



IDENTIFICACIÓN, DOCUMENTACIÓN Y CATALOGACIÓN DE VIVIENDAS DE TIERRA EN MICHOACÁN PARA SU ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN

Adrià Sánchez-Calvillo¹, Elia Mercedes Alonso-Guzmán², Javier-Ortega Heras³, Adrián Solís-Sánchez⁴

Facultad de Arquitectura, UMSNH – Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo; Michoacán, México, ¹adria.sanchez@umich.mx; ²elia.alonso@umich.mx; ⁴1212995d@umich.mx

Facultad de Ingeniería Civil UMSNH – Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo; Michoacán, México, ²elia.alonso@umich.mx

ISISE, Department of Civil Engineering, University of Minho; Guimarães, Portugal, ³javier.ortega@civil.uminho.pt

Palabras clave: arquitectura vernácula, levantamiento arquitectónico, materiales locales, medios audiovisuales, patrimonio cultural.

Resumen

El presente trabajo de investigación muestra los avances realizados a partir del proyecto DBMC 2020¹ en el estado de Michoacán, México, respecto al estudio y análisis de la vivienda vernácula y el patrimonio arquitectónico monumental de la región. A partir de una metodología interdisciplinar de estudio se combinaron el trabajo de campo en comunidades, la caracterización de los sistemas constructivos y materiales presentes, el uso de medios audiovisuales para el estudio de la arquitectura, y la divulgación libre de la ciencia y la cultura. Como parte del trabajo de campo y documentación se visitaron comunidades rurales del estado de Michoacán con una presencia relevante de arquitectura vernácula y construcciones en tierra, principalmente viviendas de adobe y de bajareque. Entre los resultados, más de 80 viviendas fueron identificadas y documentadas mediante ejercicios de levantamiento arquitectónico, levantamiento fotográfico, toma aérea de dron, inspección técnica mediante fichas de trabajo y entrevistas a los usuarios, complementando todo el trabajo con el uso de medios audiovisuales para dejar constancia de los modos de vida y cultura locales. Hasta el momento, con el proyecto DBMC 2020 se ha podido conformar una base de datos completa sobre la arquitectura vernácula de Michoacán y sus distintas tipologías constructivas, con levantamientos de las viviendas, documentación gráfica e información técnica muy valiosa. Además, esta información será complementada con el análisis y caracterización de los materiales de construcción mediante ensayos de laboratorio; paralelamente el trabajo audiovisual ha dado sus frutos, con la grabación del documental Xirangua, que permitirá retratar la función de la arquitectura tradicional en la sociedad y cómo es ésta percibida por los propios usuarios.

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del arte

La arquitectura de tierra es una de las soluciones más antiguas y extendidas que podemos encontrar alrededor del mundo, con evidencias de su uso en culturas totalmente distantes en el tiempo y el espacio. Sin embargo, en las últimas décadas ha sufrido un progresivo abandono contando con una percepción muy baja de su comportamiento estructural y seguridad ante sismos y otros fenómenos naturales. Otros sistemas constructivos de carácter industrial han sido potenciados por todas las instancias debido a fenómenos como la globalización, o incluso en el caso de México la migración (Ettinger, 2010). No obstante, el

¹ El proyecto titulado “Durability of local materials and traditional techniques of the Mexican vernacular architecture in the State of Michoacan” resultó ganador del primer premio del concurso “1st International Contest for Cooperation and Development en el marco del congreso XV International Conference on Durability of Building Materials and Components - DBMC 2020”. Este proyecto está enfocado en el estudio de los materiales locales de la arquitectura vernácula de Michoacán, así como la recuperación y divulgación de los conocimientos ancestrales.

potencial de la tierra como material de construcción es notable, contando con un bajo impacto ambiental y siendo un recurso disponible, abundante, y que puede ser reutilizado con facilidad, además de que supone una reducción importante de los gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera (Ventura y otros, 2022).

Pese al desconocimiento general, la arquitectura de tierra en México ha sido estudiada y documentada ampliamente desde hace muchos años (Engelking Keeling; Alcántara Onofre, 1990), con un énfasis en la vivienda de adobe, la tipología más común en todo el país (Guerrero, 2007). Es una necesidad seguir estudiando estos sistemas constructivos y documentar las variantes tipológicas y eso es algo que se ha logrado en los últimos años, con una difusión de la arquitectura de tierra mediante publicaciones, foros, congresos y actividades de cooperación social.

