

De la “Quesana” tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de Totora

From the traditional “quesana” to a modular system of reed insulation panels

Recibido: marzo 29 / 2022 • Evaluado: julio 10 / 2022 • Aceptado: julio 16 / 2023

Gloria Cecilia Jiménez-Dianderas*
Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP,
Lima (Perú)
Departamento de Arquitectura

Teresa del Pilar Montoya Robles**
Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP,
Lima (Perú)
Departamento de Arquitectura

Silvana Loayza León***
Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP,
Lima (Perú)
Departamento de Arquitectura

RESUMEN

La “Totora” es una fibra natural disponible en el lago Titicaca, al sur del Perú, y de uso tradicional entre las comunidades circundantes. Actualmente existe un importante excedente, por lo que anualmente se quema una gran cantidad de totorales. Este estudio plantea el uso y la estandarización de la totora como material aislante térmico y de baja energía incorporada, para extender su uso a edificaciones en la fría región altoandina. Se realizó la exploración en campo de esta fibra natural y de cómo la trabajan las comunidades del lago, a través del intercambio tecnológico con pobladores locales. A partir de esta experiencia, y a través de pruebas básicas en gabinete, se desarrolló el panel doble cruzado y modular de totora. La transmisión térmica del panel se comprobó con pruebas de laboratorio. Se construyó un prototipo de vivienda con cerramiento de paneles de totora y estructura de madera, monitoreando su desempeño constructivo y térmico por tres meses. El resultado térmico fue mejor que el de una cabaña tradicional alto-andina. El panel de totora propuesto mantuvo su forma, rigidez y características aislantes, demostrando su potencial como material constructivo natural y de bajo impacto ambiental en su procesamiento.

Palabras Clave:

aislamiento térmico; altiplano; fibra natural; prefabricación; tecnología apropiada

ABSTRACT

“Totora” is a natural fiber found in Lake Titicaca in the Andean region of Southern Peru, and is traditionally used by the surrounding communities. Currently, there is a significant surplus and a large amount of “totorales” is burned annually. This study proposes the use and standardization of totora as a thermal insulating material with low embodied energy, in order to extend its use to buildings in the cold high Andean region. The field study of this natural fiber and its use by the lake communities was carried out through technological exchange with local people. From this experience, and through basic laboratory tests, the double crossed and modular Totora reed panel was developed. The thermal transmission of the panel was verified with laboratory tests. A prototype house was built with a reed panel enclosure and a wooden structure, and its structural and thermal performance was monitored for three months. The thermal performance was better than that of a traditional high Andean cottage. The proposed totora reed panel maintained its shape, stiffness and insulating properties, demonstrating its potential as a natural building material with low environmental impact in its processing.

Keywords:

appropriate technology; highlands; natural fibers; prefabrication; thermal insulation

CÓMO CITAR

Jiménez-Dianderas, G. C., Montoya Robles, T. del P., y Loayza León, S. (2024). De la “Quesana” tradicional a un sistema modular de paneles aislantes de Totora. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 26(1) pp. 125-146 <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.4578>

- ✱ Arquitecta, Universidad Ricardo Palma, Lima (Perú).
Magíster en Arquitectura con Énfasis en Diseño Consciente de la Energía, University of New Mexico. Albuquerque (Estados Unidos de América)
Magíster de Filosofía en Arquitectura, University of Cambridge (Reino Unido)
◆ <https://scholar.google.com/citations?hl=en&user=VKEKJdkAAAAJ>
🌐 <https://orcid.org/0000-0002-3727-9207>
✉ gjimenez@pucp.edu.pe jimenezcecilia36@gmail.com
- ✱✱ Arquitecta, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima (Perú)
Magíster en Construcción y Tecnología de Edificaciones Históricas, Universidad Politécnica de Madrid. (España)
◆ <https://scholar.google.com/citations?user=CQHCGZoAAAAJ&hl=en>
🌐 <https://orcid.org/0000-0003-2764-5901>
✉ tmontoya@pucp.edu.pe t.montoya.robles@gmail.com
- ✱✱✱ Arquitecta, Universidad Católica del Perú. Lima (Perú)
◆ <https://scholar.google.com/citations?user=Qyp2ca0AAAAJ&hl=en&oi=ao>
🌐 <https://orcid.org/0000-0002-9389-3826>
✉ silvana.loayza@pucp.pe silvana.loayzaleon@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Este estudio es parte de una investigación que propone una solución de vivienda temporal apropiada para el clima frío severo de la zona altoandina de Puno utilizando la totora como material aislante y de cerramiento. La investigación incluyó el diseño, la fabricación y el ensamblaje de paneles aislantes de totora, así como su utilización y monitoreo térmico y constructivo en un prototipo construido en la región de estudio.

La zona altoandina del Perú abarca pisos ecológicos que van desde 2300 hasta 6768 metros sobre el nivel del mar, según la clasificación de las “ocho regiones naturales” establecidas por el geógrafo peruano Javier Pulgar-Vidal¹ (2014), considerando su altitud, clima, flora y fauna. La clasificación altoandina incluye cuatro regiones, pero este estudio se enfoca en la región puna (de 4000 m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m.), conformada en su mayor parte por mesetas andinas, lagos y lagunas, clima frío y seco, que, según la clasificación de Köppen Geiger, corresponde a un clima frío de tundra seca de alta montaña (ETH) (Wieser-Rey, 2011, p. 11). Presenta una alta oscilación termohigrométrica entre día (20°C) y noche (<0°C) durante todo el año, y una temporada de precipitaciones líquidas y sólidas de diciembre a marzo. La vegetación típica es la paja *ichu*, que sirve de alimento para ganadería vacuna, ovina y de auquénidos (Anaya-Borda, 2015, p. 7). La población es muy vulnerable ante eventos climáticos y sísmicos, debido a sus frágiles condiciones sociales y económicas, y a la rigurosidad extrema de las características geográficas.

Las viviendas tradicionales de esta región son de muros de adobe con techo de paja en los centros poblados, y de piedra con barro y techo de paja en la zona rural a mayor altitud. El desempeño térmico de estas viviendas es pobre (Jiménez et al., 2017), al igual que su comportamiento ante eventos sísmicos, frecuentes en Perú. Actualmente estos materiales se reemplazan por muros de ladrillo y concreto con techos de teja o calamina

metálica en las zonas urbanas, o con techos de solo calamina metálica en la zona rural. Estos cambios pueden responder mejor ante sismos, pero empeoran su comportamiento térmico (Rodríguez-Larraín Dégrange, 2019, p. 498).

Considerando esta realidad y para mejorar las condiciones de habitabilidad de las viviendas altoandinas del sur del Perú, se buscaron soluciones alternativas aprovechando los recursos de materiales naturales disponibles en la región, accesibles y conocidos por los pobladores y que pudieran adoptarlos culturalmente. Por todas estas características, se decidió trabajar con la totora.

La totora, *Schoenoplectus tatora* o *Scirpus californicus subsp. tatora* (Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente [CIRNMA] & Centro de Desarrollo Agrario y Forestal [CEDAFOR], 2001, p. 18), es una planta herbácea acuática perenne que crece de manera silvestre o cultivada en lagunas, esteros y pantanos en la costa y la sierra del Perú. La totora también crece en otros sectores del continente americano, como en las costas del Pacífico y del Atlántico, y en las islas de Pascua, las islas Australes y Hawái, además, también se ha introducido en Nueva Zelanda (Banack et al., 2004, p. 12). La totora de este estudio corresponde a la del lago Titicaca (3812 m s.n.m.), en Puno (13°-17° latitud sur). Puede alcanzar cuatro metros de altura, de los cuales la mitad están sumergidos bajo el agua. Su tallo es erecto, liso, flexible, liviano, rollizo y triangular (Perú Ecológico, 2007) (figura 1). Su composición es esponjosa y contiene una alta proporción de sílice (SiO₂), lo cual podría explicar por qué es una de las pocas plantas de la región resistentes a períodos de sequía y que mantiene su rigidez estructural (Ninaquispe-Romero et al., 2012, p. 2). No tiene hojas desarrolladas y las flores están en espiga, en la punta del tallo (Autoridad Binacional del Lago Titicaca [ALT] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2000, p. 48).

¹ Javier Pulgar-Vidal fue un geógrafo peruano que aportó importantes estudios sobre la geografía peruana. En 1940 presentó su tesis Las Ocho Regiones Naturales del Perú en la Tercera Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, la cual se convirtió en el estudio más importante sobre la división geográfica del Perú y, así, desplazó a la tradicional y simple división geográfica de Costa, Sierra y Selva.

Figura 1. Rizoma de totora, totoral y totora en proceso de secado.



Fuente: elaboración propia (2018) CC BY

La totora se ha utilizado tradicionalmente como alimento para el ganado, para la fabricación de artesanías y de colchonillos típicos de la región, llamados *quesanas*, para la construcción de cabañas y embarcaciones e, inclusive, como alimento y medicina. En consecuencia, existe mucha experiencia en el uso y trabajo con totora entre las comunidades a orillas del lago Titicaca (ALT & PNUD, 2000, p. 12). Actualmente, la comunidad lacustre Chimú es la única que trabaja y comercializa las típicas *quesanas* en la zona a través de una *cosecha selectiva* sostenible, es decir, solo cuando la totora está madura, para mantener un ecosistema saludable. Los ganaderos de otras comunidades la cosechan indiscriminadamente y sin selección.

Las medidas utilizadas por los artesanos para la confección de *quesanas* son antropométricas. Por

ejemplo, para la elaboración de una *quesana* tradicional se requieren dos *pichus* de tallos de totora (un *pichu* equivale a la cantidad de totora que se puede contener al rodearla con los brazos y el pecho de una persona; equivale en promedio a 11kg) (Asociación para el Desarrollo Sustentable [ADESU] & Proyecto Especial del Lago Titicaca [PELT], 2003, p. 3). Se toman puñados o manojos de 20 a 25 tallos de totora que se van cosiendo o anudando con una soguilla comercial o elaborada por el propio artesano con fibras naturales de la región (*chillihua*). Los manojos se cosen uno a continuación del anterior, siguiendo una soguilla inferior, hasta lograr el largo deseado de la *quesana* (figura 2). Las *quesanas* tienen un espesor promedio de 4 cm, un ancho de 1.20 m a 1.50 m y un largo promedio de 2.00 m.

Figura 2. Elaboración de *quesana* en comunidad Chimú.



