



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO



**PROTOTIPO DE CASA VERNÁCULA TIPO PUTUCO A BASE DE
CH'AMPA PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN
UN CLIMA FRÍO Y SECO AL SUR DEL PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. MIRIAN LOURDES VILCA BARRANTES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

ARQUITECTO

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

**PROTOTIPO DE CASA VERNÁCULA TIPO
PUTUCO A BASE DE CH'AMPA PARA ME
JORAR EL CONFORT TÉRMICO EN UN CL
IMA FRÍO Y SECO AL SUR DEL PERÚ**

AUTOR

MIRIAN LOURDES VILCA BARRANTES

RECuento DE PALABRAS

10732 Words

RECuento DE CARACTERES

57321 Characters

RECuento DE PÁGINAS

55 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

13.1MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 25, 2024 8:47 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 25, 2024 8:49 AM GMT-5

● **13% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)


Mg. Arq. José A. Llanos Conder
COORDINADOR DE SUB DIRECCION DE INVESTIGACION


Dr. Gerardo An Mamaná
EN ARQUITECTURA Y URBANISMO
CAP 14632

Resumen



DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mis padres
Tomas y Eleuteria por su esfuerzo en concederme
la oportunidad de estudiar y por su constante
apoyo a lo largo de mi vida, a mi hija Jarettzy, por
ser fuente de mi fortaleza y motivación, por su
comprensión en momentos dedicados a estudiar y
trabajar. A todas las personas intervinientes en
este proyecto y al legado cultural dejado por mis
ancestros.*

Mirian LVB.



AGRADECIMIENTO

A Dios, por fortalecerme espiritualmente en circunstancias difíciles y poner las personas adecuadas en mi camino.

A mis padres, hija y hermanos por haber colaborado y estar presente con su amor y apoyo incondicional.

A mis amistades más cercanas y a todas las personas que conocí en la etapa del estudio y trabajo por haber conformado parte de experiencias, momentos de aprendizaje en cada paso de mi vida.

A mi asesor; Me siento agradecida de haber tenido la guía del D.Sc. Arq. Grover Marín Mamani, por las enseñanzas, el tiempo, la paciencia y por su dedicación en llevar adelante el desarrollo de este gran proyecto, guardare profundamente el conocimiento concedido, con mucho respeto.

A cada miembro del Jurado, por el tiempo dedicado en la revisión, por lo que a través de sus observaciones y recomendaciones se llevó un mejor desarrollo del proyecto de investigación.

A las personas que intervinieron directamente en la ejecución del proyecto de investigación, que hicieron posible la materialización de este proyecto, el cual forma parte de la cultura en la comunidad de Tuni Grande, del distrito de Taraco.

Mirian LVB.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE GENERAL.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	6
CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	7
LICENCIA PARA PUBLICAR.....	8
CERTIFICADO DE ARCHIVO	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II. ARTÍCULO ACEPTADO.....	19
ANEXOS.....	36
ANEXOS 1: INFORMACIÓN DE LA REVISTA.....	36
ANEXOS 2: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL	38



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resistencia a la compresión de la ch'ampa</i>	46
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Prototipo y construcción tradicional del Putuco</i>	42
--	----

Figura 2 <i>Ubicación de los instrumentos de medición</i>	44
--	----

Figura 3 <i>Comportamiento térmico al interior del prototipo de vivienda Putuco</i>	49
--	----

Figura 4 <i>Comportamiento térmico exterior del prototipo de vivienda Putuco</i>	50
---	----



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS


ASTM D422	: Análisis Granulométrico por Tamizado.
ASTM - D424	: Método de prueba estándar para límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
ASTM - D4318	: Métodos de prueba estándar para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
ASTM - D – 2216 - MTC - E 108	: (American Society for Testing and Materials), Método de Ensayo para Determinar El Contenido de Humedad de Un Suelo.
AASHTO - T90	: Método de prueba estándar para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad de suelos.
BTSym'23	: Simposio Brasileño de Tecnología 2023.
E.080	: Norma de Diseño y Construcción con Tierra Armada.
NTP 399.613	: Norma Técnica Peruana.
SUCS	: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.



CARTA DE ACEPTACIÓN DE PUBLICACIÓN

En base al reglamento de titulación alternativa aprobado bajo Resolución Rectoral N°0671-2020-R-UNA, se realizó la tesis en formato artículo científico para su revisión en la revista BTSym'23 (Simposio Brasileño de Tecnología), la indexación de los libros de esta serie "Innovación, sistemas y tecnologías inteligentes", se envían a ISI Proceedings, EI-Compendex, SCOPUS, Google Scholar y Springerlink. La investigación se aceptó luego de una rigurosa evaluación, cabe mencionar que la revista solo acepta artículos en inglés, motivo por el cual presento en ese idioma. A continuación, se presenta la carta de aceptación por parte de la revista indexada.

BTSym'23 Satellite Event - Acceptance Letter ID 028



BTSym'23 Satellite Event PERÚ
Virtual Event
9th Brazilian Technology Symposium
"Smart Innovation, System and Technologies"



BTSym'23
Brazilian Technology Symposium

Campinas/SP, Brazil, October 08, 2023

BTSym'23 – Satellite Event Perú - Virtual Event - Ref.: Paper (ID 028 – “Prototype of a Putuco-Type Vernacular House Based on Ch'ampa to Improve Thermal Comfort in a Cold and Dry Climate in Southern Peru”)


Dear(s) : **Mirian Lourdes Vilca Barrantes, and Grover Marín Mamani**

On behalf of Prof. Dr. Yuzo Iano, I am pleased and honored to invite you as *Speaker* of the Brazilian Technology Symposium (BTSym-2023) panel discussions.

This event seeks to bring together researchers, students, and professionals from the industrial and academic sectors, seeking to create and/or strengthen the linkages between issues of joint interest. Participants are invited to submit research papers, case studies, articles of opinion, or posters, showing studies, methodologies, and results achieved in scientific level research projects, completion of course work for graduation, dissertations, and theses.

Thanks for your consideration. We are very happy and grateful for your participation and the presentation of your research on BTSym'23.