Igualmente, el aspecto de la caracterización material de la arquitectura de tierra es básico, puesto que los materiales que la conforman no han sido estudiados en extenso, pese a que en los últimos años las investigaciones han aumentado exponencialmente. Para el análisis en laboratorios de estos materiales se cuenta con algunas recomendaciones, guidelines o normativas específicas que todavía en muchos casos se encuentran en fase de perfeccionamiento y desarrollo (The Getty Conservation Institute, 2011). En cuanto a la caracterización de los elementos constructivos, principalmente adobe, pueden encontrarse diversos trabajos que proponen metodologías de análisis completas incluyendo pruebas no-destructivas, ensayos mecánicos y composición elemental y mineralógica entre otras (Costa y otros, 2019; Mellaikhafi y otros, 2021; Sanchez-Calvillo y otros, 2021).

El estudio de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es otra de las líneas de investigación más importantes, debido a que muchas de las regiones con mayor porcentaje de edificaciones en tierra son propensas a sufrir sismos de gran magnitud. Este estudio puede realizarse desde la misma prospección de los edificios y su análisis tipológico, morfológico, técnico y constructivo; como desde las metodologías de análisis numérico y estadístico. Respecto al primer tipo de análisis, tras los recientes sismos del año 2017 en México, se han realizado investigaciones relevantes sobre el comportamiento estructural de las viviendas tradicionales de adobe, mostrando una respuesta propicia debido a su menor grado de alteración respecto otros casos de estudio (Guerrero, 2019; Ríos Ramírez; Porcayo Victoriano, 2019).

Las metodologías de análisis sísmico históricamente se han centrado en modelos heterogéneos de ciudad, con una predominancia de construcciones en materiales industrializados como el concreto y el ladrillo cerámico, aunque en algunos casos han tomado en cuenta las viviendas de tierra asignándoles los valores más bajos de seguridad. En los últimos años, nuevos modelos han aparecido, como el de Ortega Heras (2020), diseñado expresamente para la evaluación de la vulnerabilidad en viviendas vernáculas. En el caso de México, algunos trabajos han explorado la aplicación de métodos en casos de estudio como barrios o poblaciones (Ortega y otros, 2019; F. Salazar; Ferreira, 2020; Preciado y otros, 2020), siendo los primeros acercamientos que encontramos para estas tipologías constructivas.

La vulnerabilidad también se ha podido relacionar directamente con condicionantes socioculturales y económicos (Galán Gaitán; Jiménez Miranda, 2018), así como la gestión de los planes de riesgo o el mantenimiento y conservación de las edificaciones más antiguas (Sánchez Calvillo y otros, 2021a). Por todos estos motivos es necesario realizar un buen trabajo de documentación de los inmuebles para el correcto análisis de todos los condicionantes materiales y no material.

1.2. Antecedentes de la investigación

Siendo el abandono de la arquitectura de tierra y el patrimonio vernáculo una problemática relevante en México, en el año 2020 y en el marco de Congreso Internacional Durability of Building Materials and Components DBMC 2020, un grupo interdisciplinar de estudiantes de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y la Universidad Internacional

Jefferson presentó un proyecto para el estudio y preservación de los materiales y sistemas constructivos en Michoacán. El proyecto, denominado *Durability of local materials and traditional techniques of the mexican vernacular architecture in the State of Michoacán* resultó ganador del primer concurso internacional de proyectos de cooperación al desarrollo.



Figura 1. Presentación de los materiales locales y técnicas tradicionales de la arquitectura vernácula de Michoacán (Crédito: A. Solís)

El proyecto DBMC 2020 fue aprobado en el mes de diciembre de 2020 para iniciar los trámites de financiación con el equipo de trabajo. La finalización del mismo proyecto está contemplada para finales del mes de diciembre de 2021, justo un año después de su inicio. A la fecha el proyecto está cercano a su conclusión, pero la disponibilidad de continuar y retomar el trabajo mediante actividades tanto científicas y académicas como culturales y de divulgación sigue en pie.

2 OBJETIVOS

El principal objetivo del proyecto DBMC 2020 es contribuir a la durabilidad y la conservación de los materiales tradicionales de la arquitectura vernácula del estado de Michoacán. El proyecto contempla en su mayor componente el estudio de los materiales y su durabilidad; sin embargo, la componente social y el trabajo con las comunidades también son factores de gran importancia en su desarrollo.

Como objetivo secundario se definió lograr una mayor repercusión del proyecto y de sus resultados mediante el uso de las redes sociales y de los medios audiovisuales. De esta forma se generará un acceso libre y universal al conocimiento, con la divulgación del patrimonio y vivienda vernáculos del estado de Michoacán al público general, incluyendo la repercusión internacional como parte del proyecto DBMC 2020.

Para ello, el proyecto se vinculó con varias instituciones del estado de Michoacán, tanto en el ámbito académico con las universidades como en el institucional y cultural a nivel del estado. Estas acciones de cooperación al desarrollo son el eje principal del proyecto, cuyos alcances buscan ser reflejados en las mismas comunidades donde se efectuó el trabajo de campo y la toma de contacto con los usuarios de las viviendas tradicionales y/o patrimonio arquitectónico monumental.

