

Cielo raso de paja y barro aligerado: respuesta adaptativa al clima extremo en viviendas andinas

Straw and lightened mud ceiling: adaptive response to extreme climate in Andean homes

Sergio Alfaro¹, Beatriz Yuste², Massimo Palme³

¹ Universidad Católica del Norte, Chile.

² Universidad de Valencia, España.

³ Universidad Federico Santa María, Chile.

*Autor de correspondencia: salfaro@ucn.cl

Recepción: 01 – Septiembre – 2023

Aprobación: 25 – Noviembre – 2023

Publicación online: 22 – Diciembre – 2023

Citación: Alfaro, S., Yuste, B. y Palme, M. (2023). Cielo raso de paja y barro aligerado: respuesta adaptativa al clima extremo en viviendas andinas. *Maskana*, 14(2), 59 - 73. <https://doi.org/10.18537/mskn.14.02.06>

Resumen:

El cielo raso de barro y paja aligerado es una práctica constructiva que las comunidades andinas han empleado tradicionalmente en sus viviendas. Según su ubicación geográfica se denomina con distintos nombres como “caruna, takta, t’ajta, tacta, y en lengua chipaya “wara”, p’ira, t’illi” y emplea en su elaboración la tierra y paja de su entorno altiplánico. Actualmente sufre el riesgo de desaparición, producto de los procesos socioculturales vividos en el territorio durante los últimos 50 años. Este artículo describe las acciones de rescate y puesta en valor del sistema, a través de un proyecto de investigación tecnológica con metodología de campo y laboratorio en la región de Arica y Parinacota, al norte de Chile. Los resultados obtenidos a través de esta investigación han permitido caracterizar mecánica y físicamente el sistema, los hallazgos se han contrastado con los principios de salvaguardia para evaluar su potencialidad de reconocimiento en el sistema nacional de salvaguarda de Patrimonio Inmaterial.

Palabras clave: construcción en tierra, arquitectura vernácula, fibras naturales, techumbre aymara, aislación térmica.

Abstract:

The clay and lightened straw ceiling is a construction practice that Andean communities have traditionally used in their homes. Depending on its geographical location, it is called by different names such as “caruna, takta, t’ajta, tacta, and in the Chipaya language “wara”, p’ira, t’illi” and uses the earth and straw of its highland environment in its preparation. It is currently at risk of disappearance, as product of the sociocultural processes experienced in the territory during the last 50 years. This article describes the rescue actions and enhancement of the system, through a technological research project with field and laboratory methodology in the region of Arica and Parinacota, northern Chile. The results obtained through this research have allowed the system to be mechanically and physically characterized; the findings have been contrasted with the safeguarding principles to evaluate its potential for recognition in the national Intangible Heritage safeguard system.

Keywords: earth construction, vernacular architecture, natural fibers, aymara roof, thermal insulation.

1. Introducción

Las culturas constructivas locales tienen su origen en la arquitectura vernácula, la palabra “vernáculo” se deriva del latín “vernacūlus” y se refiere a lo “doméstico, nativo, de la casa o país propios”. En arquitectura, se relaciona con la construcción tradicional de ciertas comunidades locales y su relación con la sostenibilidad. Este concepto se ha desarrollado desde la década de 1950, destacando la importancia de considerar factores como el sitio-clima, materiales, y la relación entre arquitectura y entorno natural. Diversos autores han contribuido a la definición de este tipo de arquitectura, tomando como eje central la adaptación de la arquitectura al clima y el entorno, Sibyl Moholy señala al respecto que “[...]cada pie de tierra, cada piedra, ladrillo o pieza de madera, cada proporción, abertura y ángulo de pared están coordinados para responder a desafíos particulares, nunca del todo duplicados, de lugar y gravedad, de clima y comodidad humana”. (Moholy, 1957, p.33). Rafael Serra en la edición española de *Arquitectura y Clima*, enfatiza que Olgyay “[...] ya había profundizado en la interacción que existe entre un edificio el medio natural que lo envuelve, postulando en sus escritos cómo es y debe ser la relación entre “arquitectura” y “lugar”, entre “forma” y “clima”, o entre “urbanismo” y “regionalismo”, contradiciendo drásticamente las leyes implícitas y aparentes de la arquitectura “oficial” de las décadas centrales en nuestro siglo. (Olgyay, 1998, p.1)

Rudofsky (1965) enriquece la visión de lo vernáculo incorporando aspectos antropológicos a la reflexión, “[...] En contraste con las aspiraciones de los estudios vernaculares desde otras disciplinas como la Antropología, aclara la necesidad de incorporar lo aprendido de estas arquitecturas anónimas a la arquitectura contemporánea.” (Loren-Méndez, 2018, p. 121); y En 1969, posteriormente Rapoport examinó los factores que influyen en la arquitectura vernácula, como la economía, la religión, el sitio, los materiales y el clima, pero sin embargo consideró que “[...] El elemento que genera mayores efectos en las formas creadas por el hombre sería el clima. (Rapoport, 1969, p. 111)

Todos estos teóricos, han abogado por incorporar elementos de la arquitectura vernácula en la contemporánea, enfatizando la influencia del clima en las formas arquitectónicas. Además, se han propuesto términos relacionados con la arquitectura sostenible que comparten principios con la arquitectura vernácula, como el uso de materiales y técnicas locales y la eficiencia energética. Más recientemente, Mileto y Vegas (2014) “[...] presentan varios términos relacionados con la Arquitectura sostenible: kilometre zero, low tech, arquitectura bioclimática, arquitectura pasiva, arquitectura verde y bioarquitectura (o bioconstrucción), (Torres y Jaramillo, 2019 p. 49).

En América Latina, Cordero Gulá y García Navarro (2015) y Toumi et al. (2017) destacaron que la sostenibilidad se enfoca en la dimensión socioeconómica debido a la desigualdad y la pobreza en la región. Finalmente, Santacana y Mensa (2022) propusieron categorías para

catalogar la arquitectura según su gestión climática, buscando redefinir la relación entre la arquitectura y el clima.

Estas técnicas constructivas de la arquitectura vernácula reducen el impacto ambiental de la construcción en el ambiente, encontramos ejemplos en estudios basados en el uso de la tierra como materia poseen ventajas respecto de la construcción industrial: “[...] no requiere transporte o explotación de los recursos geológicos a través de canteras o yacimientos por lo que abarata la construcción además tiene un bajo impacto ambiental ecológico y sostenible, es 100% reciclable por ende tiene bajo coste energético, absorbe contaminantes y como es considerado un material saludable, permite la creación de otros materiales inofensivos para el ser humano a su vez no genera impacto ambiental”.(Zabala, 2023 p.20),y “[...] el uso de materiales naturales en la arquitectura contemporánea del país responde, en primer lugar, a las necesidades sociales y económicas de la población, y en un segundo lugar, a las necesidades ambientales”. (Torres y Jaramillo, 2019, p. 52).

La protección del patrimonio inmaterial evoluciona constantemente en la definición de los alcances del concepto de herencia cultural, la perspectiva más reciente considera a las personas y sus creaciones, no solo los aspectos físicos o materiales del patrimonio sino también las expresiones vivas. Su gestión implica ética y destaca los procesos fundamentales para la continuidad, enraizados en saberes ancestrales como señala UNESCO en 2021. La transmisión intergeneracional en algunos casos se interrumpe, emergiendo nuevos actores y procesos que permitirían recuperar o remirar las tradiciones perdidas o en riesgo de desaparecer, existen estrategias que permitirían recuperar saberes incluyendo expresiones auténticas de las culturas locales, como las técnicas artesanales tradicionales (MINCAP, 2019).

En la zona de la Comuna de Parinacota, cercano a la fronteras del tripartito entre Chile, Perú y Bolivia, se ubica el poblado de Tacora (ver Figura 1) , que a propósito de un proyecto de restauración de sus techumbres fue posible detectar la drástica transformación dentro de los últimos 25 años que ha tenido la materialización de las viviendas altoandinas a propósito de la configuración material de este elemento de protección frente al clima, la revisión de los censos de Población y Vivienda de la Región de Arica y Parinacota, (INE,1992;2002;2017), demostraron que la composición de los materiales de las techumbres de las viviendas vernáculas aymaras han cambiado sustancialmente. Estas transformaciones pudieron haber modificado la eficiencia y efectividad de las techumbres frente al clima extremo donde se ubican.

