados en la colonia periurbana Los Yuquis, del municipio de Tuxtla Gutiérrez, para ser propuestos en la construcción de la vivienda, como parte del proyecto de Investigación “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat, financiado por el CONAHCYT, mediante la convocatoria del Programa Nacional Estratégico de Vivienda (ProNacEV), mediante los Proyectos de Investigación e Incidencia (PRONAI). La colonia Los Yuquis se localiza en el norponiente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, como mostramos en la figura 1.

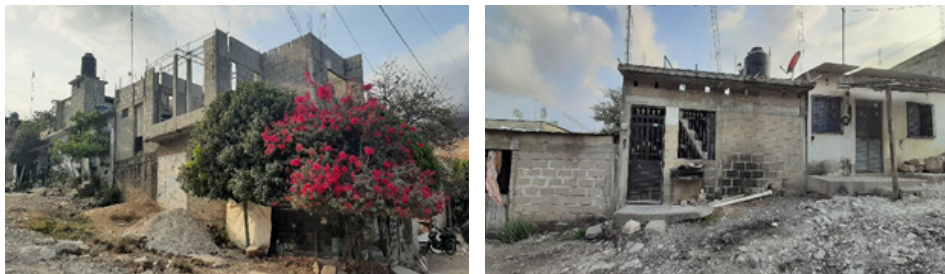
Figura 1. Microlocalización de la colonia Los Yuquis, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas



Fuente: Google earth, 2023. <https://earth.google.com/web/>

Cuenta con viviendas desplazadas en lotes de 6 m x 15 m y construidas principalmente de muros de bloques de concreto (81 %) y cubiertas con losas de concreto (60 %), esto de acuerdo al diagnóstico realizado previamente, ejemplificado en las figuras 2.

Figura 2. Viviendas con muros de bloque en Los Yuquis



Fuente: Elaboración propia con investigación de campo.

Sin embargo, el proceso constructivo es de autoconstrucción, es decir, no cuenta con la supervisión de personal técnico capacitado para desarrollar el proyecto arquitectónico; determinar las características de los materiales de construcción empleados, sistemas constructivos ni de los procesos constructivos ejecutados. Lo anterior trae como problemática la vulnerabilidad estructural de las viviendas, lo que pone en riesgo a las familias que las habitan, sobre todo por la ubicación en una zona altamente sísmica.

De acuerdo a Godínez, *et al* (2019), en México es muy común el empleo de la mampostería confinada, pero con deficiencias porque no se confinan adecuadamente los vanos de puertas y ventanas, lo que ocasiona el daño a la vivienda. Esto fue evidente después del sismo de 8.2 de magnitud cuyo epicentro se localizó en el Golfo de Tehuantepec, ocurrido el 7 de septiembre de 2017 (SSN, 2017). Posteriormente el 19 de septiembre de 2017, se presentó otro sismo de 7.1 magnitud en los estados de Puebla y Morelos, la Ciudad de México fue la más afectada, con más de 12,000 estructuras dañadas (Tena *et al*, 2021).

Derivado de lo anterior se debe de tener en cuenta la normatividad actual en el proceso de diseño y construcción de una edificación, tal es el caso del Código de Edificación de Vivienda de la Comisión Nacional de Vivienda (CEV-CONAVI, 2017), donde establece que los materiales de construcción deben ser resistentes y en el Reglamento de construcción de Tuxtla Gutiérrez del 2022, así como las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del 2023, se establecen los parámetros de resistencia de los materiales y de los sistemas constructivos a utilizar. En ese sentido, el objetivo de este trabajo es caracterizar física y mecánicamente los materiales de construcción en las viviendas de la colonia Los Yuquis en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, así como hacer una propuesta del sistema constructivo de estas.

Metodología

La familia que resultó beneficiaria para la propuesta, tiene una vivienda precaria que usa los muros de bloques de los vecinos en las colindancias, los materiales utilizados en los muros divisorios son de tela y la estructura es de madera de tercera con lámina galvanizada en la cubierta. En el desarrollo del diagnóstico de los materiales que se pueden utilizar, sobre todo en muros, y debido a que la zona de estudio es una colonia periurbana, ya no se dispone fácilmente de materiales naturales, de bajo consumo energético, pero sí se localizaron dos proveedores de ladrillos (ladrillera 1 y ladrillera 2) y uno de bloques (bloquera 1), como aparece en las figuras 3 y 4.

Cabe señalar que el beneficiario, antes de realizar las pruebas de laboratorio para conocer su resistencia, prefería la utilización de los bloques de mortero de cemento arena, porque es el material más común utilizado por los vecinos de la colonia, sin embargo, se le convenció que el material propuesto sería el que tuviera mejores condiciones de resistencia para proponerlo como material en la propuesta arquitectónica mediante el diseño participativo de la vivienda.

Figura 3. Muestras de 2 ladrilleras



Fuente: (Hernández, 2023).

Figura 4. Muestra de bloques de mortero de cemento arena



Fuente: (Hernández, 2023).

De cada proveedor analizamos 10 piezas, cinco para ensayo de resistencia a la compresión y cinco para la prueba de absorción de agua, de acuerdo a la NMX-C-404-ONNCCE-2012 de la Industria de la Construcción, Mamposterías, bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de ensayo y la Norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 de la Industria de la Construcción, Mamposterías, bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural, especificaciones y métodos de ensayo, como se aprecia en las figuras 5 y 6). Las pruebas de resistencia las realizamos en una la prensa eléctrica digital con marco de compresión y flexión, equipada con bomba de válvula regulable de aplicación de carga y manómetro con resolución desde 1kgf de la marca Elvec, cuyo modelo es: E 668-2 serial: 070824, con alcance de medición de 120 000 kgf.

Figura 5. Clasificación de muestras



Fuente: Hernández, 2023

Figura 6. Prueba de resistencia a la compresión



Fuente: Hernández, 2023

Resultados y discusión

Los resultados de resistencia a la compresión tanto para ladrillos, como para los bloques fueron analizados conforme a las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 para uso estructural y, NMX-C-441-ONNCCE-2013 para uso no estructural. De acuerdo con los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión elaboradas por Hernández (2023), en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, los ladrillos hechos a mano de ladrillera 1 y 2, no cumplen con los parámetros de resistencia a la compresión como ladrillos estructurales.

Debido a que la resistencia más alta fue de 67.40 kg/cm² de la ladrillera 1 y la Norma para uso estructural solicita como mínimo 110 kg/cm², sin embargo, para su uso no estructural sí pueden ser utilizados ya que la resistencia obtenida es más del doble de lo requerido en la Norma que es de 3 MPa (30 Kg/cm²).

Los resultados anteriores son similares a los presentados por González, Molina y Castañeda (2019), quienes analizan 5 ladrilleras de la Ribera de Cupía del municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas, la resistencia a la compresión va desde los 42.12 kg/cm² hasta los 96.76 kg/cm², y de la misma forma, tampoco cumplen la resistencia a la compresión para su uso estructural.

Tabla 1. Resultado de resistencia a la compresión de ladrillos artesanales

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, KGS/CM ²	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Ladrillera 1	67.40	11 MPa	3 MPa
Ladrillera 2	59.93	(110 Kg/cm ²)	(30 Kg/cm ²)

Fuente: (Hernández, 2023).

Los resultados obtenidos en las pruebas de absorción en ambas ladrilleras no cumplen con la máxima absorción de agua permitida porque fueron superiores en ambas Normas, tanto para uso estructural como no estructural, tal como ejemplificamos en la tabla 2.

Tabla 2. Resultado de porcentaje de absorción de ladrillos artesanales.

MATERIAL	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Ladrillera 1	27.92 %	23 % Máx.	25 % Máx.
Ladrillera 2	28.42 %		

Fuente: (Hernández, 2023).

En la tabla 3, el resultado de las muestras analizadas de la bloquera 1, la resistencia a la compresión es de 24.06 Kg/cm², que es muy por debajo al parámetro establecido a las Normas y no cumple en ninguna de sus dos modalidades tanto para uso estructural como no estructural. Esto concuerda con lo presentado por Ruiz y Godínez (2021) quienes analizaron la resistencia a la compresión de diferentes bloqueras artesanales de Tuxtla Gutiérrez, cuya resistencia máxima para de bloques huecos fue de 50 kg/cm².

Tabla 3. Resultado de la resistencia a la compresión de bloques sólidos

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, KGS/CM ²	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Bloquera 1	24.06	9 Mpa (150 kg/cm ²)	3.5 Mpa (35 kg/cm ²)

Fuente: (Hernández, 2023).

En lo que se refiere a las pruebas de absorción de los bloques sólidos, estos presentan una absorción máxima del 11.79 %, por lo cual cumplen con lo solicitado en la Norma porque no rebasó el porcentaje máximo permitido (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado de porcentaje de absorción de bloques sólidos

MATERIAL	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Bloque sólido	11.79 %	12 % Máx.	25 % Máx.

Fuente: (Hernández, 2023).

Derivado de los resultados obtenidos tanto de resistencia a la compresión y absorción de agua de las dos ladrilleras y una bloquera, además de la discusión con los resultados presentado por otros autores, es preocupante la mala calidad de los materiales de construcción que se ofertan en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, considerando que la autoconstrucción es muy común sobre todo en colonias periurbanas como es el caso de Los Yuquis, por lo que fue necesario proponer una ladrillera 3 del municipio de Emiliano Zapata, Chiapas cuyos resultados de resistencia a la compresión presentamos en la tabla 5

Tabla 5. Resultado de la resistencia de la ladrillera en Emiliano Zapata, Chiapas.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, KGS/CM ²	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Ladrillera 3	131.09	9 Mpa (110 kg/cm ²)	3.5 Mpa (35 kg/cm ²)

Fuente: Elaboración propia

Los datos de la absorción de agua de los ladrillos de la ladrillera 3, los presentamos en la tabla 6.

Tabla 6. Resultado de Porcentaje de absorción de ladrillos

MATERIAL	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	ESPECIFICACIONES	
		NMX-C-404-ONNCCE-2012	NMX-C-441-ONNCCE-2013
Ladrillera 3	21.91 %	23 % Máx.	25 % Máx.

Fuente: Elaboración propia

Debido a que las piezas de la ladrillera 3 cumplen con lo establecido en la Norma para su uso estructural, por lo anterior, proponemos que se utilicen como mampostería confinada en la vivienda, de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del 2023.

Conclusiones

Después de analizar los materiales de construcción ofertados que son utilizados en muros de carga en las viviendas de la colonia periurbana Los Yuquis, podemos tener un diagnóstico de la baja calidad de estos materiales, si a lo anterior sumamos el proceso de autoconstrucción como la forma más común de edificar sus viviendas, puede tener consecuencias: el daño estructural en un sismo y poner en riesgo la integridad física de las familias que habitan esas viviendas. Por lo tanto, propusimos la utilización de ladrillos de la ladrillera 3 proveniente del ejido Emiliano Zapata, Chiapas, la cual obtuvo resultados de resistencia a la compresión superior a lo establecido por la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012, para ladrillos de uso estructural usados en mamposterías.

En cuanto al porcentaje de absorción de agua también cumple satisfactoriamente el parámetro establecido en la Norma. El sistema de muro propuesto es el de mampostería confinada lo cual cumple con los requerimientos establecidos en la Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México del 2023.

Referencias

- Comisión Nacional de Vivienda (2017). Código de Edificación de Vivienda. CONAVI.
- Godínez, E., Tena, A., Archundia, H., Gómez, A. Ruiz, R. Escamilla, J. (2019) “Daños en viviendas localizadas en el sureste de México ocasionados por el sismo de Tehuantepec del 7 de septiembre de 2017, MW=8.2”, en la *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), 223-258. <https://doi.org/10.24133/riie.v24i2.1285>
- González, E. Molina, N. Castañeda G. (2019). Análisis de componentes artesanales utilizados en muros de vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En González A. (Ed). *Vivienda y comunidades sustentables*. UNISON y Pearson. (pp 117-126).
- Hernández, R. (2023). Propuesta de vivienda social con implementación de ecotécnicas en la colonia Yuquis, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Tesis de licenciatura en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas
- NMX-C-404-ONNCCE-2012 Industria de la construcción – mampostería – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural –especificaciones y métodos de ensayo.
- NMX-C-441-ONNCCE-2013 Industria de la construcción – mampostería – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural –especificaciones y métodos de ensayo.

- Normas Técnicas Complementarias para el diseño y construcción de mamposterías de la ciudad de México (2023). https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff-37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf
- Ruiz Sibaja, J. A., & Godínez Domínguez, E. A. (2022). Análisis estadístico de características geométricas y mecánicas del bloque hueco de concreto de Tuxtla Gutiérrez. *Vivienda Y Comunidades Sustentables*, (11), 63–84. <https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i11.193>
- SSN (2017). Reporte especial. Sismo de Tehuantepec (2017-09-07, E. 23:49 MW 8.2).
- Tena-Colunga, A., Hernández-Ramírez, H., Godínez-Domínguez, E.A. et al. Mexico City during and after the September 19, 2017 earthquake: Assessment of seismic resilience and ongoing recovery process. *J Civil Struct Health Monit* 11, 1275–1299 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13349-021-00511-x>

Capítulo 3

CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE VIVIENDAS DE ADOBE EN SAN MIGUEL CHICAHUA, OAXACA

HEIDY GÓMEZ BARRANCO¹

RAÚL PÁVEL RUIZ TORRES²

MIGUEL ADRIÁN HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ³

RAFAEL ALAVEZ RAMÍREZ⁴

Resumen

La desaparición de la arquitectura, la pérdida del patrimonio de arquitectura de tierra, el desconocimiento sobre estas técnicas y materiales son problemas evidentes en la actualidad (Guerrero, 2007). En el presente trabajo presentamos una caracterización

¹ Integrante del Cuerpo Académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Cuerpo Académico, raul.ruiz@unach.mx

² Integrante del Cuerpo Académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Cuerpo Académico, raul.ruiz@unach.mx

³ Facultad de Arquitectura "5 de Mayo", Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, miguel.ahr117@gmail.com

⁴ Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, arrafael@yahoo.com.mx

de los adobes provenientes del patrimonio construido con tierra que se encuentran en San Miguel Chichahua, estas edificaciones se encuentran en un avanzado estado de deterioro, desprotegidos y en riesgo de desaparecer progresivamente; la intención es la preservación de los sistemas constructivos tradicionales en los municipios con altos índices de pobreza en México, esta investigación forma parte del PRONAH 321260 del CONAHCYT, actual SECIHTI.

Los informes del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL 2023), y la Comisión Nacional de vivienda (INEGI, 2022) indican que la comunidad de San Miguel Chichahua, Nochixtlán, Oaxaca, presenta indicadores de pobreza y desuso de materiales tradicionales, lo cual propicia la pérdida cultural y arquitectónica.

El objetivo es analizar la calidad de los adobes para determinar la capacidad de absorción de agua, la resistencia mecánica y la calidad para su uso en la construcción de viviendas. Las pruebas físico-mecánicas que llevamos a cabo cumplen con las Normas mexicanas.

Palabras Clave: Pruebas físico-mecánicas, construcción con tierra, Normas mexicanas

Introducción

La tierra como material de construcción ha sido utilizada en el estado de Oaxaca desde hace muchos siglos, prueba de ello, existe una catalogación en el centro histórico edificios construidos con adobe, lo que refleja la riqueza cultural de edificios históricos construidos con adobe.

Debido a factores sociales, económicos y culturales, la construcción con tierra cuenta con una baja apreciación en la mayoría de los contextos sociales. En 1988, de acuerdo con los relatos de los lugareños en San Miguel Chichahua, Nochixtlán, Oaxaca, estaban las viviendas construidas con muros de adobe, eran elaborados por el propietario o bien contratan adoberos, el material producto del

mismo terreno y las mezclas con agua de pozo, excremento de animales y fibra del maguey, para luego hacer las piezas, secarlas y construir la casa. Hoy en día siguen con la misma tradición, aunque con variantes mínimas.

De acuerdo con la catalogación de San Miguel Chichahua, Nochixtlan, Oaxaca, las construcciones conforman parte de la historia rural y social de la localidad, encontrando ejemplos de conservación de la arquitectura de tierra del lugar.

Planteamiento de problema

En los últimos años se puede encontrar artículos científicos enfocados a la caracterización de adobes de arquitectura vernácula, históricas que proponen interesantes metodologías de ensayo para encontrar las propiedades de estos materiales (Abhilash *et al.*, 2022; Costi *et al.*, 2019; Beckett *et al.*, 2020; Parracha *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2022). Igualmente, han aparecido los primeros esfuerzos a nivel internacional para la estandarización de los métodos de ensayo (Fabbri *et al.*, 2022), uno de los aspectos más complejos y difíciles de abordar para estos sistemas.

La presente investigación forma parte del proyecto PRONAI 321260 del CONAHCYT, actual SECIHTI. La comunidad de San Miguel Chichahua, Nochixtlán, Oaxaca, presenta indicadores de pobreza y desuso de materiales tradicionales, lo cual propicia la pérdida cultural y arquitectónica, tiene 2245 habitantes y 91.2 % de ellos viven en pobreza, presentan carencias de tipo educativo, acceso a servicios de salud, seguridad social, calidad en los espacios de la vivienda. Tras llevarse a cabo visitas *in situ*, carece de una tipología o sistema constructivo definido, la conservación de su arquitectura vernácula es casi nula.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar los adobes a base de tierra que se producen en la misma localidad y la preservación de sistemas constructivos tradicionales en los municipios con altos índices de pobreza en México.

Actualmente en San Miguel Chicahua el mayor número de viviendas son de materiales de carrizo y bloques de tabicón, pocos son de adobe, sin embargo, la constante desaparición del patrimonio de arquitectura de tierra y la pérdida de conocimiento sobre estas técnicas y materiales representan una problemática evidente.

Justificación

En la comunidad de estudio, se emplea poco el adobe como material de construcción, se llevó a cabo la caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del adobe utilizado en la construcción de viviendas vernáculas, este proceso brindó la información necesaria para su preservación y promover la adecuada utilización de materiales vernáculos en la región y orientar a futuras construcciones en el lugar.

En términos ambientales, la fabricación de adobe se caracteriza por tener una huella de carbono muy baja, además que es un material reciclable, lo que permite su reutilización. En el ámbito social, la utilización de materiales vernáculos contribuye a preservar la identidad y el patrimonio cultural de la región, además se promueve el trabajo, fortalece los vínculos y facilita la transmisión de habilidades tradicionales de construcción a lo largo de las generaciones.