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló a partir de dos proyectos distintos. En primer lugar, el proyecto internacional de cooperación al desarrollo *Durability of local materials and traditional techniques of the mexican vernacular architecture in the State of Michoacán*, que fue ganador del primer premio en el congreso DBMC 2020 y que permitió al equipo de trabajo obtener los recursos para llevar a cabo las distintas actividades planteadas para el desarrollo del proyecto.

Por otro lado, se aprovecharon las actividades y la gestión del curso “Materiales de construcción tradicionales, patrimoniales, artísticos, sostenibles, e innovadores” en el marco

del XXV Verano de la Investigación Científica y Tecnológica del Pacífico (Programa Delfín), y el XXX Verano de la Investigación Científica 2020 en la UMSNH, así como los cursos ofrecidos igualmente en los veranos de la ciencia de 2021. Se planteó un proyecto de investigación para los alumnos del curso que versara sobre arquitectura vernácula y construcciones de tierra y a partir del mismo se realizaron las primeras visitas de campo y los primeros levantamientos arquitectónicos en la localidad de Ario de Rosales y de forma remota con alumnos de los estados de Oaxaca, Chiapas, Morelos, Guerrero, Jalisco y Veracruz.

La metodología de trabajo se basó en el análisis previo, estado del arte y planteamiento de los casos de estudio para posteriormente definir cuatro grupos de actividades a realizar en las localidades escogidas: la prospección y el levantamiento arquitectónico, el levantamiento fotográfico y levantamiento con dron, la recolección de muestras materiales, y la documentación con medios audiovisuales.

3.1. Análisis previo y elección de las unidades de estudio

En el estado de Michoacán, dos fueron los casos de estudio elegidos para realizar levantamientos arquitectónicos de las principales tipologías de vivienda vernácula en Michoacán. Por un lado, la localidad de Ario de Rosales, cuyo centro histórico conserva una relevante cantidad de inmuebles de adobe y cuenta con la importancia histórica de ser la primera sede del Primer Tribunal Supremo de Justicia que tuvo México como nación independiente.

Por otro lado, la localidad de Santa Cruz de Morelos en el municipio de Turicato, en la región de Tierra Caliente de Michoacán. En esta localidad es posible encontrar tanto viviendas de adobe como una gran cantidad de estructuras de bajareque, una técnica que en las últimas décadas ha perdido relevancia en todo el estado, quedando relegada a algunas comunidades de Tierra Caliente y la Costa Michoacana. Ambas técnicas coexisten y pueden llegar a encontrarse combinadas en una misma vivienda, destacando el uso del bajareque para las cocinas, debido a su eficiente ventilación.



Figura 2. Vivienda de bajareque en la localidad de Santa Cruz de Morelos (crédito: A. Sánchez)

El sistema constructivo del bajareque es conocido con el nombre de “otate” en toda la región de Tierra Caliente, debido a la variedad de la planta con la que elaboran estas construcciones. Este sistema se extiende por varios estados de México, con una fuerte presencia en las regiones costeras y los climas más cálidos, pudiendo encontrarse distintas variaciones de la técnica constructiva, y distinta terminología como el caso de Colima donde se conoce con el nombre de “pajarete” (Flores Calvario; Rodríguez Licea, 2020).

3.2. El levantamiento arquitectónico de las viviendas

Las actividades de levantamiento arquitectónico e inspección de viviendas constituyen una fuente de información invaluable para el acervo conocimiento y la preservación de la arquitectura tradicional (Parracha y otros, 2021). El trabajo de campo fue realizado en los estados de Michoacán, Oaxaca y Chiapas, a partir de los anteriormente citados proyectos de investigación y cooperación al desarrollo, evaluando más de 100 inmuebles en distintas localidades del país. Mediante fichas de trabajo, se realizó un levantamiento arquitectónico de las viviendas; así como la recopilación de información sobre parámetros constructivos y materiales que afectan el comportamiento sísmico de las construcciones, como la relación de esbeltez, proporciones en planta, porcentaje de las aberturas, calidad del material y los sistemas constructivos, solución del sistema de cubierta, grado de mantenimiento y alteración de los inmuebles, entre otros. Los parámetros fueron elegidos y calibrados a partir de metodologías publicadas para el estudio de la vivienda vernácula (Ortega y otros, 2019).