Fuente: elaboración propia (2018). CC BY

Los pobladores de Puno utilizan las *quesanas* en el piso como base para dormir y para formar sus cabañas. Estas viviendas se arman con una o dos capas de *quesanas* extendidas sobre una estructura simple de madera para formar muros

y techo. Como son *quesanas* apoyadas unas sobre otras, proporcionan cierta protección ante el clima fresco del día y frío de la noche, pero su composición suelta y con fibras paralelas permite la filtración de aire frío y, posiblemente,

de lluvia entre quesanas y entre las costuras de las quesanas. Sin embargo, estos usos tradicionales están siendo dejados de lado por algunas comunidades y, en consecuencia, de 20 ha a 100 ha de totora excedente de la Reserva Nacional del Titicaca se queman cada año para permitir una sana renovación de los totorales (CIRNMA & CEDAFOR, 2001, p. 32).

En los últimos años se ha estado investigando el potencial de la totora como material aislante térmico en la construcción. Hidalgo-Cordero (2007) estudió las propiedades físicas de la totora, especialmente su resistencia a la tensión y compresión, y las técnicas artesanales de su utilización, para proponer cubiertas, muros exteriores y tabiques interiores con diversas maneras de tejido y cosido.

Ninaquispe-Romero et al. (2012) efectuaron un análisis de laboratorio de las propiedades térmicas de la totora y simulaciones térmicas de prototipos de vivienda con muros de tierra cubiertos por quesanas.

Culcay-Chérrez (2014) llevó a cabo pruebas de totora prensada con aglutinante de polivinil acetato (cola de carpintero) e hizo ensayos con bloques de tallos de totora paralelos y cruzados. La alternativa llamada “tablero de totora contrachapado” con varias capas de totora entramada, unidas con aglutinante, dio los mejores resultados de resistencia a la compresión para la fabricación de objetos y mobiliario. El investigador conjeturó que se podría utilizar como material aislante en paredes, aunque no realizó un análisis térmico.

Leyda Aza-Medina (2016) evidenció el potencial aislante de la totora con pruebas de laboratorio con un estudio de la vivienda rural en la región andina de Perú. La investigadora comentó cómo esta alternativa aislante podría mejorar el confort de sus pobladores.

Hidalgo-Cordero y García-Navarro (2018) realizaron un recuento de las técnicas artesanales y tradicionales del trabajo con totora y pusieron en evidencia la escasa investigación desarrollada sobre este material. Como conclusión, rescataron la totora como una fuente alternativa de material de construcción basado en biomasa.

Esther González-Ramón (2020) hizo una recopilación y un análisis de publicaciones y casos de estudio en todo el mundo sobre materiales biodegradables para determinar su viabilidad en la arquitectura contemporánea como una alternativa sostenible, muchas veces más confortable y más respetuosa con el medioambiente que los materiales convencionales.

En otra investigación se experimentó la fabricación de muestras de paneles con totora

triturada, comprimidas con calor y sin aglutinante; sin embargo, los resultados demostraron que se requiere más investigación para cumplir con estándares de cohesión y resistencia (Hýsková et al., 2020).

El artículo sobre el estudio del comportamiento físico-mecánico de rollos de totora amarrados (Hidalgo-Castro et al., 2019) demuestra la importancia de la tensión de amarre, el diámetro y la longitud en los rollos de totora. Concluye que una tensión de amarre de hasta 3kg mejora la resistencia a la compresión del rollo de totora, pero si excede esta cantidad rompe la estructura del tallo y afecta su resistencia. En el caso de la resistencia a la flexión, la longitud del tallo y el diámetro del rollo de totora son los que impactan de forma más significativa.

En otro artículo de Hidalgo-Cordero et al. (2020) que compara paneles no cosidos se estudian las cualidades físicas de tres tipos de tableros fabricados con totora triturada y prensados con placa caliente: de tallo completo, solo de corteza de tallo, y solo con la parte interior esponjosa del tallo. La investigación demuestra que el panel hecho del interior esponjoso tiene mayores cualidades de cohesión y módulo de ruptura, pero cuenta con una mayor absorción de humedad; los tableros de corteza, por la lignina, absorben menos humedad, pero tienen menos resistencia mecánica.

El grupo de investigación Centro Tierra (PUCP) elaboró un proyecto de investigación aplicada de 2014 a 2016 (Rodríguez-Larraín Dégrange et al., 2018) en el que se construyó un prototipo de vivienda en una comunidad de Puno a 4800 m.s.n.m. Para este, se utilizó la quesana simple de totora adosada a muros de adobe como aislamiento térmico de muros y techo (Jiménez et al., 2017; Wieser-Rey & Rodríguez-Larraín, 2021). Los resultados positivos de este uso de la totora incentivaron a algunos pobladores del lugar a utilizar la quesana apoyada a cerramientos de calamina para refugios temporales, que armaron después de un evento sísmico. Otro equipo del grupo de investigación estudió materiales aislantes, con tierra y fibras naturales, e incluyó una comparación entre tierra alivianada y quesana de totora (Wieser-Rey et al., 2018).

Con estas investigaciones se busca rescatar el uso de la totora como material de construcción que cumpla con estándares nacionales e internacionales. Continuando con esta línea de investigación, el objetivo del presente estudio es evaluar y validar el potencial de la totora como un material aislante efectivo, renovable y biodegradable, a través de la experimentación práctica con un prototipo expuesto a una situación real altoandina.

METODOLOGÍA

Este estudio de investigación aplicada inicia con una visita de campo a los lugares de

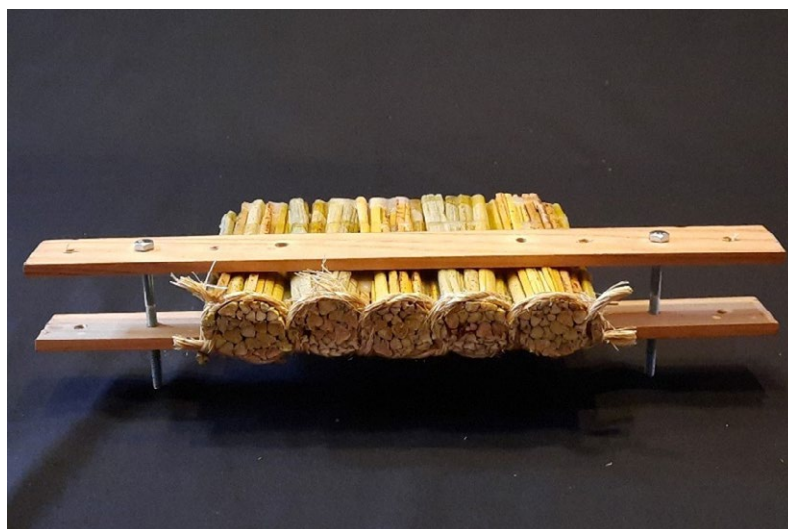
producción y trabajo con la totora del lago Titicaca para identificar contactos locales

administrativos y de manufactura. La entrevista con especialistas de la Reserva Nacional del Titicaca (RNTC) proporcionó información útil sobre el área que cubre esta reserva, las comunidades miembros, la situación actual del lago y los totorales, y qué comunidades continúan activamente con el cuidado y el trabajo artesanal de la totora. También se estableció una relación de confianza con la comunidad Chimú, la más activa de las comunidades en el trabajo artesanal con totora, para intercambiar conocimientos y tecnología en el uso de la totora. La primera reunión con una familia de esta comunidad proporcionó información del proceso de crecimiento de la totora, cuándo está apta para su cosecha, cómo se cosecha y cuál es el proceso de crecimiento, selección, secado y fabricación de las tradicionales quesanas. Esta visita también permitió la recolección de muestras de totora

y la adquisición de quesanas para el trabajo de laboratorio posterior.

En gabinete, se comparó la morfología de la estructura interna de la totora del lago Titicaca con juncos de otros pisos ecológicos a menor altitud para identificar la existencia de especies parecidas con potencial de aislamiento según sus similitudes y diferencias. Cada tallo se dividió en secciones de 20cm y se capturó un registro fotográfico de su estructura interna con una lupa de 10X de magnificación y una escala métrica de 2cm. También se estudió la conformación y el ordenamiento de la totora en las quesanas por medio de cortes en la costura, en la zona media entre costuras y entre el centro y la costura más cercana. Para evitar la deformación de las totoras en los cortes, se utilizó silicona líquida para llenar los vacíos externos y se sujetaron con bastidores de madera, sin aplicar presión (figura 3).

Figura 3. Sección de quesana sujeta con bastidor de madera para estudio de conformación de tallos en las costuras y entre costuras.



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY

Como siguiente etapa se prepararon probetas de 0.30 m x 0.30 m para llevar a cabo pruebas de enlucido. Se experimentó con totora partida en piezas pequeñas o triturada, mezcladas con diversos tipos de aglutinantes

para explorar alternativas de protección y hermeticidad de los paneles de totora (figura 4). También se trabajó con la quesana en seco con bastidores de madera para darle rigidez y sin bastidores (figura 5).

Figura 4. Pruebas de opciones de enlucido sobre la quesana de totora. (A) Totora picada, celulosa y agua; (B) Totora picada con barbotina de tierra; (C) Empaste comercial para muros o temple.



Fuente: elaboración propia (2018). CC BY

Figura 5. Panel con una quesana de totora y un bastidor de madera, y un panel de totora doble sin bastidor.



Fuente: elaboración propia (2018). CC BY

Se realizó una prueba empírica de luz de un panel de quesana simple y otro de quesana doble cruzada para observar su hermeticidad. La prueba se efectuó con una lámpara Floodlight LED de 30W, marca LEDVANCE OSRAM, modelo LDV-FL-30W-AM, a una distancia de 0.25m de los paneles.

Con estas exploraciones, se buscó definir el diseño del panel aislante de totora que debía tener las siguientes características: apropiado para la zona altoandina de puna, suficientemente rígido para sostenerse entre los elementos estructurales, térmicamente aislante, modulable, saludable, biodegradable y con dimensiones y peso que le permitieran ser levantado por una sola persona.

Una vez definido el panel aislante de totora, se llevó a cabo el ensayo de conductividad térmica en el Laboratorio de Energía del Departamento de Ingeniería, sección Ingeniería Mecánica, de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Se prepararon tres probetas del panel aislante de totora de 0.30 m × 0.30 m × 0.08 m, las cuales fueron evaluadas con el equipo de marca Netzsch, modelo HFM 436 Lambda, con un rango de conductividad térmica de 0.002 ~ 2.0 W/m K, exactitud ±5%, y vernieres de marca Mitutoyo y Stanley. El equipo operó cumpliendo con las normas ASTM C 518, ISO 8301, JIS A1412 y DIN EN 12667. Se realizaron 27

ensayos considerando valores de temperatura media de 15°C, 20°C, 30°C y una diferencia de temperatura de 5°C, 10°C y 15°C para cada valor de temperatura media.

Se verificó su comportamiento térmico y hermeticidad con la cámara de imágenes térmicas 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 ±2%, para una temperatura ambiente de 10°C a 35°C y una temperatura del objeto mayor a 0°C. Se construyó un paralelepípedo con el techo y la mitad superior de las cuatro paredes con quesanas simples; el piso y la mitad inferior de las cuatro paredes se conformaron con quesanas dobles. Las imágenes térmicas se capturaron a las 8:00 horas en la pared este, la cual recibía el impacto directo de la radiación solar.

