



# Paneles termoaislantes basados en Stipa Ichu, celulosa y yeso para revestimiento de viviendas Altoandinas

## Thermo-insulating panels based on Stipa Ichu, cellulose and gypsum for high Andean housing claddings

**LEYDA CINTHIA AZA-MEDINA** Universidad Nacional del Altiplano, Perú  
lcaza@unap.edu.pe**HUGO ANSELMO CCAMA-CONDORI** Universidad Nacional del Altiplano, Perú  
hccama@unap.edu.pe**DIANA KAREN PARI-QUISPE** Universidad Nacional del Altiplano, Perú  
diana.pari@unap.edu.pe**ABRAHAN HENRY TORRES-BENAVIDES** Universidad Nacional del Altiplano, Perú  
atorresb@est.unap.edu.pe**JUAN ANTHONY HUMALLA-QUISPE** Universidad Nacional del Altiplano, Perú  
joao.humalla@gmail.com

**RESUMEN** La fabricación de materiales de construcción con insumos convencionales genera impactos negativos en el ambiente, y contribuye de manera significativa en el consumo energético. Por lo que, enfrentar esta problemática requiere de nuevas alternativas. Esta investigación propone un panel termoaislante elaborado a base de fibras de Stipa Ichu, celulosa y yeso para su aplicación en una vivienda Altoandina. A fin de evaluar el panel, se caracterizó la resistencia a la compresión, flexión, fuego, hongos y aislamiento acústico. Posteriormente se evaluó el comportamiento térmico en el revestimiento interior de una vivienda. Los resultados revelan una resistencia a la compresión de 28,30 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la flexión de 18,35 kg/cm<sup>2</sup>. El panel de 12,50 mm de espesor, mostró una resistencia al fuego superior a 60 minutos, una absorción del 30% y reflectancia del 70% del ruido, así como una adecuada durabilidad frente a hongos. Con respecto al comportamiento térmico, este panel termoaislante, incrementa la temperatura interior en 2,30 °C respecto a la vivienda típica, lo que hace factible su uso.

**ABSTRACT** The manufacture of construction materials with conventional inputs generates negative impacts on the environment and contributes significantly to energy consumption. Therefore, facing this problem requires new alternatives. This research proposes a thermo-insulating panel made of Stipa Ichu fibers, cellulose, and gypsum for its application in a High Andean house. In order to evaluate the panel, its resistance to compression, bending, fire, fungus and acoustic insulation was characterized. Subsequently, the thermal behavior in the interior lining of a house was evaluated. The results reveal a compressive strength of 28.30 kg/cm<sup>2</sup>, flexural strength of 18.35 kg/cm<sup>2</sup>. The 12.50 mm thick panel showed a fire resistance of more than 60 minutes, 30% absorption and 70% noise reflectance, as well as adequate durability against fungi. With respect to thermal behavior, this thermo-insulating panel increases the interior temperature by 2.30°C with respect to a typical house, which makes its use feasible.

**PALABRAS CLAVE** aislantes naturales, fibra vegetal, yeso, comportamiento térmico, materiales ecológicos

**KEYWORDS** natural insulators, vegetable fibre, gypsum, thermal performance, ecological materials

Recibido: 30/09/2024  
Revisado: 30/01/2025  
Aceptado: 11/02/2025  
Publicado: 29/07/2025



**Cómo citar este artículo/How to cite this article:** Aza-Medina, L., Ccama-Condori, H., Pari-Quispe, D., Torres-Benavides, A. y Humalla-Quispe, J. (2025). Paneles termoaislantes basados en Stipa Ichu, celulosa y yeso para revestimiento de viviendas Altoandinas. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 14(28), 11-24. <https://doi.org/10.18537/est.v014.n028.a01>

## 1. Introducción

En el Perú, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), existen zonas bioclimáticas fundamentadas en áreas geográficas, donde se considera la zona Altoandina con un clima extremo, de temperaturas muy bajas de noche frente a temperaturas moderadas y radiación solar extremadamente alta durante el día, con elevaciones por encima de los 3.200 hasta 4.800 metros sobre el nivel del mar (Mejía et al., 2023; Molina et al., 2019; MVCS, 2014; Wieser et al., 2021). La clasificación climática de Thornthwaite, señala a la zona Altoandina como un clima semiseco y frío, con humedad deficiente, donde es frecuente la precipitación de nieve (MINAM y SENAMHI, 2021). Las mediciones de campo realizadas en viviendas Altoandinas en las horas más frías del día, mostraron temperaturas interiores de alrededor de 10,00°C (Wieser et al., 2021). Siendo las temperaturas interiores de la vivienda típica Altoandina semejante a las exteriores, sobre todo en horas de la madrugada, por lo que se convierte en una condición crítica que deben enfrentar los pobladores día a día.

Las viviendas rurales se caracterizan por estar apartadas, es decir no tienen vecinos próximos, tienen una conformación concéntrica de unidades que sirven de almacén, dormitorio y cocina. Para el presente estudio se consideró el ambiente de mayor permanencia que cumple la función de dormitorio, por ser el que aloja al poblador y debe superar las horas críticas de noche y madrugada. Las viviendas se construyen con muros de adobe y techo de calamina (plancha ondulada metálica), con alta conductividad térmica lo que implica pérdida de calor (Jiménez et al., 2017). Esta situación impacta negativamente en los usuarios de la vivienda debido a que no cuentan con protección térmica en la envolvente y como consecuencia generan daños a la salud y actividades propias del quehacer rural. Teniendo en cuenta que, las viviendas rurales Altoandinas son precarias, es poco frecuente el manejo de estrategias adicionales para calefaccionar la vivienda. Los usuarios no utilizan ningún tipo de energía para mejorar la temperatura interior de la vivienda (Espinoza, 2014), tampoco es frecuente el uso de aislamiento adicional. Considerando que en esta tipología de vivienda las pérdidas de calor ocurren principalmente por los techos, muros e infiltración de aire por carpintería (Pari et al., 2021), es necesario prestar importancia a los componentes de la envolvente, con la finalidad de brindar un espacio interior térmicamente confortable para los usuarios.