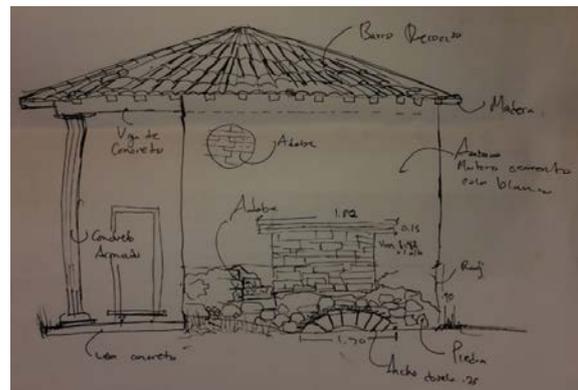


Figura 3. Trabajo de campo y croquis de los levantamientos arquitectónicos de viviendas en el centro histórico de Ario de Rosales, Michoacán (crédito: A. Sánchez)

3.3. Levantamiento fotográfico y con dron

El levantamiento fotográfico se realizó con cámara réflex y dron DJI Mini 2, respondiendo estas dos herramientas a las necesidades del proyecto. La cámara réflex permitió documentar y capturar desde aspectos generales hasta detalles, sin embargo, fue necesario el dron para tener tomas aéreas que permitieran conocer lo que no está al alcance normalmente, como por ejemplo la disposición de las cubiertas de los edificios, conformaciones de los espacios y distribuciones internas de las viviendas. De esta forma, la relación del edificio con su contexto y entorno urbano no queda desplazada. Estas herramientas fueron requeridas para la realización del proyecto audiovisual titulado "Xirangua", que es parte del objetivo de divulgación de los conocimientos.

3.4. Muestreo de materiales

En algunos de los casos de estudio seleccionados para el proyecto, pudo realizarse la extracción y muestreo de material para posteriormente transportar al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. Los especímenes fueron recolectados en viviendas y construcciones abandonadas de las localidades de Huaniqueo, San Joaquín Jaripeo, Taretan, Santa Cruz de Morelos y la Huacana; todas ellas en el estado de Michoacán. Respecto a los materiales, principalmente fueron extraídos bloques de adobes y núcleos completos, además de morteros de cal-arena, morteros de tierra, aplanados y revestimientos de cal, suelos de la región y material lítico.

Respecto a los ensayos a efectuar en el laboratorio, se siguió una metodología previa basada en la clasificación en cuatro grupos de análisis: pruebas no destructivas, pruebas de resistencia mecánica, ensayos de mecánica de suelos, y pruebas de composición mineralógica y elemental (Sanchez-Calvillo, y otros, 2021b). Este último grupo de pruebas será efectuado en la Universidad Politécnica de Cataluña como parte de la vinculación

existente en el proyecto DBMC 2020 y sus bases de cooperación internacional en países en vías de desarrollo.



Figura 4. Extracción de adobes en vivienda abandonada de la localidad de Huaniqueo, Michoacán (Crédito: J. D. Machorro)

3.5. Documentación con medios audiovisuales

Como parte del conjunto de actividades realizadas en el proyecto DBMC 2020, también se delegó un componente importante a la divulgación de los resultados, la comunicación pública de la ciencia a todos los niveles, y la difusión de los resultados por medios modernos no tan convencionales, como son las redes sociales y el aporte que éstas pueden dar a la sociedad.

Uno de los objetivos más importantes del proyecto DBMC 2020 fue el poder trabajar directamente con las comunidades y los usuarios de la arquitectura vernácula de Michoacán. Por ello, uno de los objetivos principales del proyecto fue la grabación del documental Xirangua. El término “xirangua” significa raíces en purépecha. Este proyecto busca retratar la importancia de la arquitectura vernácula y el patrimonio construido en la cultura y modos de vida de las comunidades de Michoacán. Junto con el documental, se crearon las redes sociales del proyecto documental Xirangua donde se divulgan tanto los resultados de las campañas como aspectos culturales y sociales de las comunidades locales.

4 RESULTADOS

Los resultados del proyecto se desglosan en cuatro categorías: el levantamiento arquitectónico, el registro fotográfico, la caracterización de los materiales y sistemas constructivos, y la divulgación mediante estrategias audiovisuales y redes sociales. Todos los resultados de la investigación fueron correlacionados entre las distintas categorías para lograr un enfoque interdisciplinar hacia las problemáticas existentes en el estado respecto a la desaparición y olvido de la arquitectura vernácula.

4.1. El levantamiento arquitectónico

Mediante el trabajo en las localidades de Ario de Rosales y Santa Cruz de Morelos, en Michoacán; San Pablo Etla, Oaxaca; y Copainalá, Chiapas; pudieron obtenerse más de 80 levantamientos arquitectónicos de las viviendas, así como sus respectivas fichas técnicas e información complementaria.