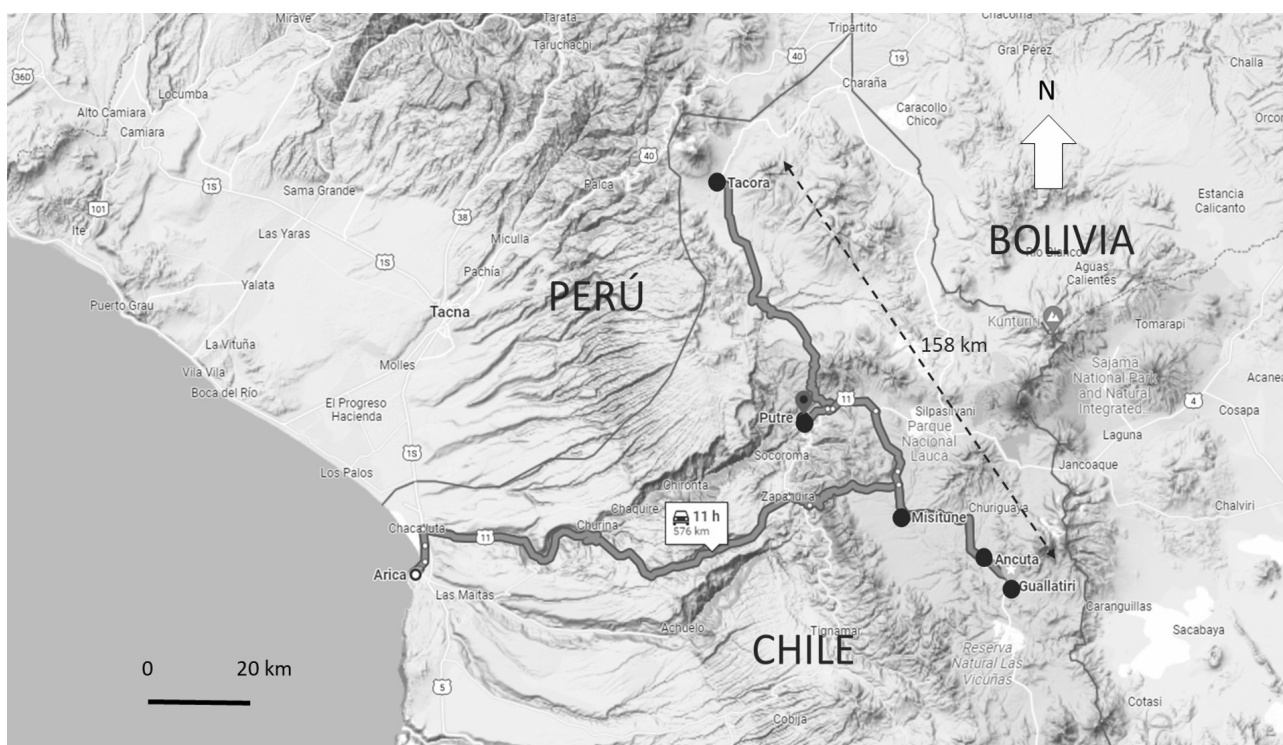


Figura 1. Trayecto y ubicación de los poblados visitados durante la investigación en la región de Arica y Parinacota

Fuente: Elaboración propia

Investigaciones en el ámbito de la antropología cultural, realizadas entre los años 1968 y 1969 en Enquelga Chile, han referido el uso del barro y paja en los cielos de las viviendas aymaras, este registro etnográfico identificó 90 viviendas, donde se describió el uso de la técnica local denominada “p’ira”, “caruna” o también “takta”. Este era el modo tradicional para encielar las techumbres (Šolc, 2011 [1975]) en los pueblos del altiplano andino en el norte de Chile.

El caso más cercano que refiere la literatura vinculada a la descripción de esta técnica constructiva se encuentra en Bolivia, y corresponde a un tipo de construcción tradicional de la cultura Uru Chipayas, una etnia que forma parte de la nación Uru Puquina, “[...] Una misma procedencia debió identificar a los urus y a los puquinas. El asentamiento de los urus se extendió por el altiplano central, es decir, el departamento de Oruro y toda la costa hasta el océano Pacífico por el oeste (Según Max Uhle), por el norte hasta la ribera septentrional del lago Titicaca y el valle de Arequipa, al sur con la parte superior del Río Loa, hasta Lípez y Chichas, o sea, que abarcaba toda la provincia de Tarapacá, al este con el río Cotagaita.” (De la Zerda, 1993, p. 94). Esta distribución espacial refiere la expansión espacial de esta cultura sobre el actual territorio chileno de Arica y Tarapacá, donde se han encontrado evidencias de esta técnica constructiva.

El estudio más detallado acerca de esta técnica en territorio boliviano corresponde al trabajo de documentación realizado por el arquitecto boliviano Jorge de la Zerda en 1993, en su libro “Los Chipayas, modeladores del espacio”, quien describe de manera gráfica y escrita el proceso mediante el cual se construye esta plancha de

barro que se dispone en el cielo de las viviendas circulares “Wallichí Koya”, refiriéndose al modo en que es construida la tacta, señala “[...] Luego se cubre éste, con una “lámina” de arcilla y paja, llamada en aymará “tacta” y en lengua chipaya “wara”, que es fabricada en el suelo anteriormente. Esta lámina es de forma circular y para facilitar el traslado hasta el techo, se corta en partes de forma trapezoidal. Encima de la wara se coloca paja brava, como protección contra el agua de lluvia. A su vez la paja se sujeta por encima con una “chipa” o red trenzada con el mismo material; paja brava, como precaución contra los fuertes vientos. (De la Zerda, 1993, pp. 75-78).

La solución técnica de cielos rasos colgantes en base a paja y barro, si bien se encuentran muy circunscritos al área específica sur andina, sí es posible identificar otros casos similares en otros contextos relacionados con cubiertas de paja y barro en climas fríos como es el caso de las viviendas tradicionales de cubierta de paja del noroeste de España donde se señala que “[...] Los métodos constructivos de la palloza como arquitectura tradicional basados en procesos de acierto/error, se consideran válidos en la actualidad, ofreciendo a los profesionales criterios para diseñar y construir viviendas utilizando materiales sostenibles, de ámbito local y de bajo coste ambiental”. (Molina, y Fernández 2013, pp. 213-214). El estudio de este caso junto con otros más cercanos al área andina para las viviendas rurales del Valle del Colca donde se refiere a la importancia de la aislación de la techumbre y se entregan datos acerca de los porcentajes de disminución de la demanda energética “[...] Se concluye que el aislamiento interior del techo tiene mayor incidencia en el comportamiento térmico, disminuyendo la demanda energética en un 23%; y ejecutando todos los escenarios se logra disminuir en un 29%.” (Iruri et. al, 2023, p.1).

Es posible señalar que la arquitectura aymara se podría considerar una respuesta adaptativa al medio ambiente extremo, muchos autores se han arriesgado a una caracterización de la vivienda andina como “[...]aquella que posee características comunes y patrones tipológicos repetitivos en toda la macrozona andina, y que han sido ampliamente descritos por numerosos arquitectos, antropólogos e historiadores de la arquitectura.” (Jorquera, 2021). Esta técnica, que se puede definir como barro alivianado con paja (ver figuras 2,3,4) se refiere a “[...] una plancha de barro con paja, de 1 a 2 cm de espesor, dimensionada en franjas de 50 cm de ancho que se colocan sobre un entramado de caña traslapados levemente, con una superficie interior lisa. Su confección se realiza in situ, con paja fina y barro apisonado bajo una tela para comprimirlo” (Dirección de Arquitectura Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2016). En el año 2018, a partir de la restauración del poblado de Tacora, se realizó una reintroducción de esta técnica incorporando materiales industrializados estandarizados combinados con la técnica vernácula que constituye el caso de estudio que se trata en este artículo.



Figura 2: Caruna amarrada con cuero de llamo. Costaneras y tijerales de madera de queñoa.

Fuente: Elaboración propia

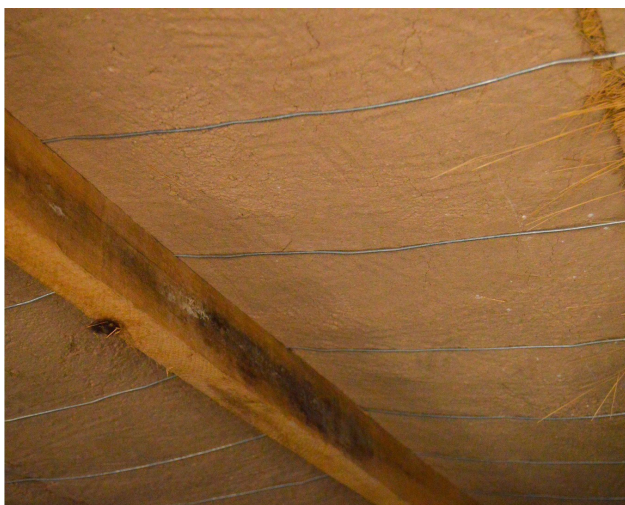


Figura 3: Caruna amarrada con alambre metálico. Costaneras y tijerales de madera de pino cepillado.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4: Caruna amarrada con cuero de vacuno. Costaneras y tijerales de madera de pino en bruto

Fuente: Elaboración propia

El saber asociado a esta práctica se encuentra actualmente en riesgo de desaparecer, producto de los procesos socioculturales de desarraigo y migración interna vividos por el pueblo aymara durante los últimos 50 años. Sin duda estos fenómenos están ejerciendo un fuerte impacto sobre el espacio territorial y sobre la conservación y pérdida del patrimonio cultural de los poblados del altiplano chileno, por este motivo y por las óptimas características de eficiencia obtenidas bajo condiciones de testeo, es posible sostener que esta técnica amerita ser conocida, replicada y salvaguardada como un saber propio del pueblo aymara (ver Figura 5), para lo cual se busca obtener su reconocimiento como evidencia cultural.

La novedad que plantea esta investigación radica en la oportunidad de realizar ensayos que nunca antes se habían aplicado a este material, tal como su caracterización térmica, resultados que serán valiosos para la revisión de estándares de construcción sustentable en Chile o en el resto de países del cono sur, que comparten características de climas fríos de altura sobre los 3.000 m.s.n.m.

2. Materiales y métodos

Para abordar este caso de patrimonio andino, se utilizaron métodos de investigación que combinaron aspectos arquitectónicos relativos a lo edificatorio y aspectos etnográficos que profundizaron en las expresiones del saber cultural detrás de dichas manifestaciones físicas. Con estos métodos se buscó comprender y analizar las características, contextos y significados de estas construcciones tradicionales para obtener conclusiones que permitieran validar o refutar la hipótesis de vigencia de este saber ancestral en comunidades andinas no urbanas. El estudio se dividió en tres etapas.