El desempeño térmico de la vivienda depende en gran medida de los materiales utilizados. Como consecuencia, se están desarrollando opciones termoaislantes con la adición de componentes naturales que ayudan a proporcionar un buen rendimiento térmico y un bajo impacto (Majumder et al., 2021). Los materiales naturales han logrado obtener un notable éxito como material de construcción debido a sus propiedades físicas, mecánicas, térmicas y acústicas con bajo efecto negativo sobre el medio ambiente (Papadopoulos, 2005). En la mayoría de las aplicaciones que se comercializan, los materiales adoptados en la composición de los paneles de yeso son sintéticos

lo que tiene un alto impacto (Chea, 2022). Se han realizado diversos estudios sobre las fibras naturales para su uso en el sector de la construcción. Podemos mencionar como ejemplo; mazorcas de maíz (Paiva et al., 2012), paja de arroz (Wei et al., 2015), fibras de totora (Huaquisto-Caceres et al., 2023; Aza-Medina et al., 2023; Hidalgo-Cordero y Aza-Medina, 2023), fibras de Stipa Ichu (Charca et al., 2015), fibras de celulosa (Martínez et al., 2012). Esto indica la importancia de la adición de componentes naturales en la conformación de paneles aislantes y el aprovechamiento de sus propiedades.

El presente estudio ahonda en la utilización de materiales de bajo impacto medioambiental y que pueden ser usados como alternativa para promover la economía circular. La fibra de Stipa Ichu es un material abundante en la zona Altoandina, y no es bien aprovechado debido a que año a año es recurrente la quema de este material. La fibra de Stipa Ichu es una gramínea endémica del Altiplano Andino Sudamericano, ubicada entre los 3.700 a 4.800 metros sobre el nivel del mar. Durante mucho tiempo ha sido utilizada hábilmente por el poblador peruano Andino. Tiene la ventaja de fácil trituración, poco peso, flexibilidad y significativa tracción y deformación. Es un material de bajo impacto ambiental, muy transpirable, libre de agentes tóxicos, por lo que el material no es abrasivo (Chea, 2022). Las fibras pueden proporcionar un comportamiento adecuado frente a los esfuerzos mecánicos y agentes externos a los que puede estar sometida en comparación con otros materiales en el mercado (Mamani y Pinazo, 2019). Por otro lado, las fibras de celulosa reciclada son utilizadas ampliamente en la industria de la construcción (Sutcu y Akkurt, 2009). Estas fibras son materiales renovables, biodegradables y tienen un bajo impacto con el medio ambiente (Muñoz et al., 2020). En consecuencia tanto las fibras de Stipa Ichu y celulosa son una alternativa para sustituir las fibras minerales o petroquímicas en la elaboración de materiales de construcción (Atahuachi y Carcausto, 2018).

Para integrar las fibras naturales de Stipa Ichu y celulosa en este trabajo experimental, se eligió el yeso como el material más apropiado para generar los paneles termoaislantes, debido a su disponibilidad en la zona de estudio, amplio uso en las construcciones, bajo costo, capacidad térmica, facilidad para la integración de aditivos nuevos, así como la aplicación en el lugar o como elementos prefabricados (Guna et al., 2021). Además, ofrece una significativa ventaja frente a otros materiales como prefabricados de hormigón, ya que estos paneles se pueden fijar en la cara interior de los cerramientos de la envolvente o también como un elemento separador entre espacios como muro de tabiquería.

En ese contexto, el objetivo general de este estudio fue evaluar los paneles termoaislantes elaborados en base a fibras de Stipa Ichu, celulosa y yeso (sulfato de calcio hemihidrato). Los objetivos específicos fueron: a) caracterizar las propiedades de resistencia mecánica y resistencia a factores externos de los paneles y b) aplicar el panel en el revestimiento interior de una vivienda rural.

## 2. Métodos

Este estudio presenta dos etapas. La primera consiste en la caracterización del panel a partir de los ensayos de laboratorio, donde se sometieron las muestras con diferentes porcentajes de fibras de Stipa Ichu, celulosa y yeso a ensayos como: resistencia a compresión, resistencia a flexión, comportamiento al fuego, resistencia a hongos y aislamiento acústico. La Tabla 1 muestra las dosificaciones utilizadas. La segunda etapa muestra la aplicación del panel en el revestimiento interior de una vivienda rural con la finalidad de evaluar la variación térmica interior del ambiente.

### 2.1. Primera etapa. Caracterización del panel

#### 2.1.1. Materiales

La recolección de la fibra de Stipa Ichu se llevó a cabo en la zona Altoandina de la región de Puno – Perú, sobre los 3.800 metros sobre el nivel del mar, donde existen ingentes cantidades de esta fibra natural. Para su acopio se emplearon herramientas manuales como las segadoras y fueron transportadas cuidadosamente. Posteriormente las fibras de Stipa Ichu fueron sometidas a un proceso de selección y remoción de tierra, luego se empleó una máquina picadora de forraje de 10 HP y se obtuvieron muestras de 2 cm aproximadamente; se utilizó un tamiz de 2 mm (Nº 10) para separar el polvillo que se generó en el corte (Figura 1ab).

Para el acopio de la fibra de celulosa como materia prima, se usaron maples de huevos como material reciclado. Para su disolución, estos se cortaron en pequeños retazos y se remojan en agua durante una hora. Posteriormente, para obtener una mezcla uniforme se utilizó un batidor eléctrico durante unos minutos (Figura 1cd).



Figura 1: (a) Zona de recolección del Stipa Ichu. (b) Procedimiento del trillado de la Stipa Ichu. (c) Maple de huevo reciclado. (d) Procedimiento del batido de la celulosa. (2024)

Por último, se utilizó papel Clupak 80/90gr, 157 cm x 121 cm para cubrir ambas caras del panel, esto permitió tener una superficie lisa y protegida ante la humedad, además de proporcionar rigidez para su manipulación.