Los levantamientos fueron digitalizados para obtener los planos de cada una de las viviendas. Del mismo modo la información de las fichas técnicas fue vaciada en documentos de texto digitales y hojas de cálculo con la finalidad de procesar los 8 parámetros de vulnerabilidad sísmica definidos con anterioridad.

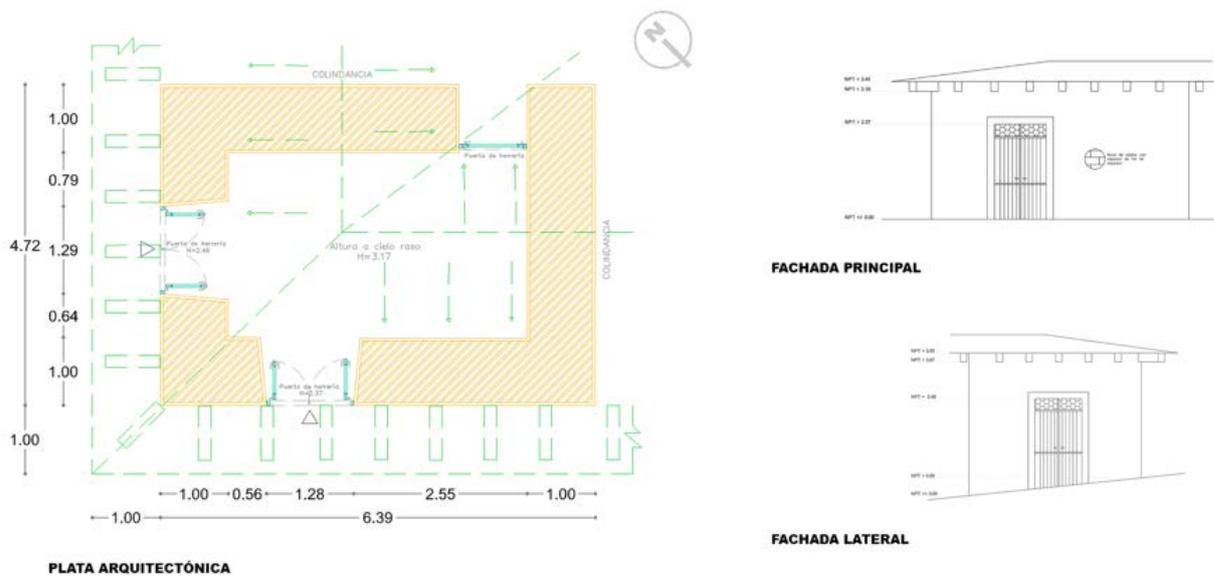


Figura 5. Digitalización de levantamientos arquitectónicos de viviendas de adobe de Ario de Rosales (crédito: V. M. Pompa)

Las fichas técnicas buscan complementar la digitalización de los levantamientos con información histórica y técnicas de las viviendas tradicionales, así como evaluar el estado de conservación, y en proyectos de investigación paralelos evaluar la vulnerabilidad sísmica de estas construcciones.

4.2. El registro fotográfico

El uso del dron permitió observar aspectos a nivel urbano, y específicamente sobre el parámetro de las cubiertas de las edificaciones, permitiendo obtener una mejor información sobre las tipologías existentes, disposición, geometría, estado de conservación, entre otros aspectos. Comparando los distintos casos de estudio, se encontró una mayor permanencia de los sistemas tradicionales en las localidades de Ario de Rosales y San Pablo Etlá, con muy poco grado de alteración en las cubiertas a base de madera y teja cerámica; por el contrario, en las localidades de Copainalá y Santa Cruz de Morelos es muy común encontrar la sustitución del sistema tradicional por sistemas de losa de concreto o más comúnmente lámina metálica.



Figura 6. Fotografía aérea del centro histórico de Ario de Rosales (crédito: A. Solís)

4.3. Caracterización de los materiales y sistemas constructivos

Las fichas técnicas permitieron recopilar información de más de 80 viviendas de adobe y bajareque en los estados de Michoacán, Oaxaca y Chiapas. Con esta información puede evaluarse el grado de conservación y preservación de los materiales y técnicas tradicionales y asociar el estado de las viviendas a patrones socioculturales (Galán Gaitán; Jiménez Miranda, 2018), permitiendo comprender mejor el fenómeno del abandono y la modificación de la arquitectura vernácula, y como este proceso es más acelerado en algunas regiones y comunidades.

Los parámetros obtenidos en cada vivienda fueron procesados y cuantificados para lograr establecer las clases de vulnerabilidad, así como las variantes tipológicas de cada región. En fases posteriores de la investigación se trabajará con modelos de las viviendas tipo para diseñar la metodología de evaluación de vulnerabilidad sísmica. Los parámetros que se tomaron en cuenta y que han sido clasificados y procesados son: relación de esbeltez, separación o máxima luz entre muros portantes, relación de vanos en porcentaje, sistema de cubierta, diafragmas horizontales, índice de regularidad en planta, calidad de los materiales, y grado de mantenimiento.

