

# APRENDIZAJES DE UN PROTOTIPO DE VIVIENDA TEMPORAL ALTOANDINA CONSTRUIDO CON MATERIALES REGIONALES

Teresa del Pilar Montoya Robles<sup>1</sup>, Gloria Cecilia Jiménez Dianderas<sup>2</sup>

Centro Tierra, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, <sup>1</sup>tmontoya@pucp.edu.pe; <sup>2</sup>gjimenez@pucp.edu.pe

**Palabras clave:** totora, frío, madera, enlucido de tierra, puente térmico.

## Resumen

La región altoandina de Puno es una zona sísmica con clima frío y las familias viven en cabañas de piedra o adobe. Por este motivo se planteó un prototipo de vivienda temporal hecha con materiales regionales como paneles aislantes de totora entre una estructura de madera. El prototipo desarmado se transportó y ensambló en una comunidad puneña a altitud de 4,800 m. Esta vivienda temporal fue habitada por una o dos personas durante dos años, al cabo de los cuales se realizó la evaluación constructiva y el monitoreo térmico durante uno de los meses más fríos del año. Los materiales resistieron el clima extremo altoandino y su comportamiento térmico fue igual al de una cabaña tradicional. El mayor puente térmico fue la unión entre paneles de totora y estructura de madera y se identificó la falta de un elemento interior que dé mayor hermeticidad y almacene calor. Según estos resultados, se diseñaron propuestas que mejoren el desempeño térmico y constructivo del prototipo, las cuales se simularon con el programa *Design Builder*. La propuesta con el mejor desempeño térmico simulado (totora con capas de barro y paja) fue seleccionado para realizar las pruebas de procedimiento constructivo en un panel a tamaño real, las cuales demostraron la mejor forma de adherir el mortero de barro con los paneles de totora. En este artículo se comparte lo aprendido sobre las técnicas de construcción con totora, madera y tierra, mediante experimentación a escala real y simulaciones digitales.

## 1 INTRODUCCIÓN

El estudio se enfoca en comunidades altoandinas de Puno, al Sur del Perú, con altitud a más de 4.000 m, con clima frío y seco, radiación solar intensa todo el año, vientos fuertes y temporada de lluvias y nevadas. El territorio es irregular con escasa vegetación, no apto para la agricultura, mayormente de pastos, por lo que la población se dedica a la crianza de alpacas. Además de estas condiciones importantes, esta región se encuentra en zona de sismicidad alta (zona 3) (norma E.030, 2016, p.4), ante los cuales las viviendas son muy vulnerables y las respuestas gubernamentales cuando ocurren estos eventos son deficientes.

Las viviendas están distribuidas a gran distancia entre ellas (Rodríguez-Larraín, 2019, p. 495) determinadas por el área de pastoreo necesario para el ganado alpaquero. Estas viviendas o cabañas están construidas con piedra y barro o adobes, y techadas con paja, aunque últimamente ha sido reemplazada con planchas de calamina metálica sin ningún aislamiento térmico.

En una investigación previa a este estudio, se diseñó y construyó el prototipo de vivienda como una alternativa más apropiada al contexto altoandino como albergue temporal ante eventos sísmicos. Se probó por tres meses en una localidad a menor altitud, Juliaca (altitud 3.800 m), en un ambiente académico, por ser un lugar con mejor acceso, cercanía a la ciudad, seguro y que permitía un monitoreo constante, pero a la vez aislado y expuesto a factores climáticos similares a los que enfrentan las cabañas altoandinas. El prototipo de vivienda temporal consistía de una envolvente de paneles de totora soportada por una estructura de madera, fácilmente armable, desarmable y transportable. Constaba de tres ambientes: esclusa de ingreso, cocina-comedor y dormitorio, organizados en 20 m<sup>2</sup>, podía albergar hasta 6 personas, y su tiempo de vida estimado era de tres años (Jiménez et al., 2021).

La segunda etapa de esta investigación fue desarmar, trasladar y volver a ensamblar este prototipo en una típica comunidad altoandina, Orduña, altitud 4.800 m, para que sea habitada por una familia alpaquera por seis meses y monitorear su desempeño térmico y constructivo. Debido a la inmovilización social por la pandemia Covid-19 del 2020, la familia voluntariamente vivió dos años en el prototipo, por lo que recién en 2022 se pudo regresar a Orduña para hacer la evaluación constructiva y térmica.

El enfoque principal del grupo de investigación Centro Tierra PUCP, de la Pontificia Universidad Católica del Perú, es utilizar materiales naturales de la región, y en este prototipo se planteó utilizar desde un inicio la totora del Lago Titicaca como material aislante. La totora, *Schoenoplectus tatora* o *Scirpus californicus subsp. tatora* (CIRNMA; CEDAFOR, 2001, p. 18), es una planta herbácea acuática que crece en lagos, lagunas y pantanos. Las comunidades alrededor del Lago Titicaca tienen una tradición ancestral de trabajo y utilización de la totora. Actualmente la comunidad Chimú es la que mantiene la técnica de elaboración artesanal y comercialización de *quesanas*, que son unos colchoncillos de manojos de fibras amarradas uno a continuación del otro. Partiendo de esta técnica artesanal, se diseñó y elaboró un panel de doble *quesana*, más aislante térmicamente y manejable (Jiménez et al., 2024).