Se llevó a cabo un taller de intercambio tecnológico con una familia de la comunidad Chimú para definir la factibilidad de elaboración del panel propuesto, verificar rigidez, flexibilidad, peso, y afinar los detalles de la unión entre las quesanas para formar el panel aislante de totora.

Con el objetivo de evaluar el desempeño constructivo y térmico del panel aislante de totora en

una situación real, se construyó un prototipo de vivienda en Juliaca, Puno, a 3825m s.n.m., utilizando estos paneles como envolvente, tanto en posición vertical como horizontal, sostenidos por una estructura de madera. Esta estructura se diseñó en conjunto con un equipo de ingenieros de la universidad, con las siguientes condicionantes: apropiado al clima, sismicidad y topografía de la región, con materiales locales o de fácil disponibilidad, con piezas de poco peso para facilitar su transporte, ensamblaje y desensamblaje con mano de obra local y herramientas básicas. El prototipo de 20 m² constaba de tres ambientes (vestíbulo, cocina-comedor y dormitorios) y se expuso al clima frío, soleado y ventoso de la región para simular el contexto

típico de las viviendas aisladas de la población alpaquera altoandina.

El prototipo estuvo habitado por dos personas y fue monitoreado durante tres meses. El monitoreo térmico se realizó con siete data loggers HOBO H08-003-02 de ONSET Computer Corporation que registraron la temperatura del aire y la humedad relativa. Dos se colocaron en el exterior (fachadas norte y sur) y los otros cinco en el interior a una altura de 1.80 m del piso. Los datos se recopilaban de agosto a octubre de 2019. Los resultados de su desempeño térmico y constructivo se analizaron en conjunto con la información registrada por los habitantes sobre su sensación térmica diaria.

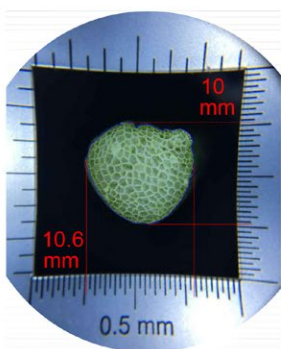
RESULTADOS

La totora del lago Titicaca

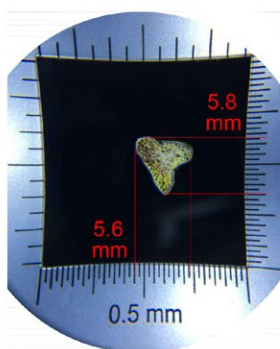
La totora puneña (*Schoenoplectus tatora*) tiene un tallo liviano de composición triangular

redondeada y esponjosa. El ancho promedio del tallo varía de 10 mm en la parte baja a casi 3 mm en la parte más alta utilizable (figura 6).

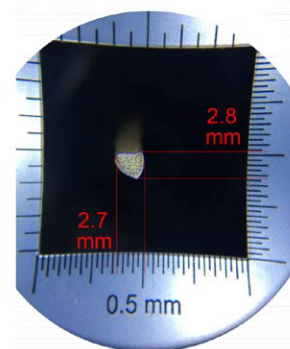
Figura 6. Tres secciones de una muestra de totora de 2.30 m de altura (base, centro y punta del tallo).



SECCIÓN 1
Longitud borde: 3.30 cm
Área: 0.70 cm²



SECCIÓN 6
Longitud borde: 1.78 cm
Área: 0.16 cm²



SECCIÓN 11
Longitud borde: 0.86 cm
Área: 0.04 cm²

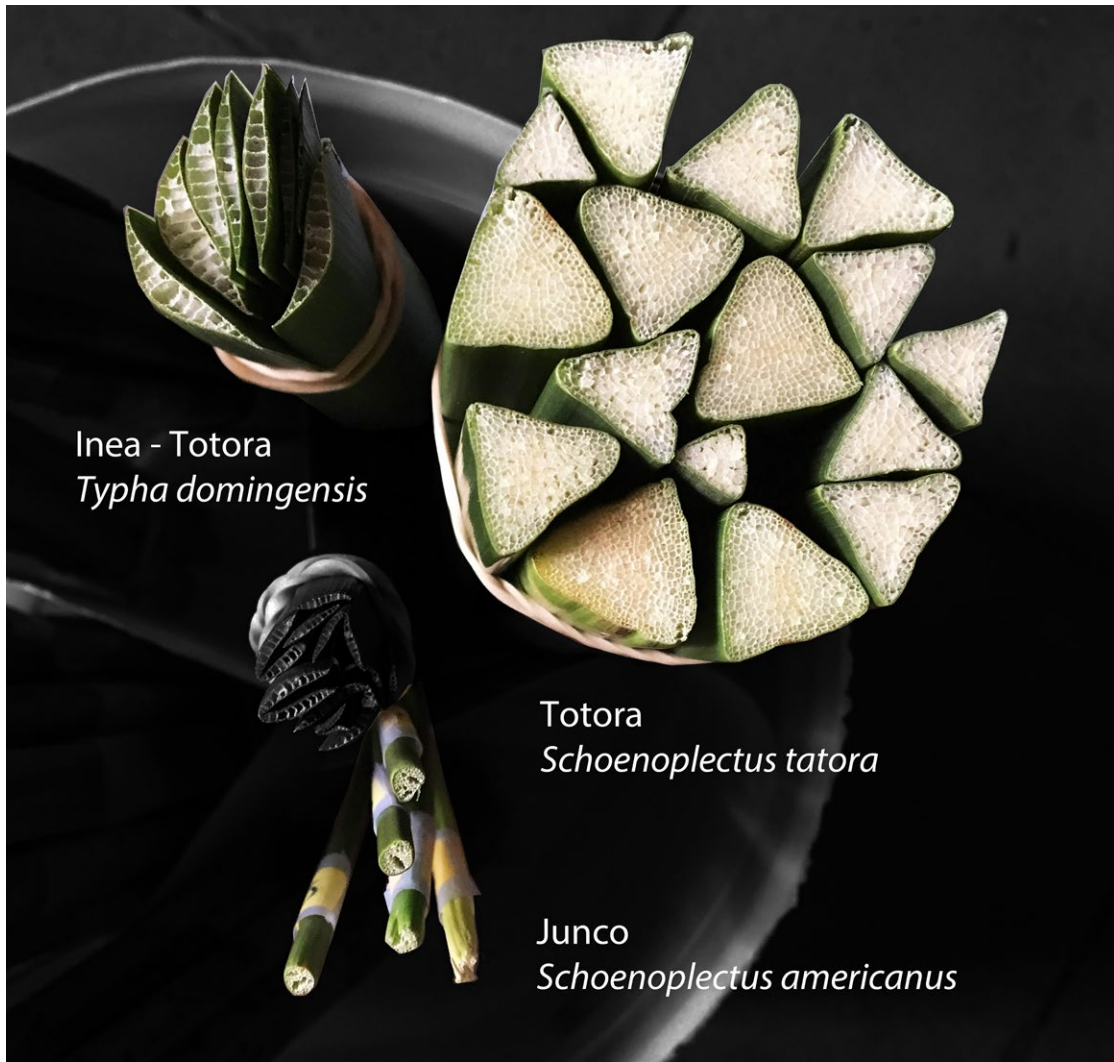
Fuente: elaboración propia (2018). CC BY

Después de cosechados, los tallos de totora se tienen que secar a la intemperie por un periodo de 15 a 20 días (ADESU & PELT, 2003, p. 135) para reducir la humedad interior, el riesgo de hongos y para mantener su flexibilidad. Una vez secos, la disminución de las dimensiones de la sección del tallo se encontró entre 5% y 20% en la parte baja, y fue inexistente en la parte más alta.

La comparación con juncos de otras regiones muestra que los tallos de estas últimas son de

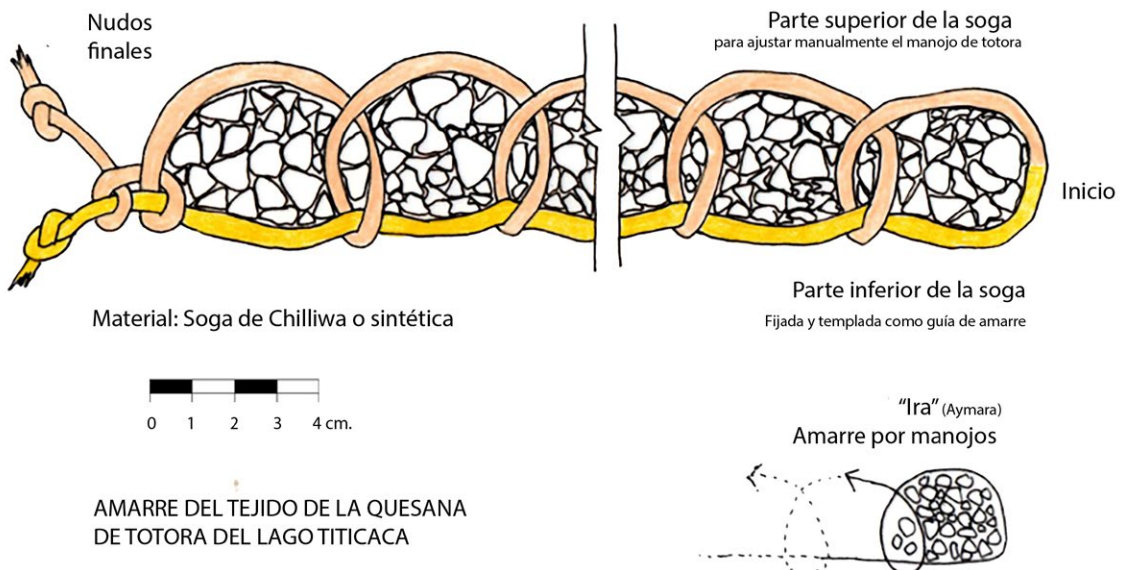
menor tamaño en sección y, algunas veces, inclusive menos esponjosos (figura 7). Además, la tradición artesanal de trabajo con totora en la zona altoandina de Puno consiste en coser varios tallos juntos (figura 8), mientras que en la región de la costa el junco se aplasta y se entrelaza para formar una esterilla. Por este motivo, en la quesana de totora del lago Titicaca, al ser cosida, los tallos de totora se aplastan menos, lo que la vuelve idónea para trabajarla como material aislante (figura 9).

Figura 7 . Muestras de fibras: totora del lago Titicaca, Puno; inea y junco de Pantanos de Villa, Lima.