Primera etapa, recogida de información ex situ. Se realizó una revisión bibliográfica y censal, posteriormente se realizó un levantamiento de información en terreno, para confirmar la presencia de la técnica en un caso

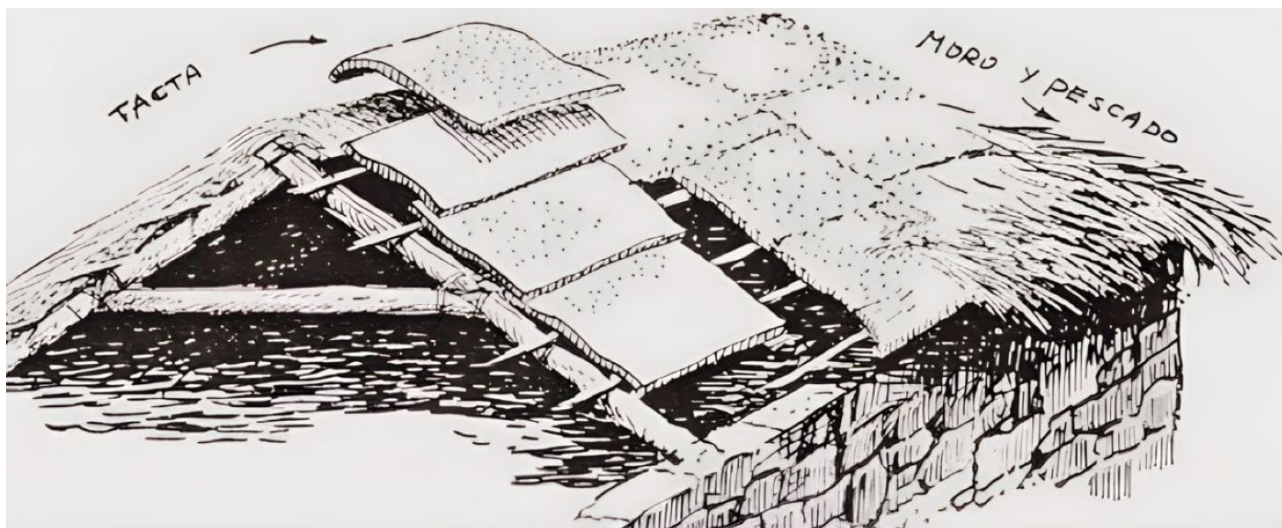


Figura 5: Croquis de los elementos constructivos del cielo de barro aligerado (Contreras Álvarez, 1974)

concreto y la verificación de diferentes materialidades de cubierta en viviendas de la zona de interés. Luego, se realizaron actividades de encuesta a informantes claves para establecer el grado de conocimiento sobre la técnica investigada.

En esta fase de la investigación se realizó un estudio longitudinal de 25 años de la sustitución de las materialidades de las techumbres en áreas rurales de la provincia de Parinacota, para lo que se revisaron los datos correspondientes a los Censos de Población y Vivienda en Chile del Instituto nacional de estadísticas (INE), de los años 1992, 2002, y 2017, los datos se acotaron a la provincia de Parinacota en la Región de Arica y Parinacota en Chile, se analizaron 2 categorías de información: a) Tipologías de identificación de viviendas que utiliza el INE, b) tipologías materiales que componen las distintas partes de la vivienda, estos datos se analizaron para cada uno de los períodos intercensales y se realizaron cruces de información a partir de la focalización en tipos específicos de materiales como la “paja”, el “coirón”, la “totora”, y la “caña”.

Segunda etapa, recogida de información in situ. se elaboraron probetas de material identificado como “Caruna”, compuestas de barro y paja alivianado, a las que se les realizaron ensayos de caracterización microscópica y de comportamiento térmico. Finalmente, se realizaron estudios de monitorización del comportamiento higrótérmico y de variables de clima para dos viviendas con materialidades de aislamiento diferentes ubicadas en la localidad de Tacora, Chile.

Para la obtención de muestras del material con el que se confeccionó las probetas de “Caruna”, se contactó a un cultor y albañil del poblado de Visviri, quien rescató este saber desde su experiencia personal y permitió incorporar esta técnica en la restauración del poblado de Tacora en 2018. De este informante clave se obtuvo un relato de primera fuente acerca de la perspectiva y valoración acerca de este saber constructivo y además confeccionó dos probetas de “caruna” que fueron posteriormente testadas en laboratorio bajo la NCh 850.

Las muestras de suelo obtenidas del proceso de elaboración de las probetas se sometieron a la determinación del límite de consistencia (NCh 1517/1, NCh 1517/2 Of. 1979). El (1) corresponde a la determinación del límite líquido, mientras que el ensayo (2) corresponde al límite plástico.

Además, se realizó un ensayo para obtener el equivalente de arena, de acuerdo con la norma chilena (NCh 1325:2010). Se ensayó el límite de consistencia para ambas muestras de suelo, la 25313-1 que correspondió a una mezcla de suelos finos con un % de arcilla por determinar y la muestra 25313-2, compuesta principalmente por arena adicionada al proceso de amasado durante el proceso de la elaboración de la “Caruna” in situ.

La tercera etapa, integración de los resultados obtenidos y la elaboración de conclusiones desde un punto de vista cultural y ambiental.

Para esclarecer la efectividad de la transmisión del conocimiento entre generaciones se abordó como primera tarea el tomar contacto con la población local juvenil escolarizada, para determinar su nivel de conocimiento respecto de la forma tradicional de elaboración del “cielo de barro y paja alivianado”, tal como proponen Gavilán y Viguera (2020), como resultado de fuertes políticas estatales por el reconocimiento de los pueblos originarios en las últimas dos décadas, “[...] los jóvenes tienden a afirmar identidades étnicas valorando el pasado, recuperan ritualidades y las resignifican en los espacios urbanos” de acuerdo con Yáñez y Capella (2021). Por consiguiente, la muestra seleccionada es de tipo intencional y corresponde a 32 estudiantes de 16-17 años de edad del Liceo Técnico Agrícola Granaderos de Putre.

La metodología del encuentro contempló una exposición teórica de las características del material, su relevancia y la descripción de la investigación. Así mismo, de la aplicación de una breve encuesta de 10 preguntas cualitativas dicotómicas en dos dimensiones. La primera, orientada a identificar el conocimiento previo acerca de la técnica constructiva que adopta distintos nombres según

el poblado donde se encuentre, y la segunda, dirigida a dilucidar la motivación e interés de perpetuar la tradición constructiva.

En esta última etapa se obtuvieron los datos del proceso de monitorización del comportamiento higrotérmico de los casos de estudio. De acuerdo con las consideraciones iniciales del estudio se realizó en el poblado de Tacora, Chile, dado que allí se contaba con una intervención contemporánea y reciente del uso de la caruna a propósito de la restauración del poblado que se hizo en 2018, y la segunda razón fue la posibilidad de contar con un material de contraste, considerado también un buen aislante térmico, en el encielado de las casas con el uso de la “Totora” (Aza-Medina et al. 2023; Hidalgo-Cordero y Aza-Medina, 2023); para ello se seleccionaron inicialmente cuatro viviendas, dos con cielo de “barro y paja” y dos con cielo de “totora”, para luego monitorizar dos de ellas. El propósito de este estudio se orientó a obtener parámetros y datos de confort ambiental a través de variables de temperatura y humedad del clima interior - exterior de las viviendas, para posteriormente contrastarlo con simulaciones de confort ambiental de las viviendas a partir de la obtención de datos normalizados Transmitancia térmica del material de “barro y paja”.

El levantamiento de datos climáticos, se obtuvo mediante una campaña de medición en terreno para conocer el comportamiento ambiental interior y exterior de las viviendas. En cuanto a la medición interior, se instalaron equipos de medición de temperatura y humedad (Datalogger) los cuales se posicionaron a nivel de cubierta en cada uno de los cuatro prototipos de viviendas mencionados anteriormente. Los equipos instalados corresponden a pequeños termógrafos de registro que permiten almacenar gran cantidad de datos durante extensos periodos, para efectos de esta investigación los equipos se configuraron para obtener información cada 15 minutos durante un periodo de 5 meses (julio- noviembre).

3. Resultados

3.1. Aspectos culturales vinculados a la utilización de recursos materiales

Respecto de la materialidad de la cubierta en la categoría de vivienda indígena, que se asimila a los conceptos de ruka, pae pae u otra, la presencia de materiales vegetales en la cubierta evidenció un descenso en el año 1990. Del total de casos censados en ese año, que correspondió a 180 viviendas, alcanzó a 134, lo que representan un 74% con respecto al año 2002. Las viviendas con este tipo de materialidad sólo alcanzaron a 37 viviendas representando un 20.5% del total, mientras que en el año 2017 tan solo se contabilizaron 9 viviendas representando un 5% del total. Esto indica que hubo una reducción del 93.24% en la proporción de viviendas que presentaban techumbres con materiales de cubierta vegetal.