Objetivo

Caracterizar los adobes de tierra que son producto de la misma localidad y conocer las propiedades físico-mecánicas de durabilidad para la preservación de sistemas constructivos tradicionales en el municipio de San Miguel Chicahua, Nochixtlán, Oaxaca, con el objetivo de brindar información relevante a los profesionales del área, además de fomentar la conservación del patrimonio y promover la apropiada utilización de materiales vernáculos en la localidad.

Estado del Arte: marco normativo

El sistema constructivo de adobe, arraigado en la historia y la cultura de México, se ha enfrentado a diversos desafíos y ha sido objeto de atención en términos de regulación y normativa.

A nivel internacional, el marco normativo relacionado con el adobe puede estar influenciado por convenciones y Tratados internacionales relacionados con la preservación del patrimonio cultural, la protección del medio ambiente y los estándares de construcción sostenible.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO 2023) desempeña un papel importante en la promoción y preservación de la arquitectura de tierra, incluido el adobe, como parte del patrimonio cultural mundial. La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, adoptada en 1972, reconoce la importancia de salvaguardar sitios y prácticas culturales relacionadas con la arquitectura de tierra, además, organizaciones como la ONU-Hábitat promueven prácticas de construcción sostenible que incluyen el uso de materiales tradicionales como el adobe en proyectos de vivienda.

Dentro de las normativas vigentes y aplicables más destacadas en el ámbito internacional, es la normativa peruana para el adobe, la cual está regulada principalmente por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE 2023) del Perú, que establece los estándares y requisitos técnicos para la construcción de edificaciones en el país.

En México, existen pocas regulaciones específicas para la construcción con adobe, estas pueden variar dependiendo del estado y el municipio. No obstante, hay algunas pautas generales y normativas a nivel nacional que se aplican a la construcción en general y también pueden ser relevantes para el uso del adobe, a continuación, se mencionan las más importantes.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-2000 establece los requisitos de diseño, construcción y conservación para la

edificación sustentable, proporciona pautas importantes para la construcción segura y sostenible.

También la Norma Mexicana NMX-C-416-ONNCCE-2015, establece los requisitos para la fabricación y uso del adobe en edificaciones, se puede mencionar la NMX-C-404-ONNCCE-2012 como parte de las técnicas complementarias existentes para el caso de elementos de mampostería.

En el contexto estatal no existe una normativa específica sobre la construcción con adobe, sin embargo, existen algunos manuales dedicados a este sistema constructivo que pueden ofrecer ciertas pautas para utilizarlo correctamente.

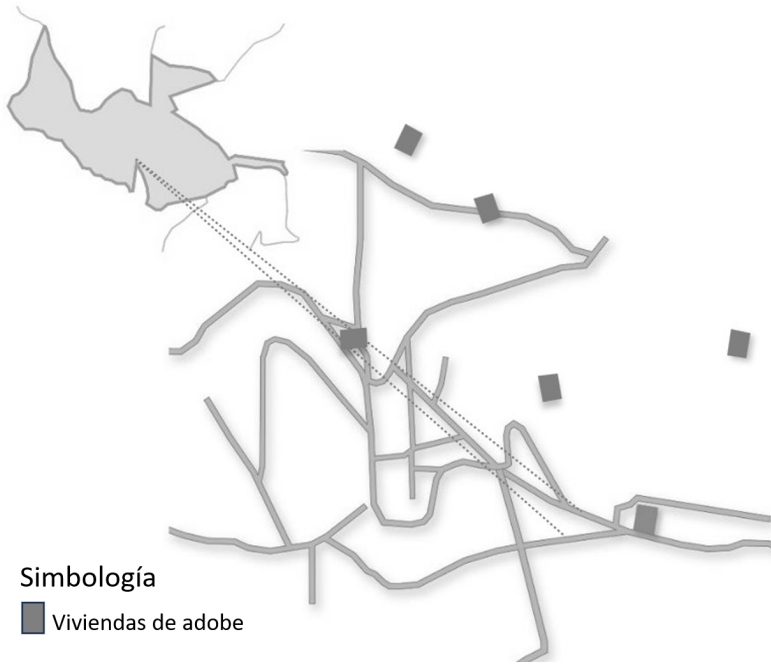
Análisis de la zona de estudio

Tipología de Vivienda

Las viviendas de adobe en la comunidad de San Miguel Chichahua se caracterizan por ser de un solo piso, con planta rectangular de 30 m² a 50 m² de área en promedio, muros longitudinales con una altura de 2.4 m a 2.7 m y muros transversales de 3 m a 3.9 m de altura. En la comunidad se pueden encontrar diversos métodos de construcción, entre los más notables se encuentran: 12 casas construidas con adobe lo que representa el 17.64 %; 30 con tabicón que representa el 44.11 %; 15 con tabique rojo, esto equivale al 22.05 %; 10 con carrizo que suma el 14.7 % y 1 con madera, es decir, el 1.47 %. La mayoría de estas viviendas tienen cubiertas de lámina con losa maciza y techumbres de tejas de asbesto; aproximadamente 10 viviendas se encuentran en estado de abandono.

Durante la elaboración de la catalogación de las construcciones de tierra en San Miguel Chichahua, logramos recuperar varias muestras de adobe en proceso de demolición o de construcción de 6 viviendas, como mostramos en la figura 1.

Figura 1. San Miguel Chichahua, Oaxaca, viviendas de adobe



Fuente: Elaboración propia.

Materiales y métodos

Caracterización y Toma de Muestras

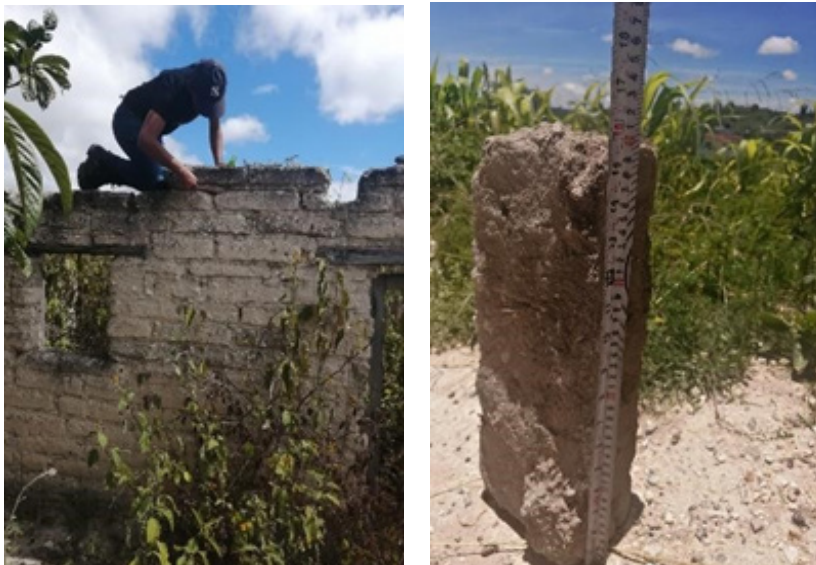
Tomamos muestras en la casa-habitación de adobes, la mayoría de estas construcciones presentaban un avanzado deterioro, nulo mantenimiento o acciones de conservación o restauración, de estas viviendas pudieron obtenerse bloques completos en buen estado.

En la investigación de campo llevamos a cabo la toma y extracción de muestras representativas del entorno, sujetas a la

disponibilidad de los habitantes. En total, se recolectaron 20 especímenes, de los cuales 13 corresponden a coronas de muros, 5 a la parte intermedia y 2 bloques a la cimentación. Además, realizamos un muestreo de un pozo a cielo abierto con una profundidad de 1.1 metros. El propósito de este muestreo fue comparar, a través del tamizado del terreno, si los adobes fueron elaborados con tierra proveniente del mismo lugar, según lo indicado por los habitantes.

Las muestras recopiladas exhiben las siguientes dimensiones: 20 cm de ancho, 15 cm de altura y 40 cm de longitud, tal como se aprecia en la figura 2.

Figura 2. Recolección y medición de muestra



Fuente: Elaboración propia

Propiedades mecánicas

Compresión

La prueba de compresión es un ensayo utilizado para determinar la resistencia de un material a fuerzas de compresión, es decir, a la aplicación de fuerzas que tienden a reducir su volumen. En esta prueba, se aplica una carga gradual y uniforme sobre una muestra del material hasta que se produce su fractura o deformación permanente. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la fuerza máxima por el área de la sección transversal original.

Figura 3. Prueba de compresión en adobe



Fuente: Elaboración propia con investigación de campo.

La caracterización mecánica incluye los ensayos de compresión simple uniaxial y de flexión directa con el método de tres puntos, como aparece en la figura 3. Los resultados de esta prueba se pueden apreciar en la tabla 1, en la cual se obtuvo una resistencia a compresión promedio de 27.26 Kg/Cm².

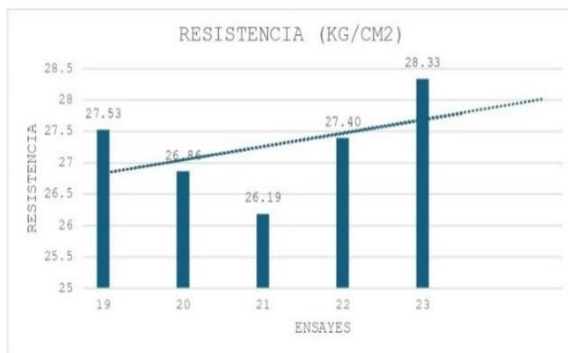
Para esta prueba utilizamos la Norma ASTM C39/C39M-12.

Tabla 1. Resultados resistencia a compresión

NO. ENSAYO	DIMENSIONES (MM)		AREA (CM ²)	CARGA (KG)	RESISTENCIA (KG/CM ²)
19	L	131	129.69	3570	27.53
	A	99			
20	L	123	141.45	3800	26.86
	A	115			
21	L	146	239.44	6270	26.19
	A	164			
22	L	146	118.26	3240	27.40
	A	81			
23	L	128	171.52	4860	28.33
	A	134			
PROMEDIO					27.26

Fuente: Elaboración propia

Figura 4: Grafica de resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Flexión

La prueba de flexión en adobe es un ensayo utilizado para evaluar la resistencia y la flexibilidad del material. En esta prueba, se aplica una carga en el centro de la muestra apoyada en dos puntos a

una distancia fija entre ellos. La muestra se flexiona bajo la carga aplicada, se mide la cantidad de deformación que experimenta y, la carga máxima que puede soportar antes de fracturarse, como mostramos en la figura 5. Para esta prueba utilizamos la Norma ASTM C78/C78M.

Figura 5. Prueba de Flexión



Fuente: Elaboración propia.

Propiedades Físicas

Granulometría

La granulometría es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, estas se expresan comúnmente en forma de curvas granulométricas para representar el porcentaje acumulado de material en función del tamaño de las partículas. Estas curvas son útiles para comprender las características del material, la distribución de tamaños, uniformidad, densidad aparente, porosidad, entre otros aspectos.

Figura 6. Tamizado de la muestra



Fuente: Elaboración propia

La granulometría en el adobe determina sus propiedades mecánicas, estabilidad y durabilidad. Una distribución adecuada de tamaños de partículas mejora su resistencia y rendimiento estructural.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS 2023), es utilizado para clasificar suelos con base en sus características y propiedades, facilitando su estudio y comprensión.

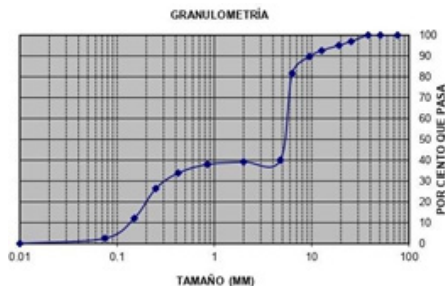
Para esta prueba usamos la Norma ASTM C136-C136M – 14, como se aprecia en la tabla 2, la muestra es una arcilla arenosa, apreciándose que carece de material granular que va entre las mallas 20 a la 40.

Tabla 2. Resultados de granulometría

Malla	FRACCIÓN QUE PASA POR LA MALLA #4				
	Peso retenido	aso ret. Co	Ret. Parcial	Ret. Acum.	Pasa
	gr	gr	%	%	%
Nº 4	0.00	0.00	0.000	60	40
Nº 10	1.57	1.57	0.763	61	39
Nº 20	2.46	2.46	1.196	62	38
Nº 40	8.57	8.57	4.166	66	34
Nº 60	15.29	15.29	7.433	74	26
Nº 100	29.46	29.46	14.321	88	12
Nº 200	19.74	19.74	9.596	98	2
Pasa Nº200	8.59	5.11	2.485	100	0
Suma	85.68	82.20	39.959	100	

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 1. Gráfica de granulometría



Fuente: Elaboración propia

Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad en un suelo se refiere a la cantidad de agua presente en relación con el peso total del suelo. El contenido de humedad en el adobe varía según la mezcla y el proceso de fabricación. Controlar este factor es crucial para asegurar la calidad y resistencia del material en construcción y este, a su vez, afecta su trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Un contenido de humedad adecuado es necesario para una correcta mezcla, compactación y secado del adobe.

Para realizar esta prueba se pesa previamente la muestra y se mete al horno a una temperatura de 105°C durante 24 hrs para su secado, como ilustramos con la figura 7 y tabla 3).

Se calcula mediante la fórmula: $W \% = (P_{sh} - P_{ss}) / P_{ss} \times 100$

Figura 7. Pesaje y secado en muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Porcentaje de humedad del horno de la muestra

Humedad de la muestra		
Capsula No.	22	Unidad
Peso h+cap.	163.06	gr
Peso s+cap.	153.58	gr
Agua	9.48	gr
Peso capsula	33.52	gr
Peso s. Seco	120.06	gr
% W	7.90	

Fuente: Elaboración propia

Peso Volumétrico

El peso unitario o peso volumétrico se define como la relación que existe entre el peso total de la muestra y el volumen total.

Figura 8. Cuarteo y pesaje de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Esta prueba en la fabricación de adobe es fundamental porque determina su resistencia y durabilidad. Un adobe con un peso adecuado garantiza una estructura sólida y estable, lo que es vital para la seguridad y longevidad de las construcciones de tierra.

Para determinar el peso volumétrico se utilizó la siguiente fórmula: $Y_m = W_m / V_m$, los resultados de la prueba se observan en la tabla 4.

Para la realización de esta prueba se respetó la Norma NMX C 507 Onncce 2019.

Tabla 4. Peso volumétrico de la muestra

Peso Volumetrico		
Peso h+Tara	17200.0	gr
Peso Tara	5131.0	gr
Peso neto	12069.0	gr
Peso corregido	11579.2	gr
Vol. Tara	9770.0	gr
Peso Vol.	1.185	kg/m³

Fuente: Elaboración propia

Densidad

La densidad es una medida de la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen, se calcula dividiendo la masa de un objeto o sustancia por su volumen. La densidad del adobe puede variar dependiendo de varios factores, como la composición de los materiales utilizados, el proceso de fabricación y la compactación.

La densidad del adobe afecta su resistencia, aislamiento, durabilidad y manejo. Controlarla garantiza estructuras seguras, estables y eficientes en construcción. Mediante la determinación de

la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo, esta prueba fue realizada siguiendo la Norma UNE-EN ISO 17892-2 y para calcularla usamos la fórmula: $p_r = M_{ps} / V_{pd}$, el resultado se aprecia en la tabla 5.

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo, esta prueba fue realizada siguiendo la Norma UNE-EN ISO 17892-2 y para calcularla utilizamos la fórmula: $p_r = M_{ps} / V_{pd}$, el resultado se aprecia en la tabla 5.

Figura 9. Prueba de densidad



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Densidad de la muestra

Densidad		
No de Ens.	24	
Cápsula	22	
Frasco No	2	
Ps + Rec.	173.26	gr
Rec.	35.94	gr
Ps.	137.32	gr
PFSW	745.80	gr
Temp.	24.00	°C
PFW	657.70	gr
Ss	2.79	gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son un conjunto de pruebas de suelo utilizadas para determinar las propiedades del suelo, particularmente su contenido de agua y plasticidad. Para estas pruebas empleamos la Norma ASTM D4318-95a.

Límite líquido

Esta prueba se emplea para determinar el contenido de agua con el cual el suelo adquiere una consistencia de lodo capaz de fluir con esfuerzos bajos.

La prueba se realiza colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco abierto con un acanalador normalizado se cierra por el efecto de golpear la cuchara sobre una base rígida, al dejarla caer desde cierta altura, la cantidad de humedad en el suelo se ajusta gradualmente hasta que la ranura se cierra a lo largo de una distancia de 12 mm (0,47 pulgadas) cuando se somete a 25 golpes estándar, según figura 10.

Figura 10. Prueba de casagrande



Fuente: Elaboración propia

El límite líquido en la fabricación de adobe determina la humedad adecuada para la mezcla, asegurando consistencia, plasticidad y previniendo contracción excesiva, lo que garantiza la calidad del producto final, en la tabla 6 se pueden observar los resultados de dicha prueba.

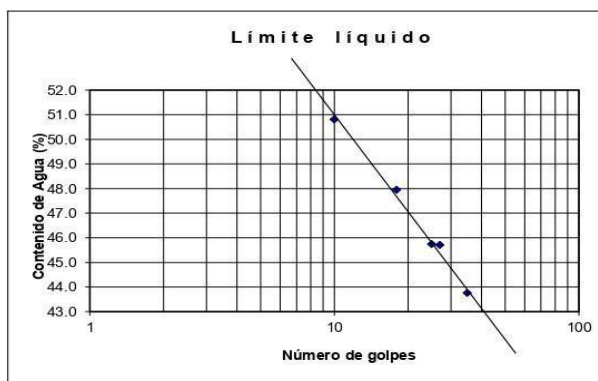
Tabla 6. Límite líquido de la muestra

Límite líquido

Prueba No.	Cápsula No.	Núm. de golpes	Peso cápsula + suelo húmedo gr	Peso cápsula + suelo seco gr	Peso del agua gr	Peso de la cápsula gr	Peso del suelo seco gr	Contenido de Agua gr
1	6	35	41.68	37.36	4.32	27.49	9.87	43.8
2	2	27	41.64	37.11	4.53	27.2	9.91	45.7
3	7	18	49.5	44.11	5.39	32.87	11.24	48.0
4	9	10	42.81	37.23	5.58	26.25	10.98	50.8
5	8	25	38.88	35.17	3.71	27.06	8.11	45.7
Límite líquido								45.70%

Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Gráfico de límite líquido



Fuente: Elaboración propia

Límite plástico

El límite plástico del suelo describe una propiedad del suelo que indica su plasticidad, esta propiedad es la humedad por encima de la cual el suelo se comporta plásticamente, es decir, puede deformarse sin romperse.