## 2 OBJETIVO

En este estudio se analiza lo aprendido sobre las técnicas de construcción de un prototipo con estructura de madera y cerramiento de paneles de totora para proponer alternativas de mejora constructiva y térmica, evaluadas con instrumentos digitales y a escala real.

## 3 METODOLOGÍA

Esta investigación se inicia con el traslado de las piezas del prototipo a Orduña en febrero 2020, durante la temporada de lluvias. Todas las piezas se logran acomodar en un camión, y la mitad del trayecto se realiza por una trocha carrozable. El prototipo se ensambla en el terreno de una familia asignada por la Comunidad, a poca distancia de su cabaña, y el proceso de ensamblaje se hace por cuatro personas.

La evaluación constructiva y térmica, especialmente relacionada al desempeño de los materiales expuestos al contexto climático alto andino y la experiencia de las personas que habitaron el prototipo, se programa para después, tratando de coincidir con el inicio de la temporada más fría (junio a agosto) para ejecutar el monitoreo térmico durante esos tres meses. Para comparar los resultados obtenidos se utiliza el rango de confort térmico calculado para Orduña, según el método de confort adaptativo de Nicol y Humphreys (2002), determinado en 10°C a 15°C (Jiménez et al., 2017).

La evaluación constructiva consiste en la revisión visual de los encuentros entre materiales, especialmente de la estructura de madera con el cerramiento de totora y los vanos. Simultáneamente se utiliza la cámara termográfica marca FLIR modelo E5 Wifi de la serie Ex, con tecnología MSX, lente FOL 7 mm, resolución de IR 120 \* 90, que detecta diferencias de temperatura de 0.06°C, con una exactitud de  $\pm 2\%$ , para una temperatura ambiente de 10°C a 35 °C y una temperatura del objeto mayor a 0 °C, para identificar las filtraciones de aire y cualquier otro tipo de intercambio de calor importante a través de la envolvente, especialmente en horas de la noche y madrugada; las mediciones se toman tanto por el interior como por el exterior del prototipo. Como resultado de esta revisión se hacen las reparaciones básicas necesarias para reducir las pérdidas térmicas.

Una vez realizadas las reparaciones, se colocan siete *data loggers* Hobo H08-003-02 de Onset Computer Corporation, que registran temperatura del aire y humedad: cuatro en el interior del prototipo, dos en el exterior (fachadas norte y sur) y uno en una habitación de la cabaña de adobe existente, para comparar resultados (figura 1). Se realizan entrevistas a las personas que habitan el prototipo para identificar como lo usaron, cuál era su rutina, si hicieron cambios constructivos y que mejoras propondrían.

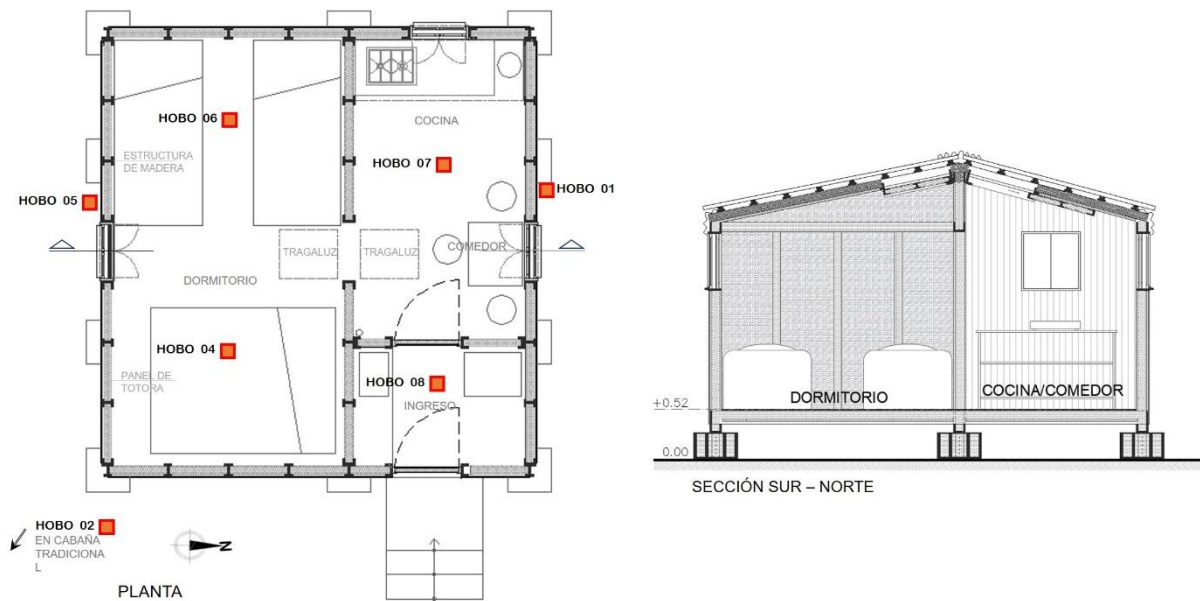


Figura 1. Planta y sección de prototipo reensamblado en comunidad de Orduña y ubicación de HOBOS para monitoreo térmico