El análisis de datos censales mostró además la presencia de materialidad de sustitución, tales como las planchas metálicas o materiales como el zinc, cobre, o fibrocemento. Este tipo de techumbre se relaciona mayoritariamente con la tipología arquitectónica denominada “casa” por el (INE) y en menor grado con la “vivienda tradicional indígena”; sin embargo, en un lapso de 25 años el total de viviendas con techo de planchas de zinc y fibrocemento alcanzó una cantidad de 929 viviendas, mostrando un progresivo aumento de la presencia de estos materiales en las zonas altiplánicas.

A partir de los casos observados en la campaña de terreno donde se visitaron las localidades de: Tacora, Misitune, Ancuta y Guallatire en recorrido de 150 kilómetros, se pudo constatar que la presencia de planchas de zinc alcanzaron un 81.82%, comparativamente con respecto a los casos de paja embarrada, no obstante, cuando se compara la presencia del tipo de cielo raso que presentan estos casos, el 72.73% presentan cielos de “plancha de barro con paja” y sólo un 18.18% presenta cielo de “totora”, finalmente el 9% no se pudo identificar.

Respecto de la materialidad de los muros exteriores, el 36.36% correspondió a viviendas de tapial, el 27.27% a piedra y barro y el 36.36% restante a viviendas correspondió a adobe. En comparación con los datos que aporta el Instituto Nacional de Estadísticas de Chile (INE), respecto de la composición material de la techumbre, este muestreo indica que aun cuando el material de cubierta mayoritario es la plancha de zinc, el cielo de las viviendas tradicionales presenta un alto porcentaje de materialidad de paja y barro en los cielos.

Respecto de la transmisión de conocimiento, analizando los datos obtenidos a través de las encuestas realizadas, en la primera dimensión podemos confirmar que los alumnos desconocen en su mayoría dicha técnica constructiva, siendo el término “t’ili”, el más conocido, llegando a un 24% de los encuestados. No obstante, un 67% declara asociar alguno de estos términos con las techumbres. Respecto a la segunda dimensión, de la información recopilada se desprende que, hay un desconocimiento tanto de esta técnica específica y de otras técnicas de construcción típica, ya que en ambos puntos más de la mitad de la población encuestada refiere no tener conocimientos al respecto (67% y 55% respectivamente).

Esta situación contrasta con el 97% que encuentra valor en estos saberes y el 85% que directamente manifiesta interés en aprender acerca de esta y otras técnicas de construcción tradicional andina. Destaca el término “t’ili” y también reconocen que los términos por los cuales se identifica el sistema forman parte de la techumbre tradicional.

3.2 Caracterización física de los materiales presentes en la confección de las planchas de barro y paja aligerada

El método utilizado para la caracterización física y de composición de las probetas se realizó a través de observación y análisis con microscopía electrónica de

barrido de emisiones de campo (FESEM) se realizó en la Unidad de equipamiento Mayor (MAINI UCN).

“[...] El Microscopio electrónico de barrido, mejor conocido por sus siglas en inglés como SEM (scanning electron microscope), utiliza un haz de electrones enfocados con energía relativamente baja como una sonda de electrones que se escanea de manera regular sobre la muestra. (Metalinspec 2023) La acción del haz de electrones estimula la emisión de electrones dispersados de alta energía y electrones secundarios de baja energía de la superficie de la muestra.

El microscopio electrónico de barrido utiliza electrones emitidos y funciona según el principio de la aplicación de energía cinética para producir señales sobre la interacción de los electrones. Estos electrones son electrones secundarios, retrodispersados y retrodispersados difractados que se emplean para ver elementos cristalizados y fotones. Gracias a lo estrecho del haz de electrones, las micrografías con SEM cuentan con una gran profundidad de campo que brinda una apariencia 3D, la cual permite comprender perfectamente la estructura de la superficie de la muestra. En resumen, las señales utilizadas por un Microscopio electrónico de barrido para producir una imagen son el resultado de interacciones del haz de electrones con átomos a distintas profundidades dentro de la muestra.

Preparación de muestras: La preparación de las muestras es relativamente fácil ya que la mayoría de los equipos

SEM sólo requieren que estas sean conductoras. Es decir, la muestra generalmente debe estar recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para brindarle las propiedades conductoras que necesita la muestra; para después realizar el barrido correspondiente con los electrones acelerados. (Metalinspec 2023)

El método de observación, consistió en la extracción de una pequeña porción de 10 x 10 mm de cada una de las probetas de material, las muestras, se depositaron en un soporte que permitió exponer el al interior del microscopio electrónico, el que es sometido a un procesos de bombardeo de electrones, lo que permitió observar a través del monitor, como se muestra en la (Figura 6) lo que permite observar la composición molecular de los compuestos así como también la estructura superficial de los distintos materiales que componen la muestra, el procedimiento permitió observar porciones de de la muestra de la cara inferior y superior de la probeta, como se señala en las figuras 7 y 8, donde se observa que la probeta del material presenta una disposición diferente de la cantidad de paja en la cara superior o inferior de ella.

Cabe destacar que la técnica utilizada para estos análisis identifica y cuantifica de buena manera elementos más pesados que el sodio (Na), por lo que la ausencia de elementos más livianos, no indica que no estén presentes, sino más bien que no fueron identificados por la técnica.

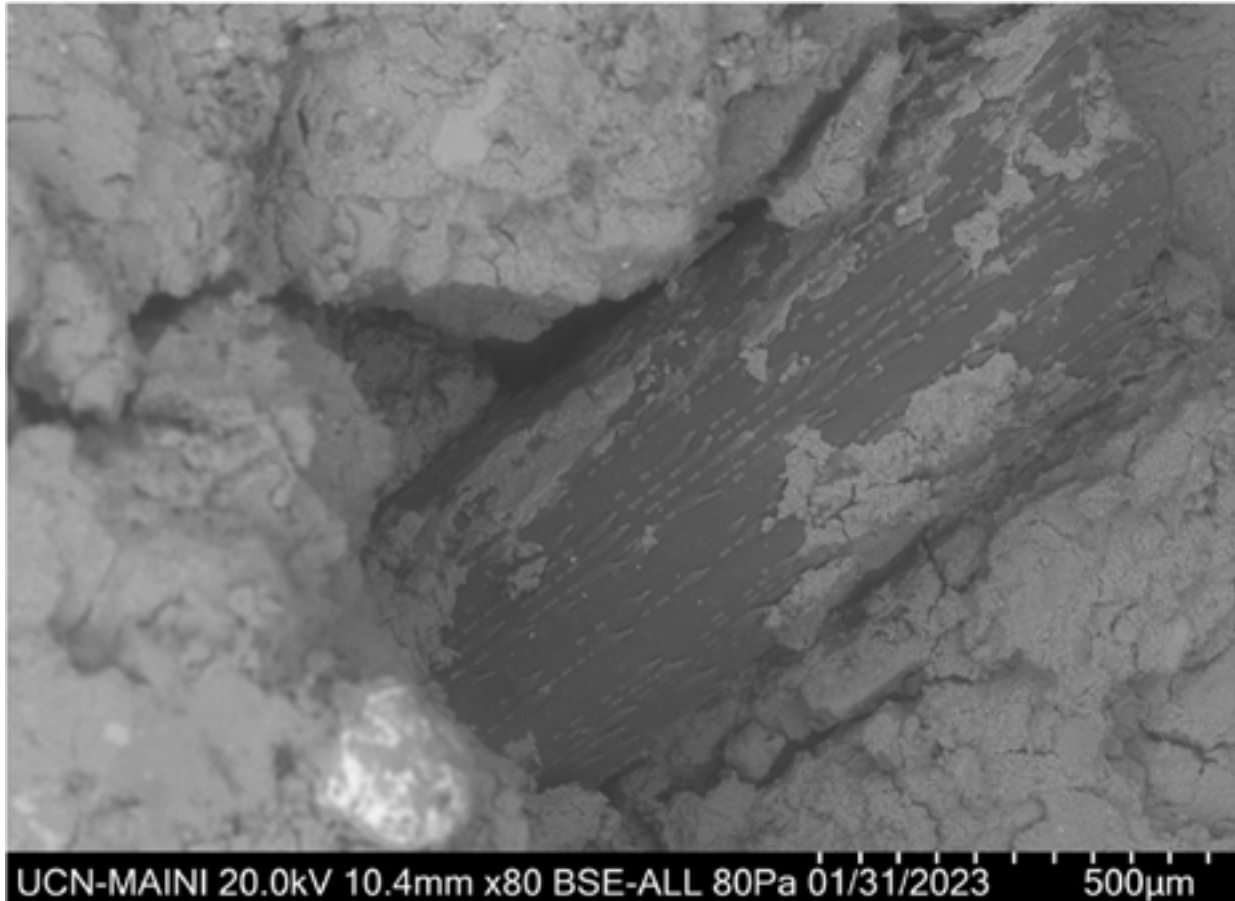


Figura 6: Imagen del monitor con la visualización de la matriz de barro junto a la fibra de paja “Ichu”, la lectura señala claramente que la fibra está 100% constituida por carbono. (MAINI, 2023)

Los suelos analizados presentaron fragmentos de roca de tamaños variables de 60 a más de 500 micrones, mayoritariamente minerales silicatados, posiblemente cuarzo, feldespatos y algunos minerales arcillosos. En menor medida se reconocen algunos minerales compuestos por Fe, Ti y O. De acuerdo con la morfología de los fragmentos de roca, se podría pensar que éstos habrían sido transportados desde su fuente de origen, posiblemente volcánica, según se indicó en el informe del laboratorio.