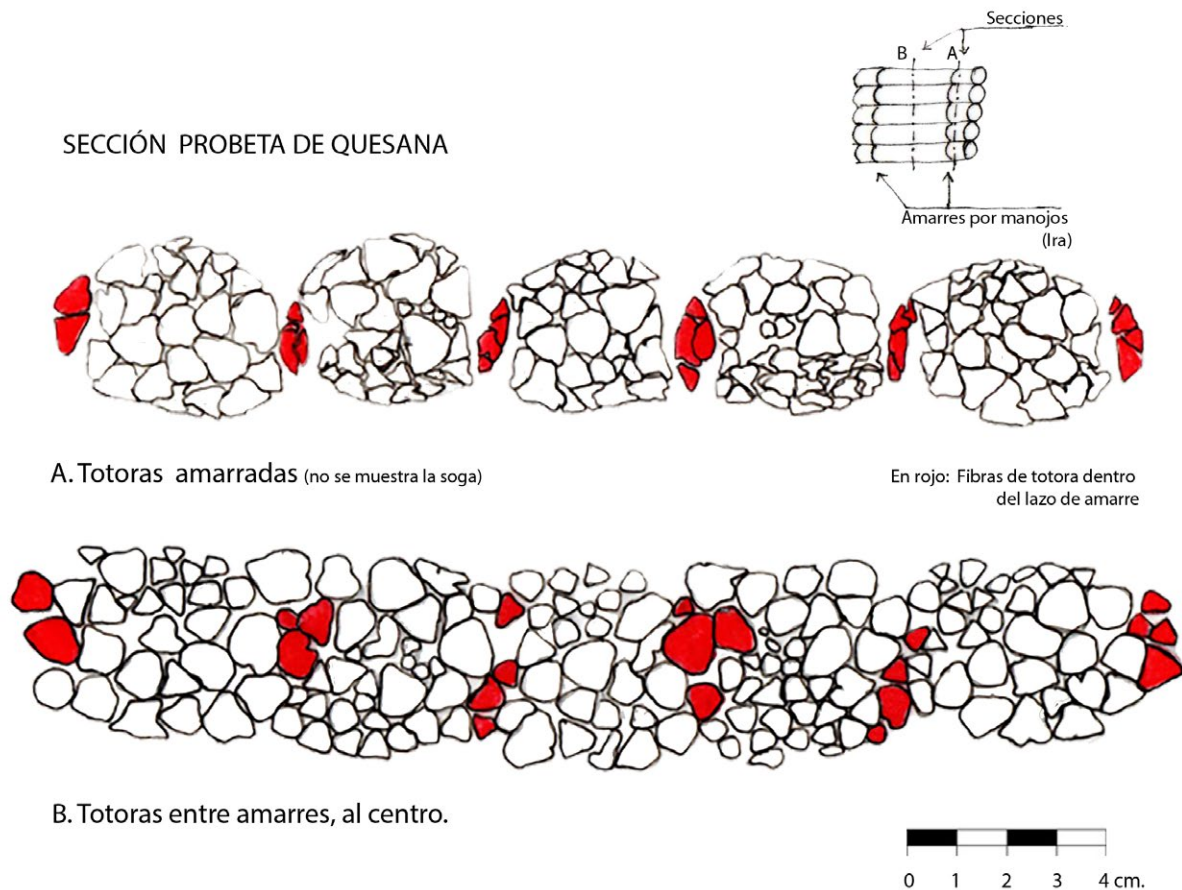
Fuente: elaboración propia (2018). CC BY

Figura 8 . Costura de quesana de totora.



Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Figura 9. Comparación del aplastamiento de la fibra de totora en la sección de amarre y entre amarres de una quesana..



Fuente: elaboración propia (2021). CC BY

Experimentación para la elaboración del panel aislante

Los resultados de la experimentación de probetas de quesana simple con bastidor de madera para darle rigidez y de acabados húmedos para protegerla del sol y la lluvia se muestran en la tabla 1. El bastidor y el acabado húmedo incrementaron el peso del panel, y los acabados húmedos se resquebrajaron y se separaron de la superficie de la quesana debido a la característica lisa de los tallos de totora, por lo que perdieron impermeabilidad y hermeticidad.

El panel de confección seca de dos quesanas cosidas entre sí proporcionó el mejor resultado en cuanto a facilidad y tiempo de fabricación.

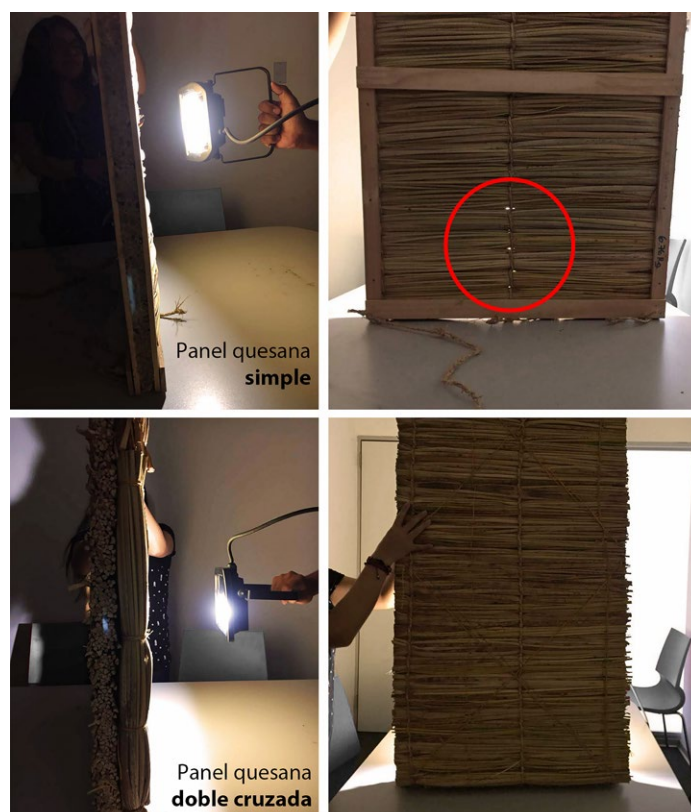
Sin embargo, si las dos quesanas tenían las fibras en el mismo sentido, se observaban ranuras entre los puñados de fibras cosidas, especialmente donde estaban las costuras de cada quesana, lo que disminuía la hermeticidad del panel. Por lo tanto, para proporcionar mayor rigidez y hermeticidad, una de las quesanas se mantuvo con la tradicional fibra horizontal cosida, mientras que la segunda se hizo con las fibras cosidas en forma vertical. El resultado de la prueba empírica de transmisión de luz confirmó la hermeticidad del panel doble con las fibras cruzadas (figura 10). En la quesana simple se observó la transmisión de luz a través de los espacios entre costuras, mientras que en la quesana doble cruzada no se registró esta transmisión.

Tabla 1. Resultados de pruebas de enlucido, acabados y rigidez para definir el panel aislante de Totorá.

	Tipo	Peso (g)	Observaciones
1	Quesana simple sin enlucir	375	Peso ligero, sin rigidez, elaboración tradicional
2	Quesana simple con bastidor de madera	925	Mayor peso, aplastamiento del borde de la quesana
3	Como 2, más enlucido de fibra de totora de 40 mm, cal de obra y agua	1605	Demora en secado, producción de moho, mayor peso, se agrieta ligeramente, separación de 3 mm del bastidor, falta de adhesión a la quesana
4	Como 3, más celulosa	1465	Igual a 3
5	Como 2, más enlucido de fibra de totora de 40 mm, barro y mucílago de cactus	1568	Demora en secado, mayor peso, falta de adhesión con la quesana en algunas partes, separación de 3 mm del bastidor, microagrietamiento de superficie
6	Como 2, más enlucido de cal de obra, celulosa y agua	1237	Demora en secado, contracción del enlucido, separación de 8 mm del bastidor de madera, falta de adhesión a la quesana
7	Quesana simple con impermeabilizante		Secado rápido, falta de adherencia con la quesana, agrietamiento generalizado
8	Quesana simple con masilla de pared		Igual a 7
9	Quesana simple con temple		Igual a 7
10	Quesana doble más enlucido de fibra de totora de 40 mm, cal de obra y agua	1460	Demora en secado, producción de moho, mayor peso, deterioro de bordes por falta de cohesión
11	Quesana doble más enlucido de fibra de totora de 40 mm, cal de obra y mucílago de cactus	1285	Demora en secado, producción de moho, mayor peso, resquebrajamiento
12	Quesana doble cruzada sin enlucir	741	Peso ligero, rigidez, rápida elaboración partiendo de quesanas tradicionales

Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Figura 10. Prueba de luz comparativa entre panel de quesana simple con bastidor y de panel doble con fibras cruzadas.

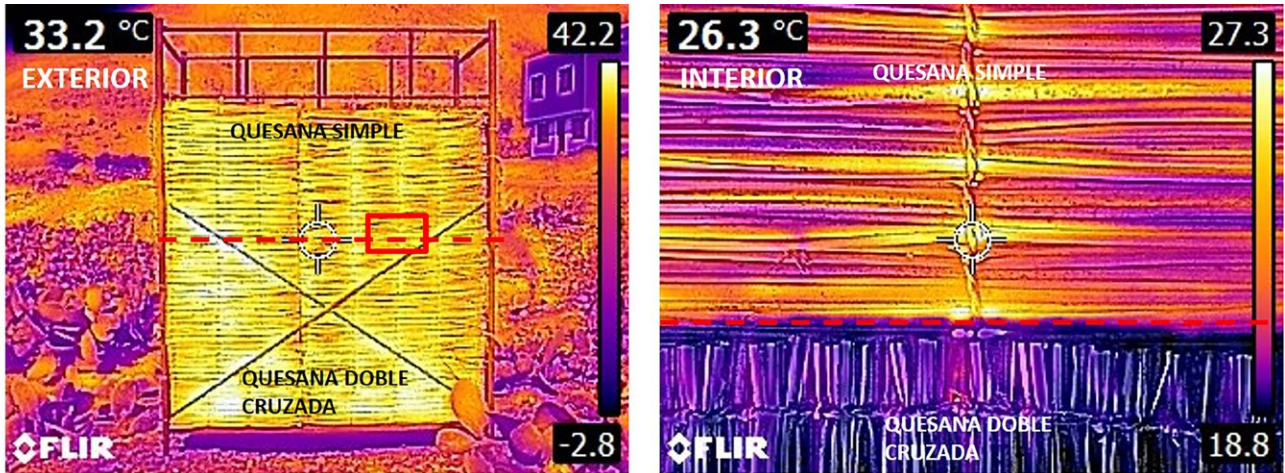


Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Como se observa en la figura 11, con la prueba con cámara termográfica se verificó la mayor

hermeticidad del panel doble cruzado en comparación con una quesana simple.

Figura 11. Vista exterior y detalle interior de la medición termográfica comparativa entre la quesana simple y la quesana doble expuestas a radiación solar directa por el exterior.