Con esta información se plantean propuestas constructivas con materiales naturales de la región para mejorar el desempeño térmico del prototipo. Estas propuestas se evalúan con el modelado digital y simulaciones en el programa *Design Builder Software*, para seleccionar la mejor opción. Finalmente, se realiza la experimentación del procedimiento constructivo de la propuesta seleccionada en un panel a tamaño real en el Laboratorio de Experimentación del Centro Tierra PUCP.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Aprendizajes constructivos y de prácticas culturales

El traslado y almacenaje de los materiales durante el ensamblaje debe considerar protección contra precipitaciones, especialmente durante la temporada de lluvias, no solo porque los caminos generalmente son trochas, dificultando el tránsito de camiones, sino también incluir cubiertas impermeables, y lugares de almacenaje elevados sobre el piso del terreno.

Como los terrenos altoandinos son irregulares y en pendiente, hay que tener en cuenta un tiempo adicional para nivelar el terreno o hacerlo con anticipación para reducir el tiempo de construcción y almacenaje de las piezas.

Las bases de cimentación están sobre el terreno para que los ambientes de la vivienda no estén en contacto directo con el suelo húmedo, pero generan un espacio libre entre el terreno y el piso de la vivienda de más de 0.50 m. Sin embargo, debido a la intensidad del viento alto andino, es necesario cubrir el perímetro hueco entre cajas de cimentación para evitar la infiltración de aire frío por el piso del prototipo.

Se debe considerar la importancia cultural y ambiental que los pobladores le dan a la ubicación de la puerta de ingreso. Según la topografía, el asoleamiento y los vientos del lugar, el módulo de la vivienda requiere cierta flexibilidad para la colocación de los vanos, en especial la puerta que da al exterior, para que el usuario final y los constructores puedan definir la mejor ubicación, según las características de su contexto local y su funcionalidad.

Se requiere mejorar el ajuste de los paneles verticales de totora (muro) con la estructura de madera, pues son los principales causantes de pérdida de calor e infiltración de aire frío al interior del prototipo. Las imágenes de la cámara termográfica evidencian estas pérdidas de calor (en color morado) precisamente a través de esas ranuras y agujeros dejados por el desplazamiento de los paneles de totora (figura 2). Esto ocurre especialmente en tres uniones:

en el encaje del panel de totora con los pie-derechos H a los costados (el cual solo se desliza y soporta entre los salientes de la H, sin ningún elemento adicional de sujeción); en la parte superior entre el panel de totora y la viga collar (debido al deslizamiento por gravedad de los paneles verticales dentro de la viga durmiente U del piso); y en los bordes del tímpano (donde los paneles eran triangulares y no estaban correctamente sujetos a la estructura del techo y muro, por lo que los paneles se deformaron y también crearon aberturas importantes especialmente en las esquinas).

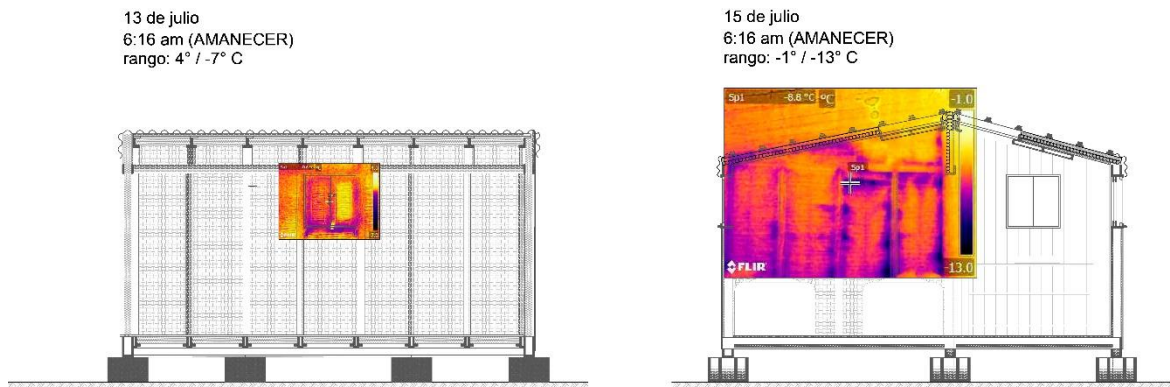


Figura 2. Fotos con la cámara termográfica mostrando las pérdidas de calor (color morado) en ventanas, muros y techo

El ingreso de radiación solar por los tragaluces no fue efectivo, porque durante el día la vivienda no está habitada la mayor parte del tiempo, y no había materiales que pudieran almacenar el calor solar recibido. En las noches, las ganancias de calor internas por las personas y la cocina, no eran suficientes para mantener una temperatura aceptable.