Los resultados correspondientes al índice de plasticidad en las arcillas y el límite de porcentaje de arena, se obtuvieron a partir de material empleado para la confección de las probetas de “caruna”, estas muestras se caracterizaron como un material natural fabricado en base a suelo-paja, de dimensiones 30 cm x 30 cm x 0.5 cm y densidad seca aparente de 1252 kg m⁻³, esta muestra presentó sólo un 1% de equivalente de arena, lo que indicó que era eminentemente arcillosa, compuesta esencialmente por un 99% de arcilla, es importante señalar que la fracción de arena que se utilizó en la mezcla de suelo adicionada al material base correspondió a 0.473 litros, lo que significó sólo un 5% del volumen seco.

Acerca de la densidad aparente del material ensayado y su caracterización como un material liviano, el valor de referencia obtenido fue 52 kg m⁻³ más denso que el límite de densidad establecido para una matriz de barro y paja considerada como liviana, cuya densidad se sitúa en 1200 kg m⁻³, como lo señalan Wieser et al. (2020). Por su parte, la interpretación de los resultados para el ensayo del límite líquido de acuerdo con Casagrande (1932) indica que los suelos con un límite líquido superior a 50% (LL>50%) son de alta plasticidad, mientras que los suelos que tienen un límite líquido inferior a 50% se definen de baja plasticidad. Los resultados obtenidos sitúan al material con el que se confeccionó la “caruna” cercano al límite de alta plasticidad.

La plasticidad de las muestras ensayadas, hacen referencia a su capacidad para deformarse sin romperse cuando se someten a cambios de presión o de humedad. Un suelo de alta plasticidad puede soportar una deformación considerable sin agrietarse, lo que puede ser beneficioso en condiciones de cambios ambientales o de carga. El índice de plasticidad obtenido de los ensayos alcanzó un 21%, lo que implicó que el material ensayado poseía una alta plasticidad y mediana compresibilidad, factor que pudo influir en las grietas, como se muestra en las figuras 7 y 8 observadas.

3.3. Resultados del análisis visual de las fibras

Permitió reconocer la orientación y distribución de la paja, observando las superficies del anverso y reverso de la probeta. En este reconocimiento se llegó a establecer mediante el método de conteo que: en la cara inferior se identificaron 79 fibras que comparativamente con la cara superior representan un 59% del total de fibras de ambas superficies, en este recuento se identificaron 47 fibras, que representan un 40.5% que van desde los bordes hasta el

interior de la probeta y que son mucho más largas que las fibras interiores, mientras que las fibras cortas que no tocan los bordes de la probeta contabilizaron 32, respecto de la cara superior las fibras de esta cara son mucho más finas y largas.



Figura 7: Comparativa de agrietamiento en la cara inferior
Fuente: Elaboración propia

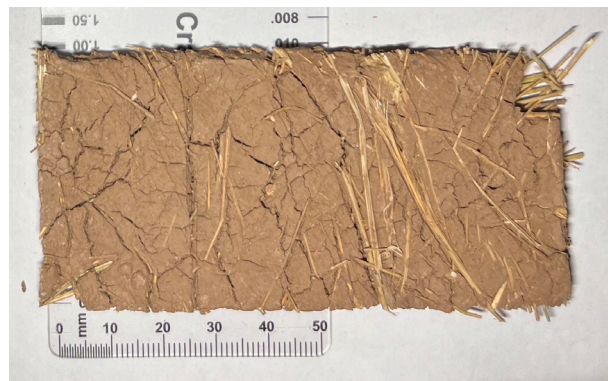


Figura 8: Comparativa de agrietamiento en la cara superior.
Fuente: Elaboración propia

En la cara superior se identificaron un total de 54 fibras (Figura 8), que comparativamente con la cara inferior (Figura 9) representan un 41% del total de ambas superficies, 23 fibras, que representan un 42.59% van desde los bordes al interior, mientras que las fibras cortas que no tocan los bordes de la probeta contabilizaron 31 fibras, que representan un 57.40%, respecto de la cara inferior, las fibras de esta cara son más anchas y en menor cantidad que la cara inferior.

Existen diferencias notables entre la cara inferior y la cara superior de la probeta en términos de la cantidad y características de las fibras de paja. La cara inferior tiene más fibras en comparación con la cara superior, y estas representan un porcentaje significativamente mayor del total de fibras. Respecto a las longitudes de fibras se identificó que las fibras más largas se encuentran en la parte exterior de la sonda, y estas fibras llegan desde los bordes hasta el interior. Las fibras más cortas se encuentran en el centro y no tocan los bordes de la probeta. Esto podría indicar una cierta disposición estratificada de las fibras en función de su longitud y su alineación.

Estos conteos tendrían implicancias a la hora de considerar los factores de resistencia a la flexión de la plancha una vez que se deposita sobre la estructura de techumbre y la

plancha inicia el proceso de secado y con ello analizar el factor de agrietamiento frente a los efectos de la retracción de las arcillas al eliminar el agua del amasado y comenzar el proceso de secado y consolidación del material.

Al depositar las fibras por capas sucesivas y de forma multidireccional, sumado a la compresión que se ejerce con el pie para que penetre la matriz de barro entre las capas de fibra, hace que éstas se concentren en la zona inferior de la plancha dejando y de esta manera se logre un mejor comportamiento a los esfuerzos de tracción y flexión en la manta de caruna.

La concentración de fibras en la zona inferior de la plancha puede tener varias implicaciones para el comportamiento estructural de la misma, mejora en la resistencia a la tracción y a la flexión: las fibras, cuando están alineadas y distribuidas de manera uniforme, pueden proporcionar una resistencia considerable a la tracción y a la flexión. Esta propiedad se acentúa cuando las fibras se concentran en la parte inferior de la plancha, donde los esfuerzos de tracción suelen ser más altos en una estructura en voladizo, en este caso el momento flector genera tensiones de tracción en las fibras superiores, como puede ser el cielo raso de una vivienda.

La mayor concentración de fibras en la parte inferior de la plancha ayudaría a prevenir o limitar la formación de grietas, entregando una protección adicional contra las mismas. Las fibras actúan como un refuerzo, distribuyendo las tensiones y ayudando a mantener la integridad de la plancha incluso cuando se producen movimientos o cargas.

3.4. Resultados de los ensayos resistividad y monitorización

Para el caso del material denominado “caruna”, la probeta ensayada en laboratorio de acuerdo a la NCh 851 alcanzó

un valor de conductividad térmica lineal, de $0.1477 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Se utiliza el método del anillo de guarda de acuerdo al procedimiento que se describe en la NCh 850 Of.2008.

El aparato utilizado consistió en una placa metálica central (placa caliente) provista de calefacción eléctrica. Esta placa se encuentra rodeada en forma de marco (anillo de guarda) que puede ser calentada independientemente. A ambos lados de las placas se disponen las probetas (2) de igual dimensión y de caras planas paralelas. Ajustadas a las probetas se ubican respectivas placas metálicas refrigeradas con agua (placas frías). Todo el conjunto así constituido forma un sandwich en íntimo contacto. (Figura 9).

Comparando este resultado con otros obtenidos de la literatura especializada (Ashour et al., 2015; Zeghari et al., 2021) indican que los valores de transmitancia, que en la medida que la magnitud es mayor, el material tiene menor capacidad aislante. Un cerramiento con un buen material aislante (5-8 cm) alcanza valores de transmitancia del orden de $0.6-0.4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Los cerramientos de techumbre comúnmente utilizados en las viviendas de los pueblos andinos contemporáneos, son cubiertas livianas de zinc, o cubiertas de torta de barro, o cubiertas de madera. En algunos casos se observa el uso de losas de hormigón en viviendas de construcción reciente.

La cubierta liviana que usa el sistema denominado “caruna”, logra un desempeño térmico mejor a las losas sin aislar, y comparable con las cubiertas de barro o de madera. Respecto a las cubiertas de chapa metálica, la ventaja es todavía mayor, mejorando también el valor del retraso de la ola térmica, indicador de la inercia térmica de la cubierta.

Este resultado se encuentra alineado con los resultados obtenidos por otros estudios (Palme et al., 2014; Palme

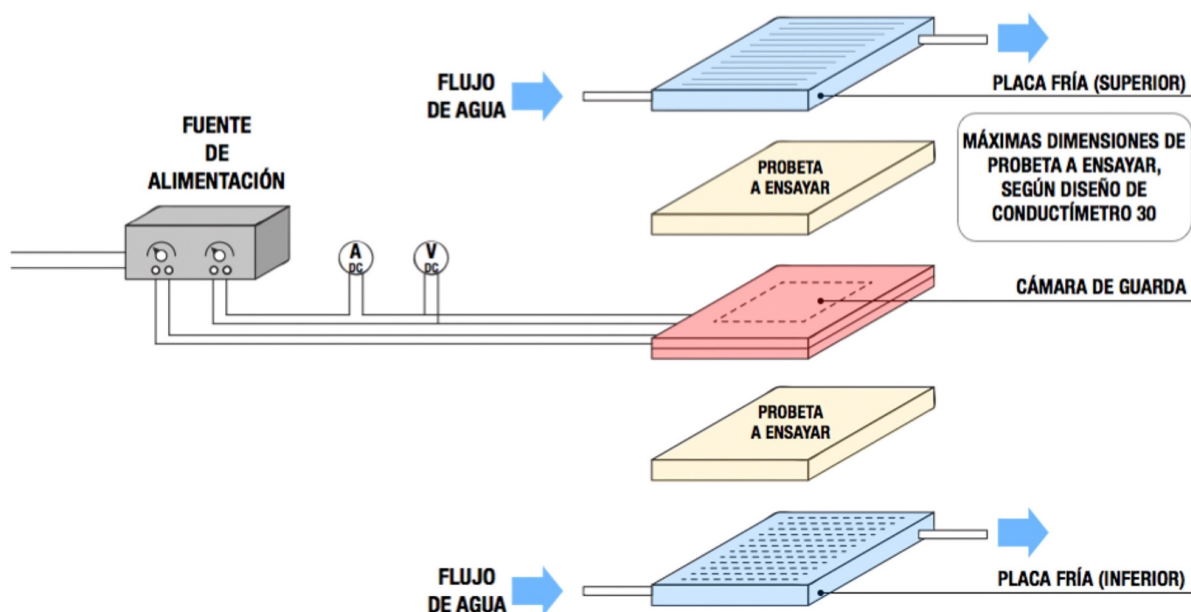


Figura 9: Método de ensayo conductividad térmica Ensayo NCh 851 (CITEC UBB 2022)

et al., 2012). Aumentando el espesor de la caruna, el desempeño térmico puede mejorar proporcionalmente, pudiendo alcanzar y superar los valores de resistencia térmica típicamente ofrecidos por techos de madera o con otros aislantes naturales como, por ejemplo, el corcho.