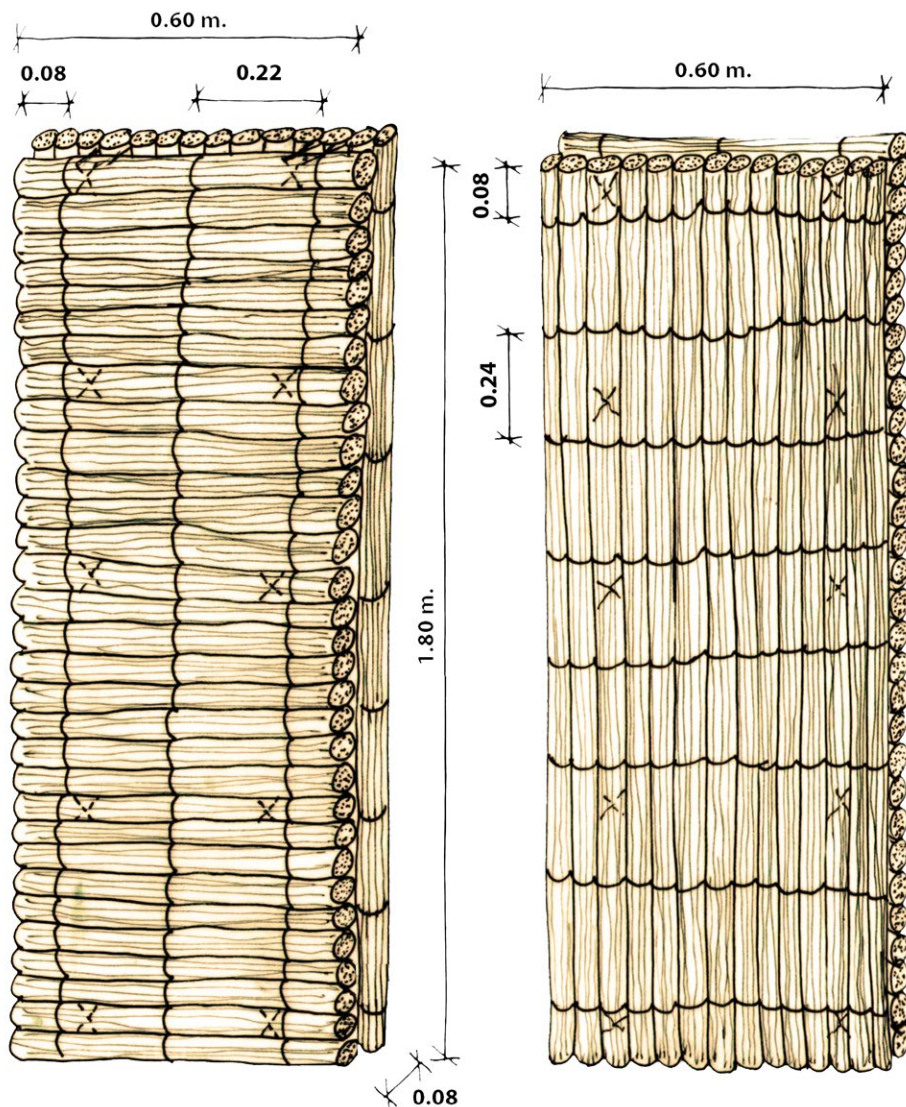


Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Las dimensiones promedio del panel aislante propuesto fue 0.60 m x 1.80 m x 0.08 m, con un peso promedio de 7.9 kg (figura 12) para que

sea fácilmente manipulado por una persona y mantenga su rigidez y su característica aislante (figura 13).

Figura 12. Esquema de panel doble de totora con fibras cruzadas.



Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Figura 13. Panel de totora cargado por una persona.



Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Pruebas de conductividad térmica

Los resultados obtenidos de conductividad promedio se muestran en la tabla 2 y la figura

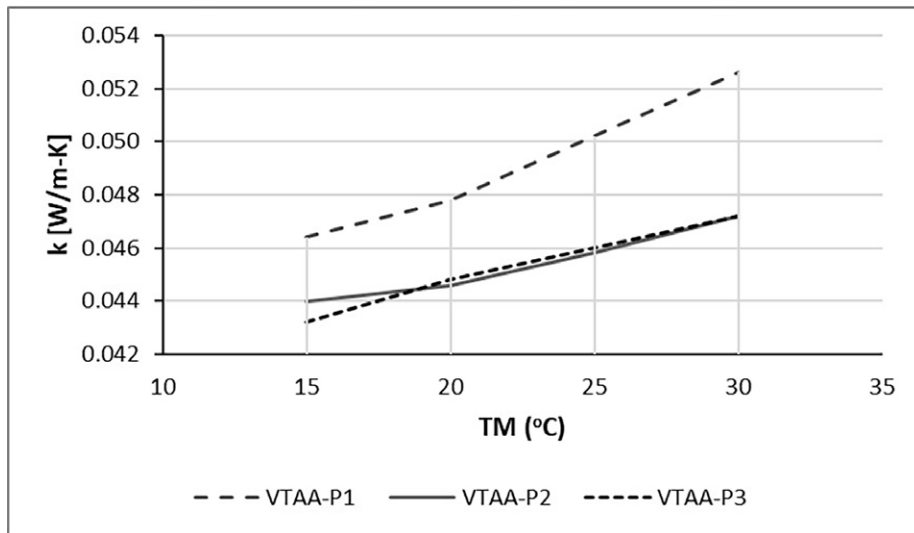
14. La conductividad promedio global está en el rango de 0.045 W/m K a 0.049 W/m K, obteniendo un promedio final de 0.047 W/m K.

Tabla 2. Valores de conductividad térmica (κ) para diferentes valores de T_M y ΔT .

T _M (°C)	ΔT (°C)	VTAA-P1		VTAA-P2		VTAA-P3		κ prom. global (W/m-K)
		κ (W/m-K)	κ prom. (W/m-K)	κ (W/m-K)	κ prom. (W/m-K)	κ (W/m-K)	κ prom. (W/m-K)	
15	5	0.045781	0.046363 ±5.1%	0.042696	0.043986 ±5.4%	0.042934	0.043183 ±5.0%	0.044511 ±5.2%
	10	0.046225		0.043590		0.043298		
	15	0.047084		0.045673		0.043317		
20	5	0.047166	0.047769 ±5.1%	0.043289	0.044673 ±5.4%	0.044548	0.044817 ±5.0%	0.045753 ±5.2%
	10	0.047630		0.044259		0.044868		
	15	0.048510		0.046472		0.045035		
30	5	0.051803	0.052601 ±5.1%	0.044766	0.047208 ±5.8%	0.046742	0.047160 ±5.0%	0.048990 ±5.4%
	10	0.052684		0.047165		0.047149		
	15	0.053316		0.049694		0.047588		

Fuente: elaboración propia, según informe del Laboratorio de Energía, PUCP (2019). CC BY

Figura 14. Curva de la variación de la conductividad promedio de las probetas de totora ensayadas.



Fuente: elaboración propia, según informe del Laboratorio de Energía, PUCP (2019). CC BY

Taller de intercambio tecnológico

En este taller participaron diez miembros de una familia de la comunidad Chimu, quienes explicaron al equipo de investigación la relación antropométrica del trabajo con totora (dimensionamiento, necesidad de humedad para trabajarla, entre otros). Los investigadores, por su parte, compartieron las características del panel aislante de totora propuesto. En conjunto, se fabricó manualmente el panel con dos quesanas de fibras cruzadas. Como una alternativa para lograr mayor espesor y rigidez que la quesana tradicional, sugirieron utilizar la técnica del seije, similar a las quesanas pero con manojos de totora más gruesos (75 a 80 tallos); sin embargo, al observar un seije, se descartó esta posibilidad, debido a la pérdida de hermeticidad generada por el espacio entre las costuras.

Como resultado del taller se comprobó la factibilidad de la elaboración artesanal del panel con quesanas de fibras cruzadas y se definió un sistema de costura más cercana entre sí: tres costuras para la quesana de fibra horizontal y 8 costuras para la de fibra vertical y aproximadamente 22cm de distancia entre costuras. Para unir las dos quesanas se cambió de un sistema de costura lineal a costuras puntuales cada 10 manojos de totora de la quesana horizontal (aproximadamente cada 50 cm). Se acordó con esta familia la fabricación artesanal de un lote de 70 paneles aislantes de totora, con las dimensiones estándar de 0.60 m × 1.80 m, y también con dimensiones variables e inclusive con formas triangulares, para lo cual se les entregó impresos los detalles y dimensiones de todos los paneles. La familia completó correctamente el pedido y lo entregó en seis semanas (figura 15).

Figura 15. Paneles de totora de doble quesanas cruzadas fabricados artesanalmente.



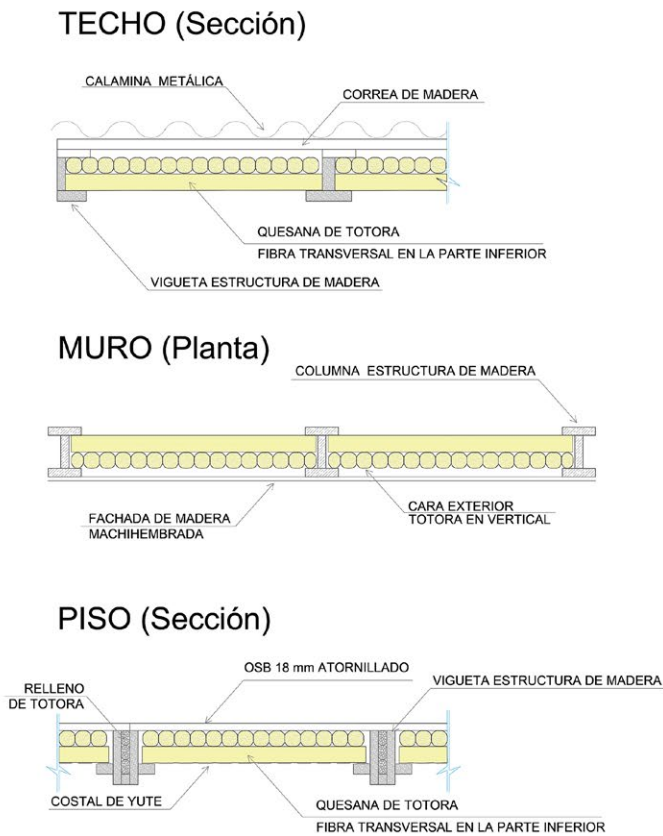
Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Prototipo con paneles aislantes de totora

El panel de totora propuesto se utilizó en toda la envolvente del prototipo (techo, paredes

y piso) en posición tanto vertical como horizontal, sostenido por una estructura de madera (figura 16).

Figura 16. Detalle de encuentro de techo, muro y piso de prototipo de vivienda con paneles aislantes de totora y estructura de madera.