#### 4.2 Reparaciones

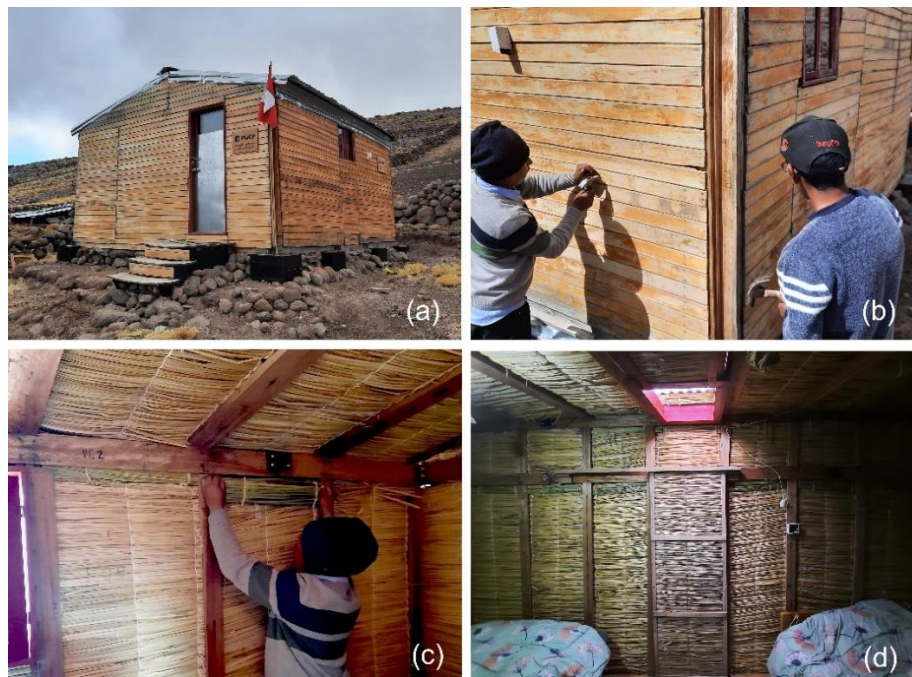


Figura 3. Reparaciones del prototipo en Orduña: a) vista exterior del prototipo con relleno de piedras entre cajas de cimentación; b) fijación de machihembrado de fachada; c) relleno de rollos de totora en cabecera de paneles aislantes; y d) instalación de puerta entre dormitorio y cocina-comedor

Las reparaciones realizadas luego de dos años de habitación incluyeron (figura 3):

- tapar/cubrir el espacio vacío del encuentro de la parte superior de los paneles de totora con la viga collar de madera con pequeños rollos de totora de 0.60 x 0.04 x 0.04 m.
- rellenar todo el borde del panel de totora de los tímpanos con rollos de totora de diferentes secciones, según el tamaño de las aberturas.
- construir de un cerco de piedras con barro en las aberturas entre el terreno y el piso de la vivienda y entre cajas de cimentación.
- reparar, reforzar y barnizar el machihembrado de madera en el exterior.

### 4.3 Monitoreo térmico de prototipo Orduña

En la figura 4, se muestra la temperatura del aire registrada en el interior de todos los ambientes de la vivienda temporal y de la cabaña tradicional (rojo), comparada con la temperatura del aire exterior (gris). En ninguno de los dos casos, prototipo y cabaña tradicional, se llega a mantener la temperatura interior por encima de la meta de 10°C. Aunque en las tardes y noche el prototipo mantiene la temperatura interior por encima de la exterior, en las mañanas iguala o es un poco menor a la exterior, con la excepción de la esclusa de ingreso, puesto que la puerta abre hacia el Este y se calienta rápidamente con el impacto de la radiación solar matutina.

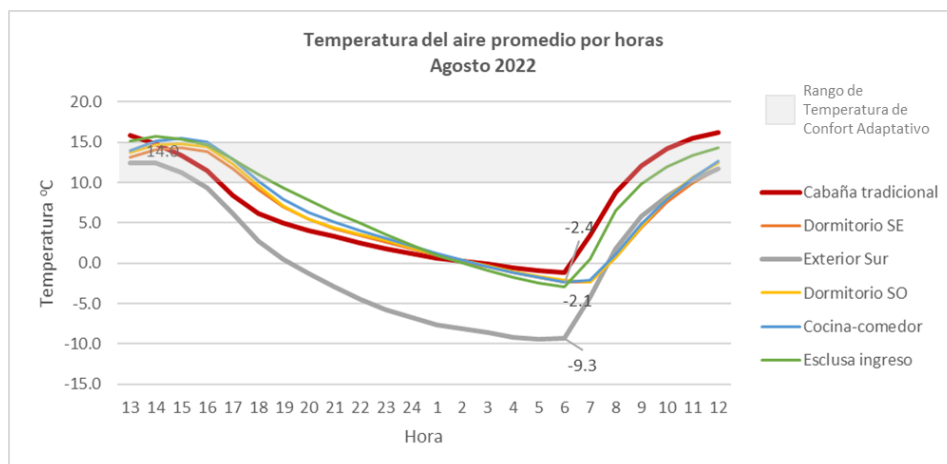


Figura 4. Resultados del monitoreo térmico de prototipo de vivienda temporal reensamblado en comunidad de Orduña