2.1.2. Preparación y composición de los paneles

*Elaboración de los paneles:* El proceso de producción de los paneles se realizó con los siguientes pasos: primero se introdujo las fibras de Stipa Ichu y celulosa en un recipiente de preparación, seguido del yeso, luego se agregó agua hasta que se forme la mezcla uniforme de acuerdo a las dosificaciones (Tabla 1). Seguidamente, se colocó la mezcla a un molde metálico de dimensiones largo, ancho y alto en cm de (120 x 60

x 1,25) respectivamente, el molde es desarmable con pernos de ½" que permitió el fácil desmoldado, que corresponde a las dimensiones del panel propuesto. Para el tiempo de fraguado (endurecimiento) del panel se esperó 20 minutos y el secado fue de 21 días bajo sombra y con ventilación a la intemperie. Finalmente, se procedió al pegado del papel Clupak 80/90 gr, en ambas caras (Ordóñez, 2020), (Figura 2d).

2.1.3. Formulaciones

*Dosificación de Especímenes:* Para la elaboración de paneles, se tomó como referencia la norma NTP-334.135 "yesos para construcción", específicamente en lo relacionado a paneles de fibrocemento y placas de yeso estándar (Gyplac). Se consideraron las siguientes



Figura 2: (a) Fibra de Stipa Ichu y celulosa, amasado y trillado. (b) Mezcla de las fibras con yeso. (c) Vaciado en molde metálico. (d) Acabado final del panel con papel. (2024)

| Muestra | Fibra de Stipa Ichu (%) | Yeso (%) | Fibra de celulosa (%) | Nitrato de Calcio (%) | Cemento (%) | Número de muestras |
|---------|-------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-------------|--------------------|
| M-1     | 30                      | 60       | 9                     | 1                     | 0           | 3                  |
| M-2     | 25                      | 65       | 9                     | 1                     | 0           | 3                  |
| M-3     | 25                      | 60       | 9                     | 1                     | 5           | 3                  |
| M-4     | 25                      | 60       | 14                    | 1                     | 0           | 3                  |
| M-5     | 30                      | 60       | 9                     | 1                     | 0           | 3                  |
| M-6     | 35                      | 60       | 4                     | 1                     | 0           | 3                  |
| M-7     | 30                      | 60       | 9                     | 1                     | 0           | 3                  |
| M-8     | 30                      | 55       | 14                    | 1                     | 0           | 3                  |
| M-9     | 25                      | 65       | 9                     | 1                     | 0           | 3                  |

Tabla 1: Dosificaciones para muestras del panel. (2024)



Figura 3: (a) Ensayo de resistencia al fuego. (b) Ensayo de aislamiento acústico. (2024)

dosificaciones para las muestras: fibras de Stipa Ichu, fibra de celulosa, yeso, nitrato de calcio y cemento. Las dosificaciones se realizaron con el objetivo de obtener la combinación óptima (Tabla 1).

## 2.1.4. Métodos Experimentales

*Ensayo de resistencia a la compresión:* Este ensayo se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas en la Norma Técnica Peruana (NTP) "Unidades de albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto" (NTP-331-604). Para los diversos ensayos se elaboraron 27 muestras, 3 por cada dosificación, de estas 9 muestras fueron sometidas a este ensayo (Tabla 1). Los equipos utilizados fueron: prensa hidráulica, platillos o placas de acero, vernier, balanza digital de (10.000 g). El procedimiento fue el siguiente: Se colocó la muestra entre dos planchas de acero en la prensa de compresión hidráulica para someterla a una carga axial hasta el punto de falla, y finalmente registrar la carga (Figura 3a).

*Ensayo de resistencia a flexión:* Se sometieron 9 muestras óptimas de los paneles a los esfuerzos de flexión y se siguió el protocolo de la Norma ASTM C-78. Los equipos utilizados fueron: Prensa hidráulica California Bearing Ratio (CBR), Placas metálicas una de ellas con dos apoyos circulares de barra, ubicados en los tercios extremos de la base de la viga y la otra colocada en la superficie superior de la viga en la parte central. El proceso que se siguió fue el siguiente: (1) se determinó las medidas de la base y peralte de la muestra a ensayar, (2) se colocó el panel entre las dos placas de acero y sus apoyos de barras de 25 mm de diámetro en la prensa hidráulica, (3) se aplicó la carga al espécimen uniformemente y sin sacudidas, (4) la carga fue aplicada a una velocidad constante hasta el punto de falla y (5) finalmente se registró la carga.

*Ensayo de resistencia al fuego:* Esta prueba se realizó con la finalidad de evaluar la resistencia de los paneles ante la exposición al fuego. Se sometieron a este ensayo las muestras óptimas resultantes de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión (Figura 6). Se tomó

como referencia la norma ASTM E 119/Norma DIN 4102. Los equipos utilizados fueron: pirómetro, soplete universal a gas, balón de gas, flexómetro, cronómetro. El proceso fue el siguiente: (1) se preparó una zona adecuada para llevar a cabo una simulación de incendio controlado utilizando un soplete, (2) se colocó el soplete universal en el balón de gas y se ubicó a una distancia de 15 cm de los paneles, (3) se aplicó fuego continuo a los paneles mediante el uso de un soplete, (4) se utilizó un cronómetro para registrar la temperatura en cada una de las caras cada 5 minutos, (5) se observó la presencia de fisuras por el tiempo de exposición al fuego y (6) se llevó la medición del diámetro en la cara no expuesta (Figura 3a).

**Aislamiento acústico:** Se utilizó una cámara de insonorización y se tomó como referencia la lectura en el punto medio, a una distancia de 30 cm del panel. Se sometieron a este ensayo las muestras más óptimas resultantes de los ensayos de resistencia a la compresión y flexión, (Figura 4). Se tomó como referencia la Norma UNE-EN ISO 717-2. Los equipos utilizados fueron: cámara de insonorización 0,30 x 0,30 x 0,60 m, amplificador con parlantes, sonómetro CASELLA CEL-600 Series, portátil emisor de ondas. El procedimiento fue el siguiente: (1) se acondicionó la cámara de insonorización para la instalación de los paneles, (2) se implementó el sistema de medición que consistía en un amplificador, un parlante, una laptop utilizada como emisor de frecuencias, un sonómetro para realizar las lecturas y la cámara de insonorización, (3) se generó ruido de ondas sinusoidales con diferentes frecuencias de 250 Hz incrementando en su doble hasta llegar a 8.000 Hz, (4) se tomó lecturas de los datos obtenidos en dB con el sonómetro, (5) se procedió a emitir el registro de 15 veces por cada tipo de frecuencia (Figura 3b).