La caracterización de materiales de construcción también juega un papel muy importante en el estudio de la arquitectura vernácula, incluyendo además de los suelos el resto de materiales locales como son la madera, la roca o la cal. Tradicionalmente los adobes fueron estabilizados con cal debido a la gran mejora que aporta esta mezcla en sus propiedades mecánicas y de resistencia al agua (Navarro Mendoza y otros, 2019). Respecto a los materiales recolectados en las campañas de campo, estos serán analizados conjuntamente tanto en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH, donde se realizarán ensayos no destructivos, pruebas de resistencia mecánica y ensayos geotécnicos; como en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña, donde se llevarán a cabo pruebas de composición mineralógica, elemental y micromorfológicas.

4.4. Divulgación, medios audiovisuales y redes sociales

A partir del acercamiento con las comunidades y el trabajo interdisciplinar que incluyó a profesionales de la comunicación audiovisual y la fotografía, se desarrollaron iniciativas para documentar tanto las acciones técnicas, de investigación y académicas del proyecto; como los modos de vida, la cultura y la aprehensión de este patrimonio cultural por parte de sus principales usuarios. Uno de los principales productos del proyecto DBMC 2020 fue la grabación del documental Xirangua. El avance o teaser del documental se encuentra disponible en la plataforma Youtube, donde próximamente se estrenará para su libre circulación²



Figura 7. Imagen promocional del documental Xirangua

² https://youtu.be/-q_JoWzcMMA

También se ha gestionado el recurso de las redes sociales, buscando divulgar entre todos los públicos, especialmente el más joven, la importancia y las bondades de seguir preservando la arquitectura vernácula y todo lo que culturalmente conlleva para el estado de Michoacán³

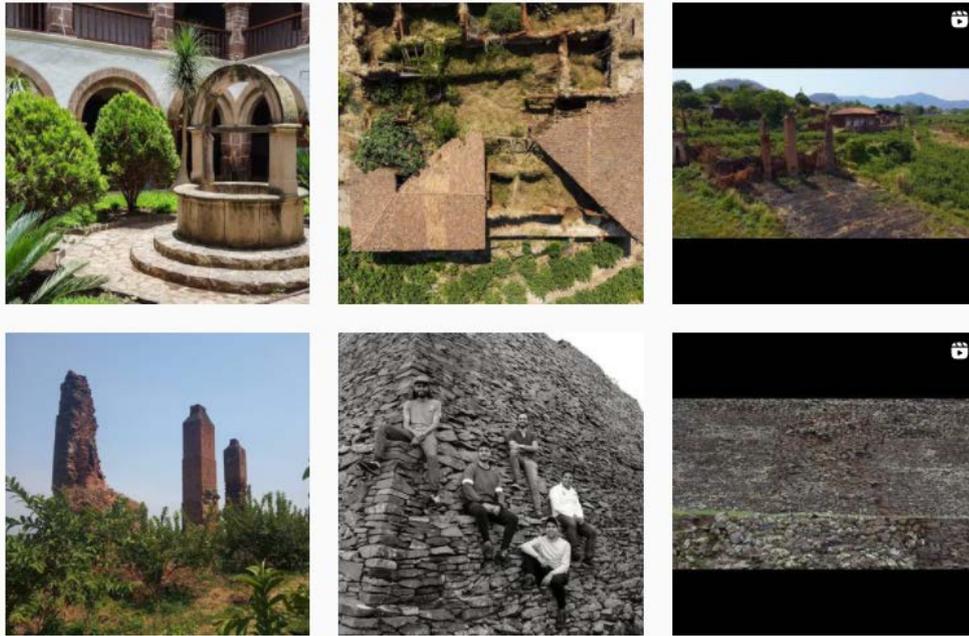


Figura 8. Contenido subido a la red social Instagram y divulgación del patrimonio cultural mediante fotografía y video

5 CONCLUSIONES

Hasta el momento se cuenta con más de 80 levantamientos arquitectónicos de viviendas vernáculas del estado, que servirán para el estudio tipológico, morfológico, histórico y estructural. Los resultados preliminares de los análisis y caracterización de materiales han permitido conocer detalles técnicos sobre la construcción tradicional a base de tierra en el estado, pudiendo identificar las variantes tipológicas, materiales y técnicas de sistemas como la mampostería de adobe o el bajareque.