El límite plástico del suelo influye en la plasticidad de la mezcla de adobe, afectando su trabajabilidad, coherencia, estabilidad y durabilidad, fundamentales para la fabricación de adobe de calidad.

Este ensayo implica mezclar una muestra de suelo con agua y luego amasarla hasta que adquiera una consistencia uniforme. Luego, la muestra se enrolla en forma de hilo y se coloca en una superficie de vidrio. Se continúa enrollando hasta que el hilo se rompe en pedazos de aproximadamente 3 mm de diámetro. El contenido de humedad correspondiente a este punto se registra como límite plástico. Los resultados de la prueba se establecen en la tabla 7.

Tabla 7. Límite e índice plástico de la muestra

Límite plástico

Prueba No.	Cápsula No.	Peso cápsula + suelo húmedo	Peso cápsula + suelo seco	Peso del agua	Peso de la cápsula	Peso del suelo seco	Contenido de Agua
		gr	gr	gr	gr	gr	gr
1	1	33.66	32.51	1.15	27.25	5.26	21.9
2	3	35.91	34.4	1.51	27.55	6.85	22.0
3	5	37.16	35.34	1.82	27.02	8.32	21.9
Límite plástico							21.9%
Índice plástico							23.8%

Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Prueba



Fuente: Elaboración propia

Contracción lineal

La prueba de contracción lineal en tierra es un procedimiento utilizado para determinar la cantidad de contracción que experimentará un suelo al secarse. Esta contracción puede ocurrir debido a la pérdida de humedad en el suelo, lo que puede resultar en asentamientos o deformaciones en las estructuras construidas sobre él. Durante esta prueba, se compactan las muestras y se introducen en un molde rectangular, ilustrado en la figura 13.

Posteriormente, se someten las muestras a un proceso de secado controlado, durante el cual la humedad del suelo se elimina gradualmente. Se registran las variaciones en la longitud de las muestras a intervalos de tiempo específicos durante este proceso. Los resultados se observan en la tabla 8.

Figura 13. Vaciado y enrase de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Porcentaje de contracción lineal.

Contracción Lineal

Prueba No.	Barra No.	Longitud inicial	Longitud Final	Contracción lineal
		cm	cm	%
1	4	9.95	9.31	6.4
2	5	9.95	9.28	6.7
3	6	9.95	9.27	6.8
				6.6%

Fuente: Elaboración propia

La caracterización de las propiedades físico-mecánicas de la tierra es fundamental en la fabricación de adobe, ya que garantiza calidad, resistencia y durabilidad del material, lo cual es esencial para que las construcciones sean seguras y sostenibles. La presente investigación permitió realizar un mapeo de la ubicación de las viviendas de adobe en Santiago Amatlán, Oaxaca, además de conocer su estado actual y darnos cuenta de que es imperativo promover el uso de sistema constructivo en la comunidad, ya que, aunque actualmente es el material más utilizado, las estadísticas del INEGI, así como las entrevistas realizadas, revelan que se encuentra en decadencia y en un futuro podría dejar de usarse en su totalidad.

Conclusiones

Las pruebas de laboratorio realizadas nos dan una pauta importante en las características de la tierra, aunque las características actuales son la media de las propiedades del adobe, la resistencia a flexión obtenida presentó resultados dentro del rango de valores consistente en el compendio de otros trabajos de caracterización de adobes en todo el mundo (Abhilash *et al*, 2022).

La correlación entre la densidad y la resistencia es aparente, a mayor compacidad de los bloques mayor capacidad para resistir los esfuerzos. Las fibras contenido en los adobes, tienen una influencia directa en la resistencia a flexión (Costi de Castrillo; Loannow; Philokyprou, 2021).

En las pruebas para determinar la durabilidad, el comportamiento de los adobes, fue más propensos a absorber agua. Esta diferencia puede deberse a dos factores: la mayor proporción de material fino y la poca ausencia de fibras vegetales en su composición.

Las pruebas físicas nos permitieron determinar que el material que se analiza es una muestra clasificada como una arcilla arenosa con un límite líquido de 45.7 %, límite plástico de 21.9 %, índice plástico de 23.9 % y contracción lineal de 6.6 %; un peso volumétrico 1.185kg/m^3 , acusa una granulometría fina con un módulo de finura de 1.31 de material pasa la malla número 200, una densidad de 2.79 y una absorción de 7.9 %. En las pruebas mecánicas realizadas encontramos que la resistencia a la compresión de los adobes fue de 27.26 kg/cm^2 y las pruebas de flexión dieron como resultado 1.1MPa .

Es necesario una adaptación para materiales de tierra con base en la experimentación, es un enfoque primario en la obtención de las características mecánicas de los bloques, faltan las pruebas químicas para un análisis del patrimonio y la posibilidad de aplicación de las técnicas *in situ*, técnicas de caracterización química y mineralógica que permitan identificar los componentes de las arcillas.

Referencias

- Abhilash, H. N.; Hamard, E.; Beckett, C. T.; Morel, J.-C.; Varum, H.; Silveira, D.; Illampas, R. (2022). Chapter 4. Mechanical behaviour of earth building materials. En A. Fabbri, J.-C. Morel, J.-E. Aubert, Q. B. Bui, D. Gallipoli, & B. V. Venkatarama Reddy (Eds.), *Testing and Characterization of Earth-based Building Materials* (p. 127-180). Springer. doi:10.1007/978-3-030-83297-1_4
- Beckett, C. S.; Jaquin, P. A.; Morel, J.-C. (2020). Weathering the storm: A framework to assess the resistance of earthen structures to water damage.
- Construction and Building Materials, 242(118098). doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118098
- CONEVAL. (2018). Principales retos en el ejercicio del derecho a la vivienda digna y decorosa. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/Documents/Derechos_Sociales/Dosieres_Derechos_Sociales/Retos_Derecho_Vivienda.pdf
- Costi de Castrillo, M.; Ioannou, I.; Philokyprou, M. (2021). Reproduction of traditional adobes using varying percentage contents of straw and sawdust. *Construction and Building Materials*, 294(123516). doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123516.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2023). *Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social. Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social 2023 | Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social | Gobierno | gov.mx*
- Guerrero Baca (2007). *Arquitectura en tierra, hacia la recuperación de una cultura constructiva*, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México

- Houben & Guillaud, (1994), Structural Behaviour and Retrofitting of Adobe Masonry Buildings
- INEGI. (2022). Compendio de información geográfica municipal, San Miguel Chichahua Oaxaca. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20264.pdf
- Norma E.080 (2017), Diseño y construcción con tierra reforzada, Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento de Perú.
- Norma NMX-C-416-ONNCCE-2015. Muestreo en estructura terreas y métodos de prueba.
- Norma ASTM C78/C78M. Standard Test Method for Flexural Strength.
- Norma ASTM C136-C136M – 14. Método de prueba estándar para análisis granulométrico por tamizado de agregados finos y gruesos
- Norma ASTM D2974-20e1. Standard test methods for determining the water (moisture) content, ash content, and organic material of peat and other organic soils.
- Norma NMX C 507 Onncce 2019. Determinación de la masa volumétrica seca del lugar y grado de compactación de materiales térreos.
- Norma ASTM D4318-95^a. Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos
- Parracha, J.L.; Lima, J.; Freire, M. T.; Ferreira, M.; Faria, P. (2021). Vernacular earthen buildings from Leiria, Portugal – material characterization. *International Journal of Architectural Heritage*, 15(9), pp. 1285–1300. doi:10.1080/15583058.2019.1668986.
- Silva, A., Oliveira, I., Silva, V., Mirão, J., & Faria, P. (2022). Vernacular Caramel's Adobe Masonry Dwellings – Material Characterization. *International Journal of Architectural Heritage*, 16(1), 67–84. <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1751343>

Capítulo IV

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA LOSA NO CONVENCIONAL PARA LA PRODUCCIÓN SOCIAL DE LA VIVIENDA EN CHIAPAS

RUBER TRUJILLO SAMAYOA¹

RAÚL PÁVEL RUÍZ TORRES²

LUIS AARON GARCÍA SOLORZANO³

LUIS CARLOS HERRERA SOSA⁴

Resumen

El techo es el componente de la envolvente más complejo de resolver, por las exigencias estructurales, de aislamiento térmico, impermeabilidad y materiales inocuos. Atendiendo esta complejidad, el objetivo de este trabajo es determinar la conductividad

¹ Docente y jefe del área de Posgrado en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la Autónoma de Chiapas, ruber.trujillo@unach.mx <https://orcid.org/0000-0002-8406-3011>.

² Docente de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Autónoma de Chiapas, raul.ruiz@unach.mx <https://orcid.org/0000-0001-5707-0411>.

³ Docente del Tecnológico Nacional de México, Campus Colima, luis.garcia@colima.tecnm.mx <https://orcid.org/0000-0002-8130-0317>.

⁴ Docente del Departamento de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, carlos.herrera@uacj.mx <https://orcid.org/0000-0002-7663-200X>.

térmica de la losa térmica para la producción social de la vivienda en Chiapas, con el apoyo de la ASTM C177, Estándar, Método de Ensaye para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica a través del aparato de placa caliente con guarda, para aumentar su nivel de madurez a Technology Readiness Level (TRL) 4. El trabajo se realizó apoyándose en la ASTM C177, Estándar, Método de Ensaye para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica a través del aparato de placa caliente con guarda.

El valor máximo obtenido en los ensayos es de 0.7338 y el mínimo es de 0.3217, por lo que el promedio general es de 0.5 W/mK. Este valor se ubica entre los valores del concreto celular y el de mortero cemento arena.

La losa térmica es una tecnología no convencional que, por sus propiedades y características, tiene aislamiento térmico, reduce el uso de cimbra, impacta en los materiales y la mano de obra, promueve el crecimiento progresivo, porque por los elementos que lo componen, el techo puede construirse por partes y en procesos de autoconstrucción, por lo que puede usarse en la Producción Social de Vivienda y el Hábitat (PSVyH).

Palabras clave: Losa Térmica, tecnología no convencional, conductividad térmica, producción social de vivienda.

Introducción

En México, la producción social de vivienda y el hábitat (PSVyH) ha producido más de la mitad de las viviendas y en Latinoamérica. La PSVyH representa la principal solución frente a un escenario donde los gobiernos no han podido crear las condiciones institucionales para que todos los sectores de la sociedad tengan acceso de forma plena a la vivienda (Kunz y Espinosa, 2017).

Por otro lado, actualmente la humanidad se encuentra frente a un paradigma de que, si no usa responsablemente los recursos, su

sobrevivencia en el planeta tierra está seriamente comprometida. En este sentido, en la arquitectura sustentable y, en particular, en la vivienda sustentable, es necesario que los sistemas constructivos contemplen, confort térmico, confort acústico, reducción de desperdicios en la construcción y vida útil, modulación, prefabricación, resistencia estructural, uso de materiales locales, reducción del uso de cimbra, crecimiento progresivo, sencillez en la construcción, cumplimiento normativo, (Trujillo et al., 2015), (Gilboa, 1999) y en la producción social de vivienda y el hábitat (PSVyH) estas características son indispensables.

Para la evaluación de las Tecnologías es muy importante la experiencia de los académicos de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de la República de Uruguay (UDELAR), quienes exponen que las tecnologías para construir vivienda, es importante evaluarlas para que esto permita a autoridades, técnicos y usuarios comparar diferentes soluciones para la vivienda, a efecto de optar por aquellas que resulten más adecuadas desde el punto de vista social, económico y físico: ellos desarrollaron un modelo de evaluación que permite evaluar en dos momentos, preocupación y pos ocupación. El sistema de evaluación de la UDELAR contempla aspectos físicos, económicos y sociales, con su correspondiente desglose en cada uno de esos aspectos (Gilboa, 1999).

Por otro lado, también Technology Readiness Level (TRL) en el concierto contemporáneo global, se ha convertido en una herramienta muy importante para los productos tecnológicos operacionales y terminados, transferidos exitosamente a la sociedad porque son muy importantes los nuevos retos multidisciplinares y transdisciplinares hacia el desarrollo de tecnología madura, útil, competitiva, de calidad confirmada mediante normatividad e inmediatamente aplicable, de forma general y en la vivienda, la madurez de la tecnología desarrollada en el contexto local, cobra especial importancia (Ocampo, 2021).

El TRL consta de 9 niveles, el último es el de máxima madurez tecnológica. De esta forma, de los niveles 1 al 3 es entorno de

laboratorio y en esta fase está la invención y validación del concepto, mientras que el 4 es una prueba de laboratorio; del 4 al 6 se ubica validación en condiciones cercanas a las reales. Mientras que de los niveles 7 al 9, es en un entorno real; el 9 significa expansión de mercado. El TRL posibilita la madurez de la tecnología y es deseable que las tecnologías alcancen el nivel 9, donde se encuentran comercializando y con producción consistente con el consecuente fortalecimiento en el camino hacia La Investigación y Desarrollo más Diseño (I&D+D), (CONAHCYT, 2015).

En la revisión del estado del arte, encontramos lo siguiente. En un trabajo en Yucatán, México, se determinó el valor de conductividad de los materiales en polvo a través de la medición de diferencia en temperatura que se genera entre las paredes de la muestra y usando la Ley de Fourier para la conducción de calor. En el caso de estudio, los polvos originarios de Yucatán obtuvieron valores de conductividad térmica, que oscilaron entre 0.040 y 0.085 W/m °C, siendo el yeso el material con menor conductividad térmica (Mena-Novelo *et al.*, 2015).

En otro estudio en el caribe mexicano, la transferencia de calor en sistemas de vigueta y bovedilla es menor que en los sistemas de capas homogéneas, en el techo de concreto armado se alcanzan temperaturas superiores a los 40°C después de las 15:00 horas (Bojorquez *et al.*, 2010).

La conductividad térmica de la madera se ve afectada por distintos factores, como la densidad, el contenido de humedad y la temperatura; la conductividad térmica de esta sustancia aumentó en aproximadamente un 2-3 % por cada 10°C de temperatura. Para niveles de humedad inferiores al 25 %, se puede calcular la conductividad térmica a través del grano utilizando una ecuación lineal: $\lambda = \rho / 1000 * (B + C * H) + A$ (Pacheco y Junco, 2006).

En un estudio con las menas lateríticas (níquel) realizado a través del método transitorio conocido como Hot Ball (HB) y su respectivo modelo matemático, permite obtener valores de conductividad térmica en función de la temperatura, lo que ofrece suficiente

exactitud en un rango de temperatura que va de los 40°C a 70°C (Zalazar, *et al.*, 2019).

Se diseñó un prototipo basado en el principio de la placa caliente con guarda, el cual cumple su funcionamiento y destaca por ser fácil de construir y accesible económicamente. Este permite cuantificar la conductividad y la difusividad térmica de placas de los materiales de construcción, estos parámetros se calcularon a partir de valores experimentales realizados en régimen estacionario (Pérez, Centeno y Lazcano, 2002). Es importante realizar este trabajo por los elementos que se exponen a continuación.

La losa térmica, al tener valores bajos de conductividad térmica, mejora las condiciones del espacio interior de las viviendas para beneficio de las personas usuarias, o sea de la sociedad (Trujillo, 2017). La losa térmica requiere menos recurso energético para climatización y hace uso eficiente de los recursos durante la construcción lo que impacta de forma positiva en el ambiente. Alineado con lo anterior, el recurso que no se usa, no se cobra y esto impacta de manera favorable en la economía.

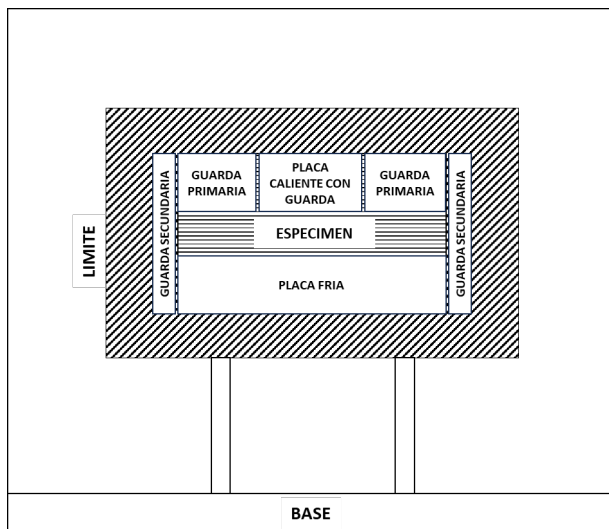
Por los argumentos expuestos, se justifica determinar la Conductividad Térmica de la Losa Térmica para la Producción Social de Vivienda en Chiapas, para aumentar su nivel de madurez a Technology Readiness Level (TRL) nivel 4.

Metodología

Los ensayos se realizaron atendiendo lo que indica la ASTM C177, (ASTM, 1997), estándar, método de ensaye para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica a través del aparato de placa caliente con guarda; las mediciones se hicieron con el aparato de placa caliente con guarda, usando un flujo vertical desde la placa caliente con guarda hasta la placa fría, (Ruiz, Castañeda y Trujillo, 2016), pasando por el espécimen sólido opaco; de acuerdo con la segunda Ley de la Termodinámica en una pared el calor fluye desde un extremo con

temperatura más alta hasta el otro extremo con temperatura más baja, hasta alcanzar el equilibrio. Para determinar la conductividad térmica se usó la ecuación dada por la Ley de Fourier que dice que el flujo de calor $q = T1 - T2 / (\Delta X / kA)$.

Figura 1. Aparato de placa Caliente con Guarda.



Fuente: (ASTM, 1997), (Ruiz Torres et al., 2016).