### 4.4 Simulación de propuestas de mejora

Para alcanzar la meta de los 10°C o más, especialmente en las noches, se simuló varias opciones de mejora con *quesanas* de totora y mortero de tierra y paja aplicadas en la superficie interior de los muros. Las que dieron los mejores resultados fueron (figura 5a):

- una capa adicional continua de *quesana* de totora simple (0.04 m) al interior, dejando una capa de aire de 0.02 m entre pie-derechos de muro y viguetas de techo (TCA).
- un enlucido interior de barro con paja de 0.02 m entre los pie-derechos del muro (BEP).
- un enlucido de barro con paja de 0.02 m entre pie-derechos más un enlucido interior de 0.01 m continuo y una capa de 0.04 m de paja/barro sobre los paneles de totora del techo. (BEPC).

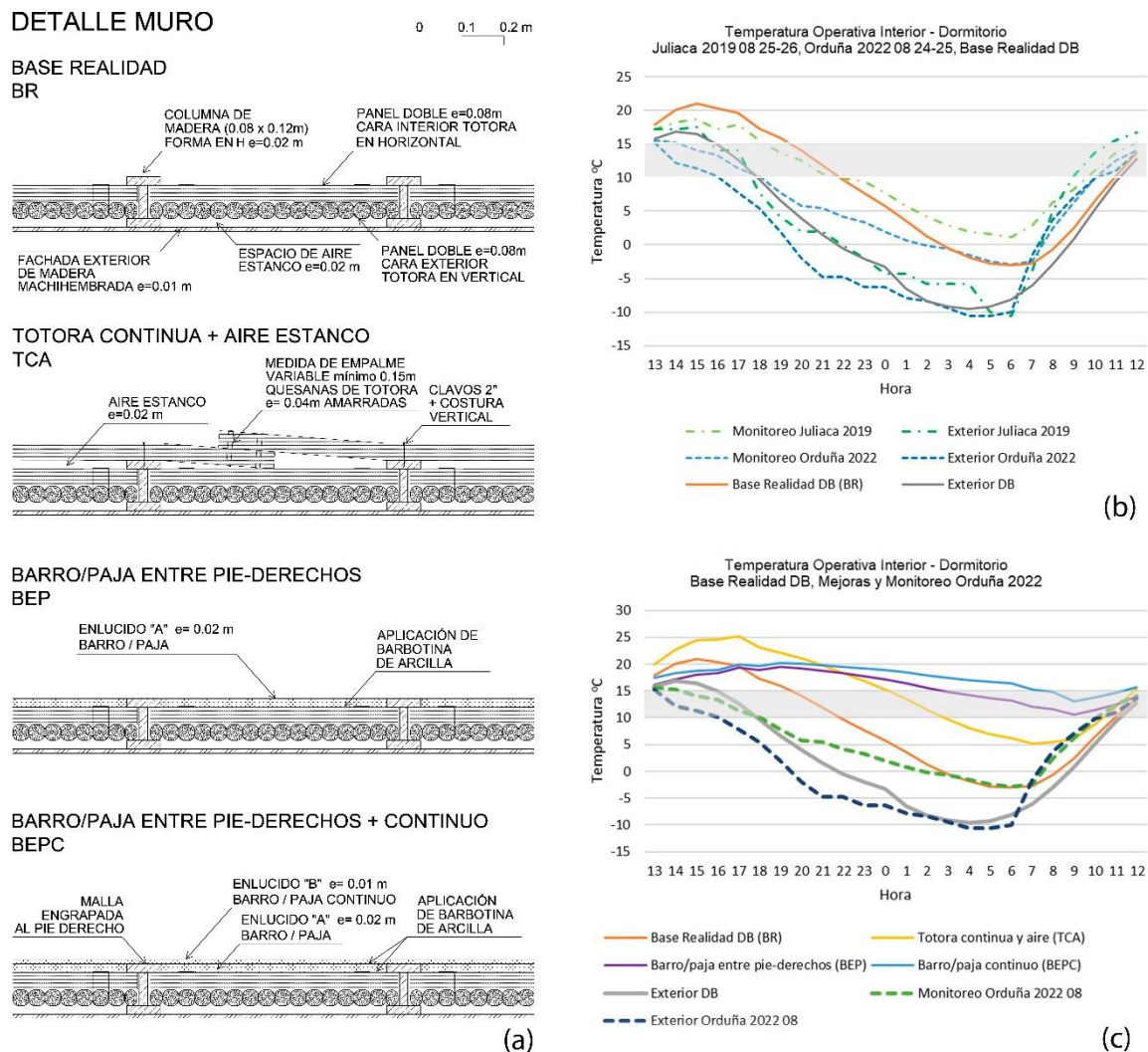


Figura 5. Detalles de las mejoras propuestas con totora o barro/paja, y gráficos de los resultados de las simulaciones en *Design Builder*