Yours faithfully,



Organizing and Executive Committee - BTSym'23
Gabriel Gomes Oliveira - Institutional Relationship Chair
LCV/DECOM/FEEC/UNICAMP



LICENCIA PARA PUBLICAR

Licence to Publish Proceedings Papers

SPRINGER NATURE

Licensee	Springer Nature Switzerland AG	(the 'Licensee')
Title of the Proceedings Volume/Edited Book or Conference Name:	Proceedings of the 9th Brazilian Technology Symposium (BTSym'23) - Emerging Trends and Challenges in Technology	(the 'Volume')
Volume Editor(s) Name(s):	Yuzo Iano, Osamu Saotome, Guillermo Leopoldo Kemper Vásquez, María Thereza de Moraes Gomes Rosa, Rangel Arthur and Gabriel Gomes de Oliveira	
Proposed Title of the Contribution:	Prototype of a Putuco-type vernacular house based on ch'ampa to improve thermal comfort in a cold and dry climate in southern Peru.	(the 'Contribution')
Series: The Contribution may be published in the following series	A Springer book series Smart Innovation, Systems and Technologies	
Author(s) Full Name(s):	Mirian Lourdes Vilca Barrantes Grover Marín Mamani	(the 'Author')
<i>When Author is more than one person the expression "Author" as used in this Agreement will apply collectively unless otherwise indicated.</i>		
Corresponding Author Name:	Mirian Lourdes Vilca Barrantes	
Instructions for Authors	https://www.springer.com/gp/authors- editors/conference-proceedings/conference-proceedings- guidelines	(the 'Instructions for Authors')

1 Grant of Rights

- a) For good and valuable consideration, the Author hereby grants to the Licensee the perpetual, exclusive, world-wide, assignable, sublicensable and unlimited right to: publish, reproduce, copy, distribute, communicate, display publicly, sell, rent and/or otherwise make available the contribution identified above, including any supplementary information and graphic elements therein (e.g. illustrations, charts, moving images) (the 'Contribution') in any language, in any versions or editions in any and all forms and/or media of expression (including without limitation in connection with any and all end-user devices), whether now known or developed in the future. Without limitation, the above grant includes: (i) the right to edit, alter, adapt, adjust and prepare derivative works; (ii) all advertising and marketing rights including without limitation in relation to social media; (iii) rights for any training, educational and/or instructional purposes; (iv) the right to add and/or remove links or combinations with other media/works; and (v) the right to create, use and/or license and/or sublicense content data or metadata of any kind in relation to the Contribution (including abstracts and summaries) without restriction. The above rights are granted in relation to the Contribution as a whole or any part and with or in relation to any other works.
- b) Without limiting the rights granted above, Licensee is granted the rights to use the Contribution for the purposes of analysis, testing, and development of publishing- and research-related workflows, systems, products, projects, and services; to confidentially

Page 1 of 5



share the Contribution with select third parties to do the same; and to retain and store the Contribution and any associated correspondence/files/forms to maintain the historical record, and to facilitate research integrity investigations. The grant of rights set forth in this clause (b) is irrevocable.

- c) If the Licensee elects not to publish the Contribution for any reason, all publishing rights under this Agreement as set forth in clause 1a above will revert to the Author.

2 Copyright

Ownership of copyright in the Contribution will be vested in the name of the Author. When reproducing the Contribution or extracts from it, the Author will acknowledge and reference first publication in the Volume.

3 Use of Contribution Versions

- a) For purposes of this Agreement: (i) references to the "Contribution" include all versions of the Contribution; (ii) "Submitted Manuscript" means the version of the Contribution as first submitted by the Author prior to peer review; (iii) "Accepted Manuscript" means the version of the Contribution accepted for publication, but prior to copy-editing and typesetting; and (iv) "Version of Record" means the version of the Contribution published by the Licensee, after copy-editing and typesetting. Rights to all versions of the Manuscript are granted on an exclusive basis, except for the Submitted Manuscript, to which rights are granted on a non-exclusive basis.
- b) The Author may make the Submitted Manuscript available at any time and under any terms (including, but not limited to, under a CC BY licence), at the Author's discretion. Once the Contribution has been published, the Author will include an acknowledgement and provide a link to the Version of Record on the publisher's website: "This preprint has not undergone peer review (when applicable) or any post-submission improvements or corrections. The Version of Record of this contribution is published in [insert volume title], and is available online at [https://doi.org/\[insert DOI\]](https://doi.org/[insert DOI])".
- c) The Licensee grants to the Author (i) the right to make the Accepted Manuscript available on their own personal, self-maintained website immediately on acceptance, (ii) the right to make the Accepted Manuscript available for public release on any of the following twelve (12) months after first publication (the "Embargo Period"): their employer's internal website; their institutional and/or funder repositories. Accepted Manuscripts may be deposited in such repositories immediately upon acceptance, provided they are not made publicly available until after the Embargo Period. The rights granted to the Author with respect to the Accepted Manuscript are subject to the conditions that (i) the Accepted Manuscript is not enhanced or substantially reformatted by the Author or any third party, and (ii) the Author includes on the Accepted Manuscript an acknowledgement in the following form, together with a link to the published version on the publisher's website: "This version of the contribution has been accepted for publication, after peer review (when applicable) but is not the Version of Record and does not reflect post-acceptance improvements, or any corrections. The Version of Record is available online at: [http://dx.doi.org/\[insert DOI\]](http://dx.doi.org/[insert DOI]). Use of this Accepted Version is subject to the publisher's Accepted Manuscript terms of use <https://www.springernature.com/gp/open-research/policies/accepted-manuscript-terms>". Under no circumstances may an Accepted Manuscript be shared or distributed under a

Page 2 of 5



Creative Commons or other form of open access licence.

Any use of the Accepted Manuscript not expressly permitted under this subclause (c) is subject to the Licensee's prior consent.