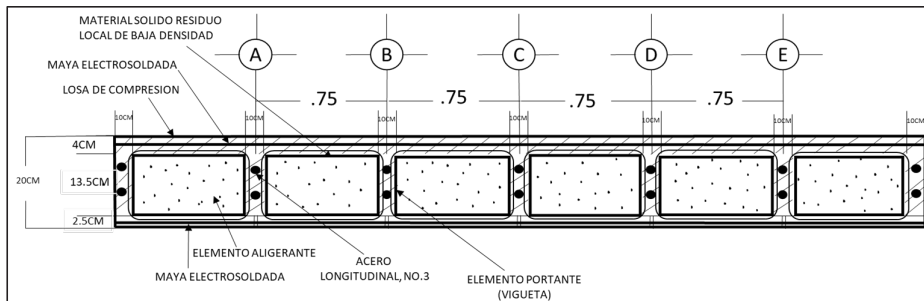
De acuerdo con la figura 1, como indica la ASTM C177, el aparato de placa caliente con guarda tiene tres componentes principales, placa caliente con guarda, placa fría y dos guardas secundarias. El espécimen se coloca en el centro de los tres componentes. De acuerdo con el desarrollo de Ruiz *et al* (2016) la placa caliente es una placa cuadrada de 20x20 cm, con una resistencia y una guarda perimetral de 5 cm de ancho, por lo que toda la placa mide 30x30 cm; la placa fría es un serpentín con tubo de cobre y el fluido es enfriado a 22° C por un baño térmico que pone al fluido a la temperatura indicada y también bombea para provocar el flujo del fluido. Se ensayaron cinco especímenes con una sección de la

losa térmica. Dicha sección se ajustó a dimensiones de 30x30 cm y el espesor total del sistema constructivo de 20 cm. Toda vez que son las dimensiones que permite el equipo de medición.

Descripción del sistema constructivo

Como se observa en la figura 2, a continuación, describimos los tres elementos principales que tiene la losa térmica, desarrollada por Castañeda, Arguello y Vecchia (2010) y, a su vez, son indicados por la NMX-C-406-1997-ONNCCE, Industria de la construcción-sistemas de vigueta y bovedilla y componentes prefabricados similares para losas especificaciones y métodos de prueba (ONNCCE, 1997).

Figura 2. Sección de la Losa Térmica donde se identifican los elementos de acuerdo con NMX-C-406-1997-ONNCCE.



Fuente: (ONNCCE,1997)

1. Losa de compresión (capa).

Es un concreto colado en obra con el acero de refuerzo requerido y cuya función estructural es integrar y dar continuidad al sistema, este elemento evita la entrada de agua al interior y absorbe esfuerzos por los cambios provocados por las variaciones de temperatura provocadas principalmente por la radiación del sol, esta capa es de concreto con una resistencia a la compresión de 200 kg/cm² y está reforzada con malla electrosoldada 6.6/10.10.

2. *Componente portante (vigüeta)*

Es una vigüeta, banda o placa de sección constante prefabricada de concreto reforzado o preesforzado, para resistir la flexión del sistema de losa. Esta vigüeta es de concreto con una resistencia a la compresión de 200 kg/cm^2 , reforzada con acero longitudinal número 3 y por estribo tiene las dos barbas en forma de U de malla electrosoldada 6.6/10.10. de las placas inferiores.

3. *Bovedilla o componente aligerante estructuralmente no resistente*

Es un componente aligerante de relleno colocado en las secciones de la losa, está fabricado de materiales con densidad inferior a la del concreto, tales como: concreto ligero, cerámica, poliestireno, cartón o cualquier otro material que disminuya el peso, incluyendo la cimbra de módulo recuperable, (ONNCCE, 1997). Este componente se consigue con residuos locales de baja densidad, comúnmente se encuentran en el medio local, residuos agrícolas como cáscara de coco, Cañamaíz, pastura en paca, aserrín, viruta e incluso botellas de Pet que ya tuvieron su primer uso (Trujillo, 2011).

Figura 3. Imágenes de los componentes de la losa térmica.



Fuente: (Trujillo, 2011).

Como mostramos en la figura 3, en la parte 1, el componente portante (vigüeta) de concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con acero longitudinal número 3 y barbas de la malla electrosoldada

6.6/10.10 que se aprovecha como estribo, en la parte 2 se muestra el componente aligerante (Bovedilla) con residuos locales de baja densidad; en la parte 3, se muestra la losa de compresión de concreto de $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con malla electrosoldada 6.6/10.10.

Figura 4. Sección de la losa térmica.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se observa una sección de la losa térmica que se adecua a las dimensiones que recibe el aparato de placa caliente con guarda para medir conductividad térmica de materiales sólidos y siguiendo el procedimiento que indica la ASTM C177, Estándar, Método de Ensaye para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica a través del aparato de placa caliente con guarda (ASTM, 1997).

Valores de Referencia

Se incluyen en este trabajo a partir de las mediciones de (González, 1997), valores de conductividad térmica de diferentes materiales sólidos que se emplean en la construcción y edificación.

Tabla 1. Valores de conductividad térmica de materiales sólidos

	Material	λ	ρ	Cp	a	b
		W/mK	kg/m3	J/kgK	m2/s	J/m2k/s
1	Poliuretano	0.026	30	1400	6,19E-7	3,30E+1
2	Aire	0.026	1.223	1063	2,02E-5	5,85E+0
3	Poliestireno	0.035	50	1675	4,18E-7	5,41E+1
4	Espuma Fenolica	0.038	30	1400	9,05E-7	3,99E+1
5	Lana de vidrio	0.041	200	656	3,13E-7	7,33E+1
6	Corcho comprimido	0.085	540	2000	7,87E-8	3,03E+2
7	Mortero de cemento	0.090	1920	669	7,01E-8	3,40E+2
8	Madera de construcción	0.130	630	1360	1,52E-7	3,34E+2
9	Madera de pino	0.148	640	2512	9,19E-8	4,87E+2
10	Madera pesada	0.200	700	1250	2,29E-7	4,18E+2
11	Concreto celular	0.220	600	880	4,17E-7	3,41E+2
12	Tierra con paja	0.300	400	900	8,33E-7	3,29E+2
13	Concreto celular	0.330	800	880	4,69E-7	4,82E+2
14	Yeso	0.488	1440	837	4,05E-7	7,67E+2
15	Mortero cemento/arena	0.530	1570	1000	3,38E-7	9,12E+2
16	Agua	0.582	1000	4187	1,39E-7	1,56E+3
17	Ladrillos de Arcilla	0.814	1800	921	4,91E-7	1,16E+3
18	Tierra muro portante	0.850	2000	900	4,72E-7	1,24E+3
19	Vidrio plano	1.160	2490	830	5,61E-7	1,55E+3
20	Arcilla	1.279	1460	879	9,97E-7	1,28E+3
21	Piedra arenisca	1.300	2000	712	9,13E-7	1,36E+3
22	Concreto pesado	1.750	2300	920	8,27E-7	1,92E+3
23	Piedra	1.861	2250	712	1,16E-6	1,73E+3
24	Mármol	2.900	2590	800	1,40E-6	2,45E+3
25	Granito	3.500	2500	754	1,86E-6	2,57E+3
26	Acero	50	7800	512	1,25E-5	1,41E+4
27	Aluminio	160	2800	896	6,38E-5	2,00E+4
28	Cobre	389	8900	385	1,13E-4	3,65E+4

Fuente: (González, 1997).

Como indicamos en la tabla 1, de los materiales sólidos que se usan en la construcción y edificación de vivienda, existen los materiales estructurales resistentes de alta densidad y de alta conductividad y también existen los materiales de baja densidad y conductividad y baja resistencia estructural, pero tienen la propiedad de aislamiento o inercia térmicos y conviene para los diferentes climas existentes en el planeta tierra. En este trabajo, se usan las dos primeras columnas de la tabla, conductividad térmica y densidad, dadas en W/mK y Kg/m^3 , respectivamente.

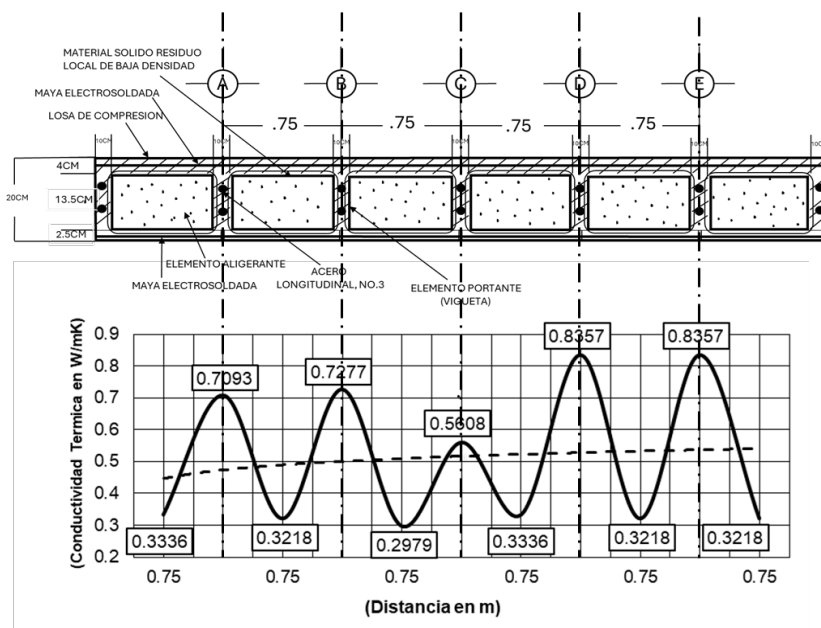
En la producción agrícola de Chiapas, con 1,357,045 hectáreas sembradas en 2023, corresponde al 18.2 % del territorio estatal, distribuidos en las diferentes regiones que conforman el estado, destaca la producción de maíz, frijol, café cereza, palma africana o de aceite, cacao, plátano, papaya, caña de azúcar, mango, aguacate, pastos y praderas, tomate rojo, jitomate (CEIEG, 2024)

Toda la producción agrícola produce desechos o residuos naturales que se integran de nuevo al suelo proporcionándole sus nutrientes. La totalidad de estos residuos agrícolas son materiales naturales de baja densidad que tienen propiedades potencialmente para usarse en la edificación y construcción de viviendas como aislantes térmicos, acústicos y de bajo peso, propiedad que es dada por su baja densidad, (González, 1997). Con esa abundancia de materiales naturales y considerando que la cantidad de residuos siempre es mayor a la producción, Chiapas tiene en los materiales naturales una riqueza mayúscula en la cantidad y diferentes opciones donde ninguna región se queda sin opción a usar algún material natural derivado de la producción local, para usarse como aislantes térmicos y acústicos en la vivienda. En este contexto, la losa térmica, que utiliza como relleno materiales aislantes, tiene abasto en los insumos que se usan para su fabricación.

Resultados

Presentamos los resultados de conductividad térmica que obtuvimos, según las mediciones de los cinco especímenes en el aparato de placa caliente con guarda.

Figura 5. Valores de conductividad térmica



Fuente: Elaboración propia a partir de lo determinado con (ASTM, 1997).

1. Resultados en los materiales de alta densidad (soporte estructural)
 - a. Losa de compresión (capa)

De acuerdo con la figura 5, esta capa conduce calor de forma importante, toda vez que es de concreto reforzado y este, a su vez, conduce mucho calor debido a que el concreto es un material denso.

b. Componente portante (vigüeta)

El componente portante (vigüeta) es el principal puente térmico y principal responsable del paso de calor en el sistema constructivo, como se muestra en la figura 5, por lo que los valores de conductividad térmica más altos, la cresta, se registran en los ejes de las vigüetas, en los 5 ensayos en los puentes térmicos, el valor más alto es 0.8357 y el más bajo es 0.5608 y el promedio de estos valores en los puentes térmicos es de 0.7338, valores dados en W/mK.

2. Resultados en los Materiales de baja densidad (materiales aislantes).

c. *Bovedilla o componente aligerante estructuralmente no resistente*

Como se observa en la figura 5, en los lugares donde se ubica la Bovedilla o componente aligerante estructuralmente no resistente, es donde se registran los valores de conductividad térmica más bajos en el sistema constructivo, en los 5 ensayos, el valor más alto registrado es de 0.3336 en tanto que el más bajo es 0.2979 y el promedio es de 0.32175, valores dados en W/mK.

3. Equilibrio en el sistema

La losa de compresión y los componentes portantes (vigüetas) son necesarios para la resistencia estructural del sistema y por las propiedades de sus materiales, sin embargo, por esas propiedades, era de esperarse que los valores se registraran altos.

Por su parte, los valores en las bovedillas o componente aligerante son bajos, por los valores bajos de densidad que se muestran en la tabla 1.

Tomando en cuenta los valores altos y los bajos del sistema, el calor que reciben las personas usuarias de las viviendas es equilibrada y se representa por la línea de tendencia discontinua 1, en la figura 5.

Conclusiones

Esta tecnología para techos se presenta muy conveniente porque atiende favorablemente el aislamiento térmico, confort acústico, reducción de desperdicios en la construcción y vida útil, impermeabilidad y materiales inocuos, modulación, prefabricación, resistencia estructural, uso de materiales locales, reducción del uso de cimbra, crecimiento progresivo, sencillez en la construcción, cumplimiento normativo (Lorenzo, 2005), (ONNCCE, 1997), sencillez que lo hace muy conveniente para usarse en procesos de autoconstrucción.

Los valores de conductividad térmica más altos del sistema constructivo estuvieron donde están los materiales más densos y estructuralmente resistentes, las viguetas y la losa de compresión. Los valores de conductividad térmica más bajos del sistema constructivo estuvieron donde están los materiales de baja densidad que no cumplen ninguna función estructural, su función es netamente de aislante térmico (González, 1997). El equilibrio térmico que se logra en el sistema constructivo y que mencionamos en los resultados en beneficio de los usuarios de este sistema de techo, son muy interesantes toda vez que significan posibilidades tangibles para el uso masivo de esta tecnología.

Con esta validación en pruebas de laboratorio, el desarrollo tecnológico llamado losa térmica, alcanza el nivel de madurez TRL 4, avanzando hacia el máximo nivel de madurez deseable de la escala de madurez tecnológica y también avanza cumplimentando en los aspectos Físicos, que indica el sistema de evaluación de la UDELAR, (Gilboa de Reverdito, 1999).

Por lo que expusimos anteriormente, la losa térmica es muy conveniente para su uso en la Producción Social de Vivienda y el Hábitat (PSVyH), con procesos de diseño participativo, toda vez que contempla aspectos importantes que todo techo debe resolver, aun cuando son complejos, también por los valores muy convenientes de conductividad térmica, promueve la comodidad

térmica de las personas usuarias de las viviendas, además de que fortalece la actividad I&D+D, como actividad creativa, muy necesaria para que México se ubique entre los países cuya economía se basa en el desarrollo tecnológico e innovación de la tecnología.

Con el estudio realizado, se fortalece la comprobación del confort térmico que brinda la losa térmica, sistema constructivo que además contempla confort térmico, confort acústico, modulación, prefabricación, resistencia estructural, uso de materiales locales, reducción de uso de cimbra, crecimiento progresivo, sencillez en la construcción, cumplimiento normativo, reducción de desperdicios en la construcción y vida útil (Trujillo, Rangel y Castañeda, 2015).

La determinación de la conductividad térmica proporciona información valiosa y se suma a la información que fortalece la toma de mejores decisiones por parte de las autoridades y técnicos sobre las tecnologías que conviene usar en la construcción de vivienda (Gilboa, 1999).

Con los resultados de la conductividad térmica la losa térmica fortalece su posicionamiento con el cumplimiento del Technology Readiness Level (TRL) 4, avanzando hacia el TRL 9, con comercialización y producción consistente y atendiendo la necesidad de la madurez de la tecnología para convertirla en útil, competitiva, de calidad, confirmada mediante normatividad e inmediatamente aplicable en la vivienda, misma que por ser de origen local, es significativamente más importante (Ocampo, 2021).

Referencias

- ASTM International. (1997). Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus (ASTM C177-97).
- Castañeda Nolasco, G., Argüello Mendez, T., & Vecchia, F. (2010). Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda en Tuxtla Gutierrez, Chiapas, México. *Revista de la Construcción*, pp. 81-88.
- CEIEG (2024). Chiapas: Información agrícola 2023. Gobierno del Estado de Chiapas. <https://www.ceieg.chiapas.gob.mx/>
- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (2015). Niveles de madurez de la tecnología: Technology readiness levels (TRLs). <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>
- Gilboa de Reverdito, F. (1999). *La Vivienda Social/Evaluación de Programas y Tecnologías*. Montevideo: Universidad de la República.
- González Cruz, E. (1997). Selección de Materiales en la Concepción Arquitectónica Bioclimática. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar*, pp.1-20.
- Kunz Bolaños, I., & Espinosa Flores, A. (2017). Elementos de Éxito en la Producción Social de la Vivienda en México. *Economía, Sociedad y Territorio*, 683-707. doi:10.22136/est2017875
- Lorenzo Gálligo, P. (2005). *Un techo para vivir: Tecnologías para viviendas de producción social en América Latina*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Mena-Novelo, W. D., Un-Aragón, R., Corona, J., Romero, M., & Oliva, A. (2015). Determinación de la conductividad térmica de materiales en polvo de la Península de Yucatán. *Ingeniería*, 19(2), 102-109.

- Ocampo Ruiz, E. (2021). Visión de futuro y metodología para la producción moderna de nuevo conocimiento tecnológico en los posgrados de diseño industrial en México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 16(30), 122–131. <https://doi.org/10.36677/legado.v16i30.17446>
- ONNCCE. (1997). Norma Mexicana NMX -C-406-1997-ONNCCE “Industria de la Construcción - Sistemas de Vigueta y Bovedilla y Componentes Prefabricados Similares para Losas - Especificaciones y Metodos de Prueba. Ciudad de México: ONNCCE Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
- Ojorquez, I., Castillo, S., Flores, F., & Hernández, J. (2010). Criterios para el diseño térmico de techumbres en climas cálido-húmedos, a partir de materiales locales. *Palapa*, 5(11), 27–38. <https://www.redalyc.org/pdf/948/94820991004.pdf>
- Pacheco Bertot, P., & Juliá Junco, E. (2006). SECADO DE LA MADERA. CALENTAMIENTO A CONDUCCIÓN TRANSITORIA. *Tecnología Química*, XXVI(1), 26-32.
- Pérez Sánchez, M., Centeno Lara, R., & Lazcano Serrano, F. (2002). Desarrollo de un prototipo para la caracterización térmica de los materiales de construcción regionales. *Ingeniería*, 6(2), 13–22. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760202.pdf>
- Ruiz Torres, R., Castañeda Nolasco, G., & Trujillo Samayoa, R. (2016). Equipo para medir la conductividad térmica de materiales de construcción: Placa caliente y caja caliente con guarda. En *Simposio de Metrología* (pp. 1-2). Centro Nacional de Metrología. <https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1844.pdf>
- Trujillo Samayoa, R. (2011). Evaluación técnico constructiva de techo para vivienda en clima cálido subhúmedo [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio Institucional UNACH. http://148.222.32.3/F/LPUXEP6THA9YQHMJ1QQ6QJ97J7A467YFI9VFTVSAETQJITHKVA-01864?func=full-set-set&set_number=002749&set_entry=000032&format=999

- Trujillo Samayoa, R. (2017). Eficiencia energética en las edificaciones en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, usando techos verdes (TV) [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Chiapas]. Repositorio Institucional UNACH. <https://repositorio.unach.mx/jspui/handle/123456789/3076>
- Trujillo Samayoa, R., Rangel Martínez, Y., & Castañeda Nolasco, G. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, 7(15), 577-596. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203342741031>
- Zalazar-Oliva, C., Góngora-Leyva, E., Retirado-Mediaceja, Y., & Sánchez-Escalona, A. A. (2019). Determinación de la conductividad térmica de menas lateríticas a partir del método de Hot-Ball. *Minería y Geología*, 35(4), 419-429.