En la figura 5b se muestran los resultados de monitoreo térmico del dormitorio del prototipo realizado en Juliaca (2019) y en Orduña (2022) comparado con una Base Realidad (BR) simulada con el programa *Design Builder* (DB), para posibilitar la comparación de las simulaciones de las mejoras propuestas.

En la figura 5c se observan que los resultados de las simulaciones del dormitorio del prototipo con las mejoras propuestas con barro/paja se mantienen por encima de los 10°C y con un rango térmico más controlado entre día y noche. La mejora con totora, está por debajo de los 10°C en las madrugadas, y puede alcanzar los 25°C en las tardes, muy por encima del rango de confort adaptativo calculado para Orduña.

#### 4.5 Experimentación del panel de totora con enlucido de barro y paja

Para mejorar la adherencia del mortero de barro con la totora en los muros, se aplicó primero la barbotina de arcilla al panel de totora y luego se aplicó los 0.02 m de enlucido de barro con paja entre los pie-derechos. En el 60 % inferior del panel de experimentación se aplicó 0.01m adicional continuo de barro con paja (sobre el primer enlucido y los pie-derechos) para probar cuatro tipos de mallas que mejoren la adherencia de este segundo enlucido de barro con paja y garantizar la continuidad del enlucido (figura 6).

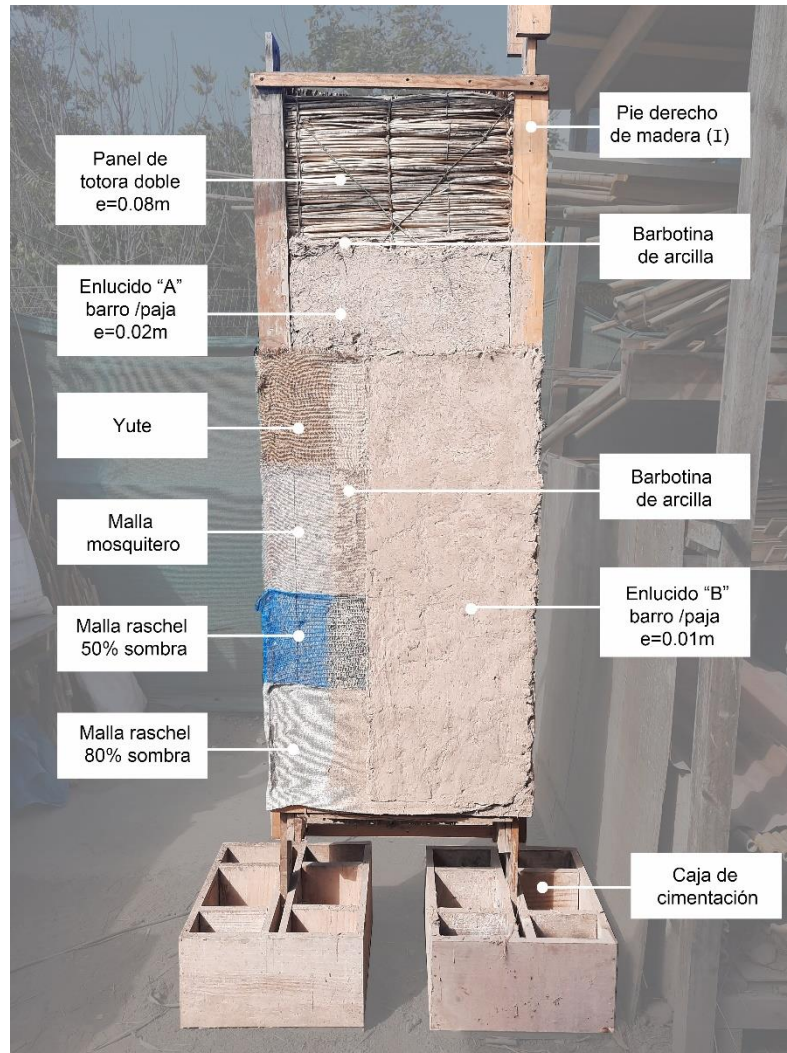


Figura 6. Pruebas de enlucido barro/paja en modelo 1:1 de panel aislante de totora doble

Se comprobó la correcta adhesión del barro a la superficie de totora. No hubo diferencias de adhesión entre mallas y barro, las cuatro opciones funcionaron de manera similar y evitaron la formación de grietas verticales, específicamente en el encuentro de pie-derecho con panel. El panel de experimentación se dejó al aire libre durante un mes expuesto a radiación solar directa, llovizna, y viento, y se le aplicó empujes laterales, para simular movimiento y vibración. Los enlucidos no se resquebrajaron ni cayeron.