**Ensayo de durabilidad frente a los hongos:** Este ensayo se realizó, debido a que el Stipa Ichu es una fibra orgánica y puede ser afectado por la humedad. Las normas utilizadas fueron: NTC 1127/ASTM D 2017-63/UNE EN 350-1. Los equipos y materiales fueron: frascos de vidrio, tierra negra, autoclave, balanza de precisión de 0.001g, microscopio, medio de cultivo, placas Petri e incubadora. Para el ensayo se siguió en el siguiente proceso: (1) se tomó una muestra de espesor de 12.5 mm; (2) se utilizó el hongo "Rhizopus Stolonifer", hongo filamentoso (de hasta 2 mm x 20 µm), de color pardo oscuro; (3) se preparó tierra negra pasándolo por el tamiz N° 50, para luego depositar 180 g de tierra en cada frasco, los cuales se auto clavaron por un periodo de 90 minutos con el fin de esterilizar la tierra de microorganismos; (4) se procedió a abrir un frasco con tierra para luego colocar sobre esta una lámina de agar con hongo cultivado, y sobre esta una muestra de panel, (5) el tiempo de exposición fue de 4 semanas, donde cada semana se fueron pesando. (6) Se hizo la observación en estereomicroscopio del ataque de los hongos al panel, realizando un corte transversal en el punto de ataque del hongo.

De forma general el número de muestras que se utilizó en los diferentes ensayos de laboratorio, y los mejores resultados obtenidos se presentan en la (Figura 4).

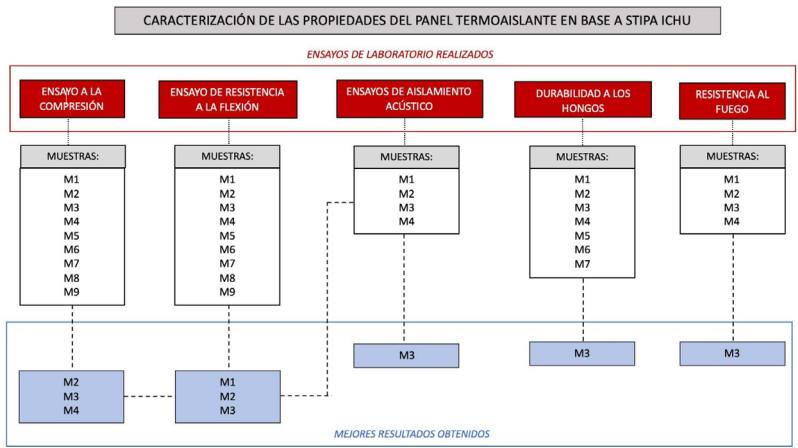


Figura 4: Esquema del proceso de caracterización de los ensayos de laboratorio. (2024)

## 2.2. Segunda etapa. Aplicación de paneles como aislante térmico

*Ubicación de la vivienda rural:* La aplicación se desarrolló en una vivienda rural Altoandina (Figura 5ab) de la comunidad campesina de Cueva, ubicada en el distrito de Paucarcolla de la región de Puno - Perú, a una altitud de 3.951 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas 15°46'10" latitud Sur y 70°6'26" longitud Oeste. El lugar de estudio, no dispone de una estación meteorológica, por lo que se utilizó registros de la estación del distrito de Paucarcolla, que es administrado por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (Figura 6).

*Descripción de la vivienda rural:* La edificación es utilizada como vivienda y sus medidas en metros de largo, ancho y alto (5,50 x 3,20 x 2,20). Los aspectos constructivos y materiales se detallan a continuación: los muros son de adobe y sus medidas en milímetros son de (400 x 400 x 100), con juntas de barro de 20 mm en promedio, no presenta revestimiento interior ni exterior. La cubierta es de una chapa ondulada galvanizada (calamina) sujeta en una estructura de tijerales de madera, no presenta acabados en cielorraso y el piso es de tierra apisonada. En cuanto a las aberturas, la ventana presenta un marco metálico de fierro angular T, el vidrio es simple incoloro transparente de 2 mm, la puerta es de madera simple.

El proceso de mejora en muros, incluye el revestimiento a nivel interno con el panel de 12,5 mm, sobre perfiles galvanizados de sección trapezoidal de 24 mm de altura para la sujeción, generando una cámara de aire entre el muro de adobe y el panel, se recubrió el perímetro de la vivienda desde el nivel de piso terminado hasta alcanzar el nivel de cielo raso. La cubierta en su parte interna fue mejorada con el mismo panel en cielorraso, se incorporó a la estructura existente cuatrones de madera entramada de 2 x 2 pulgadas para soportar los paneles, e incluyó el manejo de las grietas para evitar infiltraciones de aire. Los pisos fueron tratados con una cama de piedra y mezcla ligera de tierra con fibras de Stipa Ichu, seguido de un entablado de madera sobre una estructura de madera de 2 x 3 pulgadas como soporte y planchas de madera prensada OSB (Oriented Strand Board) de 8 mm. En cuanto a las aberturas se consideró contraventanas de 2 pulgadas de espesor, de madera triplay con aislamiento interno de fibra de Ichu triturada (Figura 7).

*Evaluación de la Vivienda Rural:* Una vez realizadas las mejoras en la vivienda se procedió a la toma de datos, entendiéndose que el grupo de control es la vivienda en su situación original y el experimental es la vivienda con adecuaciones. Espinoza (2009) y Flores (2014), sostienen que la evaluación del comportamiento térmico se debe realizar para el periodo más desfavorable en cuanto al clima se refiere. Por lo que el registro de datos se realizó en la estación de invierno, en los meses de mayo y junio, considerando dos periodos de medición; el primero en el estado inicial sin adecuaciones (26 al 2 de junio) y el segundo considerando adecuaciones (17 al 25 de junio). Así mismo, la frecuencia de las mediciones realizadas es propuesta por Espinoza (2014), quien recomienda que el registro de datos de temperatura en este tipo de estudios se debe realizar cada hora, por lo que este estudio asumió ese criterio. Para la medición se utilizó un Data Logger Ecowitt, modelo DS-102, los cuales tienen capacidad programable para medir rangos de temperatura desde -20°C hasta 70°C.