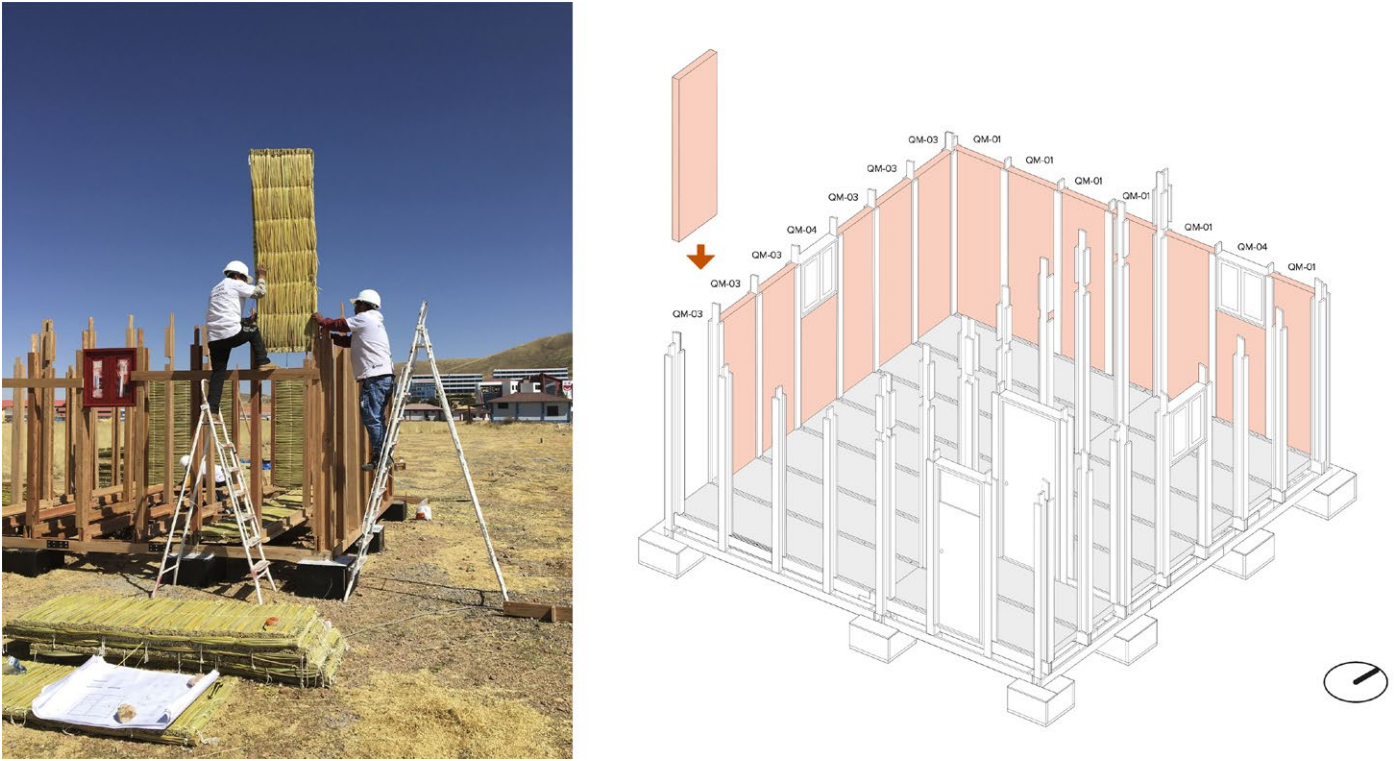
Fuente: elaboración propia. CC BY

La estructura consistía en bases de cimentación, que eran cajas de madera apoyadas sobre el terreno, conectadas al alma de las columnas principales con pernos y tuercas. El diseño de las columnas tenía una sección "H" con elementos de 20 mm × 80 mm para sostener y dar rigidez a los paneles de totora de los muros, además de transmitir las cargas a las cajas de cimentación. Las viguetas de techo y del piso tenían una forma de T invertida para sostener los paneles horizontales de totora (Asmat et al., 2022).

La totora quedó expuesta en el interior, sin ningún tipo de recubrimiento. Durante el proceso de ensamblaje se puso atención a la forma de colocar los paneles aislantes de totora: en los muros, la cara con la fibra vertical se colocó hacia el exterior para facilitar

el flujo descendente de cualquier gota de humedad o precipitación que pudiera tocar la totora (figura 17). La cara con fibra horizontal estuvo expuesta hacia el interior (figura 18). En el techo también se mantuvo la cara horizontal hacia el interior, pero, en este caso, para aprovechar que era el lado más corto del panel y evitar el pandeo del panel soportado por las viguetas. En el piso, la fibra horizontal estuvo dispuesta hacia el exterior, para aprovechar la rigidez que le daba la menor longitud de las fibras en sentido horizontal al apoyarse sobre las viguetas de piso. El acabado interior del piso fue de planchas de tablero de virutas orientadas (OSB, por sus siglas en inglés) en una de las dos mitades del prototipo y de tablas de madera en la otra mitad.

Figura 17. Colocación e isometría de ensamblaje de los paneles aislantes de totora en la estructura de madera del prototipo.



Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

Figura 18. Interior de prototipo con paneles aislantes de totora expuestos.



Fuente: elaboración propia (2019). CC BY

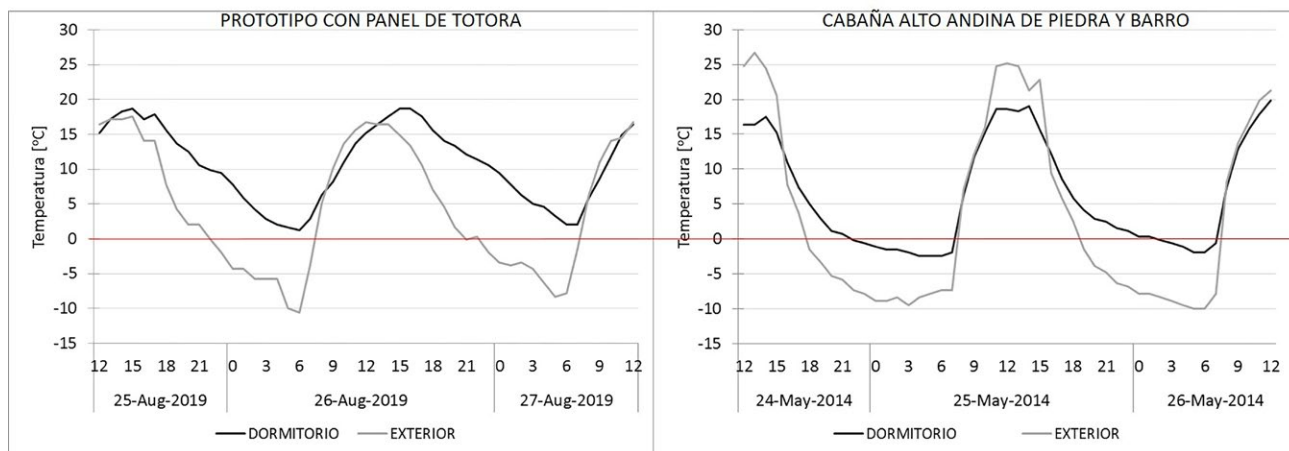
Monitoreo térmico y constructivo

Los dos estudiantes que habitaron el prototipo vivieron su rutina universitaria durante el período en que el prototipo estuvo expuesto a radiación solar intensa, fuertes vientos, lluvias y granizo. De los tres meses de monitoreo, agosto es el que mejor representa un mes típico del frío, seco y soleado invierno altoandino, con un rango de diferencia de temperatura del aire exterior de 25°C a 30°C entre día (20°C) y noche (hasta -10°C).

La figura 19 muestra los resultados del monitoreo térmico en comparación con los resultados de una cabaña tradicional de una comunidad

altoandina, construida con piedra y barro y cubierta de calamina metálica. En la madrugada, que es el momento más frío y térmicamente más crítico del día, la temperatura del aire exterior puede llegar a -10°C, mientras que la temperatura del aire interior de la cabaña tradicional desciende hasta -2°C. En el prototipo de paneles aislantes de totora se registró una temperatura mínima de 2°C bajo las mismas condiciones de temperatura de aire exterior. La temperatura en el interior de la cabaña tradicional llegó a mantenerse entre 6°C y 8°C por encima de la temperatura exterior, mientras el prototipo de paneles aislantes de totora se mantiene entre 10°C y 12°C por encima.

Figura 19. Comparación de la temperatura del aire en los días más fríos registrados durante el monitoreo del prototipo y de una cabaña tradicional altoandina, en que la temperatura del aire exterior llega a -10°C.



Fuente: elaboración propia (2019); Jiménez et al. (2021, p. 1280). CC BY

Al desarmar el prototipo después de los tres meses de monitoreo se observó que los paneles aislantes de totora mantuvieron su forma y características físicas. Sin embargo, los encuentros de los paneles con la estructura de madera en la parte superior de los muros no permanecieron ajustados, lo que originó ranuras de 1cm a 2cm, lo que

permitió la infiltración de aire frío que afectó los resultados del monitoreo térmico. Los encuentros laterales de paneles con los pies derechos de madera sí mantuvieron el ajuste inicial. Todas las piezas del prototipo fueron recuperadas en buen estado, lo que significó que el prototipo se puede volver a ensamblar en otra localidad.

DISCUSIÓN

La composición triangular y esponjosa del tallo de la totora puneña le da las condiciones de un material aislante y liviano cuando se mantiene su estructura interna durante el proceso de elaboración de las quesanas y del panel aislante. En las pruebas con totora picada o comprimida para formar paneles, tanto por la presente investigación como por la de otros especialistas (Aza-Medina, 2016; Hýsková et al., 2020), se demuestra que se incrementa la conductividad térmica al reducir o eliminar las pequeñas cámaras de aire de la fibra de la totora.

El rango de resultados de conductividad térmica obtenido con las probetas del panel

de doble quesana cruzada va de 0.045W/m K a 0.049W/m K, siendo valores menores a los obtenidos en investigaciones que analizan muestras con tallo entero, como en la de Ninaquispe-Romero, donde con muestras de quesana simple se obtuvo un valor de conductividad térmica de 0.083W/m K (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018, p. 471), y la de Aza-Medina, que analiza muestras de tallos de totora pegados con aglutinantes naturales con fibras cruzadas y prensadas, con lo que se obtuvo un rango de 0.049W/m K a 0.054W/m K (Aza-Medina, 2016, p. 66). El estudio de Hidalgo-Cordero y Aza Medina con probetas de totora triturada y prensada en caliente obtuvo valores de 0.097W/m K para la probeta del

interior esponjoso y de 0.109 W/mK para la probeta de solo corteza (Hidalgo-Cordero y Aza-Medina, 2023, p. 6). Los valores de conductividad térmica obtenidos con probetas de capas cruzadas de tallos de totora de esta investigación y de la tesis de Aza-Medina (2016) tienen valores cercanos, y menores a los obtenidos por Ninaquispe-Romero —donde la probeta era solo de fibras paralelas—, y casi la mitad de los valores obtenidos por Hidalgo-Cordero y Aza-Medina (2023).