## 5 DISCUSIÓN

El tiempo de ensamblaje del prototipo fue de tres semanas en lugar de una semana, debido, entre otras circunstancias, al tiempo adicional que se requirió para nivelar el terreno, lo cual fue difícil porque coincidió con la temporada de lluvias. En temporada seca, la dificultad más bien es la dureza del suelo congelado. Además, con esta experiencia se verificó la validez de colocar las cajas de cimentación sobre el terreno por lo trabajoso que es cavar el suelo en estas zonas altoandinas.

Uno de los aprendizajes más importantes fue el aspecto cultural de la ubicación de la puerta de ingreso. El diseño del prototipo consideraba la puerta en la fachada Sur, para dar la prioridad a la orientación de las ventanas del dormitorio y de la cocina-comedor hacia el Oeste y Este, pero debido a que, en el lugar asignado, los vientos predominantes provenían del Sur y que la familia prefería un vínculo mayor con el Sol del amanecer y del atardecer, se tuvo

que girar todo el prototipo para que la puerta de ingreso dé hacia el Este. Esta orientación, además de evitar los vientos predominantes locales, permitían que el sol de la mañana ingresara muy profundo en la vivienda, por lo que dejaban las dos puertas de la esclusa de ingreso abiertas mientras desayunaban; y luego las mantenían cerradas. Sin embargo, este giro, hizo que el dormitorio quedara hacia el Sur, el lado más frío de la vivienda, por el impacto de los vientos y porque el sol está inclinado hacia el Norte durante los meses más fríos. Por lo tanto, nunca se abrían la ventana ni la contraventana, por la incidencia del viento frío. La solución que se plantea es que la puerta de ingreso y la esclusa tengan flexibilidad para variar de ubicación, y evitar el giro de la vivienda. Esta estrategia asegura que el dormitorio siempre tenga su fachada hacia el Oeste y permita la ganancia solar directa a través de la ventana en las tardes durante todo el año.

El prototipo elevado sobre cajas de cimentación fue para evitar excavar y perder calor a través del suelo húmedo y frío. El espacio entre terreno y piso de la vivienda se dejó abierto y expuesto a los vientos, los cuales aumentaban su velocidad al pasar por este espacio reducido. Aunque el piso tenía el aislamiento del panel de totora, la velocidad del viento era tan intensa que se llegaba a infiltrar a través de él; por lo tanto, los usuarios intentaron tapar por partes este espacio con calaminas sujetas con piedras. Se mejoró esta solución espontánea construyendo un parapeto perimetral entre las cajas de cimentación con piedras y mortero de barro del lugar.

Como se observó en las fotos de las mediciones con la cámara termográfica, las fugas de calor se presentaron específicamente en las uniones de los paneles de totora doble con la estructura de madera, por lo que se tendría que rediseñar la viga collar y los durmientes para asegurar el traslape y sujeción en todo el contorno del panel. Una técnica similar se tiene que considerar en el caso de los encuentros de los marcos de los vanos con la estructura de madera.

Los tragaluces se mantenían generalmente cerrados, por la falta de costumbre del usuario de operar un tragaluz y porque según su rutina diaria, salen muy temprano para ir al campo, cuando la temperatura exterior es la más baja, y regresan en la tarde cuando el viento es más fuerte y empieza a bajar la temperatura. Por lo tanto, casi todo el día están fuera de sus viviendas: en el campo en sus labores de pastoreo o en su pequeño patio para realizar sus quehaceres diarios y recibir la radiación solar directa. En el modelado digital con *Design Builder*, los tragaluces mostraron que podían calentar los espacios interiores durante el día, debido a la alta intensidad de la radiación solar en esta región, pero no había ningún material con masa térmica que pudiera almacenar este calor. En cambio, las propuestas con enlucidos de barro y paja equilibraban la variación térmica entre día y noche, a pesar de solo ser enlucidos de 0.02 a 0.03 m de espesor.

Las simulaciones con *Design Builder* de las propuestas de mejora, demostraron que añadir un queso más de totora continua en el interior, incrementando el espesor del aislante, generaba un aumento de temperatura significativo, inclusive sobrecalentando en el día y bajando a 5°C en las madrugadas, pero sin alcanzar la meta de los 10°C. En cambio, al añadir un material con masa térmica como la tierra, aunque sea de poco espesor, cerraba las ranuras de los encuentros entre panel y estructura, y mejoraba significativamente el desempeño térmico del interior, pasando la meta de 10°C, en el momento más frío de las noches de invierno.

Como todas las mallas (yute, malla sintética de tres diferentes densidades) cumplieron su función de adherencia del mortero de barro/paja, especialmente con las piezas de madera de la estructura, sería preferible utilizar la malla de yute por sus características naturales y biodegradables. Sin embargo, se requiere probar estos resultados y propuestas en un prototipo a escala real.