3.5. Caracterización térmica

Respecto de las propiedades térmicas hay varios estudios que han venido estableciendo una base de referencia para conocer las propiedades de los sistemas constructivos mixtos que utilizan suelo y paja alivianada como aislante, recubrimientos o masa de relleno en tabiquerías de muros o techumbre, al respecto es necesario destacar las investigaciones previas de Weiser et al. (2020), Volhard (2016) y Vincelas et al. (2019).

Se obtuvieron resultados de la monitorización para un día típico del mes de julio, con oscilaciones de temperatura interior entre 1°C y 22°C, tanto para el caso de la cubierta de caruna como para el caso de la cubierta de totora. Este resultado, si bien muestra cierto grado de enfriamiento nocturno por debajo de niveles considerados como aceptables para estar en confort, evidencia que el aislamiento térmico ofrecido por la caruna es similar al ofrecido por otros materiales tradicionalmente utilizados en cubiertas de viviendas de las zonas altoandinas.

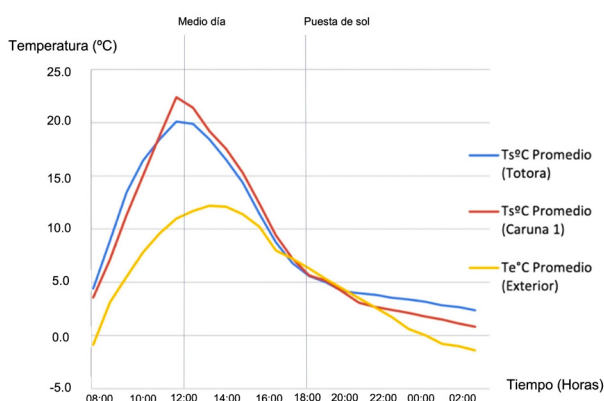


Figura 10: Monitorización de desempeño, de un día típico del mes de Julio.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos obtenidos en las mediciones del monitoreo realizado desde los meses de julio a noviembre en Tacora, se aislaron los datos correspondientes a la situación más desfavorable de invierno, que correspondió al mes de julio de 2022, el gráfico (ver Figura 10) muestra los valores de temperatura promedios que alcanzaron los distintos materiales testados en terreno, contrastados con las temperaturas máximas y mínimas exteriores para dicho mes, se puede observar que la temperatura exterior más alta promedio alcanzó los 12°C, mientras que la temperatura mínima exterior promedio alcanzó los -2°C. La temperatura más alta interior alcanzada por la caruna se ubicó sobre los 23°C, mientras que la temperatura promedio más alta alcanzada por el cielo de totora alcanzó los 20°C, a su vez la temperatura mínima mayor la alcanzó

la totora con alrededor de 3°C, mientras que la temperatura mínima interior que alcanzó la caruna osciló entre los 1°C y 2°C.

4. Discusión

La tierra alivianada habitualmente se ha relacionado con sistemas mixtos de estructuras en madera portante, que “[...] utilizan la mezcla de barro y fibras para rellenar los cerramientos [...]. En algunos países de Europa (Alemania, Francia) son utilizados desde hace tiempo de forma moderna y conforme a las normativas nacionales, logrando un buen desempeño térmico y acústico [...], pero que a su vez debería ser evaluada desde el punto de vista del funcionamiento sísmico” (Meli et al., 2019, p.605).

En el sistema constructivo Leicht Lehmabau (tierra alivianada), elaborado a base de una alta proporción de fibras pegadas entre sí con arcilla, su densidad, esencialmente se sitúa entre los 500 y 800 kg m⁻², esta densidad se logra a partir de la incorporación de una mayor cantidad de estabilizante vegetal; en algunos casos paja de trigo (Pereira, 2003). Los resultados obtenidos a través de las probetas ensayadas arrojaron una densidad aparente de 6.5% por sobre el valor de referencia como lo señalan Wieser et al. (2020), en este sentido, a pesar de esta leve variación, el cielo de plancha de barro y paja podría considerarse un sistema alivianado al encontrarse cerca del rango precedente.

Con respecto a las propiedades térmicas, hay varios estudios que han venido estableciendo una base de referencia para conocer las propiedades de los sistemas constructivos mixtos que utilizan “suelo y paja alivianada” como aislante, recubrimientos o masa de relleno en tabiquerías de muros o techumbre, al respecto es necesario destacar las investigaciones previas de Weiser et al. (2020), Volhard (2016) y Vincelas et al. (2019). El desempeño térmico depende en gran medida de la densidad de la matriz de barro y paja, no obstante, existe una posibilidad de discutir que frente a densidades superiores a 1200 kg m⁻³ puedan obtenerse rendimientos térmicos cercanos a los valores de 0.150 W m⁻¹ K⁻¹ (Meli et al. 2019).

Investigaciones realizadas sobre el efecto de las fibras artificiales y naturales en el comportamiento del suelo han reportado que éstas son materiales estabilizadores de suelos eficientes y de bajo costo. También se ha comprobado que la resistencia a la tracción y el alargamiento de las fibras son mayores cuando están mojadas (Charca et al., 2015). En cuanto a las propiedades de resistencia mecánica, también existen antecedentes que indican la mejora del comportamiento de esta combinación de estos materiales a propósito de la selección de las secciones y disposición de las fibras dentro de la matriz de barro, al respecto Noaman et al. (2020) entregan datos que permiten parametrizar y ajustar la combinación de variables para obtener mejores prestaciones mecánicas del material.

Sobre la distribución y densidad de las fibras presentes en la probeta analizada, se puede concluir que, con respecto a

los esfuerzos de tracción a los que se somete un encielado en forma de manta flexible, es posible argumentar que de acuerdo con los datos obtenidos, en general, se observó una variación notable entre las caras inferior y superior de la probeta en términos de densidad de fibras y sus características, aspectos que comprueban que la forma de distribución no orientada de la fibra y la acción de compresión al pisar las fibras contra el suelo, provocaría una distribución que ayuda a mejorar las propiedades mecánicas del material frente a los esfuerzos de tracción.

En una visión más ecológica, la confección de la plancha de barro y paja para encielar se le relaciona con el ciclo de los pastos andinos, construir las techumbres de las casas, antes de la floración, como lo señalan las investigadoras Villagrán y Castro (2004) que identificaron las especies de pastos andinos con las que se confecciona la plancha de barro y paja alivianada: “[...]”Se registraron categorías genéricas de acuerdo a las formas de crecimiento (como pastos del champeal, pajas o wichu, t’olas, montes, pastos de lluvia y otros), así como nomenclaturas por especie que refieren a nombres vernáculos que, en la mayoría de los casos, ya habían sido registrados en otras comunidades andinas.” (García et al., 2018)

5. Conclusiones

Conforme a los lineamientos establecidos por UNESCO y el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio de Chile (MINCAP 2019), el reconocimiento del patrimonio inmaterial se basa en una serie de criterios que una expresión cultural debe cumplir para formar parte del catálogo nacional de expresiones culturales a través de un proceso de salvaguardia.

En relación al patrimonio inmaterial, estos criterios se refieren a la vigencia, naturaleza e identidad colectiva, pertinencia y responsabilidad. En este contexto, el presente artículo busca demostrar cómo, a la luz de la evidencia investigativa hasta la fecha, los cielos de paja y barro aligerados constituyen un caso válido para ser reconocido como un patrimonio inmaterial perteneciente al mundo aymara.

“**Vigencia**” corresponde a las tradiciones ancestrales como los usos contemporáneos de diversos grupos culturales, de acuerdo con este principio, el sistema de encielado de barro y paja alivianado, conocido como “Caruna”, “Tacta”, “T’ajta”, tacta, y en lengua chipaya “wara”, “Pira”, o “T’ili”, ha demostrado ser una técnica utilizada en el pasado reciente en la zona altiplánica andina, cuentan con evidencia documental de investigaciones realizadas en la localidad de Enquelga desde la década del 70’. Actualmente su uso sigue vigente como se ha documentado a propósito de la restauración de las techumbres del Poblado de Tacora en 2018, ubicado en la región de Arica y Parinacota en Chile, se cuenta con registros audiovisuales de 2018 donde se evidencia su aplicación comunitaria y familiar en la localidad de Chua, estancia ganadera, y en Ancuta, ambas localidades cercanas al poblado de Guallatire donde también se tienen evidencias de la existencia de este

sistema constructivo en viviendas antiguas.