- d) The Licensee grants to Author the following non-exclusive rights to the Version of Record, provided that, when reproducing the Version of Record or extracts from it, the Author acknowledges and references first publication in the Volume according to current citation standards. As a minimum, the acknowledgement must state: "First published in [Volume, page number, year] by Springer Nature".
- i. to reuse graphic elements created by the Author and contained in the Contribution, in presentations and other works created by them;
 - ii. the Author and any academic institution where they work at the time may reproduce the Contribution for the purpose of course teaching (but not for inclusion in course pack material for onward sale by libraries and institutions);
 - iii. to reuse the Version of Record or any part in a thesis written by the same Author, and to make a copy of that thesis available in a repository of the Author(s)' awarding academic institution, or other repository required by the awarding academic institution. An acknowledgement should be included in the citation: "Reproduced with permission from Springer Nature";
 - iv. to reproduce, or to allow a third party to reproduce the Contribution, in whole or in part, in any other type of work (other than thesis) written by the Author for distribution by a publisher after an embargo period of 12 months; and
 - v. to publish an expanded version of their Contribution provided the expanded version (i) includes at least 30% new material (ii) includes an express statement specifying the incremental change in the expanded version (e.g., new results, better description of materials, etc.).

4 Warranties & Representations

Author warrants and represents that:

- a)
- i. the Author is the sole copyright owner or has been authorised by any additional copyright owner(s) to grant the rights defined in clause 1,
 - ii. the Contribution does not infringe any intellectual property rights (including without limitation copyright, database rights or trade mark rights) or other third party rights and no licence from or payments to a third party are required to publish the Contribution,
 - iii. the Contribution has not been previously published or licensed, nor has the Author committed to licensing any version of the Contribution under a licence inconsistent with the terms of this Agreement,
 - iv. if the Contribution contains materials from other sources (e.g. illustrations, tables, text quotations), Author has obtained written permissions to the extent necessary

Page 3 of 5



from the copyright holder(s), to license to the Licensee the same rights as set out in clause 1 but on a non-exclusive basis and without the right to use any graphic elements on a stand-alone basis and has cited any such materials correctly;

- b) all of the facts contained in the Contribution are according to the current body of research true and accurate;
- c) nothing in the Contribution is obscene, defamatory, violates any right of privacy or publicity, infringes any other human, personal or other rights of any person or entity or is otherwise unlawful and that informed consent to publish has been obtained for any research participants;
- d) nothing in the Contribution infringes any duty of confidentiality owed to any third party or violates any contract, express or implied, of the Author;
- e) all institutional, governmental, and/or other approvals which may be required in connection with the research reflected in the Contribution have been obtained and continue in effect;
- f) all statements and declarations made by the Author in connection with the Contribution are true and correct;
- g) the signatory who has signed this Agreement has full right, power and authority to enter into this Agreement on behalf of all of the Authors; and
- h) the Author complies in full with: i. all instructions and policies in the Instructions for Authors, ii. the Licensee's ethics rules (available at <https://www.springernature.com/gp/authors/book-authors-code-of-conduct>), as may be updated by the Licensee at any time in its sole discretion.

5 Cooperation

- a) The Author will cooperate fully with the Licensee in relation to any legal action that might arise from the publication of the Contribution, and the Author will give the Licensee access at reasonable times to any relevant accounts, documents and records within the power or control of the Author. The Author agrees that any Licensee affiliate through which the Licensee exercises any rights or performs any obligations under this Agreement is intended to have the benefit of and will have the right to enforce the terms of this Agreement.
- b) Author authorises the Licensee to take such steps as it considers necessary at its own expense in the Author's name(s) and on their behalf if the Licensee believes that a third party is infringing or is likely to infringe copyright in the Contribution including but not limited to initiating legal proceedings.

6 Author List

Changes of authorship, including, but not limited to, changes in the corresponding author or

Page 4 of 5



the sequence of authors, are not permitted after acceptance of a manuscript.

7 Post Publication Actions

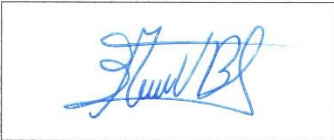
The Author agrees that the Licensee may remove or retract the Contribution or publish a correction or other notice in relation to the Contribution if the Licensee determines that such actions are appropriate from an editorial, research integrity, or legal perspective.

8 Controlling Terms

The terms of this Agreement will supersede any other terms that the Author or any third party may assert apply to any version of the Contribution.

9 Governing Law

This Agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of Switzerland. The courts of Zug, Switzerland shall have the exclusive jurisdiction.

Signed for and on behalf of the Author		Print Name:	Date:
		Mirian Lourdes Vilca Barrantes	October 8, 2023
Address:	Universidad Nacional del Altiplano de Puno, P.O. Box 291, Puno - Peru.		
Email:	mirianlvb@gmail.com		

Springer Nature Switzerland AG, Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland
ER_Book_ProceedingsPaper_LTP_ST_v.1.0 (10_2021)



CERTIFICADO DE ARCHIVO



LABORATORIO DE VISUAL COMMUNICATIONS
UNICAMP



BTSym'23
Brazilian Technology Symposium



UNICAMP

CERTIFICATE Of Archivement

The organizing committee of BTSym'23 is pleased to express its gratitude and recognition of:

Mirian Lourdes Vilca Barrantes

For participating and present the research: **"Prototype of a Putuco-type Vernacular House Based on Ch'ampa to Improve Thermal Comfort in a Cold and Dry Climate in Southern Peru"**, authored in group by: Mirian Lourdes Vilca Barrantes, and Grover Marin Mamani.

Present at **the 9th Brazilian Technology Symposium'23 - BTSym'23 - Satellite Event Peru**, nominated: "Smart Innovation, System and Technologies", held on October 17th to 19th, 2023, at the Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas - UPC - Lima, Peru, via online.

Lima, Peru, October 19, 2023



Yuzo Iano
General Chair


Rangel Arthur
Vice-General Chair


Gabriel Gomes de Oliveira
Technical Program and
Finance Chair



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la problemática del confort térmico y las propiedades físico-mecánicas de la ch'ampa, un material constructivo vernáculo, en un prototipo de vivienda circular tipo Putuco diseñado para climas fríos y secos del altiplano sur peruano. En la actualidad, las edificaciones construidas con materiales industrializados generan un alto impacto ambiental. Sin embargo, desde tiempos ancestrales, se han utilizado materiales locales como la tierra, el suelo y la vegetación para la construcción de viviendas rurales, constituyendo un valioso patrimonio cultural. Un claro ejemplo de ello es la arquitectura vernácula de los Putucos en el altiplano de Puno, Perú, cuya técnica constructiva emplea la ch'ampa, un material de mampostería compuesto por fracciones de suelo extraídas de manera regular.