Capítulo V

BIOPOLIURETANO COMO MATERIAL NO CONVENCIONAL PARA EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA

EDER ARMANDO CABALLERO MORENO¹

DILAN SAÚL HERNÁNDEZ MIGUEL²

ROCÍO MEZA GORDILLO³

RAÚL PÁVEL RUÍZ TORRES⁴

Resumen

Como consecuencia del aumento poblacional y la creciente demanda de bienes y servicios, cada vez se requieren mayores niveles de energía en el mundo. Ante el inevitable agotamiento de las reservas de petróleo, surge la necesidad de aprovechar, de forma más eficiente, la energía disponible. Uno

¹ Maestrante en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, eder.caballero01@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-4776-4577>

² Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, dilansaulhemi@gmail.com Orcid 0009-0007-5618-7555.

³ Profesor Investigador del Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx Orcid 0000-0002-3975-7372.

⁴ Integrante del Cuerpo Académico "Componentes y Condicionantes de la Vivienda" de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Autónoma de Chiapas, raul.ruiz@unach.mx Orcid 0000-0001-5707-0411

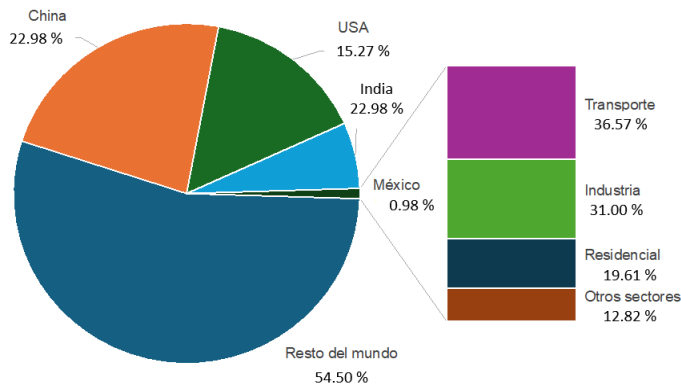
de los sectores de mayor demanda energética en México, corresponde al residencial, en el que una de las estrategias más atractivas corresponde al aislamiento térmico de la envolvente, como mecanismo para reducir la ganancia térmica y para promover un menor consumo energético en enfriamiento de espacios y mayor confort térmico de los usuarios. Sin embargo, los aislantes térmicos usados actualmente derivan del petróleo en su gran mayoría, conservando un carácter no renovable y siendo poco susceptible a la degradación por microorganismos, lo cual se traduce en contaminación ambiental. En este trabajo presentamos una revisión de los aspectos técnicos relacionados con la química del poliuretano, los procesos de biodegradación, las síntesis de poliuretanos obtenidos de monómeros de base biológica y sus propiedades fisicoquímicas evaluados como aislantes térmicos, en contraste con los materiales convencionales.

Palabras clave: poliuretanos, aislamiento térmico y materiales bio-basados

Introducción

De acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2022 (SENER), en el 2021, el consumo mundial de energía correspondió a 422,117.52 PJ, con un crecimiento promedio de 1.8 %, en el período 2000-2021, y un incremento de 5.0 % respecto al año 2020 (IEA, 2023). México por su parte, reportó un consumo energético de 4127.40 PJ para el año 2021, ocupó el decimoctavo lugar a nivel mundial, con el 0.98 % del total. El consumo de energía a nivel nacional se ha incrementado en promedio en 0.3 % en el período 2000-2021 (IEA, 2023). La figura 1 muestra la distribución del consumo energético mundial y la aportación por sectores a nivel nacional, destaca el sector residencial porque aporta el 19.6 % del total nacional.

Figura 1. Distribución del consumo mundial y nacional de energía (2021)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de SENER (2022).

En el análisis un indicador sobresaliente es el índice de independencia energética (IIE), que mide el grado en que la demanda energética de un país es cubierta con producción nacional. México, para el año 2022, reportó un IIE equivalente a 0.71 %, lo que indica que el país no logró satisfacer su demanda energética con producción propia, habiendo sido necesario importar el 29 % del consumo nacional, es decir, cerca de 1197 PJ (SENER, 2022). Ante este panorama, surgen dos posibles escenarios: el primero está relacionado con el aumento de los niveles de generación de energía, sin embargo, al considerar que la matriz energética de México únicamente reporta una participación del 10.00 % de energías renovables (SENER, 2022), directamente este escenario implica el uso de mayor cantidad de recursos no renovables, como petróleo crudo, petrolíferos y gas natural.

El segundo escenario plantea la utilización más eficiente de los niveles de energía actualmente disponibles, de tal forma que se reduzca la demanda y consecuentemente mejore el IIE.

Así bien, la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía define la eficiencia energética como “todas las acciones

que conlleven a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía. [...]” (DOF,2008).

A partir de la definición anterior, es posible considerar un conjunto de medidas, estrategias, tecnologías, prácticas, iniciativas, programas, entre otros, que, una vez implementados en los sectores que reportan mayor consumo de energía, permitirán reducir estos valores, promoviendo la independencia energética. Particularmente, el sector residencial en México demanda un nivel de energía superior a los 809 PJ, para satisfacer necesidades básicas como cocción, iluminación, refrigeración de alimentos, calentamiento de agua, confort térmico y entretenimiento. Del total de energía demandada por este sector, el 76 % equivale a energía térmica, principalmente cocción y el 24 % restante a energía eléctrica; el enfriamiento de espacios representa el 30 %, es decir, el 7.2 % del total de energía demandada en el sector residencial (Contreras *et al.*, 2022), equivalente a 58 PJ.

Figura 2. Distribución del consumo de energía en la vivienda en México.



Fuente: Elaboración propia con información de Contreras *et al.* (2022).

Dentro de las acciones enmarcadas en la eficiencia energética, para el sector residencial destaca el aislamiento térmico de la envolvente, a partir de la implementación de materiales aislantes que pueden ser definidos como aquellos que presentan una elevada resistencia a la transferencia de calor, reduciendo su conducción a la cara opuesta y para protegerse tanto del frío como del calor (Palomo, 2017) y, consecuentemente, permiten no solo reducir la carga energética de la vivienda empleada para climatización de áreas, sino contribuir al confort de los usuarios de la misma, impactando positivamente en factores como su salud y bienestar (Wernery *et al.*, 2021).

Dentro de los aislantes térmicos más usados en el sector residencial, destacan los de tipo sintético orgánico, principalmente poliestireno expandido (EPS), poliestireno extruido (XPS) y espumas de poliuretano (PU), quienes comparten similitudes con materiales plásticos que también derivan de insumos petroquímicos. Pese a que cuentan con un adecuado desempeño desde el punto de vista térmico y mecánico, su origen como derivados petroquímicos les otorga una naturaleza no renovable y esencialmente no biodegradable (Ma *et al.*, 2022), por lo que los residuos generados durante su implementación y posterior a su vida útil, implican serios problemas de contaminación ambiental.

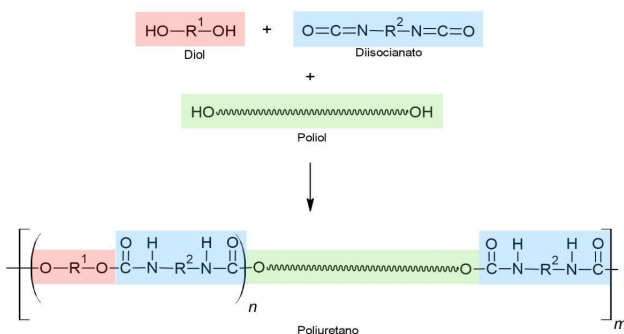
Poliuretano

El poliuretano (PU) es el sexto material plástico con mayor producción a nivel mundial, con un 7.7 % de la producción total, reportando tasas de hasta 24.7 millones de toneladas en 2021, en donde el 79 % es desechado en vertederos a cielo abierto lo que ocasiona un gran impacto ambiental debido a su acumulación (Sánchez *et al.*, 2023). Debido a la amplia variedad de productos derivados del PU, este material se ha vuelto indispensable en la vida cotidiana, no solo en la producción de espumas rígidas o flexibles, sino también

para la formulación de selladores, adhesivos, recubrimientos, entre otros (Bohórquez *et al.*, 2022).

De acuerdo con la Norma Europea EN 13165 (2012), las espumas rígidas de poliuretano se definen como la familia de aislantes poliméricos termoestables con cavidades celulares rígidas y estructuras sustancialmente cerradas. El PU es elaborado a partir de la reacción de poliadición de monómeros de diisocianato (o poliisocianato) con una mezcla de dioles, trioles o polioles (Figura 3) (Phung *et al.*, 2021).

Figura 3. Síntesis de poliuretano



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Phung *et al.* (2021).

Las propiedades y características del PU a sintetizar pueden ser modificadas en función de parámetros como la relación utilizada para los reactivos (diisocianatos y polioles), la naturaleza química de los mismos, temperatura de reacción, velocidad de agitación, tiempo de curado, utilización de aditivos como retardantes de fuego, agentes de soplado, extensores de cadena, catalizadores, antioxidantes, entre otros.

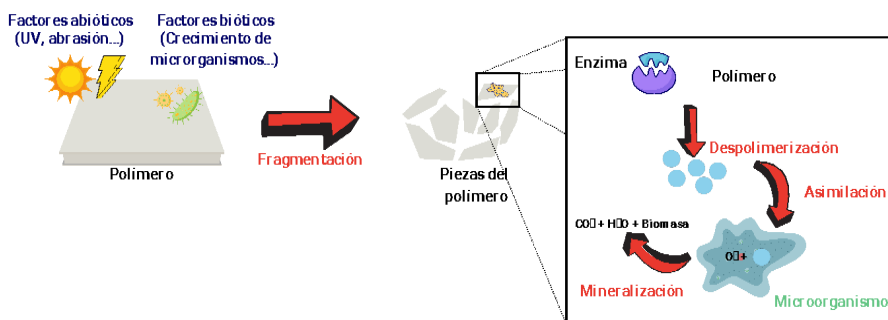
En la actualidad, tanto los diisocianatos como los polioles utilizados en la síntesis del PU son derivados de petróleo, otorgándole a este material un carácter no renovable y no biodegradable lo que trae como consecuencia problemas de contaminación ambiental en suelos y cuerpos de agua, debido a la disposición de sus residuos generados durante su implementación y finalizar su vida útil, dado que los mismos no pueden ser reutilizados ni reciclados (Phung *et al.*, 2021).

En este sentido, una de las alternativas propuesta por diversos investigadores para la disminución de los contaminantes derivados del PU, es el uso de componentes básicos más sostenibles mediante la sustitución parcial o total de los precursores convencionales (Recupido *et al.*, 2024) y, en este sentido, lograr modificar las propiedades del PU sintentizado, especialmente en lo que a biodegradación se refiere, posibilitando el compostaje y disposición en rellenos sanitarios de sus residuos.

Biodegradación

La biodegradación se define como la mineralización de material orgánico por acción de microorganismos (algas, hongos o bacterias) que, eventualmente, da como resultado la producción de dióxido de carbono y agua en circunstancias aeróbicas. El proceso, como se presenta en la figura 4 comienza con la degradación del material por factores abióticos (radiación UV, abrasión o presión) lo que ocasiona una fragmentación de este, posteriormente se realiza la ruptura de macromoléculas por acción enzimática (hidrolasas, lipasas, esterases, proteasas, ureasas y oxidasas), para liberar moléculas de menor peso que, finalmente, son asimiladas por microorganismos (Sánchez *et al.*, 2023; Magnin *et al.*, 2020).

Figura 4. Proceso de biodegradación de polímeros



Fuente: Elaboración propia, adaptado de Magnin *et al.* (2020).

Debido a que el PU actualmente disponible a nivel comercial se clasifica como un polímero no biodegradable, las consideraciones ambientales plantean el objetivo de lograr mayor sensibilidad de este material a la degradación microbiana, como característica deseada en su síntesis, para mejorar la huella de carbono, principalmente, al final de su vida útil (Prieto, 2016). Lo anterior, implica el uso de insumos de origen biológico y renovables para la síntesis del PU, de forma tal que se favorezca su susceptibilidad al ataque por microorganismos, principalmente hongos y bacterias lo que permite que los residuos generados, a lo largo de su ciclo de vida, puedan ser reincorporados al ambiente, sin causar deterioro y, a la vez, que persistan las propiedades mecánicas y fisicoquímicas para su adecuado desempeño como bien industrial.

El análisis de biodegradación de plásticos es normalmente realizado con un enfoque aeróbico en suelos, debido a que estos suelen ser el sitio de disposición final. Diversos artículos realizan este análisis por un método con base en la diferencia de pesos (inicial y final) del material a evaluar, sin embargo, esta prueba no se encuentra estandarizada, por lo que se debe recurrir al uso de normas como la internacional ISO 11266 (1994) e ISO 17556 (2019), la Norma americana ASTM D5988 (2018) o europea EN

17033 (2018) que delimitan los parámetros de medición para la evaluación correcta de biodegradación de materiales plásticos mediante pruebas por microcosmos (Šerá *et al.*, 2020).

Poliuretanos de base biológica

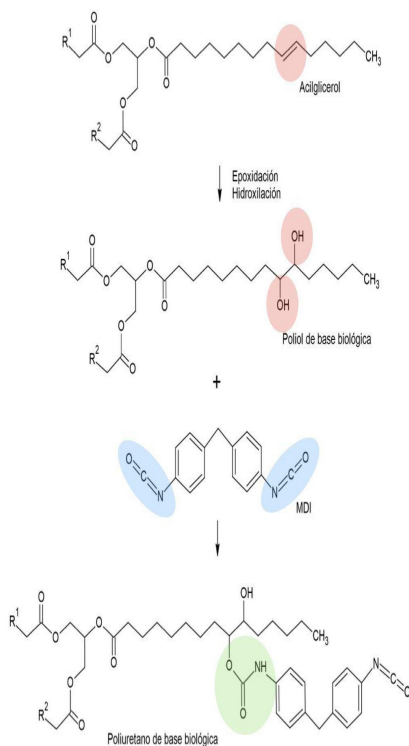
Para la síntesis de PU de base biológica se siguen dos enfoques principales en la búsqueda de alternativas al uso de materiales no renovables: i) el uso de precursores no isocianatos y, ii) el uso de polioles derivados de recursos renovables o de biomasa para producir poliuretanos parcialmente sostenibles. Sin embargo, la primera alternativa deriva en materiales que poseen propiedades que aún no se han demostrado comparables a las intrínsecas del PU convencional (Coste *et al.*, 2022; Peyrton *et al.*, 2020).

Así bien, los polioles de base biológica representan la alternativa con mayor aceptación en la síntesis de PU renovables y potencialmente biodegradables, los cuales pueden ser producidos directamente de aceites vegetales o de algas a través de una serie de mecanismos sintéticos u otros polioles más complejos pueden ser sintetizados de fuentes de polisacáridos y lignina (Phung *et al.*, 2021). Los principales componentes de estos aceites corresponden a ácidos grasos y ésteres de glicerol – acilgliceroles, los cuales pueden ser saturados o insaturados, entendiendo estos últimos como aquellos que presentan uno o más dobles enlaces, como el ácido oléico C18:1(Δ^9), linoléico C18:2($\Delta^{9,12}$), linolénico C18:3($\Delta^{9,12,15}$), entre otros.

Las insaturaciones presentes en el aceite hacen posible su funcionalización, entendida como la adición de grupos funcionales a través de una modificación química, por medio de procesos como la transesterificación, aminación, epoxidación, hidroxilación, entre otros (Galià *et al.*, 2010; Bohórquez *et al.*, 2022). Algunos de los aceites reportados para la síntesis de polioles de base biológica, son aquellos obtenidos de diversas semillas de plantas como neem, ricino, algodón, colza, jatropha, palma, soya, etc. (Noreen *et al.*, 2016).

La figura 5 presenta la formación del prepolímero de PU de base biológica, obtenido mediante la reacción entre el polirol de origen renovable, sintetizado a partir de la funcionalización de acilglicerol de origen vegetal y un diisocianato, en este caso el 4,4'-diisocianato de difenilmetano (MDI), se utiliza a nivel industrial para la síntesis de espumas rígidas de PU, con aplicaciones como el aislamiento térmico. El PU sintetizado a partir de estas materias primas tiene cierto carácter renovable y la particularidad de ser potencialmente biodegradable.

Figura 5. Síntesis de PU de base biológica a partir de la funcionalización de acilglicerol.



Fuente: Elaboración propia para esta investigación.

Aislamiento térmico

La tabla 1 presenta una revisión de trabajos de investigación en los que se sintetizaron espumas rígidas de PU a partir de polioles de base biológica. Como es posible observar, las densidades obtenidas para los materiales de PU están en un rango de 30.2 a 145.9 kg/m³, mientras que los valores reportados para la conductividad térmica varían de 12.8 a 44.5 mW/m K, lo que nos permite inferir que cuentan con potencial para ser utilizados como aislantes térmicos, ya que los materiales, usados actualmente para el sector de aislamiento térmico, reportan valores típicos de conductividad térmica en el rango de 20 a 40 mW/m K (Sánchez-Calderón *et al.*, 2022).