Cabe destacar que el proyecto actuará como punta de lanza para seguir trabajando en los casos de estudio y las comunidades, permitiendo el desarrollo de nuevos proyectos de cooperación, desarrollo, restauración y conservación de los monumentos e inmuebles, así como vertientes artísticas relacionadas con la arquitectura.

El documental Xirangua será uno de los ejes principales, permitiendo la difusión, divulgación y libre conocimiento del patrimonio cultural del estado de Michoacán. El uso de los medios audiovisuales y las redes sociales deberá sentar un precedente a nivel local para la divulgación y el acceso a la ciencia desde todos los públicos. Todas estas iniciativas han tenido una gran acogida y están permitiendo llegar a grandes grupos de población, incluyendo las comunidades en las que se realizaron los trabajos, que buscan compartir y publicitar su patrimonio y su cultura.

Entre las futuras líneas de investigación que deberán tratarse a partir de la conclusión del proyecto serán la elaboración de tesis de licenciatura, especialidad y maestría, muchas de ellas en proceso actualmente y enfocadas a la preservación y restauración de las construcciones tradicionales. También el procesamiento de datos, modelado y simulación de las viviendas para la evaluación de su vulnerabilidad sísmica será un eje importante en las futuras investigaciones a partir de los datos recolectados en esta primera fase.

³ https://www.instagram.com/xirangua_documental/

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Costa, C.; Arduin, D.; Rocha, F.; Velosa, A. (2019). Adobe blocks in the Center of Portugal: main characteristics. *International Journal of Architectural Heritage*. doi:10.1080/15583058.2019.1627442
- Engelking Keeling, S.; Alcántara Onofre, S. (1990). El uso del adobe en edificios en el área metropolitana en la Ciudad de México; el pasado, el presente y las expectativas para el futuro. 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture. Adobe 90 Preprints, Las Cruces, New Mexico: The Getty Conservation Institute. p. 44-49.
- Ettinger, C. R. (2010). La transformación de la vivienda vernácula en Michoacán. Materialidad, espacio y representación. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- F. Salazar, L. G.; Ferreira, T. M. (2020). Seismic vulnerability assessment of historic constructions in the downtown of Mexico City. *Sustainability*, 12(3). doi:doi:10.3390/su12031276
- Flores Calvario, A.; Rodríguez Licea, M. (2020). El sistema constructivo de pajarete en la vivienda tradicional del estado de Colima, México. *Intervención*, 11(21), 212-235. doi:DOI: 10.30763/Intervencion.228.v1n21.07.2020
- Galán Gaitán, M.; Jiménez Miranda, K. P. (2018). Patrones socioculturales en las prácticas constructivas habitacionales y su influencia en la vulnerabilidad sísmica: caso de estudio de la localidad Puerto Momotombo, municipio de La Paz Centro, departamento de León, Nicaragua, 2017. *Vivienda y Comunidades Sustentables*(3), 47-62. doi:https://doi.org/10.32870/rvcs.v0i3.35
- Guerrero Baca, L. F. (Diciembre de 2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Apuntes*, 20(2), 182-201.
- Guerrero Baca, L. F. (January - July de 2019). Comportamiento sísmico de viviendas tradicionales de adobe, situadas en las faldas del volcán Popocatepetl, México. *Gremium*, 6(11), 105-118.
- Mellaikhafi, A.; Tilioua, A.; Souli, H.; Garoum, M.; Ahmed, M.; Hamdi, A. (2021). Characterization of different earthen construction materials in oasis of south.eastern Morocco (Errachidia Province). *Case Studies in Construction Materials*, 14. doi:https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00496
- Navarro Mendoza, E. G.; Sánchez Calvillo, A.; Alonso Guzmán, E. M. (2019). Estabilización de suelos arcillosos con cal para firmes y blocks. En C. Neves, Z. Salcedo Gutiérrez, O. Borges Faria (Ed.), *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, 19. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL / PROTERRA. p 284-291
- Ortega, J.; Vasconcelos, G.; Rodrigues, H.; Correia, M.; Da Silva Miranda, T. F. (2019). Development of a numerical tool for the seismic vulnerability assessment of vernacular architecture. *Journal of Earthquake Engineering*. doi:https://doi.org/10.1080/13632469.2019.1657987
- Parracha, J. L.; Lima, J.; Freire, M. T.; Ferreira, M.; Faria, P. (2021). Vernacular earthen buildings from Leiria, Portugal – Architectural survey towards their conservation and retrofitting. *Journal of Building Engineering* 35(102115). doi:https://doi.org/10.1016/j.jobeb.2020.102115
- Preciado, A.; Ramirez-Gaytan, A.; Santos, J. C.; Rodríguez, O. (2020). Seismic vulnerability assessment and reduction at a territorial scale on masonry and adobe housing by rapid vulnerability indicators: The case of Tlajomulco, Mexico. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44. doi: https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101425
- Ríos Ramírez, G.; Porcayo Victoriano, C. (2019). Vivienda vernácula: la transformación a través de sistemas constructivos y tipología, Hueyapan, México. En C. Neves, Z. Salcedo Gutierrez, O. Borges Faria (Eds.), *Seminario iberoamericano de arquitectura y construcción con tierra*, 19. San Salvador, El Salvador: FUNDASAL/PROTERRA. p.516-521.
- Sánchez Calvillo, A.; Alonso Guzmán, E. M.; López Núñez, M. (2021a). Vulnerabilidad sísmica y la pérdida de la vivienda de adobe en Jojutla, Morelos, México, tras los sismos de 2017. *Vivienda y Comunidades Sustentables*, 10, 9-29. doi:Doi: https://doi.org/10.32870/rvcs.v2i10.162
- Sanchez-Calvillo, A.; Alonso-Guzman, E. M.; Martinez-Molina, W.; Navarrete-Seras, M. A.; Ruvalcaba-Sil, J. L.; Navarro-Ezquerria, A.; Mitrani, A. (2021b). Characterization of adobe blocks: Point-load assessment as a complementary study of damaged buildings and samples. *Heritage*, 4(2), 864-888. doi:https://doi.org/10.3390/heritage4020047
- The Getty Conservation Institute. (2011). Material analysis - in situ and laboratory material characterization. The Earthen Architecture Initiative. J. Paul Getty Trust.