Durante el año 2021, se llevó a cabo la construcción de un prototipo de vivienda circular basado en el diseño arquitectónico tradicional de los Putucos. Si bien este prototipo se fundamenta en la sabiduría constructiva ancestral, incorpora elementos modernos como puertas y ventanas reforzadas con concreto armado, integrando así la mampostería de ch'ampa con técnicas contemporáneas. Esta fusión entre lo ancestral y lo moderno representa un puente para explorar la viabilidad de estas estructuras vernáculas en el contexto actual. La edificación de este prototipo no solo constituye un homenaje a las técnicas constructivas del pasado, sino también un laboratorio experimental para evaluar su aplicabilidad en el presente.

En cuanto a la extracción de la ch'ampa, se realizó una prospección para identificar el tipo de suelo adecuado, asegurando la presencia de pastos silvestres denominados ch'iji y quemello, los cuales son componentes esenciales de este material. El área de extracción



se localizó en las coordenadas UTM-WGS 84: 410190.00 m E, 8310788.00 m S, Zona 19L, en la comunidad de Yarecoa, específicamente en el lugar denominado Balsapata, a una distancia de 6.68 km del sitio de construcción del prototipo. El proceso de extracción fue llevado a cabo por un maestro experto en la técnica tradicional, empleando herramientas ancestrales como palas, cuerdas, serruchos y trozos de palo de 45 cm. Los bloques de ch'ampa, con dimensiones de 0.40 x 0.45 x 0.15 m, fueron preparados y secados antes de su utilización. Paralelamente, se realizaron ensayos de laboratorio exhaustivos sobre muestras de ch'ampa para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, incluyendo pruebas de compresión, contenido de humedad, análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

El proceso constructivo, involucró el transporte de 1400 unidades de ch'ampa desde el sector de Balsapata hasta el sector Keallamin, a una distancia de 6.68 km del sitio de construcción. Previo a su uso, los bloques de ch'ampa fueron preparados y secados, siguiendo los lineamientos de la tradición constructiva de los Putucos tradicionales. Esta etapa es crucial para garantizar la calidad y durabilidad de los materiales empleados en la edificación.

La construcción del prototipo de vivienda circular tipo Putuco, inició con la meticulosa preparación del terreno. El proceso de nivelación constituyó el primer paso, asegurando una base sólida y uniforme para la cimentación de la edificación. Se realizó la remoción de malezas y otros obstáculos naturales, dejando un área despejada sobre la cual se trazaron y replantearon los cimientos con precisión. Este replanteo se llevó a cabo siguiendo los planos detallados de la infraestructura propuesta, garantizando que cada elemento de la construcción se alineara con el diseño arquitectónico establecido.



Posterior a la nivelación del terreno, se procedió con las excavaciones para la cimentación. Sobre el área ya nivelada, se facilitó el replanteo y la excavación de zanjas para los cimientos. Se construyeron cimientos de mampostería de piedra y cemento, formando una base robusta sobre la cual se erigirían los muros portantes. Estos cimientos no solo proporcionaron estabilidad estructural, sino que también sirvieron como el armazón inicial para la disposición de los marcos de las ventanas y la puerta principal.

La etapa de construcción de la mampostería de ch'ampa se llevó a cabo limitando la altura de construcción diaria a un metro, con el fin de preservar la integridad de las juntas de barro y evitar el colapso o deformación de las paredes durante el proceso de secado. Como refuerzo adicional, se incorporaron horizontalmente tiras de carrizo de 1" de diámetro a lo largo del contorno de la estructura, distribuyéndolas cada 3 hiladas, complementando así la resistencia de la ch'ampa. Los refuerzos colocados en las ventanas y la puerta nacieron desde la cimentación, integrando el acero corrugado y el vaciado de concreto de acuerdo con las formas establecidas en el diseño arquitectónico.

El Simposio Brasileño de Tecnología (BTSym) 2023 es un evento académico de relevancia que reúne a investigadores, estudiantes y profesionales de diversos sectores industriales y académicos. En su edición 2023, el BTSym se enfocó en "Innovación Inteligente, Sistemas y Tecnologías", brindando una plataforma para la presentación y discusión de los últimos resultados de proyectos e investigaciones en diversas áreas del conocimiento. Los trabajos presentados en el BTSym 2023 fueron publicados por la editorial Springer Nature en el libro "Proceedings of the 9th Brazilian Technology Symposium - Emerging Trends and Challenges in Technology", que forma parte de la serie "Smart Innovation, Systems and Technologies". Los libros de esta serie son sometidos a un riguroso proceso de indexación en bases de datos como ISI Proceedings,



EI-Compendex, SCOPUS, Google Scholar y Springerlink. Springer Nature es reconocida por publicar revistas científicas de alto impacto y por ser pionera en el campo de la investigación abierta. Publicar con Springer Nature implica que los trabajos están sujetos a un estricto proceso de revisión por pares, en el cual expertos en el campo evalúan los artículos y libros antes de su publicación, asegurando así la calidad y validez científica de los contenidos.