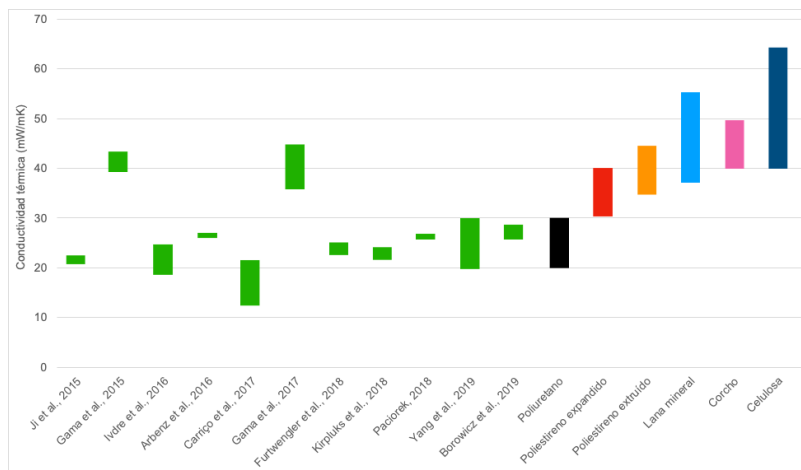
Tabla 1. Propiedades de espumas rígidas de PU sintetizados de polioles de base biológica

Poliol de base biológica	Propiedades del PU sintetizado		Referencia
	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica(mW/m K)	
Aceite de soya	33.8 – 36.2	20.1 – 22.8	(Ji <i>et al.</i> , 2015)
Café gastado	80.1 – 119.5	39 - 43	(Gama <i>et al.</i> , 2015)
Aceite de resina	41 – 48	18.3 - 23.1	(Ivdre <i>et al.</i> , 2016)
Taninos de gambier	32 - 35	25.7 – 26.7	(Arbenz <i>et al.</i> , 2016)
Aceite de ricino	37.4 – 99.3	12.8 – 20.7	(Carriço <i>et al.</i> , 2017)
Aceite de ricino	93.3 – 145.9	35.5 – 44.5	(Gama <i>et al.</i> , 2017)
Sorbitol	30.2 – 39.8	22.1 – 24.9	(Furtwengler <i>et al.</i> , 2018)
Aceite de colza	35.1 – 40.9	21.46 – 23.47	(Kirpluks <i>et al.</i> , 2018)
Aceite de onagra	40 - 45	25 - 26	(Paciorek-Sadowska <i>et al.</i> , 2018)
Ácido málico	37 - 47	19.3 – 29.8	(Yang <i>et al.</i> , 2019)
Aceite de semilla de mostaza blanca	35.9 – 38.4	25 - 28	(Borowicz <i>et al.</i> , 2019)

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la figura 6 presenta una comparación de los rangos de conductividad térmica reportados para las espumas de PU obtenidas a partir de poliols de base biológica y otros materiales aislantes térmicos comúnmente utilizados. Como se observa, a excepción de los trabajos reportados por Gama *et al.* (2015) y Gama *et al.* (2017), los valores determinados para la conductividad térmica de los PU de base biológica se encuentran por debajo de los correspondientes a otros materiales aislantes térmicos como el poliestireno extruído, poliestireno expandido, lana mineral, celulosa y corcho, de lo cual se deduce que, para un espesor de espuma determinado, estos materiales tendrán un mejor desempeño. Asimismo, se observa que, para el mismo conjunto de trabajos, los rangos reportados de conductividad térmica para los PU derivados de poliols de biológica son similares o inferiores al rango correspondiente al PU comercial, por lo que se espera un desempeño térmico similar al material convencional, con la ventaja de presentar cierto porcentaje de carácter renovable y ser susceptibles de degradación por microorganismos.

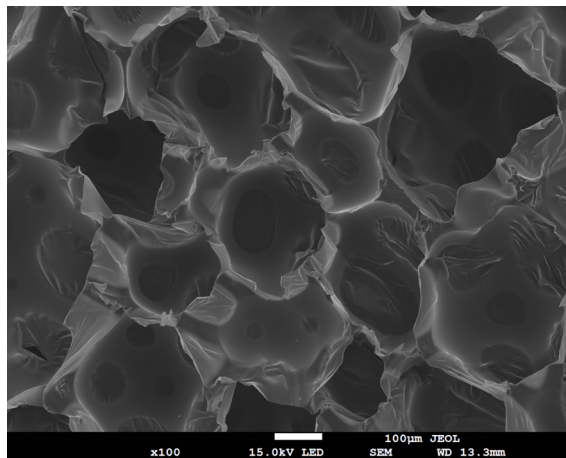
Figura 6. Conductividades térmicas de materiales aislantes.



Fuente: Elaboración propia, con datos de Gama *et al.* (2018).

La baja conductividad térmica de las espumas de PU se debe al contenido de celdas cerradas presentes en su estructura (figura 7). Así, una espuma de PU está compuesta por una pequeña porción de polímero con conductividad térmica de 0.1 – 0.3 W/mK y una gran porción de aire (o gas, dependiendo el material) atrapado en las celdas cerradas, con una menor conductividad térmica (~ 0.02 W/mK) (Gama *et al.*, 2018).

Figura 7. Estructura de celdas cerradas para una espuma de PU comercial.



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El poliuretano (PU) es un material polimérico de alta relevancia tecnológica debido a su versatilidad de propiedades fisicoquímicas y mecánicas, adaptables mediante la modulación de los monómeros y condiciones de síntesis. Sin embargo, su origen petroquímico plantea serios retos ambientales, al tratarse de un material no renovable ni biodegradable. Las espumas rígidas de PU de base biológica, obtenidas mediante la funcionalización de

acilglicerol de origen vegetal, presentan propiedades de densidad (30.2 a 145.9 kg/m³) y conductividad térmica (12.8 a 44.5 mW/m·K) comparables, e incluso mejores, en algunos casos, que los materiales aislantes convencionales, con el valor añadido de una potencial mayor degradabilidad microbiana al final de su vida útil.

Este trabajo aporta al conocimiento científico al documentar el potencial de los PU de base biológica como materiales alternativos de bajo impacto ambiental para el aislamiento térmico de viviendas, contribuyendo tanto a la reducción de la demanda energética en climatización de espacios, como al cumplimiento de estrategias de eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, aspectos clave ante el creciente agotamiento de los recursos fósiles.

Referencias

- Arbenz, A., Frache, A., Cuttica, F., & Avérous, L. (2016). Advanced bio-based and rigid foams, based on urethane-modified isocyanurate from oxypropylated gambier tannin polyol. *Polymer Degradation and Stability*, 132, 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.035>
- Bohórquez M., W. F., Cadavid E., J. G., Díaz V., M. A., García N., J. A., Narváez R., P. C., & Orjuela, Á. (2022). Polioles grasos: producción, retos y oportunidades para el sector del aceite de palma. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite - FEDEPALMA. <https://doi.org/10.56866/9789588360935>.
- Borowicz, M., Paciorek-Sadowska, J., Lubczak, J., & Czupryński, B. (2019). Biodegradable, Flame-Retardant, and Bio-Based Rigid Polyurethane/Polyisocyanurate Foams for Thermal Insulation Application. *Polymers*, 11(11), 1816. <https://doi.org/10.3390/polym11111816>

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión de México. (2008, 28 de noviembre). Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Diario Oficial de la Federación 28-11-2008. https://www.senado.gob.mx/comisiones/energia/docs/marco_LASE.pdf.
- Carriço, C., Fraga, T., Carvalho, V., & Pasa, V. (2017). Polyurethane Foams for Thermal Insulation Uses Produced from Castor Oil and Crude Glycerol Biopolyols. *Molecules*, 22(7), 1091. <https://doi.org/10.3390/molecules22071091>
- Comité Europeo de Normalización. (2012). EN 13165 Thermal insulation products for buildings - Factory made rigid polyurethane foam (PU) products – Specification.
- Contreras, M., Serrano, M., Masera, O. (2022). Patrones de consumo energético en el sector residencial de México: un análisis desde la perspectiva de usos finales. https://conahcyt.mx/wp-content/uploads/pronaces/micrositios/energia_y_cambio_climatico/energia/cuadernos_tematicos/Cuaderno_Tematico_I_Pronaces_ECC_ISBN_final.pdf
- Coste, G., Berne, D., Ladmiral, V., Negrell, C., & Caillol, S. (2022). Non-isocyanate polyurethane foams based on six-membered cyclic carbonates. *European Polymer Journal*, 176, 111392. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111392>
- Furtwengler, P., Matadi Boubimba, R., Sarbu, A., & Avérous, L. (2018). Novel Rigid Polyisocyanurate Foams from Synthesized Biobased Polyester Polyol with Enhanced Properties. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6(5), 6577–6589. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b00380>
- Galià, M., de Espinosa, L. M., Ronda, J. C., Lligadas, G., & Cádiz, V. (2010). Vegetable oil-based thermosetting polymers. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112(1), 87–96. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900096>

- Gama, N. V., Soares, B., Freire, C. S. R., Silva, R., Neto, C. P., Barros-Timmons, A., & Ferreira, A. (2015). Bio-based polyurethane foams toward applications beyond thermal insulation. *Materials & Design*, 76, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.032>
- Gama, N., Costa, L. C., Amaral, V., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2017). Insights into the physical properties of biobased polyurethane/expanded graphite composite foams. *Composites Science and Technology*, 138, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2016.11.007>
- Gama, N., Ferreira, A., & Barros-Timmons, A. (2018). Polyurethane Foams: Past, Present, and Future. *Materials*, 11(10), 1841. <https://doi.org/10.3390/ma11101841>
- International Energy Agency – IEA. (2023). World Energy Balances highlights. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances-highlights>.
- Ivdre, A., Soto, G. D., & Cabulis, U. (2016). Polyols Based on Poly(ethylene terephthalate) and Tall Oil: Perspectives for Synthesis and Production of Rigid Polyurethane Foams. *Journal of Renewable Materials*, 4(4), 285–293. <https://doi.org/10.7569/JRM.2016.634122>
- Ji, D., Fang, Z., He, W., Zhang, K., Luo, Z., Wang, T., & Guo, K. (2015). Synthesis of Soy-Polyols Using a Continuous Microflow System and Preparation of Soy-based Polyurethane Rigid Foams. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(6), 1197–1204. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00170>
- Jiang, K., Chen, W., Liu, X., Wang, Y., Han, D., & Zhang, Q. (2022). Effect of bio-based polyols and chain extender on the microphase separation structure, mechanical properties and morphology of rigid polyurethane foams. *European Polymer Journal*, 179, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111572>

- Kirpluks, M., Kalnbunde, D., Benes, H., & Cabulis, U. (2018). Natural oil based highly functional polyols as feedstock for rigid polyurethane foam thermal insulation. *Industrial Crops and Products*, 122, 627–636. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.040>
- Ma, Y., Xiao, Y., Zhao, Y., Bei, Y., Hu, L., Zhou, Y., & Jia, P. (2022). Biomass based polyols and biomass based polyurethane materials as a route towards sustainability. *Reactive and Functional Polymers*, 175, 105285. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2022.105285>
- Magnin, A., Pollet, E., Phalip, V., & Avérous, L. (2020). Evaluation of biological degradation of polyurethanes. *Biotechnology Advances*, 39, 107457. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107457>
- Noreen, A., Zia, K. M., Zuber, M., Tabasum, S., & Zahoor, A. F. (2016). Bio-based polyurethane: An efficient and environment friendly coating systems: A review. *Progress in Organic Coatings*, 91, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.11.018>
- Paciorek-Sadowska, J., Borowicz, M., Czupryński, B., & Isbrandt, M. (2018). Effect of Evening Primrose Oil-Based Polyol on the Properties of Rigid Polyurethane–Polyisocyanurate Foams for Thermal Insulation. *Polymers*, 10(12), 1334. <https://doi.org/10.3390/polym10121334>
- Palomo M. (2017). Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Madrid.
- Peyrton, J., Chambaretaud, C., Sarbu, A., & Avérous, L. (2020). Biobased Polyurethane Foams Based on New Polyol Architectures from Microalgae Oil. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(32), 12187–12196. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03758>
- Phung, T. A., Tessman, M., Neelakantan, N., Samoylov, A. A., Ito, Y., Rajput, B. S., Pourahmady, N., & Burkart, M. D. (2021). Renewable Polyurethanes from Sustainable Biological Precursors. *Biomacromolecules*, 22(5), 1770–1794. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c01610>

- Prieto, A. (2016). To be, or not to be biodegradable... that is the question for the bio-based plastics. *Microbial Biotechnology*, 9(5), 652–657. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12393>
- Recupido, F., Lama, G. C., Steffen, S., Dreyer, C., Seidlitz, H., Russo, V., Lavorgna, M., De Luca Bossa, F., Silvano, S., Boggioni, L., & Verdolotti, L. (2024). Efficient recycling pathway of bio-based composite polyurethane foams via sustainable diamine. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269, 115758. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115758>
- Sánchez-Calderón, I., Merillas, B., Bernardo, V., & Rodríguez-Pérez, M. Á. (2022). Methodology for measuring the thermal conductivity of insulating samples with small dimensions by heat flow meter technique. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(22), 12523–12533. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11457-7>
- Sánchez-Reyes, A., Gaytán, I., Pulido-García, J., Burelo, M., Vargas-Suárez, M., Cruz-Gómez, M. J., & Loza-Tavera, H. (2023). Genetic basis for the biodegradation of a polyether-polyurethane-acrylic copolymer by a landfill microbial community inferred by metagenomic deconvolution analysis. *Science of The Total Environment*, 881, 163367. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163367>
- Secretaría de Energía – SENER. (2021). Balance Nacional de Energía 2020. Gobierno de México. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707654/BALANCE_NACIONAL_ENERGIA_0403.pdf.
- Šerá, J., Serbruyns, L., De Wilde, B., & Koutný, M. (2020). Accelerated biodegradation testing of slowly degradable polyesters in soil. *Polymer Degradation and Stability*, 171, 109031. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.109031>
- Yang, R., Wang, B., Li, M., Zhang, X., & Li, J. (2019). Preparation, characterization and thermal degradation behavior of rigid polyurethane foam using a malic acid based polyols. *Industrial Crops and Products*, 136, 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.073>

Capítulo VI

EL CARRIZO, *ARUNDO DONAX L.*, PARA SU INTEGRACIÓN EN LA PRODUCCIÓN SOCIAL DE VIVIENDA EN ZONAS ÁRIDAS

HÉCTOR DANIEL LLAVEN JOSÉ¹

JAIME ANDRÉS QUIROA HERRERA²

JORGE VILLANUEVA SOLÍS³

GONZÁLEZ CALDERÓN⁴

Resumen

El constante aumento poblacional demanda día a día la explotación de recursos naturales finitos, mediante procesos industrializados contaminantes, además de provocar la inequitativa distribución de recursos que conllevan a la marginación,

¹ Maestrante en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, eder.caballero01@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-4776-4577>

² Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, dilansaulhemi@gmail.com Orcid 0009-0007-5618-7555.

³ Profesor Investigador del Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx Orcid 0000-0002-3975-7372.

⁴ Integrante del Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Autónoma de Chiapas, raul.ruiz@unach.mx Orcid 0000-0001-5707-0411

rezago y constante demanda de vivienda. Ante esto, es necesaria una persistente búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el ambiente, en los que sistemas constructivos a base de materiales alternativos donde el carrizo "*Arundo donax L.*", mediante procesos de producción social del hábitat, se pueden llegar a erigir componentes estructurales (muros y cubiertas) para la configuración de las viviendas adecuadas en las zonas áridas del norte de México, estas opciones pueden ser encontradas en La Comarca Lagunera y mediante una búsqueda sistemática de información, se evidencia las características del carrizo, así como sus múltiples beneficios tanto económicos, sociales y ambientales, esto producto de sus características vegetativas, rápido crecimiento, renovabilidad, resistencia, disponibilidad y adaptabilidad constructiva.

Introducción

En la zona norte de México, como en el resto de la república, la problemática de la vivienda requiere de atención porque hay familias en condición de rezago, con la imposibilidad de la adquisición de una vivienda adecuada que les brinde seguridad y resguardo ante las cambiantes condiciones climáticas, políticas y económicas de la región (IMPLAN, 2022; INEGI, 2020).

Además, son de resaltar los focos de contaminación propiciados por los materiales industrializados, mismo que se encargan de liberar grandes cantidades de CO₂, producto de sus procesos de extracción, procesamiento y utilización. Lo que permite consolidar a la industria de la construcción convencional, como una de las más contaminantes del planeta (United Nations Environment Programme, 2022).

Todo esto, permite evaluar las opciones pertinentes y la oportunidad del empleo de materiales naturales, que, mediante procesos de producción social, se generen soluciones espaciales de vivienda, dentro del marco de un desarrollo sostenible, llegando a satisfacer aquellas necesidades inherentes de las actuales generaciones, sin comprometer que las futuras generaciones logren satisfacer sus propias necesidades (Soler, 2017).

Dentro de los materiales naturales, en la zona norte de México, específicamente la región lagunera, al presentarse un clima semi-desértico, sobresalen los sistemas constructivos a base de tierra, madera y carrizo. Este último, denominado en gran parte del mundo como carrizo gigante, cuyo nombre científico es *Arundo donax L.* (CONABIO, 2020). Presenta características y cualidades propias de un material de altas prestaciones, además de que mediante procesos de producción social del hábitat, se obtienen beneficios que inciden en aspectos socioculturales, económicos, ambientales y aspectos políticos. En relación con esto, el carrizo ha sido parte de diversos estudios en los que se exponen desde sus características morfológicas, hasta la configuración de componentes estructurales modulares para muros y cubiertas para la vivienda.

Para la configuración de muros, hay investigaciones que visualizan su aprovechamiento bajo el sistema constructivo baja-reqe o bahareque, formando parte de entramados que aportan rigidez y resistencia a los elementos (Guerrero, 2017), además de incursionar en temas de prefabricación de paneles modulares, bajo el sistema de quincha prefabricada, optimizando procesos de ejecución y adaptabilidad de las obras (Protierra, 2020; Tomasi & Bellmann, 2018), en ese sentido también se encuentran ejemplos estructurales de empleo de tallos de carrizo, para configurar tanto muros y cubiertas como los desarrollados bajo el sistema patentado por Canyaviva (Cory-Wright, 2009).