Figura 5: (a) Vivienda objeto de estudio. (b) Ambiente interior de la vivienda seleccionada. (2024)

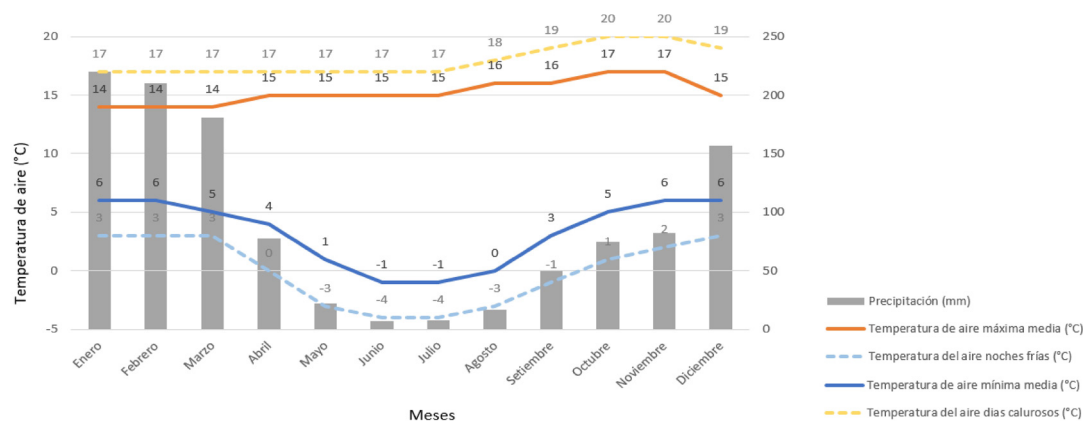


Figura 6: Temperatura y precipitación en el distrito de Paucarcolla. (2024)

### 3. Resultados y discusión

Se analizó a través de ensayos en laboratorio propiedades mecánicas (resistencia a la compresión, resistencia a la flexión) y resistencia frente a agentes externos (resistencia al fuego, resistencia al ruido, resistencia a los hongos), todos estos parámetros son determinantes para que el panel pueda ser aceptado como material de construcción y por otro lado pueda cumplir con las exigencias técnicas y normativas.

#### 3.1. Caracterización de las propiedades del panel

##### 3.1.1. Ensayo a la compresión

En el ensayo a compresión se obtuvo la resistencia mínima en la mezcla (M-8) con un valor de 5,74 kg/cm<sup>2</sup>, y como valor máximo en la mezcla (M-3) con 28,70 kg/cm<sup>2</sup> a la cual se le incorporó cemento. Los valores de las muestras (M-1), (M-5), (M-6), (M-7), (M-8) y (M-9) presentan valores inferiores, tomando como referencia las exigencias mecánicas a compresión establecidas por la norma UNE EN 13279 y la NTP 334134 que son aplicables para yesos de construcción, que establece como mínimo 2 MPa (20 kg/cm<sup>2</sup>). Además, se puede apreciar que las muestras (M-2), (M-3) y (M-4) superan las prestaciones mecánicas de compresión con lo que existe un margen para añadir otros agregados (Figura 8).

##### 3.1.2. Ensayo de resistencia a la flexión

El ensayo se realizó tomando como referencia el protocolo establecido en la norma ASTM C-78. De estos ensayos las muestras más óptimas fueron tres (Tabla 2). Los valores encontrados de la resistencia a flexión se encuentran dentro de los valores exigidos de 0,1 KN a 0,3 KN, de acuerdo a la norma UNE EN 13279 y NTP 334.134. Lo que hace factible su uso para cualquier aplicación que es propia de yesos de construcción, sobre todo en revestimientos interiores de ambientes.

##### 3.1.3. Resistencia al fuego

Se sometieron las cuatro muestras con resultados óptimos resultantes de los ensayos de compresión y resistencia a la flexión con un espesor de 12,50 mm, el procedimiento de los ensayos siguió los lineamientos de la Norma Técnica DIN 4102 y ASTM E119. El resultado promedio presenta una duración de más de una hora (momento de falla en la cara no expuesta) con una temperatura de 488,90°C y 1037,10°C en la cara expuesta. Estos resultados cumplen los requerimientos de la norma DIN 4102 y ASTM E119. La diferencia entre la cara expuesta y la cara no expuesta es significativa debido al espesor que presenta este panel (Figura 9).



Figura 7: (a) Estructura de madera en piso. (b) Colocación de planchas OSB. (c) Colocación de perfiles galvanizados. (d) Colocación de instalaciones eléctricas. (e) Colocación de paneles. (f) Acabado del ambiente interior. (2024)

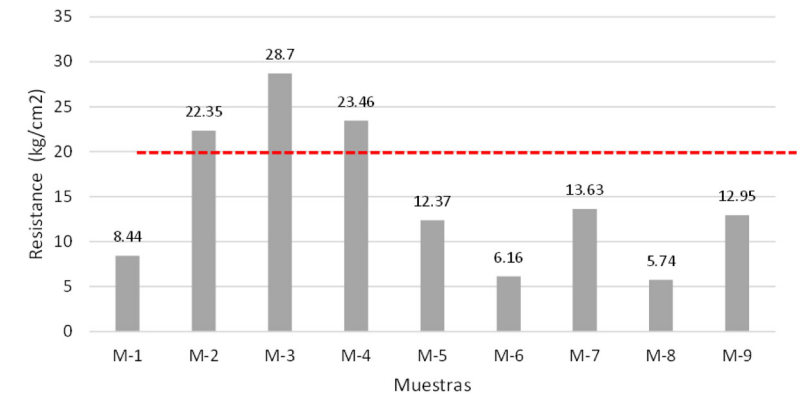


Figura 8: Resumen de ensayo a compresión. (2024)