## 6 CONSIDERACIONES FINALES

La opción con totora adicional es una solución de colocación en seco que mantiene las características de ligereza, prefabricación y fácil transporte de una vivienda temporal. La opción con enlucido de barro es una solución húmeda, que requiere ejecutarse en el lugar una vez ensamblada la vivienda temporal y requiere un tiempo de secado, lo que la acerca a un concepto de vivienda permanente.

La combinación de un material aislante exterior (panel de totora doble) con un material de alta masa térmica interior (enlucido de barro con paja) puede mejorar el desempeño térmico de viviendas alto-andinas con recursos y materiales naturales de la región. Este tipo de combinación de materiales, aunque sea con masa térmica de poco espesor es suficiente para conseguir confort térmico en estas latitudes de clima tropical de altura.

Es importante considerar la continuidad de las superficies interiores planteadas porque reducen la probabilidad de puentes térmicos en los encuentros de la estructura de madera con el cerramiento de panel de totora.

Estos resultados de las simulaciones digitales de las propuestas de mejora son preliminares y se consideran como un sustento para realizar en el futuro la experimentación en el prototipo de vivienda temporal existente en Orduña, comprobar los resultados con un nuevo monitoreo térmico y constructivo a escala real, y observar la aceptación de estas mejoras por los usuarios. Recién al completar esta etapa se podrá tener mayor certeza de la efectividad de las propuestas.

Es imprescindible considerar los criterios culturales, prácticas y contexto locales, y no solamente los criterios técnicos académicos, cuando se plantean soluciones que impactarán a grupos de personas diversas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRNMA; CEDAFOR (2001). Informe final – Plan maestro Reserva Nacional del Titicaca. Proyecto PER/98/G32. Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente; Centro de Desarrollo Agrario y Forestal. Disponible en: [https://drive.google.com/file/d/1ZN0UMQU\\_251HpB25s5czof-joKPlaqqF/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1ZN0UMQU_251HpB25s5czof-joKPlaqqF/view?usp=sharing)

Jiménez, C.; Wieser-Rey, M.; Biondi, S. (2017). Improving thermal performance of traditional cabins in the high altitude Peruvian Andean region. 33rd PLEA Conference Design to Thrive (PLEA 2017). Proceedings Vol. III (pp. 4101-4108), Edimburgo, Escocia, Reino Unido. Disponible en: <https://plea2017.net/#programmes-container>

Jiménez, C., Montoya, T.; Loayza, S. (2021). Temporary dwelling for the high altitude Andean region of Puno, Peru. 35th PLEA conference on passive and low energy architecture (PLEA 2020). Proceedings Vol. II (pp. 1275-1280). Universidad da Coruña, España. Asoc. PLEA2020 Planning Post Carbon Cities. Disponible en: <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497947>

Jiménez-Dianderas, G. C.; Montoya Robles, T. del P.; Loayza León, S. (2023). De la “Quesana” tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de totora. Revista de Arquitectura (Bogotá), 26(1) p. 125-146. Disponible en: <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.4578>

Norma E.030 Diseño sismo-resistente (2018). Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>

Nicol, J.F. ; Humphreys, M.A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and Buildings*, 34(6), p. 563-572.

Rodríguez-Larraín Dégrange, S. (2019). Evolución de las técnicas constructivas en la vivienda del altiplano de la comunidad alpaquera de Orduña, Puno, Perú. En C. Neves, Z. Salcedo Gutierrez, O. Borges Faria (Eds.), *Memorias del 19º Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, FUNDASAL, p. 492-501. Disponible en: <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/06/19-SIACOT-Mexico-2019.pdf>

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras agradecen a la Comunidad de Orduña y especialmente a la familia Robles Choquehuayta por haber permitido la construcción del prototipo en sus tierras, haberlo habitado y dado las facilidades para el monitoreo y mantenimiento del mismo, y a los Ingenieros Saúl Huayta y Samuel Torres por su apoyo para realizar las reparaciones del prototipo. También agradecen a la Dirección de Fomento a la Investigación PUCP, por el financiamiento para la realización de esta investigación.

## **AUTORES**

Teresa Montoya Robles, maestra en Construcción y Tecnología de Edificaciones Históricas por la Universidad Politécnica de Madrid; arquitecta egresada de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP); con estudios técnicos en carpintería en CETPRO Salesiano, y de especialización en Diseño Ambiental en la Universidad Ricardo Palma; docente y miembro de los grupos de investigación Centro Tierra y Patrimonio Arquitectónico PUCP; realiza consultorías sobre técnicas constructivas y patrimonio.

Gloria Cecilia Jiménez Dianderas, maestra de filosofía en arquitectura por la Universidad de Cambridge, maestra en Diseño Consciente de la Energía por la Universidad de Nuevo México, arquitecta egresada de la Universidad Ricardo Palma, docente en la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y miembro del grupo de investigación Centro Tierra PUCP; realiza consultorías sobre diseño bioclimático y sostenibilidad.