En lo que respecta a la cubierta, Neria-Hernández *et al.* (2019), evidenciaron el aprovechamiento de carrizos mediante la tecnificación de terrados que llegan a soportar cargas de hasta 2,193 kg/cm², con un peso específico de 107.50 kg/m², siendo considerado un sistema ligero a comparación del concreto y que, además, presenta costos accesibles de menor a 100 pesos por metro cuadrado. Dentro de estos sistemas ligeros para cubierta, que surgen del entramado de carrizo o caña, se encuentra, además, el sistema denominado como Domocaña (Barrionuevo, 2011).

Es así que el carrizo debido a su importancia estratégica y al ser un recurso natural con amplia adaptabilidad a las regiones

climáticas de México, más aún a las encontradas en zonas áridas, desarrollándose a orillas de cuerpos de agua temporales, a pesar de ser considerado una plaga, posee beneficios medioambientales que van desde la regeneración de suelos, regulador hídrico, captura de CO₂. Además de presentar características propias para su aprovechamiento en la cadena de valor productiva en la que se pueden obtener diversidad de objetos y como elemento indispensable en la composición de muros y cubiertas (Amarone et al., 2023; González Bejarano & Silva Delgado, 2012; Molari et al., 2021; Rojas-Sandoval & Acevedo-Rodríguez, 2022).

Todo ello conlleva al replanteamiento de nuevas formas constructivas para la incorporación de sistemas estructurales con carrizo que, en combinación con la tierra y madera, conforman sistemas eco amigables, con alta eficiencia para la conformación de viviendas adaptables a las condicionantes climáticas de las zonas áridas, como las que hay en la zona norte de México.

Dada la importancia de generar ambientes construidos acorde a las condicionantes del entorno encontradas en zonas áridas del norte de México, la presente investigación, aborda el conocimiento intrínseco alrededor de los carrizos y sus usos para su aprovechamiento, para lo cual se denotan los siguientes objetivos.

Objetivo General

Identificar las características constructivas del carrizo para su integración en la vivienda adecuada, mediante procesos de producción social del hábitat en zonas áridas.

Objetivos específicos

Presentar las características del carrizo y sus ventajas en la construcción sustentable.

Exponer su distribución, viabilidad y sostenibilidad en las zonas áridas de La Comarca Lagunera.

Resaltar sus principales aplicaciones constructivas para la producción social de vivienda.

Metodología

La técnica consistió en realizar una búsqueda sistematizada de información bibliográfica en varios repositorios, incluidos Google Scholar, Redalyc, Dialnet y Scielo. Esta información permitió crear un marco teórico de referencia. Además, consultamos información de colecciones científicas de herbarios en bases de datos atribuidos a la especie de carrizo "*Arundo Donax L.*": GBIF Secretariat, CONABIO, Tropicos, MEXU, iNaturalist Mx. Buscamos información precisa, pertinente y relevante sobre su localización, usos y distribución.

Descripción *Arundo donax L.*

Arundo Donax L., es una planta herbácea y, al igual que los bambúes, es perteneciente a la familia botánica de las gramíneas (poaceae) (Barreca, 2012) (tabla 1, figura 1). Tiene su origen en las regiones tropicales y templadas del antiguo mundo, especialmente en el continente asiático (Rojas-Sandoval, 2022).

Tabla 1. Información Taxonómica

Rango Taxonómico	Clasificación
Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae (Gramineae)
Subfamilia	Arundinoideae
Tribu	Arundineae
Género	<i>Arundo</i>
Especie	<i>Arundo donax L.</i>

Fuente: (EcuRED, 2021; GBIF Secretariat, 2023)

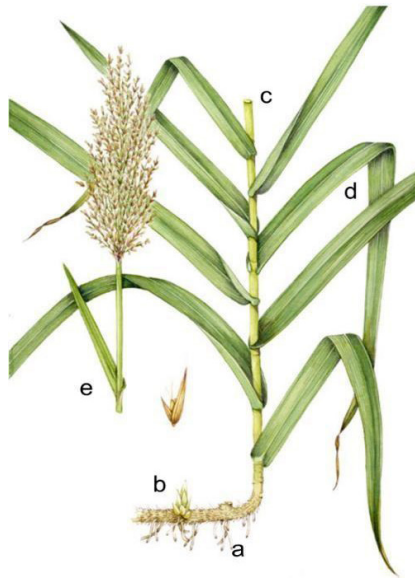
Figura 1. Plantas de *Arundo donax* L. de *Arundo donax* L.



Actualmente, se puede encontrar en una amplia variedad de lugares, en todo el mundo, desde el Sur Africano hasta los Estados Unidos, México, el Caribe, América del sur y las Islas del Pacífico. Es catalogada como una especie de alto riesgo y altamente invasiva, capaz de reproducirse rápidamente que compite y desplaza a las plantas nativas y, además, son extremadamente inflamables (DOF, 2016; ISSG, 2024). En la lista roja de especies amenazadas de la UICN, está clasificada en la categoría de preocupación menor (LC) (UICN, 2024). Se le han adjudicado distintos nombres, en función de la parte del mundo en donde se encuentre, siendo llamada: carrizo, caña común, caña brava, carricillo, caña gigante, caña de castilla, caña de río, carrizo asiático (CONABIO, 2020).

Esta gramínea, se compone fundamentalmente de dos partes, un rizoma a modo de raíz que se propaga velozmente en el terreno y presenta un tallo de sección redonda, hueca y segmentada por tabiques rígidos denominados nudos, donde emerge una única hoja lanceolada que se mantiene verde generalmente durante todo el año. Sus culmos alcanzan de 3 a 6 metros de longitud y diámetros de entre los 2 a 3 centímetros, con espesores de pared de entre 2 a 7 mm, como ejemplificamos con la figura 2 (CONABIO, 2020; Rojas-Sandoval & Acevedo-Rodríguez, 2022).

Figura 2. Partes que componen a *Arundo donax L.*



a) Raíz o Rizoma, b) Renuevo o Nuevo tallo, c) Tallo o Culmo, d) Hojas, e) Floración. Fuente: Lizzie Harper, 2024

Selección y cosecha

El carrizo, presenta dos cualidades excepcionales, su rápido crecimiento, desarrollo diario de hasta 10 cm por día (González y Silva, 2012), además de su renovabilidad de tallos, haciéndolo un recurso disponible y fácilmente aprovechable sin la necesidad de invertir en trabajadores capacitados.

Su rápido crecimiento hace que llegue a su altura máxima dentro del primer año, evidenciando mayor presencia de hojas en la parte superior del tallo (figura 3). De esta forma, para el segundo año, sus características anatómicas se incrementan, aumenta su espesor de pared interna y ramas provenientes de sus nudos superiores, con un estado de madurez óptimo para su aprovechamiento estructural.

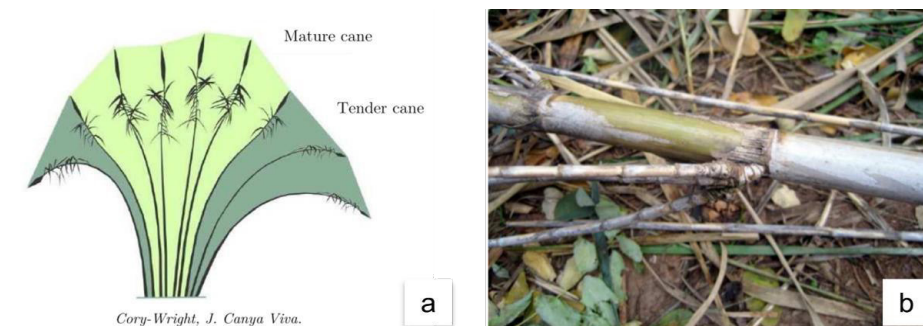
Figura 3. Fases de crecimiento del carrizo *Arundo Donax L.*



Fuente: Investigación de campo.

Entre enero y febrero, durante la luna menguante, es el momento adecuado para cosechar el carrizo. Durante esta fase del invierno, su aprovechamiento es crucial ya que la savia se encuentra en las raíces, lo que facilita su cultivo, además de ser menos vulnerable a los ataques de insectos (González Bejarano & Silva Delgado, 2012). Todas estas características físicas y recomendaciones son necesarias como criterio de selección y aprovechamiento de cañas maduras, para su empleo constructivo, figura 4.

Figura 4. Selección de cañas de carrizo maduras.



Simbología: a) Concentración de hojas, b) Aparición de ramas a partir del segundo año.

Fuente: Amorone et al, 2023 a)

Uso en la construcción

La familia botánica de las gramíneas ha estado presente desde tiempos inmemoriales, arraigados al desarrollo de civilizaciones antiguas en la configuración desde instrumentos musicales, objetos como las cañas de pescar, cestería, hasta ser usado en la construcción de muros y cubiertas (Gerritsen *et al.*, 2009).

Es así como las principales expresiones del carrizo, como material constructivo, está en las construcciones tradicionales o vernáculas en gran parte del mundo, las cuales responden a las condiciones climáticas, medioambientales, socioeconómicas (Amarone *et al.*, 2023).

Además, se evidencia la apropiación del material produciendo diferentes sistemas que se encargan de configurar tanto el componente muro, como la cubierta, entre los que encontramos el bajareque, la quincha, el domocaña, el terrado y el sistema configurado por *Canyaviva*, como ilustramos con la figura 4.

Figura 4. Sistemas Constructivos que emplean carrizo. a) Sistema de Muro de Bajareque.



Fuente: (Guerrero, 2017)

Bajareque

El sistema constructivo denominado bajareque que, en otras latitudes, también se le denomina bahareque, embarrado o entramado se configura principalmente de una estructura portante de madera, seguidos de un arreglo de entramados de carrizo, varas, madera o rajas de bambú que, a la vez, cumplen una función estructural y dotan de rigidez a la estructura, finalmente, como relleno se emplea una mezcla de tierra, paja y otros productos de índole natural encontradas en cada región (González y Guerrero, 2022, p. 3).

Quincha prefabricada

Este sistema surge de la tecnificación del proceso constructivo de bajareque en el que se crean paneles modulares prefabricados a base de madera aserrada y entramados de carrizo. Mismos que se montan y fijan a la estructura portante principal, sobre ellos se aplica un revoque que va desde el grueso hasta el fino, a base de una mezcla de tierra y paja (Protierra, 2020; Tomasi y Bellmann, 2018).

Domocaña

Es un sistema horizontal de cubierta continua que trabaja a compresión, compuesta de una estructura cóncava en forma de cúpula a base de un entramado de cañas de carrizo o bambú, revestidas con mortero. Este sistema se erige, principalmente, bajo principios fundamentales que llevan desde lo económico en el empleo de materiales naturales, la facilidad constructiva y una configuración sismorresistente (Barrionuevo, 2011).

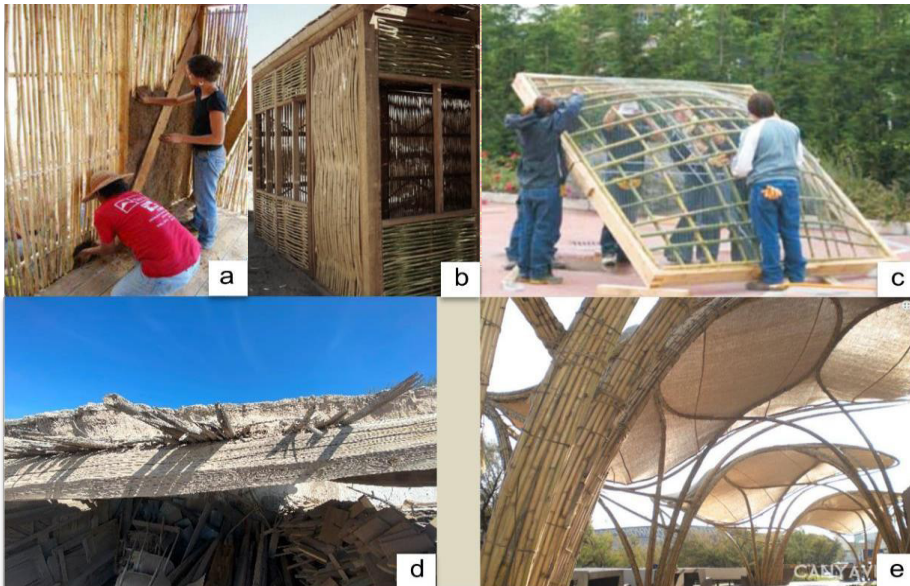
Terrados

Es un sistema constructivo ampliamente establecido en la región lagunera a partir de una estructura portante de madera asentada

sobre los muros de adobe, se establece una cama de carrizo, tierra y paja, culmina con un acabado de cal y productos naturales para hacer la cubierta impermeable.

Sistema *Canyaviva*

Este sistema fue desarrollado y patentado siguiendo el método del arquitecto inglés J. Cory- Wright, a partir de elementos orgánicos aprovechando la forma natural de las cañas (curvas y arcos) y de la conjunción de varios culmos de carrizo se generan ambientes construidos sólidos y resistentes, para la conformación de estructuras tanto efímeras como permanentes (González y Silva, 2017, 2Figura 5. Sistemas Constructivos que emplean carrizo. a) Sistema de Muro de Bajareque (Guerrero, 2017), b) Paneles de quincha prefabricada (Zazu Vives, 2021), c) Domocaña (Barrionuevo, 2011), d) Terrado usado en la región lagunera, e) Sistema *Canyaviva* (Cory- Wright, 2009).



Fuente: Elaboración propia.

Propiedades del material

Al ser una planta fibro-leñosa presenta características de fuerza y resistencia equiparables a otras gramíneas, dentro de las que se encuentran el Bambú, es así como dentro de dichas plantas al comparar algunas especies se encuentran similitudes no solo morfológicas, sino también en su comportamiento mecánico.

Dentro de las propiedades físicas y mecánicas del *Arundo donax L.*, González y Silva (2012), encuentra valores de resistencia a la compresión paralela la fibra de 37.2 – 42.63 Mpa, con un módulo de elasticidad de 4,601 – 5,001 Mpa, esto en función del diámetro de las cañas.

Además, una resistencia a la flexión paralela a la fibra de 15.61 - 31.54 Mpa, con un módulo de elasticidad de 505.5 - 5,264 Mpa, esto en función del diámetro. Además, de una densidad aproximada de 234.025 Kg/m³ (Barreca, 2012). En las capacidades térmicas de *Arundo donax L.*, presenta un valor de conductividad de 0.123 W/(m*k), Resistividad de 847.074 °C*cm/W, Calor específico de 0.964 MJ/(m³*K) y una Difusividad de 0.129 mm²/s (Guillén, et al., 2018).

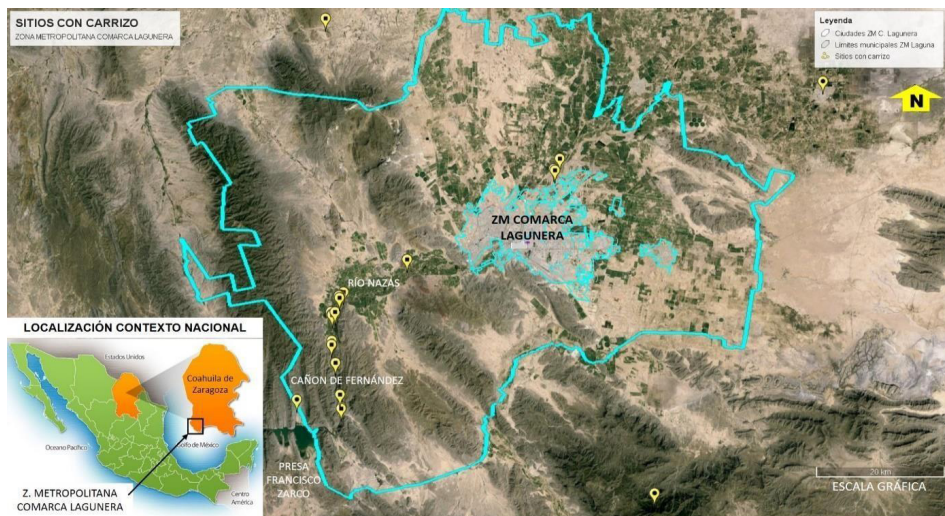
Distribución de *Arundo donax L.* en La Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera es una zona que comprende la unión de dos estados: Coahuila y Durango. En esta región se encuentra una de las zonas metropolitanas más pobladas del norte de México, conformada por los municipios de Torreón, Francisco I. Madero, Lerdo y Gómez Palacio.

Si tomamos en consideración los registros de colecciones botánicas y registros digitales, donde se tiene documentado la presencia de la especie de carrizo "*Arundo Donax L.*", encontramos mayor presencia en las inmediaciones del Río Nazas, que pasa a la vez por El Cañón de Fernández (Lerdo, Durango) esto se explica por las condiciones ambientales óptimas en esa región, con menor

frecuencia, su presencia en Torreón es significativa, localizándose predominantemente al lado de ríos, arroyos, canales y escurrimientos estacionarios, lo que ejemplifica la resistencia inherente presentada en la planta, al ser resistente a condiciones extremas de frío y calor, a la vez de bajos requerimientos de agua, según la figura 6.

Figura 6. Distribución de carrizos en la zona metropolitana de la Región Lagunera.



📍 Puntos de localización de *Arundo donax L.*

Fuente: Elaboración propia,

Además, en la región es evidente el aprovechamiento y comercialización de la especie ya sea de forma ornamental, composición de elementos sol y sombra (localmente llamado tejaban), a la vez de elementos improvisados de muro cortina o divisorio encontrados en locales de venta de alimentos y souvenirs (Figura 7). Tradicionalmente, esta planta forma parte de la composición de la tradicional cubierta de tierra (terrado) que cierra un espacio delimitado por muros de adobe.

Figura 7. Principales formas de aprovechamiento del carrizo en Torreón, Coahuila y localización de punto de venta de Carrizo.



Fuente: Elaboración propia.

Módulos Experimentales de Quincha UAdeC

Es en este contexto, y por la disponibilidad de materiales naturales presentes en la región lagunera, es que se vuelve primordial buscar estrategias y modelos de aplicación para el aprovechamiento en sistemas constructivos de bajo impacto ecológico. Además, facilita su aceptación y utilización.