La investigación presentada en el artículo científico “Prototype of a Putuco-Type Vernacular House Based on Ch'ampa to Improve Thermal Comfort in a Cold and Dry Climate in Southern Peru”, para el BTSym 2023 se articuló en torno a tres objetivos principales que conformaron el núcleo del estudio. El objetivo primario consistió en la caracterización detallada de las propiedades físico-mecánicas de la ch'ampa, para lo cual fue necesario llevar a cabo ensayos de laboratorio sobre muestras de este material vernáculo. El segundo objetivo se centró en la comparación de la temperatura ambiente entre una vivienda típica y un prototipo de vivienda vernácula, realizando un análisis térmico comparativo entre una vivienda convencional de adobe y el prototipo de vivienda Putuco. Finalmente, el tercer objetivo abordó la evaluación térmica del prototipo de vivienda vernácula, mediante el monitoreo y registro de la temperatura ambiental y superficial, tanto en el interior como en el exterior de la edificación. Cada uno de estos objetivos contribuyó a una comprensión más profunda de la arquitectura vernácula y su potencial para mejorar las condiciones de confort térmico en climas fríos y secos, como los que se presentan en el sur del Perú. La aceptación de este artículo para su presentación en el BTSym 2023 constituyó un reconocimiento a la relevancia e interés de esta investigación en los campos de la tecnología y la sostenibilidad arquitectónica.



En última instancia, este enfoque holístico busca no solo mejorar las condiciones físicas de las viviendas rurales, sino también enriquecer la vida de las personas que las habitan, enfrentar el desafío de lograr el confort térmico en climas extremos, como los que se presentan en las zonas altoandinas del sur del Perú, es una tarea compleja. Las condiciones climáticas rigurosas exigen soluciones ingeniosas, considerando un diseño bioclimático, la utilización de materiales locales y la permanente investigación que permita ampliar nuestro conocimiento y perfeccionar las técnicas de construcción. La investigación sobre la ch'ampa y la integración de materiales que refuercen sus propiedades son esenciales para crear prototipos que ofrezcan un confort sostenible.

Los nuevos prototipos deben mantener la esencia de la arquitectura vernácula, permitiendo que quienes los habiten se sientan arraigados a su patrimonio cultural. La ch'ampa, junto con otros materiales tradicionales, puede coexistir armoniosamente con elementos modernos, creando espacios que honren la historia y al mismo tiempo brinden una experiencia contemporánea. La comodidad del confort, se convierte así en un puente entre el pasado y el futuro, manteniendo viva la cultura de nuestros ancestros mientras abrazamos la innovación.



CAPÍTULO II. ARTÍCULO ACEPTADO

PROTOTYPE OF A PUTUCO-TYPE VERNACULAR HOUSE BASED ON CH'AMPA TO IMPROVE THERMAL COMFORT IN A COLD AND DRY CLIMATE IN SOUTHERN PERÚ

ABSTRACT

In the rural high Andean region of Puno, where a cold climate prevails, thermal comfort in buildings is a challenge due to the lack of adequate living conditions. This study focuses on a specific environment with coordinates 405132.69 m E and 8312571.47 m S, where historical and cultural buildings of heritage value called Putucos are observed. These structures, built with ch'ampa, face deterioration and oblivion. The objective of this work is to analyze the thermal behavior and physical resistance of ch'ampa in prototypes of circular vernacular dwellings, known as Putucos. The properties of the ch'ampa revealed an average compressive strength of 10.6 Kg/cm², with a moisture content of 2.1% and a plastic index of 16.1%, classifying it as clay. In terms of thermal variation, the interior of a Putuco housing prototype shows a fluctuation of only 3.5 °C, compared to 12.8 °C in conventional adobe housing. This disparity demonstrates the remarkable ability of Putuco and ch'ampa to conserve heat more effectively. The internal surface temperatures differ significantly from the external surface temperatures, especially in the mornings, where the exterior reaches -10.0 °C while the interior remains at 9.3 °C. These characteristics highlight the high thermal value inherent in the ch'ampa due to its unique composition.

Keywords: Vernacular architecture, thermal comfort, temperature, constructive unity.



INTRODUCTION

The impact of consumer societies in search of pleasurable development has negative repercussions on the exploitation of nature, mainly characterized by a lack of responsibility towards the environment (Gamboa et al., 2011). The construction industry is one of the industries that causes the greatest impact on the environment. Alternative constructions have as one of their main purposes the reduction of this impact (Wenninger, 2017). Likewise, thermal comfort refers to the desirable mental condition that a person perceives about heat or cold, as this affects productivity, health, and well-being (Chow, 2022). In response to housing problems, it is crucial to address the issue of building materials, especially those that reduce construction costs and minimize the impact on the environment (Adegun & Adedeji, 2017). Therefore, passive design has been gradually gaining attention as an option to reduce energy consumption and decrease the carbon footprint by taking advantage of local climatic conditions and building characteristics (Elaouzy & El Fadar, 2022). Currently, it is estimated that 30% to 50% of the world's population resides in earthen structures, mainly in regions of Africa, Asia and Latin America (Delgado & Guerrero, 2006). The coexistence of the traditional and the modern has given rise to new landscapes in both rural and urban areas in Peru, leading to ancestral technologies falling into disuse and being forgotten, as is the case of the Putucos in the Taraco region (Gamarra, 2019). In many homes in the Peruvian highlands, the infrastructure lacks the necessary infrastructure to face climatic phenomena (Mamani et al., 2023). Vernacular materials reflect the adaptation of buildings to their environment, making the most of natural resources and manifesting social aspects such as history, identity, and culture (Goyes & Reynoso, 2020). In the Putuco-type housing, the variables of thermal comfort and the physical properties of the ch'ampa as an envelope of the infrastructure have been monitored.



Passive strategies have proven to be effective in reducing energy demand and carbon footprint (Elaouzy & El Fadar, 2022). Extreme climatic phenomena such as cold, rain, and wind in the high Andean areas of Puno generate negative effects on life, health, agricultural and livestock activity, as well as damage to infrastructure (Ayarquispe, 2019). Thermal comfort is one of the main objectives of architectural design since it seeks to generate comfortable and healthy environmental conditions. It is important to understand how bioclimatic architectural design relates to this objective (Jara, 2016). Studies (Chang et al., 2021; Costa-Carrapiço et al., 2022; Chandel et al., 2016; Sanchez & Hanco, 2022) show that vernacular materials improve thermal comfort due to their insulation and solar energy storage capacity, which contributes to heritage conservation. As a consequence of modernity, ancestral technologies are falling into disuse or being forgotten, as is the case of Putuco, which is an example of vernacular architecture with thermal comfort properties (Gamarra, 2019). This Putuco is located in the community of Tuni Grande, in the district of Taraco, province of Huancané, department of Puno. Its UTM-WGS 84 coordinates are 405132.00 m E, 8312571.00 m S, Zone 19L. It is located on the Suni altitudinal floor, and the average altitude of the district is 3820 m above sea level. It is 35 km from the shores of Lake Titicaca and near the Ramis River. Regarding the houses, 62.6 % are made of adobe material, 31.56 % have wooden walls and 3.67 % are built with brick or cement blocks (Municipalidad distrital de Taraco, 2021).