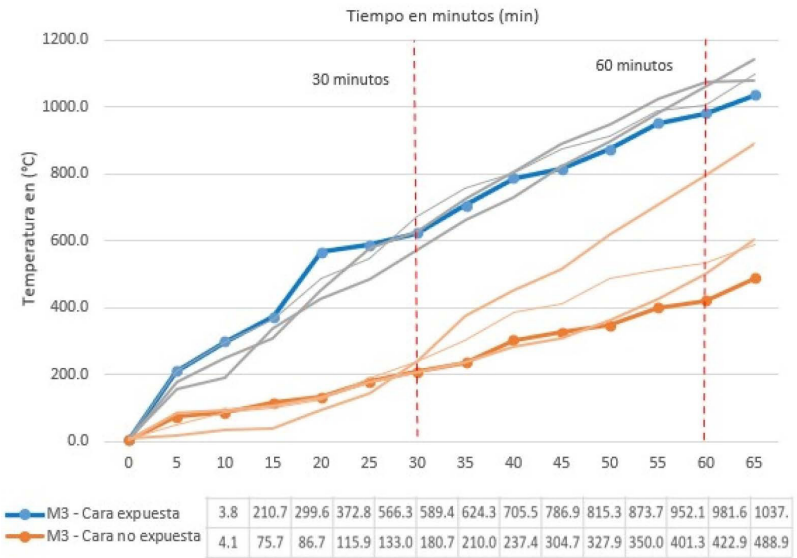


Figura 9: Comportamiento del panel 12.50 mm de espesor. (2024)

### 3.1.4. Ensayos de aislamiento acústico

Se presenta el promedio de los datos obtenidos durante la medición utilizando un sonómetro. A este ensayo se sometieron las muestras óptimas resultantes de los ensayos de compresión y resistencia a la flexión con un espesor de 12,50 mm. Se determinó el Coeficiente de Transmisión de Sonido (CTS) y el Coeficiente de Reducción de Sonido (CRS) en decibeles (Tabla 3).

| Muestra | Peso (g) | Medidas (cm) |            |             | Área<br>cm² | Lectura del DIAL (kg-f) |                        |
|---------|----------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------------------|------------------------|
|         |          | Largo (cm)   | Ancho (cm) | Altura (cm) |             | Carga KN                | Resistencia (kg-f/cm²) |
| M -01   | 1865,3   | 51,1         | 15,1       | 3,50        | 771,61      | 0,19                    | 19,37                  |
| M -02   | 2068,1   | 51,3         | 15,1       | 3,25        | 774,63      | 0,17                    | 17,33                  |
| M -03   | 2114,1   | 51,1         | 15,0       | 3,85        | 196,73      | 0,18                    | 18,35                  |

Tabla 2: Resistencia a la flexión. (2024)

| Frecuencia (Hz) | Coeficiente de Transmisión de Sonido (CTS) en dB |       |       |       | Coeficiente de Reducción de Sonido (CRS) en dB |      |      |      |
|-----------------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|------------------------------------------------|------|------|------|
|                 | M1                                               | M2    | M3    | M4    | M1                                             | M2   | M3   | M4   |
| 250             | 17,55                                            | 17,02 | 18,08 | 18,05 | 0,25                                           | 0,24 | 0,26 | 0,26 |
| 500             | 18,98                                            | 18,41 | 19,55 | 19,52 | 0,22                                           | 0,21 | 0,23 | 0,23 |
| 1000            | 25,58                                            | 24,81 | 26,35 | 26,31 | 0,26                                           | 0,25 | 0,27 | 0,27 |
| 2000            | 23,45                                            | 22,75 | 24,15 | 24,12 | 0,23                                           | 0,22 | 0,24 | 0,24 |
| 4000            | 42,45                                            | 41,18 | 43,72 | 43,66 | 0,42                                           | 0,41 | 0,43 | 0,43 |
| 8000            | 40,38                                            | 39,17 | 41,59 | 41,53 | 0,42                                           | 0,41 | 0,43 | 0,43 |
| Promedio        | 28,06                                            | 27,22 | 28,91 | 28,86 | 0,30                                           | 0,29 | 0,31 | 0,31 |

Tabla 3: Coeficiente de transmisión y reducción de sonido. (2024)

En relación al CTS, el panel alcanza minimizar el ruido en 17,55 dB y 40,38 dB para una frecuencia de 250 Hz y 8.000 Hz respectivamente. Por otro lado, para el CRS, el panel tiene un coeficiente de 0,25 dB y 0,42 dB para una frecuencia de 250 Hz y 8.000 Hz respectivamente. En promedio el panel absorbe el 30% del ruido y refleja el 70%, lo que lo convierte en un buen aislante acústico. Guna et al. (2021) realizó el estudio de placas de yeso con fibra de coco y lana donde encontró coeficientes de reducción de sonido (CRS) de 0,25 para frecuencias bajas menores a 1.500 Hz, 0,25 y 0,32 para frecuencias de 1.500 a 3.000 Hz, y 0,35 para frecuencias superiores a 5.500 Hz. Estos valores se encuentran en relación con lo encontrado en este estudio, además de que cumple con los parámetros establecidos en la norma UNE-EN ISO 717-2.

### 3.1.5. Durabilidad a los hongos

El panel puede sufrir daños por la presencia de la humedad debido a factores externos, por ello se realizó el cultivo de hongos. Se observó que no existe deterioro. La pérdida de peso promedio tras los ensayos realizados fue de 1,25%, este valor está de acuerdo a lo establecido en la norma ICONTEC NTC 1127/94 que señala el rango de valores entre 0% a 10%, por lo que se determina que es altamente durable.