Ventura, A., Ouellet-Plamondon, C., Röck, M., Hecht, T., Roy, V., Higuera, P., Habert, G. (2022). Environmental Potential of Earth-Based Building Materials: Key Facts and Issues from a Life Cycle Assessment Perspective. En A. Fabbri, J.-C. Morel, J.-E. Aubert, Q.-B. Bui, D. Gallipoli, & B. V. Venkaratama Reddy (Eds.), *Testing and Characterisation of Earth-based Building Materials and Elements*. Springer International Publishing. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1_8

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de investigación fue parcialmente financiado por el premio del 1r Concurso Internacional de Proyectos de Cooperación y Desarrollo del 15th International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC 2020), Barcelona, España. Los autores también recibieron el apoyo técnico del Laboratorio de Materiales de la UMSNH, el Departamento de Posgrado de la Facultad de Arquitectura UMSNH y el soporte económico de CONACYT y CIC-UMSNH. Igualmente se recibió el apoyo económico de la Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP) mediante el programa de Becas de Movilidad Académica entre Instituciones Asociadas a la AUIP 2021. Los autores agradecen el apoyo técnico de Vania Melissa Pompa Pureco y Miguel Ángel Pérez-Coeto García durante el trabajo de campo y los levantamientos arquitectónicos. Respecto al proyecto Xirangua, éste está parcialmente financiado por las empresas michoacanas PEVSA S.A. e Integra Constructora.

AUTORES

Adrià Sánchez Calvillo, doctorante en arquitectura, máster en construcción avanzada en la edificación, especialista en restauración de monumentos, graduado en arquitectura técnica y edificación. Investigador de doctorado y profesor en la Universidad Michoacana San Nicolás Hidalgo. Director del proyecto DBMC 2020 para el estudio del patrimonio vernáculo del estado de Michoacán, México. Publicaciones completas en: <https://www.researchgate.net/profile/Adria-Sanchez-Calvillo>

Elia Mercedes Alonso-Guzmán, doctora en ciencias químicas, maestra en metalurgia y ciencias de los materiales, ingeniera civil. Primera Profesora Emérita de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Es la responsable del Primer Cuerpo Académico Consolidado-UM-147 de la Fac. Ing. Civil, "Ciencias, Ingeniería y Tecnología de los Materiales para la Construcción" y del Grupo de Investigación de Materiales.

Javier Ortega Heras, doctor en ingeniería civil por la Universidade do Minho, máster en "Structural Analysis of Historical Constructions", y arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid. Investigador en la Universidade do Minho, especializado en el campo la conservación de estructuras históricas. Es miembro de ICOMOS y co-fundador de FENEC, asociación que ofrece servicios de ensayos no destructivos y análisis estructural especializado para el patrimonio construido.

Adrián Solís Sánchez, egresado de la Facultad de Arquitectura y actualmente en proceso de titulación del programa de Especialidad en Restauración de Sitios y Monumentos por la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo. Ha impartido ponencias y publicado artículos científicos sobre patrimonio. Es fotógrafo y ha participado en múltiples exposiciones. Es colaborador del proyecto DBMC 2020 para el estudio del patrimonio vernáculo del estado de Michoacán, México.