The community of Tuni Grande is home to a considerable number of Putuco-type dwellings, which are in the process of deterioration and replacement due to meteorological, economic, administrative, and socio-cultural factors (Castro & Vilca, 2019). Putucos are still standing in the Taraco district and are visible from a distance in the new rural landscapes, coexisting with the traditional and the influence of the modern (Gamarra, 2019). The Putuco constitutes an ancestral construction system in which the

main material used is the ch'ampa. This material has qualities of thermal and humidity resistance superior to those of adobe and rammed earth. In addition, in its mechanical behavior, it is a ductile and flexible material. The ch'ampa is also a cultural element with a historical legacy (Gamio, 2018). Putucos demonstrate seismic resistance in their structure, thermal comfort in the interior, and solar exposure. Therefore, they are important to improve the quality of current housing and the welfare of its inhabitants (Gamarra, 2019). For this reason, the purpose of this study is to evaluate the behavior of thermal comfort and physical resistance of the ch'ampa in a new prototype of Putuco-type vernacular housing. This is done to contribute to the reduction of emissions caused by climate change and to revalue Peruvian vernacular architecture.

MATERIALS AND METHODS

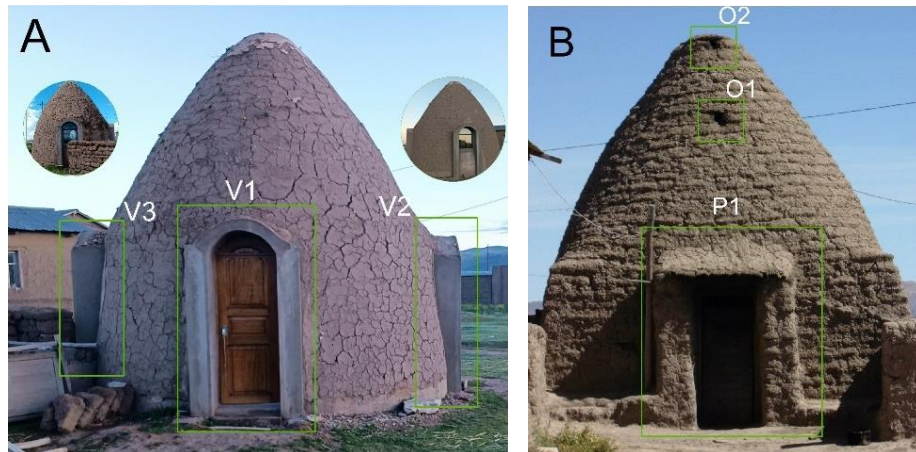
Putuco prototype design

Fig. 1A shows the prototype of the Putuco with a circular base, composed of two windows and a door. The masonry is configured in a single structure that culminates in the form of a dome. The interior diameter is 4 meters, with an approximate height of more than 5 meters. The main masonry construction element is the ch'ampa unit, extracted from virgin soils. The ch'ampa is composed of the natural soil containing roots of a wild grass with roots more than 15 cm deep, called ch'iji. These roots possess the quality of intertwining in the Putuco masonry. This occurs because, when placed in the reverse direction (with the roots upwards), these roots tend to remain in search of water and intertwine with the material, forming a natural lattice structure that reinforces the entire Putuco unit. The module presents a reinforced concrete structural reinforcement at the door and the two windows, which extend from the base of the foundation. Traditional Putucos usually have

a square or rectangular base with a small door. In addition, they do not have windows, but only small holes for ventilation, as shown in Fig. 1B.

Figure 1

Prototype of a Putuco vernacular house and a traditional Putuco construction.



(A) Shows the openings V1, V2, and V3 of the prototype of a Putuco vernacular house, (B) shows the door P1 and the ventilation holes O1 and O2 of a traditional Putuco construction.

For the evaluation of the thermal comfort and physical resistance of the ch'ampa in a Putuco-type vernacular housing prototype, the following procedures are identified:

Identification of the physical-mechanical properties of ch'ampa: For this purpose, samples of ch'ampa were taken to the laboratory, where a granulometric analysis, compressive strength tests, moisture content measurement, and determination of the liquid limit, plastic limit, and plasticity index were carried out.

Thermal comparison between a typical adobe house and the Putuco-type vernacular house prototype: To achieve this, temperature and humidity measuring instruments were installed in both environments, without the presence of inhabitants, to establish greater

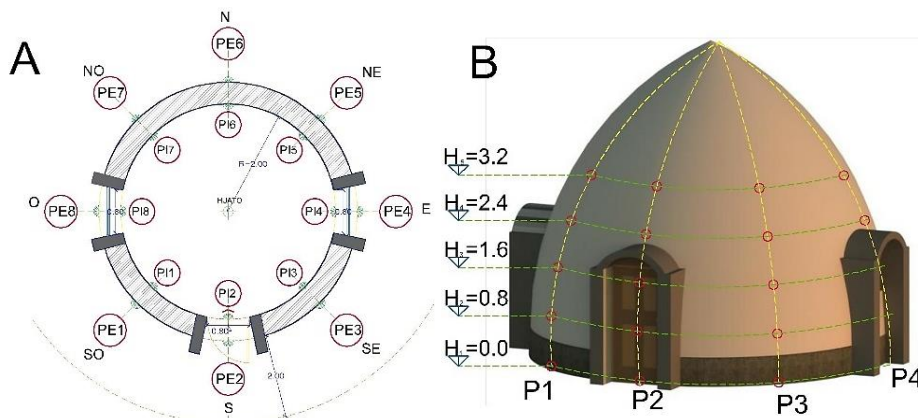


control over the variables. The Huato S100 was placed 3 meters above the finished floor, while the Elitech GSP-6 was placed at a height of 1.80 meters. These instruments were recorded permanently during the fall season, 24 hours a day, with an interval of 10 minutes. The adobe dwelling is characterized by the use of adobe bricks made from the same soil as the site. In addition, it has a wooden gable and calamine roof, three windows, a door, a mud exterior finish, a plaster interior finish, and a polished cement floor.