## 3.2. Aplicación de paneles como aislante térmico

### 3.2.1. Propiedades térmicas

Las mediciones se realizaron en la vivienda rural típica y en la vivienda modificada con paneles termoaislantes. Se observa que para las 06:00 horas la temperatura exterior desciende significativamente llegando a registrar 4,00°C y en el interior de la vivienda los valores fueron de 6,70°C y 9,00°C para la vivienda típica y vivienda con paneles termoaislantes respectivamente. A las 15:00 horas, la temperatura exterior es de 16,90°C, por otro lado, la vivienda típica presenta una temperatura de 19,90°C y 22,2°C con paneles termoaislantes. A las 21:00 horas, la temperatura exterior es de 2,80°C, por otro lado, la vivienda típica presenta una temperatura de 7,70°C y 10,00°C con paneles termoaislantes. El valor promedio de la temperatura exterior es de 6,50°C (Figura 10).

Los resultados demuestran que la temperatura interior de la vivienda con tratamiento de paneles termoaislantes, presenta una leve mejoría en cuanto a los valores registrados en comparación con la vivienda típica. Así mismo, el valor promedio de diferencias de temperatura es de 2,30 °C y de 6,70°C en relación con la temperatura exterior. La diferencia del coeficiente de variación presentó un valor calculado de 2,21% valor que confirma la mejora en la temperatura interior del ambiente (Tabla 4).

El tratamiento con paneles de Stipa Ichu, celulosa y yeso en esta investigación logró el incremento de la temperatura interior de 2,30°C, este valor aunque resulta ser una leve mejoría en relación a investigaciones como; Jiménez-Dianderas et al (2024) quien realizó mejoras en una vivienda Altoandina con fibras naturales de Totora (*Schoenoplectus californicus*), llegando a obtener un aumento promedio de 4,00 °C en el interior del ambiente. Flores (2014) reportó un aumento promedio de 6,16°C en el interior del ambiente interior de la vivienda Altoandina, con tratamiento de paja, carrizo y yeso. Del mismo modo Espinoza (2009); Saavedra (2014); y Corrales (2014), reportaron el incremento de la temperatura media mensual en el ambiente tras la aplicación de materiales aislantes en base a fibras naturales en viviendas Altoandinas. Por otro lado, Jiménez et al. (2017) enfatiza en el uso de materiales locales disponibles, como la totora, lana de oveja, piedra y madera para mejorar el desempeño térmico de la vivienda. Sin embargo, resulta ser significativa puesto que no se encuentran muchas investigaciones exploratorias de la fibra de Stipa Ichu con aditivos naturales implementados en viviendas de la zona Altoandina con las características climáticas particulares de este estudio. Esta investigación brinda mayores posibilidades al uso de materiales de fibras naturales y a su vez aporta una alternativa viable del uso de la fibra de Stipa Ichu como material con características aislantes y de bajo impacto en la búsqueda de la mejora del confort térmico.

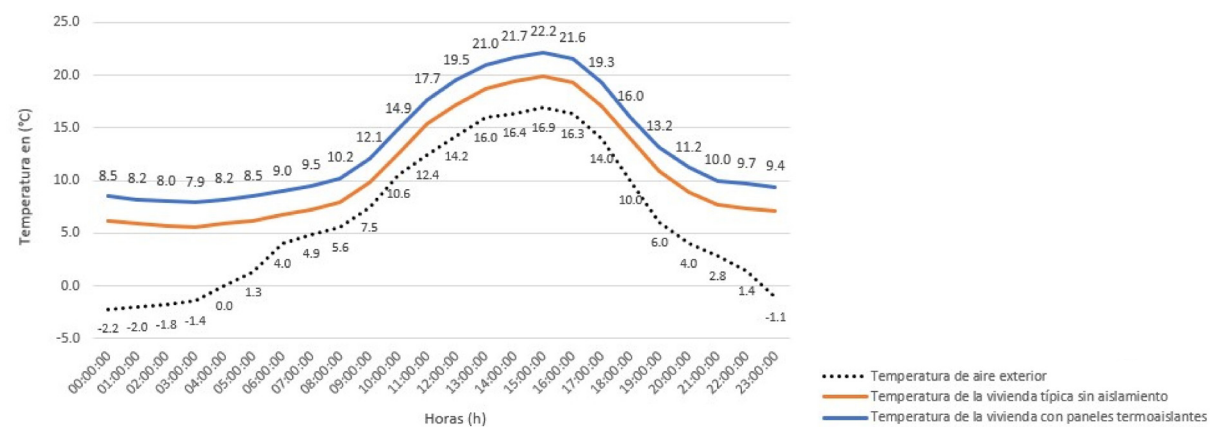


Figura 10: Comportamiento térmico del ambiente interior en un día. (2024)

| Medidas                       | Vivienda típica (°C) | Vivienda modificada (°C) | Diferencias (°C) |
|-------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|
| Tamaño del grupo (n)          | 24                   | 24                       | 24               |
| Promedio (x)                  | 10,90                | 13,20                    | 2,30             |
| Desviación Estándar (S)       | 5,94                 | 5,75                     | 0,19             |
| Varianza(S²)                  | 35,28                | 33,06                    | -2,22            |
| Coefficiente de variación (%) | 47,5                 | 44,94                    | 2,21             |

Tabla 4: Temperatura del ambiente interior de vivienda típica y modificada. (2024)

4. Conclusiones

El panel termoaislante a base de fibra de Stipa Ichu, celulosa y yeso es una buena alternativa que puede utilizarse como revestimiento al interior de las viviendas rurales en la región Altoandina donde existen variaciones extremas de temperatura. Al ser un material local es de fácil accesibilidad y su adquisición es económica, así también tiene aceptabilidad por el poblador y contribuye al bienestar de las personas por tratarse de una fibra natural.

Además de todas estas características, las buenas prestaciones térmicas y el fácil mantenimiento que le otorgan un alto potencial de industrialización, lo que favorece la adopción de prácticas sostenibles, diferenciándose de otros materiales del mercado.

Se recomienda realizar mayores estudios exploratorios de la fibra de Stipa Ichu a fin de aprovechar sus propiedades aislantes. Además de explorar otras propuestas constructivas con diversas fibras naturales. Otras investigaciones también podrían centrarse en realizar una evaluación de su impacto medioambiental a través del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del material. Así mismo, cuantificar sus ventajas ecológicas y económicas que permitiría enfatizar el potencial de esta fibra natural como una solución sostenible para la industria de la construcción.