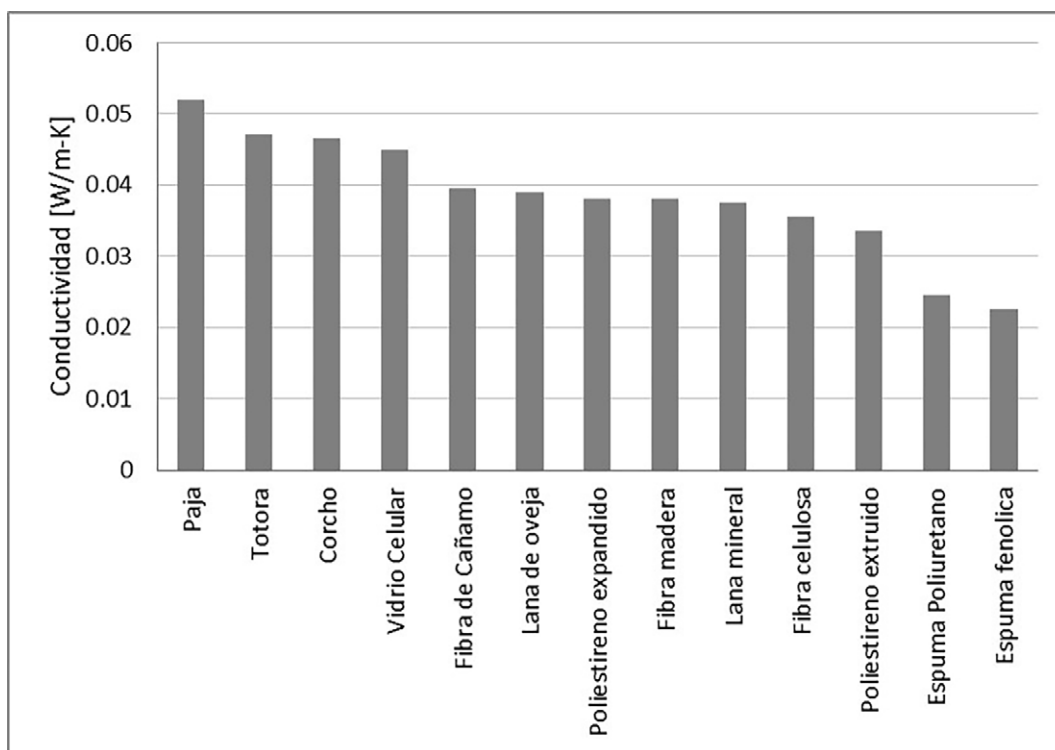
El panel de doble quesana cruzada reduce significativamente posibles filtraciones entre fibras y entre costuras. Los únicos puntos que presentaron una ligera reducción del aislamiento en la prueba con la cámara termográfica son aquellos donde se cruzan las dos costuras de cada quesana; no obstante, no se evidenció infiltración por estos puntos. Según los resultados de los ensayos de permeabilidad de aire de la investigación de Aza-Medina, se concluía que sus muestras de paneles de totora de cañas enteras cruzadas y pegadas de 0.015 m de espesor presentaban una infiltración de aire seis veces

menor que su muestra de quesana simple del mismo espesor (Aza-Medina, 2016, pp. 74-75).

La propuesta de panel de doble quesana cruzada evita el aplastamiento porque las fibras paralelas están unidas con costuras distanciadas entre sí. Asimismo, evita el aumento de la conductividad térmica a través de este sector cosido utilizando dos quesanas adosadas, pero con las fibras y costuras perpendiculares entre ellas, lo que reduce el número de puntos térmicamente débiles.

La figura 20, que muestra los valores de conductividad térmica del panel aislante de totora y de otros materiales aislantes comerciales, confirma que esta se califica como material aislante. Además, se encuentra por debajo de los valores de transmitancia térmica máxima establecidos por la norma peruana EM.110 *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética* (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016) para climas altoandinos: no mayor a $1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$ en muros y $0.83 \text{ W/m}^2\text{K}$ para techos; la transmitancia del panel de 0.08 m de espesor es $0.53 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Figura 20. Valor de conductividad térmica del panel de totora de doble quesana cruzada en comparación con otros materiales aislantes.



Fuente: elaboración propia, en base a Nicholls (2008, pp. 283-286) (excepto totora). CC BY

En la investigación sobre tierra alivianada (barro con paja de gramíneas) de Wieser-Rey et al. (2018) se demostró el buen desempeño de este material y de la quesana simple de totora como materiales aislantes al añadirles a paneles tradicionales de quincha. Es interesante

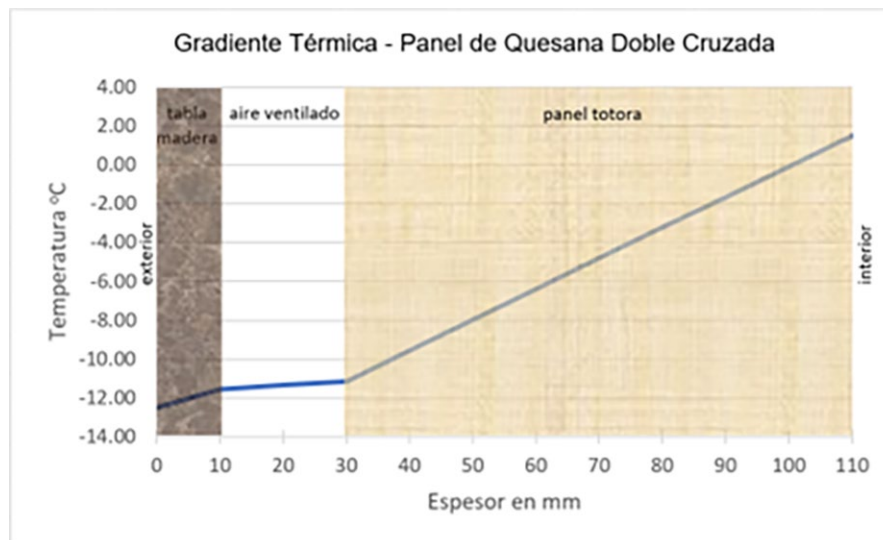
observar que la transmitancia térmica del panel de quincha con tierra alivianada aplicada directamente sobre la caña (valor-U $0.738 \text{ W/m}^2\text{K}$) y del panel de quincha con aislante de quesana simple de totora (valor-U $0.832 \text{ W/m}^2\text{K}$) es menor al del panel de quincha con aislante

prefabricado de tierra alivianada (valor-U de $0.994 \text{ W/m}^2\text{K}$). Las ventajas del panel de quesana doble cruzado propuesto incluyen el aumento de nivel de aislamiento a un valor-U $0.539 \text{ W/m}^2\text{K}$, y un proceso de transformación menor que no requiere aditivos, aglutinantes ni un proceso húmedo en su fabricación y colocación. Inclusive el valor-U del panel de quesana de totora doble cruzado es ligeramente menor al del panel de quincha con aislamiento arti-

ficial de poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés) (valor-U $0.563 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Con los resultados de las mediciones térmicas del prototipo construido en Puno se pudo determinar la gradiente térmica de la composición de la envolvente, como se muestra en la figura 21. La diferencia de temperatura entre la superficie interior del panel de quesana de totora doble cruzada y la superficie hacia la cámara de aire ventilado fue de 12.6°C .

Figura 21. Gradiente de temperatura de panel de quesana de totora doble cruzada con acabado de tabla de madera machihembrada de prototipo.



Fuente: elaboración propia (2023), según metodología en Szokolay (2014, pp. 126-127). CC BY

El trabajo artesanal de cosido de quesanas depende del artesano y del tiempo dedicado a su fabricación, por lo tanto, el control de calidad en la elaboración de los paneles de totora es clave para asegurar el nivel de humedad de los tallos durante el proceso de cosido y para garantizar una costura ajustada pero que evite el aplastamiento de los tallos de totora. Durante el ensamblaje del prototipo se observó que el distanciamiento de las costuras hacia el borde del panel debe ser como mínimo 0.08m para permitir cualquier ajuste que sea necesario durante el proceso de colocación de los paneles, sin afectar estas costuras. En superficies horizontales es importante verificar la forma de colocación de los paneles para que la cara inferior tenga la fibra perpendicular a la estructura de soporte y evitar que el panel se pandee.

Debido a que los paneles fueron almacenados antes de construir el prototipo y después de desarmarlo, se identificó que a los paneles de totora se les debe permitir respirar y alejar de la humedad para evitar así la formación de hongos o que se pudra la fibra. El almacén debe ser techado (para protección de sol y lluvia) y ventilado. Los paneles se deben ubicar a 0.10m

del piso y las paredes y, si es necesario, deben cubrirse con materiales permeables.

Se evidenció una mejora con respecto al desempeño térmico del prototipo en comparación con el de las cabañas existentes hechas de piedra; sin embargo, esta mejora fue menor a la estimada debido a la filtración de aire a través de las ranuras que aparecieron en la parte alta del encuentro del panel de totora de los muros con la estructura de madera durante el período de monitoreo. Esta falla constructiva se revisará en la siguiente fase de investigación: el traslado del prototipo a un lugar de mayor altitud en la zona alpaquera de puna y habitado por pobladores locales.

Los totorales del lago Titicaca tienen el potencial para la producción de paneles aislantes para la construcción en la región de Puno. Considerando que al menos 20ha son quemadas por año y que cada hectárea contiene como mínimo 100t de totora (PELT & ADESU, 2001, p. 8), puede estimarse que alrededor de 2000t de totora que se queman anualmente. Asumiendo una pérdida de 20% debido a retazos, humedad y otros, quedarían 1600t disponibles para

elaborar y comercializar paneles aislantes de totora en la región. El peso del panel aislante de totora estándar es 7.9 kg en promedio, por lo que se podrían elaborar 200 000 paneles cada año. Tomando como referencia el prototipo

de vivienda, en el que se utilizaron 70 paneles, anualmente se podrían construir hasta 2850 viviendas con paneles aislantes de totora, térmicamente más confortables que la vivienda tradicional.

CONCLUSIONES

La estructura interior esponjosa del tallo es la característica principal que determina las propiedades de aislamiento térmico de la totora. Por ello, la presión de ajuste de las costuras y la técnica de amarre con las fibras humedecidas de la quesana tradicional son las apropiadas para mantener juntos los tallos sin perder las cámaras de aire de la estructura interior ni quebrar la corteza exterior.