Existe una amplia distribución territorial donde esta expresión del patrimonio cultural se asocia no sólo con comunidades Aymaras de Arica y Parinacota, sino que también se le reconoce en localidades transfronterizas bolivianas como Cosapa cercana a Putre y Santiago de Machaca cercana a la frontera con Visviri, estas referencias fueron obtenidas a través de entrevistas a jóvenes estudiantes del Liceo Técnico Agrícola Granaderos de Putre, también se tiene evidencias de su uso en localidades transregionales dentro de Chile.

“**Naturaleza e identidad colectiva**”, este principio señala que el “Patrimonio inmaterial” debe estar vinculado a grupos sociales específicos y se transmite de manera participativa e inclusiva. Su reconocimiento y validez depende del consentimiento de las comunidades, grupos e individuos involucrados, sin permitir la apropiación exclusiva ni la toma de decisiones sin su consentimiento. La plancha de barro con paja aligerada forma parte de las prácticas constructivas transmitidas de generación en generación en las viviendas tradicionales aymaras, esta práctica constructiva está asociadas a ritos de formación de las familias, y a la elaboración de la techumbre como hecho constructivo y simbólico. En la zona cercana a la frontera con Perú y Bolivia, esta técnica es conocida como “caruna” o “karuna”, que significa “manta” en quechua (David et al., 1998, p. 126), y (Aninat et al., 2019, p. 133). Hacia el sur del Altiplano, se la denomina como “takta” o “torta” (Villagrán y Castro, 2004), (DA.MOP., 2016, p. 156) y (García et al., 2018, p. 529). En la región de Tarapacá, se le llama “pira” o “tili” (Šolc, 2011 [1975]; Contreras, 1974).

La ejecución constructiva se lleva a cabo de manera colectiva, y está asociada a una dimensión simbólica y social de ayuda mutua llamada Ayni, que representa la colaboración comunitaria para ayudar a construir las viviendas cuando un miembro de la comunidad lo necesita, en esta labor participan tanto hombres como mujeres, cada uno con roles específicos.

“**Pertinencia**”, debe reflejar los procesos culturales e históricos de una comunidad, revelar un sentido de pertenencia e identidad en sus miembros. Su valor no radica en su exclusividad o rareza, sino en su capacidad para promover la cohesión social, el diálogo intergeneracional y ser una expresión de la creatividad humana. La práctica del techado de las viviendas no es meramente funcional, sino que se revela como un rito profundamente arraigado en las comunidades del altiplano centrosurandino, abarcando regiones de Perú, Bolivia, Argentina y Chile. Este ritual ha sido minuciosamente documentado a través de investigaciones en arquitectura regional. Entre las figuras clave que han ahondado en esta temática, destaca el investigador y arquitecto argentino Ramón Gutiérrez. En su obra “Aspectos de la arquitectura popular en el altiplano peruano” (1978), Gutiérrez desglosa los ritos vinculados a la construcción de viviendas en la década de los 70 en el Altiplano peruano.

En este tejido de símbolos y acciones, emerge un enlace profundo entre el ceremonial del techado y la cosmogonía cultural. A lo largo del tiempo, estas tradiciones han perseverado como un testimonio vivo de la conexión entre la arquitectura, la espiritualidad y la identidad de las comunidades en el altiplano. La continuidad de estos rituales subraya la capacidad de las prácticas culturales para trascender las épocas, transmitiendo significados arraigados y manteniendo viva la interrelación entre el individuo, la comunidad y su entorno.

“Responsabilidad”, la expresión del patrimonio inmaterial, debe cumplir con la responsabilidad de no violar los “Derechos Humanos”, los derechos fundamentales o colectivos, especialmente los de mujeres, niños, pueblos indígenas y afrodescendientes. Además, no debe comprometer la salud de las personas, la integridad del medio ambiente o de los animales, entre otros. Respecto de la integridad del medio ambiente o de los animales: “[...] la percepción andina define al paisaje altiplánico de acuerdo con sus atribuciones forrajeras y ecológicas, dado que el manejo pecuario se articula en torno a diferentes formaciones vegetacionales; no obstante, se mantiene siempre la concepción concéntrica y altitudinal (Villagrán y Castro 1997, Gundermann y González, 1986, p. 20)

La elaboración de la plancha de barro y paja alivianada contribuye a los derechos colectivos de solidaridad, y ayuda mutua. Respecto de las mujeres y niñez, “Tradicionalmente, se considera que todo trabajo que implique el uso de la fuerza o de mayores habilidades físicas queda relegado a los hombres adultos, mientras que las mujeres y los niños se dedican a trabajos auxiliares y preparación y obtención de materiales.” (Carrasco Gutiérrez y Gavilán Vega, 2014, p. 45)

Mujeres y niños recolectan y clasifican las fibras, junto con los hombres participan lúdicamente de la compactación. Los hombres recolectan arcillas, arenas, tamizan, abastecen de agua y preparan las mezclas, dimensionan, enrollan, trasladan y disponen el material en la techumbre.

Desde el reconocimiento de pueblos indígenas, constituye valor ritual a través de la formación de la familia aymara, favorece la salud de las personas, por los materiales naturales que la componen, constituye una mejor alternativa a los cielos de yeso-cartón u otras materialidades industrializadas, acústicamente amortigua la lluvia y el granizo, la plancha de barro y paja aligerada, puede servir para enfrentar efectos del cambio climático en las personas y el ganado camérido.

A partir de la investigación desarrollada en este artículo se plantean nuevas líneas de investigación para continuar con la puesta en valor de esta técnica tradicional. Por un lado, sería posible continuar con el análisis del ciclo de vida de la técnica y su aporte a la sostenibilidad de la arquitectura vernácula, y por otro se propone continuar con el catastro de cubiertas tradicionales más allá del territorio de estudio en el poblado de Tacora, y su relación con el territorio cultural compartido con Perú y Bolivia.

Se estima que los procesos de fabricación del cielo alivianado puedan ser gradualmente transformados en procesos más consolidados, incorporando el saber ancestral a las técnicas artesanales más contemporáneas, sin por ello llegar a ser un producto de elevada industrialización, cosa que volvería a aumentar de forma considerable el impacto ambiental. La gestión apropiada del conocimiento y su traspaso entre generaciones, así como la presencia eventual de un pequeño emprendimiento local, respetuoso del frágil ecosistema del desierto andino, podrán contribuir en consolidar la fabricación, distribución y uso de este importante material como aislante térmico natural en viviendas y construcciones ubicadas en las localidades estudiadas y más en general, en toda la macro región del altiplano.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al Servicio Nacional del Patrimonio Cultural, MINCAP, Proyecto 49204, Rex N° 053 de 04-05-2022 financiado por el Fondo del Patrimonio Cultural, submodalidad investigación, registro y levantamiento del patrimonio cultural, concurso regional, convocatoria 2021.

Además agradecen la valiosa contribución de Fundación Altiplano y de su equipo de profesionales, personal técnico y administrativo, al equipo directivo y estudiantes del Liceo Técnico Granaderos de Putre y de manera muy especial el aporte invaluable de las personas de comunidades andinas que participaron en el proyecto: Sra. Teodora Flores, Sr. Pablo Chura, Sra. Isabel Nina, Sra. Elba Chura, Sr. Juan Nina, Sr. Adanto Nina, de la comunidad de Tacora; Sr. Abraham Téllez y familia, de la comunidad de Ancuta; Sr. Raimundo Jiménez. Q.E.P.D, Sr. Marco Jiménez, Sr. Gustavo Alvarado, de la comunidad de Guallatire y el Sr. Alberto Quispe, de la localidad de Chua.

Finalmente, agradecen la colaboración desinteresada del Laboratorio de Ensayo de Materiales LIEMUN de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Construcción de la UCN, Unidad de Equipamiento Científico MAINI, también al laboratorio de Arquitecturas Andinas y construcción con tierra LAAyCT de la Universidad Nacional de Jujuy. Por todos los apoyos recibidos para la concreción del proceso de salvaguardia de este saber ancestral y genuino de la cultura aymara. Y a las siguientes entidades colaboradoras: Fundación para el desarrollo camérido altoandino MARKAS LAYKU, Escuela de Arquitectura de la UCN, Escuela de Arquitectura de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Valparaíso, y en especial a sus estudiantes de Magíster, Maite Olivares y Claudia Bustamante.