Outdoor temperature and humidity data were monitored using a digital thermo-hygrometer of the Hobotest HT618 brand. The records were made manually during the 24 hours of the day, with intervals of 3 hours: 00:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 and 21:00 hours. The measurement distance was 2 meters from the module. Inside the house, a Huato temperature and humidity data logger, model S100, was placed at a height of 3.5 meters from the finished floor. This datalogger recorded data for 24 hours, with 10-minute intervals. In addition, data were taken on the surface of the masonry both inside and outside at 8 equidistant points. Fig. 2A, shows the location of the interior points (PI1, PI2, PI3, PI4, PI5, PI6, PI7, PI8) and exterior points (PE1, PE2, PE3, PE4, PE5, PE6, PE7, PE8) at 5 different heights: 0 m, 0.80 m, 1.60 m, 2.40 m and 3.20 m, at 6:00, 12:00, 18:00 and 20:00 hours, as illustrated in Fig. 2B.

Figure 2

Location of measuring instruments



In (A) is shown in the plan the location of measuring instruments, for the pyrometer eight interior points and or exterior points, a Huato sensor for temperature and humidity data in the middle of the Putuco, and a hygrometer at a distance of 2 m from the Putuco. In (B) the elevation view where the heights are projected, from the finished floor level 0.00 m to 3.20 m.

The surface temperature was monitored using a UNIT Thermocamera, model UTi85A. These measurements were taken at 4 indoor points (PI2, PI4, PI6, PI8) and 4 outdoor points (PE2, PE4, PE6, PE8) at four times of the day: 6:00, 12:00, 18:00 and 22:00 hours. Thermal images were obtained that differentiated the infrared radiation emitted by the Putuco surface compared to its surroundings, during the entire course of the measurements, the interior space was not inhabited by people, to have greater precision and control of the measurements. It is important to note that data recording was carried out during the summer and most of the fall seasons. During these seasons, the Peruvian altiplano is characterized by rain and hailstorms in summer, while in autumn there are frosts and strong wind currents. In addition, this year has been impacted by the drought phenomenon. The importance of having an infrastructure capable of withstanding the inclemencies of each season has been emphasized. For this reason, one of the out-standing



characteristics of the ch'ampa is its impermeability, unlike current materials. This is achieved thanks to the intertwining of its roots (Quille, 2023). Consequently, this housing prototype is characterized by a high degree of resistance to the adversities and phenomena typical of the high Andean zones of Peru. In addition, this housing is environmentally friendly and contributes to the revaluation of the cultural identity of the place.

RESULTS

Physical and mechanical properties of ch'ampa

Compression tests were carried out following NTP 399.613 (Peruvian Technical Standard) to determine the average breaking stress. This type of non-conventional sample in ch'ampa material has its closest reference in standard E.080 "Design and Construction with Reinforced Earth". Two tests were performed after extracting the ch'ampa and before its incorporation into the Putuco housing prototype, as shown in Table 1. For the different tests, the appropriate regulations were followed. For moisture content, the ASTM - D - 2216 - MTC - E 108 standard was used. For particle size analysis by sieving, the ASTM D422 standard was applied. For the liquid limit and plastic limit, ASTM - D424 and D-4318 standards were followed, respectively. Finally, for the plasticity index, the AASHTO - T90 standard was used.

Table 1*Compressive strength of the ch'ampa*

Condition	Dimensions	A ³	C ⁴	E ⁵	P ⁶
PE ¹	42.02x16.04x23.1	970.66	9970	10.27	10.35
	42.06x16.02x23.14	973.27	10150	10.43	
PC ²	41.05x16.1x23.24	954.00	10480	10.99	10.92
	42.32x16.29x23.12	978.44	10620	10.85	
Average breaking stress (f ^b)					10.6

(1) Post-extraction, (2) Pre-construction (3) Gross area in cm², (4) Load in kg, (5) Breaking strength in kg/cm², (6) Partial average in kg/cm².

The plastic limits for the sample obtained after the extraction of the ch'ampa yielded a 47.39% liquid limit, 31.64% plastic limit, and a plasticity index of 15.75%. In the second sample, before the construction of the prototype, values of 47.75% liquid limit, 31.29% plastic limit, and a plasticity index of 16.46% were obtained. In addition, the moisture content in the ch'ampa after extraction was 1.98%, and in the construction stage, it was 2.21%. These parameters are very appropriate for construction. In terms of particle size, in the first test, 87.28% passed through the N° 200 sieve with an aperture of 0.075 mm. For the second test, 87.83% passed through the same sieve with the same aperture. When more than 50% of the sample passes through the N° 200 sieve, it is classified as fine-grained soil according to the Unified Soil Classification System (SUCS). For this reason, it is classified as CL (clay). These characteristics make ch'ampa a valuable material for construction in southern Peru. In addition, it is a material that would contribute to the reduction of emissions in buildings.



Thermal evaluation of vernacular housing prototype

Results were obtained from the measurement instruments placed in the indoor environment, where the control group was the adobe dwelling and the Putuco housing prototype. The results of the Student's t-test for independent samples showed a significance of 0.001 in all comparisons in the measurement periods (morning, midday, afternoon, and evening). In addition, the results of the evaluation of the average temperature in the morning in the adobe dwelling correspond to 7.4 °C, with a relative humidity index of 45.4%. At the same time for the Putuco housing prototype, the average temperature is 10.6 °C, with a humidity index of 62.8%. At midday, the adobe dwelling records a temperature of 13.3 °C, with a relative humidity index of 37.9%. In contrast, in the Putuco housing prototype, the average temperature is 11.2 °C, with a humidity index of 62.1%. During the afternoon, the adobe house presents a temperature of 11.7 °C, with a relative humidity index of 42.1%, while the Putuco housing prototype shows an average temperature of 10.7 °C, with a humidity index of 62.0%. At night, the adobe house has a temperature of 9.4 °C, with a relative humidity index of 44.6%, while the Putuco housing prototype has an average temperature of 10.6 °C, with a humidity index of 63.4%.