Las propiedades de aislamiento térmico del panel propuesto de quesana doble cruzada de totora, que mantiene el tallo entero, amarrado de la forma tradicional y cosido solo para unir las dos quesanas, se han verificado tanto en laboratorio como en exploraciones de gabinete y en una aplicación práctica en una región de clima frío. La conductividad térmica de este panel ha sido el más bajo de otros estudios sobre las propiedades térmicas de la totora, además de las ventajas ecológicas de ser un material natural, biodegradable, sin aditivos y que solo requiere energía humana para su elaboración.

El uso de paneles aislantes de totora solo con apoyo estructural de madera tiene el potencial para la construcción de refugios y viviendas temporales en casos de eventos catastróficos en regiones altoandinas con climas fríos que sean apropiados a las condiciones climáticas del lugar. Sin embargo, aún se pueden mejorar los detalles constructivos de los encuentros entre panel de totora y piezas de madera para hacerlos más herméticos.

La comercialización de los paneles aislantes propuestos recuperaría y revaloraría la tradición

del trabajo artesanal con totora en otras comunidades del lago, de modo que generaría un empuje económico en la región. No obstante, con el objetivo de mantener el respeto por el medioambiente y el aprovechamiento responsable de los recursos de la región, esta comercialización debería circunscribirse al abastecimiento dentro de la región andina puneña, para evitar la sobreexplotación de este recurso y mantener los bajos niveles de energía incorporada de los paneles aislantes de totora.

El uso del panel de totora también es posible en viviendas permanentes, adosado en seco a muros de adobe o ladrillo, con el potencial de mejorar la calidad de vida, sobre todo, en el aspecto térmico en la región altoandina. Inclusive, podría aplicarse en otros lugares con climas similares y con materiales parecidos a la totora en lo que respecta a su característica esponjosa interior.

Se requiere continuar con futuras investigaciones sobre la totora como material de construcción, por ejemplo, en lo relacionado con pruebas de otras características térmicas, además de la conductividad, como pruebas de permeabilidad al aire y al agua, de resistencia mecánica, de protección exterior (sol y precipitaciones) e interior (acabado, apariencia y seguridad), de durabilidad, de uso en combinación con otros materiales (adobe, ladrillo, piedra, etc.) y de comportamiento ante eventos sísmicos. El objetivo de lo anterior sería lograr su estandarización como un material de construcción reconocido por las instituciones y los reglamentos de construcción correspondientes.

CONTRIBUCIONES Y AGRADECIMIENTOS

Este artículo deriva de la investigación “Diseño y validación de tecnología constructiva de vivienda temporal para zonas altoandinas del sur del Perú” llevada a cabo en la Pontificia Universidad Católica del Perú por el grupo de investigación Centro Tierra del Centro de Investigación de la Arquitectura y la Ciudad (CIAC), en el marco de la línea de investigación de ingeniería arquitectónica asociada al proyecto. Este proyecto fue financiado por la Dirección de Gestión de la Investigación (DGI) de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Las autoras de este trabajo han realizado las siguientes contribuciones: Cecilia Jiménez, concepción del estudio, administración del proyecto, diseño de la metodología, investiga-

ción, validación experimental, análisis formal, redacción, revisión y edición de la publicación; Teresa Montoya, concepción del estudio, diseño de la metodología, investigación, experimentación, análisis formal, redacción, revisión y edición de la publicación; Silvana Loayza, concepción del estudio, proceso de investigación, experimentación, análisis formal y revisión de la publicación. Las autoras declaran que no tienen conflictos de interés relevantes en relación con la investigación presentada.

Agradecemos al ingeniero Christian Asmat, a la Universidad Peruana Unión Sede Juliaca y a la familia Balcona de la comunidad Chimú por su apoyo y asistencia en este estudio.

REFERENCIAS

- Anaya-Borda, C. (2015). *Características de las zonas altoandinas en el Perú* (Informe temático N.º 154/2014-2015). Área de Servicios de Investigación. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/28562E72A7D29A-9205258052005DCB21/\\$FILE/79_INFTEM154_2014_2015_ASI_DIDP_CR_altoandinas.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/28562E72A7D29A-9205258052005DCB21/$FILE/79_INFTEM154_2014_2015_ASI_DIDP_CR_altoandinas.pdf)
- Asmat, C., Jimenez, C., Montoya, T., & Loayza, S. (2022). Structural experimental design of a high-altitude provisional dwelling built with timber. *Civil Engineering and Architecture*, 10(6), 2580-2592. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100626>
- Asociación para el Desarrollo Sustentable [ADESU] & Proyecto Especial del Lago Titicaca [PELT]. (2003). Proyecto 21.04. *Plantación de totora en las comunidades*. Manual de Manejo Económico; Autoridad Autónoma del Lago Titicaca. <https://drive.google.com/file/d/1xK8Ue6AiHFJKOddS0WWj0orG1FLb1gFJ/view?usp=sharing>
- Autoridad Binacional del Lago Titicaca [ALT] & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD] (2000). *Evaluación de la totora en el Perú. Estudio 21.02*. Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca. <https://drive.google.com/file/d/1rU984t13-IrIUSX81UZ3ANOBt4XYLHXb/view?usp=sharing>
- Aza Medina, L. C. (2016, May). *La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades* (Proyecto Final de Máster Oficial). UPC, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Departament d'Enginyeria de la Construcció. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/88419>
- Banack, S. A., Rondón, X. J., & Diaz-Huamanchumo, W. (2004). Indigenous cultivation and conservation of totora (*Schoenoplectus californicus*, cyperaceae) in Peru. *Economic Botany*, 58(1), 11-20. [https://doi.org/10.1663/0013-0001\(2004\)058\[0011:ICACOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0013-0001(2004)058[0011:ICACOT]2.0.CO;2)
- Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente [CIRNMA] & Centro de Desarrollo Agrario y Forestal [CEDAFOR] (2001). *Informe Final – Plan Maestro Reserva Nacional del Titicaca*. Proyecto PER/98/G32. https://drive.google.com/file/d/1ZN0UMQU_251HpB25s5czof-joKPlaqqF/view?usp=sharing
- Culcay-Chérrez, A. (2014). *Experimentación con la fibra Totora* [Trabajo de grado, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3903>
- González-Ramón, E. M. (2020). *Revalorización de la totora como material de construcción* [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/179406>
- Hidalgo-Castro, P., Hidalgo-Cordero, J., & García-Navarro, J. (2019). Estudio del comportamiento físico-mecánico de rollos de totora amarrados: Influencia de la tensión de amarre, diámetro y longitud. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 1(6), 53-84. <https://doi.org/10.33324/daya.vi6.219>
- Hidalgo-Cordero, J. F. (2007). *Totora, material de construcción* [Trabajo de grado]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6180>
- Hidalgo-Cordero, J. F., & Aza-Medina, L. C. (2023). Analysis of the thermal performance of elements made with totora using different production processes. *Journal of Building Engineering*, 65, 105777. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.105777>
- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* [C. A. Mey] Soják) and its potential as a construction material. *Industrial Crops and Products*, 112, 467-480. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>
- Hidalgo-Cordero, J.F., García-Ortuño, T., & García-Navarro, J. (2020). Comparison of binderless boards produced with different tissues of totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey) Soják) stems. *Journal of Building Engineering* 27, 100961. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2019.100961>

- Hýsková, P., Gaff, M., Fernando Hidalgo-Cordero, J., & Hýsek, Š. (2020). Composite materials from totora (*Schoenoplectus californicus*. C. A. Mey, sojak): Is it worth it? *Composite Structures*, 232, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111572>
- Jiménez, C., Montoya, T., & Loayza, S. (2021). Temporary dwelling for the high altitude Andean región of Puno, Peru. *En 35th PLEA conference on passive and low energy architecture (PLEA 2020): Vol. II* (pp. 1275-1280). Universidade da Coruña; Asoc. PLEA2020 Planning Post Carbon Cities. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497497947>
- Jiménez, C., Wieser-Rey, M., & Biondi, S. (2017). Improving thermal performance of traditional cabins in the high altitude Peruvian Andean region. *En Proceedings of PLEA 2017 Design to Thrive Conference (PLEA 2017): Vol. III* (pp. 4101-4108). Universidade da Coruña; Asoc. PLEA2020 Planning Post Carbon Cities. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/187754/2017%20PLEA%20Art%C3%ADculo%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética* (Norma EM.110). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686426/EM.110%20Confort%20Térmico%20y%20Lumínico%20Con%20Eficiencia%20Energética.pdf?v=1641411379>
- Nicholls, R. (Ed.). (2008). *The green building bible: Vol. II* (4.a ed.). Green Building Press.
- Ninaquispe-Romero, L., Weeks, S., & Huelman, P. H. (2012). Document details - Totora: A sustainable insulation material for the andean parts of Peru. *En Proceedings - 28th International PLEA Conference on Sustainable Architecture + Urban Design*. <http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=84886796518&partnerID=8YFLogxK>
- Perú Ecológico. (20107). *Totora (Scirpus californicus) Uso Sostenible de un Recurso Natural*. Perú Ecológico. https://www.peruecologico.com.pe/flo_totora_2.htm
- PELT & ADESU. (2001). *Programa de capacitación sobre el manejo de la totora. Proyecto 21.03 Técnicas de reimplante de totora*. <https://drive.google.com/file/d/1nMg7ir2nyrEG75VMfOcx-PHW7Bwq74nB/view?usp=sharing>
- Pulgar-Vidal, J. (2014). *Las Ocho Regiones Naturales*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- 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* (pp. 492-501). FUNDASAL. <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/06/19-SIACOT-Mexico-2019.pdf>
- Rodríguez-Larraín Dégrange, S., Onnis, S., & Vargas-Neumann, J. (2018). Transferencia tecnológica para la vivienda alto-andina. En T. Joffroy, H. Guillaud, & C. Sadozai (Eds.), *Terra Lyon 2016: Actes / proceedings / actos* (pp. 339-344). CRATERRE-ENSAG. <https://craterre.hypotheses.org/3722>
- Szokolay, S.V. (2014). *Introduction to architectural Science. The basis of sustainable design* (3.a ed.). Routledge.
- Wieser-Rey, M. (2011). *Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: El caso peruano. Centro de Investigación de la Arquitectura y la Ciudad*. PUCP. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28699/CUADERNOS-14-digi.pdf?sequence=1>
- Wieser-Rey, M., Onnis, S., & Meli, G. (2018). Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. En C. Neves, Z. Salcedo Gutierrez, & O. Borges Faria (Eds.), *Memorias del 18o Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 199-208). USAC-CII; PROTERRA. <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/06/18-SIACOT-Guatemala-2018.pdf>
- Wieser-Rey, M., & Rodríguez-Larraín, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo de vivienda. Puno, Perú. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 10(19), 9-19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7739824>