7. Referencias bibliográficas

- Aninat A., Bradanovic T., Heisen C., Pereira M., Tapia C., Thompson I., Yuste B. (2019). *El último Mallku. Paisaje cultural de Tacora*. Fundación Altiplano. https://issuu.com/fundacionaltiplano/docs/el_u_ltimo_mallku.paisaje_cultural_de_tacora.
- Ashour, T., Korjenic, A., Korienij, S., Wu, W. (2015). Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum. *Energy Buildings*, 104, 139-146.
- Aza-Medina, L. C., Palumbo, M., Lacasta, A. M. y 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, 105984.
- Banham, R. (1984). *The Architecture of well-tempered environment*. The University of Chicago Press.
- Carrasco Gutiérrez, A. M., y Gavilán Vega, V. T. (2014). Género y Etnicidad. Ser hombre y ser mujer entre los Aymara del altiplano chileno. *Diálogo Andino - Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina*, 45, 169-180.
- Casagrande, A. (1932). Investigación sobre los límites de los suelos de Atterberg. *Vías Públicas*, 13(3), 121-130.
- Centro de investigación en tecnologías de la construcción Universidad del Biobío, CITEC UBB (2022). *Informe de determinación conductividad térmica N° 4807*, 1-3.
- Charca, S., Noel, J., Andía, D., Flores, J., Guzman, A., Renteros, C. y 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>.
- Contreras Álvarez, C. (1974). Arquitectura y elementos constructivos entre los pastores de la Pampa de Lirima (Prov. de Tarapacá). *Revista de Geografía Norte Grande*, (1), 25-33. <http://revistanortegrande.uc.cl/index.php/RGNG/article/view/38947>
- Cordero Gulá, R. y García Navarro, J. (2015). Evaluación de la sostenibilidad de la arquitectura, aspectos sociales, culturales, estética e hitos. *Anales de Edificación*, 1(3), 23-30.
- David J., Weber F., Cayco Z., Teodoro C., Villar M. y Ballena D. (1998). *Diccionario Rimaycuna, Quechua de Huánuco, Diccionario del quechua del Huallaga con índices castellano e inglés*. Instituto Lingüístico de Verano Lima. <https://11nq.com/KsgE2>
- De la Zerda J. (1993). *Los Chipayas: modeladores del espacio*. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Artes, UMSA.
- García M., Castro, V., Belmonte, E., Muñoz, T., Santoro, C. y Echeverría, J. (2018). Etnobotánica y territorio en el pastal de Mulluri (Norte de Chile). Las enseñanzas del pastoreo aymara. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 17(5), 522-540.
- Gavilán V. y Viguera P. (2020). Embodied temporalities and memories in aymara rituals in northern Chile. *Cultura y Religión*, 14(2), 100-127. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-47272020000200107>
- Gundermann Kröll, H., y González Cortez, H. (2009). Sociedades indígenas y conocimiento antropológico: aymaras y atacameños de los siglos XIX y XX. *Chungará (Arica)*, 41(1), 113-164.
- Gutiérrez, R. (1978). Aspectos de la arquitectura popular en el altiplano peruano. *Revista SUMARIOS: Todos somos arquitectos, Colección Summarios, Biblioteca sintética de arquitectura*, 4(19) 1-28.
- Heschong L. (1979). *Thermal Delight in Architecture*. The MIT Press.
- Hidalgo-Cordero, J. F., y 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.
- Horn E. (2017). Air conditioning-A Cultural History of Climate Control. *Conference (Vienna: IWM Library, 24 abril de 2017)*.
- Instituto Nacional de Estadística INE. (1992, 2002 y 2017). *Censos de Población y Vivienda de la Región de Arica y Parinacota*. <https://11nq.com/qYfhB>
- Iruri Ramos C., Domínguez Gómez P., y Celis D'amico F. (2023). Mejoramiento de la envolvente para el comportamiento térmico de viviendas rurales. Valle del Colca, Perú. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Cuenca*. 12(23), 170-190. <https://doi.org/10.18537/est.v012.n023.a09>
- Jorquera, N., Valle-Cornibert, S., y Díaz, Y. (2021). Estado actual y transformaciones de la arquitectura de la vivienda tradicional likan antai. Los casos de Ayquina, Caspana y Toconce, Chile. *Estudios atacameños*, 67(2021), 1-24. <https://dx.doi.org/10.22199/issn.0718-1043-2021-0016>
- Loren-Méndez, M. (2018). Bernard Rudofsky: Architecture without architects, a short introduction to non-pedigreed architecture. *Proyecto, Progreso, Arquitectura*, (18), 120-121. <https://doi.org/10.12795/ppa.2018.i18.09>
- MAINI UCN (2023). Reporte de Laboratorio SEM-EDS (RE-UnEC UCN-069-2023-B-CEA061)
- Meli, G., Onnis, S. y Wieser, M. (2019). Introducción en el contexto peruano de un nuevo sistema constructivo con

- madera y tierra alivianada. *Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*. FUNDASAL / PROTERRA. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/187747>
- METALINSPEC. (2023). *Laboratorio de pruebas*, <https://www.metalinspeclaboratorios.com.mx/>
- Ministerio del Arte, las Culturas y el Patrimonio, MINCAP. (2019). *El Proceso para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial en Chile*. Ministerio de la Culturas, las Artes y el Patrimonio. Primera edición. <https://ury1.com/CgHOW>
- Ministerio de las Culturas las Artes y el Patrimonio, Sistema de Información y Gestión del Patrimonio (SIGPA 2021): Formulario de registro de elemento proceso para la salvaguardia del patrimonio cultural inmaterial Subdirección Nacional de Patrimonio Cultural Inmaterial, Servicio Nacional del Patrimonio Cultural v.3.0 <https://n9.cl/ksmob>
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Arquitectura. (2016). *Guía de diseño arquitectónico aymara para edificios y espacios públicos*. <https://acortar.link/O2WGOI>
- Mileto C. y Vegas F. (2014). *La restauración de la tapia de la Península Ibérica. Criterios, técnicas, resultados y perspectivas*. Argumentum / TC Cuadernos.
- Moholy, S. (1957). *Native Genius in Anonymous Architecture*. Horizon Press Inc., New York.
- Molina Huelva M., y Fernández Ans P. (2013). Evolución del comportamiento térmico en viviendas tradicionales de piedra y cubierta de paja. Puesta en valor de un modelo sostenible en el noroeste de España. *Revista de la Construcción*, 12(2), 102-115.
- NCh 850. (2008). Aislación térmica - Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Aparato de placa caliente de guarda.
- Noaman, M. F., Khan, M. A., Ali, K. (2022). Effect of artificial and natural fibers on behavior of soil. *Materials Today: Proceedings*, 64(1), 481-487 <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.954>.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili.
- Palme, M., Guerra, J. y Alfaro S. (2014). Thermal Performance of Traditional and New Concept Houses in the Ancient Village of San Pedro De Atacama and Surroundings. *Sustainability* 2014(6), 3321-3337. <https://doi.org/10.3390/su6063321>
- Palme, M., Guerra, J. y Alfaro, S. (2012). Earth of the Andes Comparing techniques and materials used in houses in San Pedro de Atacama. *Proceedings of the Passive and Low Energy Architecture Conference 2012*, Lima, Perú.
- Pereira, H. (2003). Uso de la técnica mixta tierra aligerada en Chile. *PROTERRA, PROYECTO XIV. 6, Tecnologías de Construcción con Tierra, HABYTED Subprograma XIV, Tecnología para Viviendas de Interés Social Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED* (pp. 51-63).
- Rapoport, A. (1969). *House Form and Culture*. Prentice-Hall.
- Rudofky, B. (1965). *Architecture Without Architects: a short introduction to Non-Pedigreed Architecture*. University of New Mexico.
- Santacana Juncosa, A. y Pol Mensa, B. (2022). Activo Vs. Pasivo: La arquitectura de los cuatro modos. *BAC Boletín Académico. Revista de investigación y arquitectura contemporánea*, 12(2022), 56-73. <https://doi.org/10.17979/bac.2022.12.0.8859>
- Šolc, V. (2011). Casa aymara en Enquelga. *Chungara, Revista de Antropología Chilena (Arica)*, 43(1), 89-111. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73562011000100006>
- Torres Paucar, M., y Jaramillo Benavides, A. (2019). Transición a la sostenibilidad de la arquitectura ecuatoriana contemporánea a través del uso de materiales naturales. *Eidos*, (14), 45-53. <https://doi.org/10.29019/eidos.v14i1.606>
- Toumi, O., Le Gallo, J., y Rejeb, J. B. (2017). Assessment of Latin American sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 878-885.
- UNESCO, Director-General (2017). Mensaje de la Sra. Audrey Azoulay, Directora General de la UNESCO, con motivo del día internacional de la convivencia en paz, 16 de mayo de 2021
- Vinceslas, T., Colinart, T., Hamard, E., de Ménibus, A. H., Lecompte, T, y Lenormand, H. (2019). Light Earth Performances for Thermal Insulation: Application to Earth-Hemp. En *Earthen Dwellings and Structures*. Springer.
- Villagrán M, C., y Castro R, V. (1997). Etnobotánica y manejo ganadero de las vegas, bofedales y quebradas en el Loa superior, Andes de Antofagasta, Segunda Región, Chile. *Chungara*, 29(2), 275-304.
- Villagrán, C. y Castro, M. V. (2004). *Ciencia indígena de los Andes del Norte de Chile: programa interdisciplinario de estudios de biodiversidad (PIEB)*. Universidad de Chile.
- Volhard, F. (2016). *Light earth building. A hand-book for building with wood and earth*. Birkhäuser.
- Wieser, M., Onnis, S., y Meli, G. (2020). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada. Posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 164-174. <https://doi.org/10.14718/revarq.2020.2633>.

Yáñez Medina, C. A., y Capella Sepúlveda, C. (2021). Construction of Personal Identity in Native Aymara Boys and Girls in Chile. *Revista de psicología (Santiago)*, 30(2), 54-70. <https://dx.doi.org/10.5354/0719-0581.2021.60644>

Zabala, M.C., (2023). *Reducción del impacto ambiental de la construcción por medio de técnicas constructivas vernáculas*. Fundación Universidad de América (Bogotá)

Zeghari, K., Gounni, A., Louahia, H., Marion, M., Boutouil, M., Goodhew, S., y Streif, F. (2021): Novel Dual Walling Cob Building: Dynamic Thermal Performance. *Energies*, 14, 7663.