**Conflicto de intereses.** Los autores declaran no tener conflictos de intereses.  
© **Derechos de autor:** Leyda Cinthia Aza-Medina, Hugo Anselmo Ccama-Condori, Diana Karen Pari-Quispe y Abrahan Henry Torres-Benavides y Juan Anthony Humalla-Quispe, 2025.  
© **Derechos de autor de la edición:** Estoa, 2025.

## 5. Referencias bibliográficas

- Atahuachi, G. y Carcausto, Y. (2018). *Aislante termoacústico a base de Stipa Ichu para atenuar el ruido y cambios drásticos de temperatura en viviendas de sectores en expansión urbana de la ciudad de Puno*. [Tesis, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://www.repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/11138>
- Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasta, A. M., & González-Lezcano, R. A. (2023). *Characterization of the thermal behavior, mechanical resistance, and reaction to fire of totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material*. *Journal of Building Engineering*, 69, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105984>
- Charca, S., Noel, J., Andia, D., Flores, J., Guzman, A., Renteros, C., & Tumialan, J. (2015). *Assessment of Ichu fibers as non-expensive thermal insulation system for the Andean regions*. *Energy and Buildings*, 108, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.053>
- Chea, F. (2022). *Estudio de la fibra de Ichu incorporada como aislante térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envoltantes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú*. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24625>
- Corrales, M. (2012). *Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1363/1/guerra\\_it.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1363/1/guerra_it.pdf)
- Espinoza, R. (2014). *Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticos de calentamiento aplicados en un módulo de vivienda de San Francisco de Raymina-Ayacucho*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Publicación Concytec. <https://hdl.handle.net/20.500.12390/2103>
- Espinoza, R. L. (2009). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda Altoandina del Perú*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13, 1-8. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97335>
- Flores, A. (2014). *Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termofísicas y evaluación experimental de su confort térmico en Ilave*. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 16(1), 177-186. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5893905>
- Guna, V., Yadav, C., Maithri, B. R., Ilangoan, M., Touchaleaume, F., Saulnier, B., Grohens, Y., & Reddy, N. (2021). *Wool and coir fiber reinforced gypsum ceiling tiles with enhanced stability and acoustic and thermal resistance*. *Journal of Building Engineering*, 41, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102433>
- 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, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105777>
- Huaquisto-Cáceres, S., Pati-Quispe, D. K., & Cruz-Marón, R. A. (2023). *Eco-efficient thermoacoustic panels made of totora and gypsum for sustainable rural housing ceilings*. *Materiales de Construcción*, 73(352), 1-12. <https://doi.org/10.3989/mc.2023.346323>
- Jiménez, C., Wieser, M., & Biondi, S. (2017). *Improving Thermal Performance of cabins in the High-Altitude Peruvian Andean Region*, 3. *PLEA 2017 Proceedings (pp. 4101-4108)*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/187754>
- 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 Totoro*. *Revista de Arquitectura*, 26(1), 125–146. <https://doi.org/10.14718/revarq.2024.26.4578>
- Majumder, A., Canale, L., Mastino, C. C., Pacitto, A., Frattolillo, A., & Dell'isola, M. (2021). *Thermal characterization of recycled materials for building insulation*. *Energies*, 14(12), 1-16. <https://doi.org/10.3390/en14123564>
- Mamani, E., y Pinazo, L. (2019). *Eficiencia de una vivienda construida con tabiquería bioclimática a base del Stipa Ichu y festuca Dolichophylla Presl para mejorar el confort térmico en la zona de Chillapalca, San Antonio de Putina, de la región Puno*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/15745>
- Martínez, C., Cortés, T. & Corpas, F. A. (2012) *Recovering wastes from the paper industry: development of ceramic materials*. *Fuel Processing Technology*, 103, 117–124. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.10.017>
- Mejía, E., Arias, J., Palm, B. (2023). *Simple solutions for improving thermal comfort in huts in the highlands of Peru*. *Heliyon*, 9, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19709>
- Ministerio del Ambiente – MINAN y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI (2021). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento - MVCS (2014). *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética (Norma Núm. EM. 110)*. <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619729-em-110-confort-termico-y-luminico-con-eficiencia-energetica>
- Molina, J. O., Espinoza, R. E., Horn, M. J., & Gómez, M. M. (2019). *Thermal performance evaluation of isolation and two active solar heating systems for an experimental module: A rural Peruvian case at 3700 masl*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1173(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1173/1/012003>
- Muñoz, P., Letelier, V., Zamora, D., & Morales, M. P. (2020). *Feasibility of using paper pulp residues into fired clay bricks*. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121464>
- Ordóñez Cristian. (2020). *Elaboración de un panel prefabricado de yeso con fibras naturales, como alternativa para acabado de la construcción de cielo raso y paredes*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Cuenca. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10325>
- Paiva, A., Pereira, S. Sá, A., Cruz, D., Varum, H., & Pinto, J. A. (2012). *Contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards*. *Energy and Buildings*, 45, 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.019>

- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>
- Pari, D., Cronemberger, J., y Frederico, C. (2021). Confort térmico en viviendas sociales en la zona Mesoandina de Perú – soluciones para mejorar la calefacción pasiva usando materiales autóctonos. *Revista Latino-Americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade*, 2(6), 1–12. <https://doi.org/10.17271/rlass.v2i6.2980>
- Saavedra, G. G. (2014). *Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas arriba, distrito de Pisacoma, provincia de Chucuito, región Puno*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/4484>
- Sutcu, M. & Akkurt, S. (2009). The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity, *Ceramics International*, 35(7), 2625–2631, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2009.02.027>
- Wei, K., Lv, C., Chen, M., Zhou, X., Dai, Z., & Shen, D. (2015). Development and performance evaluation of a new thermal insulation material from rice straw using high frequency hot-pressing. *Energy and Buildings*, 87, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.026>
- Wieser, M., Rodríguez-Larraín, S., y Onnis, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura: Validación de prototipo de vivienda. Puno, Perú. *Estoa*, 10(19), 9–19. <https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a01>