El carrizo presenta una suma de características intrínsecas que evidencian la posibilidad de su utilización para la conformación modular de paneles, en los que mediante un marco de madera, acabados de tierra y bajo principios de prefabricación al puro estilo de

la Quincha, se presenta unidades experimentales para la configuración de paneles que por su facilidad de maniobrabilidad, peso y baja tecnificación del proceso, hace prescindir en su elaboración de mano de obra calificada e invita a la comunidad a formar parte del proceso de construcción y ejecución de elementos constructivos de cualquier índole, como ejemplificamos en la figura 8.

Figura 8. Panel prefabricado del Sistema Quincha con recubrimiento de tierra.



Fuente: Elaboración propia

Vivienda y Carrizo

Es evidente el área de oportunidad presentado en los materiales naturales en la construcción y, aún más, mediante procesos de producción social del hábitat, surgen como una opción viable y asequible para brindar a los que menos tienen una vivienda, con procesos constructivos que involucren la cohesión y desarrollo social. En Torreón, se presentan viviendas en condiciones de rezago, compuestas con materiales producto de desechos, a la vez que ponen en riesgo a los habitantes por las condiciones climáticas extremas propias de un clima semidesértico.

Como ya se mencionó previamente, en la región se utiliza el carrizo de diferentes formas, para sombrear, dividir espacios, protegerse del viento etc. Además, hay ejemplos de utilización de este enterrados por lo que esto puede representar un conocimiento técnico previo de su utilización, así como la aceptación de sistemas constructivos acordes a la región.

Ventajas e inconvenientes

Si ponemos en perspectiva lo comentado hasta el momento es posible enumerar una serie de ventajas e inconvenientes en la utilización y aprovechamiento del carrizo para la configuración espacial de viviendas en climas áridos, esto lo detallamos en la tabla 2.

Tabla 2. Ventajas e Inconvenientes del empleo de carrizo en la construcción.

✓ Ventajas	x Inconvenientes
<ol style="list-style-type: none"> 1. Rápido crecimiento. 2. Disponibilidad en la zona 3. Es biodegradable. 4. Beneficios medioambientales. 5. Ligero y fácil de transportar. 6. Flexibilidad y resistencia. 7. No requiere personal calificado para su manipulación. 8. Es económicamente accesible 9. Variabilidad en sus formas de aprovechamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Su crecimiento supone un riesgo para los ecosistemas nativos. 2. Conicidad a lo largo del culmo. 3. Susceptible a ataque de insectos 4. Baja resistencia al fuego. 5. Fragilidad a fuerzas cortantes en su sección transversal del culmo

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El carrizo, al ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento, se posiciona al igual que el bambú, como una herramienta muy útil en la lucha contra el cambio climático por el conocido consumo

de gases efecto invernadero de estos, además de ser un material intrínsecamente relacionado con la cultura y la historia de las personas de todo el mundo y la región de estudio no está exceptúa. Es así como, además por su disponibilidad y asequibilidad, hacen del material una alternativa eficiente para su aprovechamiento en la composición de la vivienda adecuada mediante sistemas constructivos eficientes y procesos que conllevan a una producción social del hábitat, porque a través de la tecnificación de procesos y facilidad constructiva, se genera la transferencia tecnológica a los sectores de la población vulnerables.

Como se ha descrito, el carrizo posee diversidad de características constructivas, propiedades mecánicas y térmicas relevantes, además de una amplia distribución en La Comarca Lagunera que ponen la atención en su utilización e integración a procesos que demanden su aprovechamiento racional, no su erradicación bajo la perspectiva de plaga, sino bajo la utilización de tallos maduros que propicien su diversidad aplicativa en la industria de la construcción.

Se hace evidente la configuración constructiva mediante paneles de quincha, como sistema integral, porque con los procesos tecnificados y modulados se propician diversidad de configuraciones espaciales acordes a las necesidades de la población, así como adaptabilidad a las condicionantes medioambientales de la región lagunera, para desarrollar espacios estructuralmente confiables y térmicamente seguros.

Pese a todo lo anterior, es de reconocer la falta de información tecnológica de esta especie en la región lagunera, es por ello que la presente investigación es uno de los primeros acercamientos para el estudio, análisis y utilización de este material. Lo que buscamos es evaluar diferentes opciones de sistemas constructivos y procurar la tecnificación de estos para su aplicación en la vivienda, en donde las opciones, además de contar con características mecánicas, físicas y térmicas adecuadas, puedan presentarse viables, apropiables y replicables para los usuarios y la producción social de la vivienda.

Referencias

- Amarone, N., Iovane, G., Marranzini, D., Sessa, R., Guedes, M. C., & Faggiano, B. (2023a). Arundo donax L. as sustainable building material. *Sustainable Buildings*, 6, 2. <https://doi.org/10.1051/SBUILD/2023005>
- Barreca, F. (2012). *Use of giant reed Arundo Donax L. in rural constructions* (Vol. 14, Issue 3). <http://www.cigrjournal.org>
- Barrionuevo, R. (2011). Investigación tecnológica aplicada: Domocaña. *Informes de La Construcción*, 63(523), 51–58. <https://doi.org/10.3989/IC.10.025>
- CONABIO. (2020). *Carrizo asiático gigante (Arundo donax)*. Enciclovida. <https://enciclovida.mx/especies/174347-arundo-donax>
- Cory-Wright, J. (2009). *Canyaviva - Arquitectura Organica*. <https://canyaviva.org/> DOF. (2016). *Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México*. Diario Oficial de La Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464456&fecha=07/12/2016#gs.c.tab=0
- EcuRED. (2021). *Arundo donax - EcuRED*. http://ecuadmin.ecured.cu/Arundo_donax
- GBIF Secretariat. (2023). *Arundo donax L.* GBIF Backbone Taxonomy. <https://doi.org/https://doi.org/10.15468/39omei>
- Gerritsen, P. R. W., Ortiz-Arrona, C., & González Figueroa, R. (2009). Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la costa sur de Jalisco, México. *Economía, Sociedad y Territorio*, IX, 185–207. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11192909>
- González Bejarano, S., & Silva Delgado, E. (2012). *Arundo donax L.: Material de construcción* [Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/2099.1/16539>

- González Calderón, A. J., Guerrero Baca, L. F. (2022). Bajareque tecnificado. Evaluación de energía incorporada y emisiones de CO2 en comparación con la edificación convencional. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 11, 9–21. <https://doi.org/10.32870/RVCS.V0111.177>
- Guerrero, B. L. F. (2017). Pasado y porvenir de la construcción con bajareque. *Gremium*, ISSN-e 2007-8773, Vol. 4, N°. 8, 2017, Págs. 69-80, 4(8), 69–80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6067557&info=resumen&idioma=SPA>
- Guillén Guillén, C. A., Muciño Vélez, A., Ana Lozada, P. S., & Verduzco Chirino, G. L. S. (2018). Análisis de las propiedades térmicas del Arundo Donax (carrizo) y Zea Mays (caña maíz) para su uso como material aislante de cubiertas. *Academia XXII*, 9(18), 90 – 107. <https://doi.org/10.22201/FA.2007252XP.2018.18.67947>
- IMPLAN. (2022). *Plan Director de Desarrollo Urbano de Torreón, Coahuila*.
- iNaturalist Mx. (2024). *Carrizo asiático gigante (Arundo donax)*. iNaturalist Community. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/64017-Arundo-donax>
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- ISSG. (2024). *Global Invasive Species Database*. Global Invasive Species Database Online Data Sheet. <http://www.iucngisd.org/gisd/species.php?sc=112>
- Lizzie Harper. (2024). *Giant reed Arundo donax showing growth habit and flowering head of spikelets*. <https://lizzieharper.co.uk/image/giant-reed-arundo><https://lizzieharper.co.uk/image/giant-reed-arundo-donax/donax/>
- MEXU. (2021). *IBdata v3 "Helia Bravo Hollis."* Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología. <https://www.ibdata.abaco3.org/web/web><https://www.ibdata.abaco3.org/web/web-content/admin-queryfilter/queryfilter.phpcontent/admin-queryfilter/queryfilter.php>

- Molari, L., Coppolino, F. S., & García, J. J. (2021). Arundo donax: A widespread plant with great potential as sustainable structural material. *Construction and Building Materials*, 268, 121143. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121143>
- Neria-Hernández, R., Pérez, I. P. C., & Ruiz, J. L. R. (2019). Cubierta ligera de carrizo, componentes naturales y materiales de desecho. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 7(Especial-2), 58–66. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V7IESPECIAL-2.4882>
- Protierra. (2020). *CONSTRUCCIÓN EN QUINCHA LIVIANA Sistemas constructivos sustentables de reinterpretación patrimonial*.
- Rojas-Sandoval, J., & Acevedo-Rodríguez, P. (2022). Arundo donax (giant reed) | CABI Compendium. <https://doi.org/https://doi.org/10.1079/cabicompendium.1940>
- Soler Soler, P. (2017). *Uso del bambú en la arquitectura contemporánea* [Tesis]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tomasi, J., & Bellmann, L. (2018). La quincha y los sistemas de entramados. *Estructuras*, 1(2). <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/estructuras/article/view/24741>
- Tropicos. (2024). *Tropicos | Name - Arundo donax*. Missouri Botanical Garden. <https://tropicos.org/name/25509170>
- UICN. (2024). *The IUCN Red List of Threatened Species*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <https://www.iucnredlist.org/species/164340/1043245>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. www.globalabc.org.
- Zazu Vives, B. (2021). *Innovación en los Sistemas Mixtos con Tierra: Esmeraldas, Ecuador*. Escuel

AUTORES

ALLECK JOHNNATHAN GONZÁLEZ CALDERÓN

Doctor en Ciencias y Artes para el Diseño, por la Universidad Autónoma Metropolitana, en Ciudad de México.

Profesor de Tiempo Completo de la Escuela de Arquitectura, Unidad Torreón, de la Universidad Autónoma de Coahuila. Integrante del Cuerpo Académico “Territorio, Asentamientos Humanos y Resiliencia”, líneas de investigación: Habitabilidad, Construcción Sostenible y Producción Social del Hábitat.

alleck.gonzalez@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6850-7594>

CÁNDIDA AREMI GUTIÉRREZ ZENTENO

Doctora en derecho por el Instituto de Investigaciones Jurídicas de la Universidad Autónoma de Chiapas, actualmente posdoctorante en la Facultad de Arquitectura de la misma Institución, desarrolla la línea de investigación Protección de los derechos humanos.

candida.gutierrez@unach.mx

<https://orcid.org/0009-0001-7547-9349>

CARLOS OCTAVIO CRUZ SÁNCHEZ

Doctor en Gestión para el Desarrollo, Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas y Miembro del Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” (COCOVI).

cocruz@unach.mx

<https://orcid.org/0009-0005-2254-3561>

DILAN SAÚL HERNÁNDEZ MIGUEL

Ingeniero Bioquímico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

dilansaulhemi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-5618-7555>

EDDY GONZÁLEZ GARCÍA

Doctor en Ingeniería Civil en el área de Construcción Sustentable por la Universidad de Sonora, Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas y Miembro del Grupo Colegiado de Investigación “Edificación y Hábitat Sostenible” (EHS), línea de investigación: materiales sustentables para la construcción.

eddy.gonzalez@unach.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7207-7600>

EDER ARMANDO CABALLERO MORENO

Ingeniero Químico de la Universidad Nacional de Colombia y Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica por el Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez. Cuenta con experiencia de más de 15 años en el sector productivo, con énfasis en bioenergía, biomateriales y sostenibilidad.

eder.caballero01@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-4776-4577>

FRANCISCO MARTÍN DEL CAMPO SARAY

Doctor en Arquitectura por la Universidad de Colima adscrito al Tecnológico Nacional de México, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, CONAHCYT, actual SECIHTI, líneas de Investigación: Habitabilidad, Bioclimatismo, Paisaje Urbano, Espacio público.

arqsoluc@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7211-5366>

HÉCTOR DANIEL LLAVEN JOSÉ

Maestro en Ciencias en Desarrollo Sustentable y Gestión de Riesgos por la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, actualmente es Doctorante en Arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Profesor de Tiempo Completo en la Escuela de Arquitectura, Unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila, Colaborador del Cuerpo Académico "Territorio, Asentamientos Humanos y Resiliencia", sus líneas de investigación son en torno a las aplicaciones constructivas de gramíneas, así como la revalorización de especies de bambú mexicanas para su incorporación a la cadena de valor productiva.

hector.llaven@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5237-1629>

HEIDY GÓMEZ BARRANCO

UABJO, PhD. en Protección al patrimonio con dimensiones científicas (UJAEN, ESPAÑA), Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo" UABJO, Líder del Cuerpo Académico Tecnología y Sustentabilidad, Coordinadora de la Red de Vivienda y Hábitat Sustentable de México. Sus líneas de investigación son: vivienda y protección del hábitat sustentable y diseño bioclimático.

arq.heidy.gb@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7221-1438>

JAIME ANDRÉS QUIROA HERRERA

Doctor en Ciencias de Ingeniería Ambiental por la Universidad de Sao Paulo, Brasil, Profesor de Tiempo Completo de la Escuela de Arquitectura Unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila, miembro del Cuerpo Académico Territorio, Asentamientos Humanos y Resiliencia, su línea de investigación es arquitectura, medio ambiente y sustentabilidad.

jquiroya@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0003-1173-9639>

JORGE VILLANUEVA SOLÍS

Doctor en Planeación y Desarrollo Sustentable por la Universidad Autónoma de Baja California, PTC de la Escuela de Arquitectura Unidad Torreón de la Universidad Autónoma de Coahuila, sus líneas de investigación son: Territorio, Procesos Urbanos y Resiliencia ante Cambio Climático.

jorge.villanueva@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9778-9225>

JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES

Maestro en Arquitectura y Urbanismo, Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Arquitectura en la Universidad Autónoma de Chiapas y Miembro del Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” (COCOVI), sus líneas de investigación son: vivienda y sustentabilidad y transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática.

luis.jimenez@unach.mx

<https://orcid.org/0009-0000-5422-6732>

JUAN CARLOS SOLÍS GRANADOS

Doctor en Estudios Regionales, Profesor de Asignatura de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Miembro del Grupo Colegiado de Investigación “Edificación y Hábitat Sostenible” (EHS), líneas de Investigación: Diseño Participativo, Diseño Arquitectónico Participativo, Desarrollo Comunitario y Participación Ciudadana, Inclusión Social en el Diseño de la Vivienda y el Hábitat, Tecnología de la Vivienda y el Hábitat y el Diseño participativo.

juan.solis@unach.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2609-3420>

LUIS AARON GARCÍA SOLORZANO

Doctor en Arquitectura y Medio Ambiente, en el Programa Interinstitucional de Doctorado en Arquitectura (PIDA) de la Universidad de Colima, Profesor de Asignatura en el TecNM, Campus Colima, colaborador del Cuerpo Académico Arquitectura Sostenible, Innovación y Tecnología, líneas de investigación: Arquitectura, Innovación y Tecnología.

laaron.garcia@colima.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8130-0317>

LUIS CARLOS HERRERA SOSA

Doctor en Arquitectura por la Universidad de Colima, en el Programa Interinstitucional en Arquitectura, PIDA, Profesor investigador del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, líneas de investigación: arquitectura bioclimática, diseño sostenible.

carlos.herrera@uacj.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7663-200X>

MIGUEL ADRIÁN HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ

Arquitecto por la facultad de Arquitectura “5 de Mayo”, actualmente maestrante de la maestría en ciencias de la construcción con acentuación en intervención sustentable del hábitat, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.

Trabajo de investigación “Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del adobe utilizado para la construcción de viviendas vernáculas en el municipio de Santiago Amatlán, Nochixtlán, Oaxaca”.

miguel.ahr117@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5239-4094>

NGUYEN MOLINA NARVÁEZ

Maestra en Ingeniería (Construcción), Profesora de Asignatura, encargada del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, Integrante del Grupo Colegiado de Investigación “Edificación y Hábitat Sostenible” (EHS). Su línea de investigación es: materiales para la construcción.

nguyen.molina@unach.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2049-4821>

RAFAEL ALAVEZ RAMÍREZ

Doctor en Ciencias en Desarrollo Regional y Tecnológico por el Instituto Tecnológico de Oaxaca (ITO), Profesor colegiado del posgrado del CIIDIR Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, líneas de investigación: Diseño bioclimático, proyectos de diseño sustentable, propiedades termofísicas y mecánicas de materiales alternativos de construcción.

arrafael@yahoo.com.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0246-0812>

RAÚL PÁVEL RUÍZ TORRES

Doctor en arquitectura por la UCOL, Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, Miembro del Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” (COCOVI) y del Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables sede UNACH. Trabajo de investigación relacionado en vivienda y hábitat, diseño bioclimático, confort térmico, comportamiento térmico y simulación térmica.

raul.ruiz@unach.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5707-0411>

ROCÍO MEZA GORDILLO

Doctora en ciencias con especialidad en química orgánica por el Instituto de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es Profesora de Tiempo Completo en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, está adscrita al Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica, integrante del Cuerpo Académico “Química y Tecnología de Recursos Renovables”.

rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0006-3369-7950>

RUBER TRUJILLO SAMAYOA

Doctor en Ingeniería Civil en el área de Construcción Sustentable por la Universidad de Sonora, Profesor de Asignatura de la Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Colaborador del Cuerpo Académico “Componentes y Condicionantes de la Vivienda” (COCOVI), sus líneas de investigación son: envolventes eficientes para la vivienda, transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática, vivienda, contexto y sustentabilidad.

ruber.trujillo@unach.mx

<https://orcid.org/0000-0002-8406-3011>



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA BENITO JUÁREZ DE OAXACA

Este libro fue desarrollado con los resultados, procesos, experiencias y reflexiones de la etapa 2, por los miembros del Proyecto de Investigación e Incidencia (PRONAI), denominado “Desarrollo de un modelo de producción social replicable de vivienda y hábitat” de número 321260 de la “Convocatoria 2022 Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia para una “Vivienda Adecuada y Acceso Justo al Hábitat” de CONAHCYT, actual SECIHTI.

Los capítulos están relacionados a los seis subsistemas propuestos en el proyecto, producto del abordaje desde el enfoque de sistemas complejos, integrado por los subsistemas: técnica constructiva, habitabilidad, política pública y legal, servicios y gestión de los recursos, desarrollo comunitario y riesgos. El proyecto está integrado por 21 grupos de trabajo de universidades, organizaciones civiles y departamentos de gobierno.

Innovación social y materiales
para la vivienda participativa en México,
se terminó de editar en el mes de mayo de 2026
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México