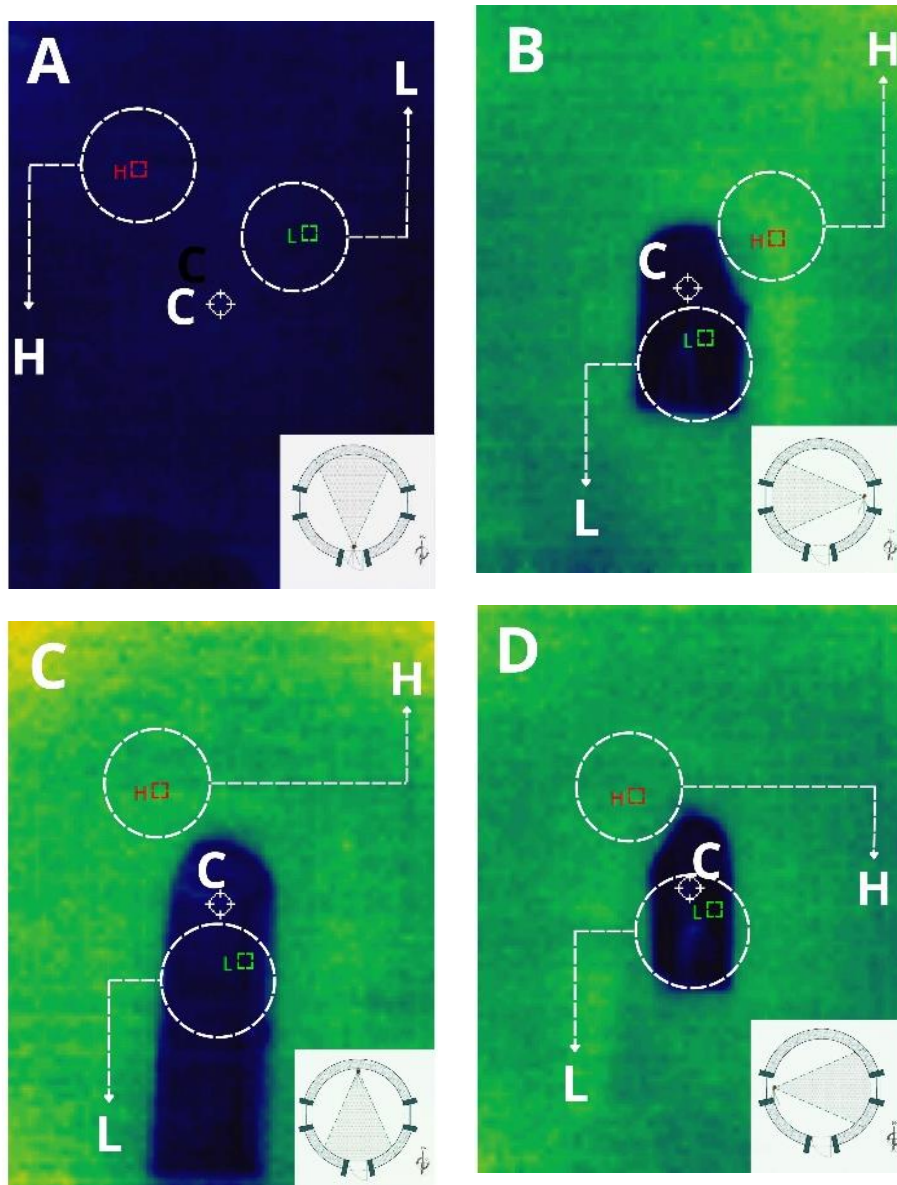
The results of the temperature and humidity measurements in the adobe houses and the Putuco housing prototype highlight the differences in thermal behavior and humidity in both environments. In the morning hours, the Putuco housing prototype shows higher temperatures than the adobe housing, indicating a possible heating effect due to the design and materials of the Putuco, influencing the capacity of the ch'ampa to efficiently capture and release heat. In addition, a significant increase in the relative humidity index is observed inside the Putuco, suggesting a more humid and comfortable environment. Towards midday, the adobe dwelling registers slightly higher temperatures than the



prototype Putuco dwelling, although with a lower relative humidity index. This pattern could be related to the thermal insulation properties of adobe materials, which retain heat longer. In the afternoon and evening hours, the Putuco maintains temperatures close to those of the adobe dwelling, but with higher relative humidity indexes. This observation suggests that the prototype house maintains more constant humidity levels, contributing to thermal comfort. In addition to being a scientific interpretation of the data, the temperature recorded from May 15 to June 16 in the Putuco prototype house had a minimum temperature of 9.3 °C and a maximum of 12.8 °C, with a minimum humidity of 40.7% and a maximum of 69.5%. In contrast, for the adobe house, the minimum temperature was 5.2 °C and a maximum of 18.0 °C, with a minimum humidity of 22.1% and a maximum of 61.2%. The Putuco-type house is characterized by maintaining a constant temperature 24 hours a day, unlike a conventional adobe house. This is due to its composition in masonry made with ch'ampa. The qualities of this element allow it to capture and store the heat that comes from the sun's rays. In addition, the continuous shape of the Putuco, which resembles a dome, prevents temperature losses. Thermal gain and resistance of the ch'ampa. The UNIT Thermo camera, model UTi85A, evidenced the temperature range with infrared images taken in the interior and exterior of the Putuco, we can thus verify the temperature difference between the masonry (ch'ampa) and the spans, which evidences the heat loss due to the characteristics of these materials as shown in Fig. 3. In the exterior of the Putuco in Fig. 4, the difference in temperature between the masonry (ch'ampa) of the Putuco for its surroundings is evident, in both cases, there is a significantly higher temperature for materials or environment to which the Putuco is exposed.

Figure 3

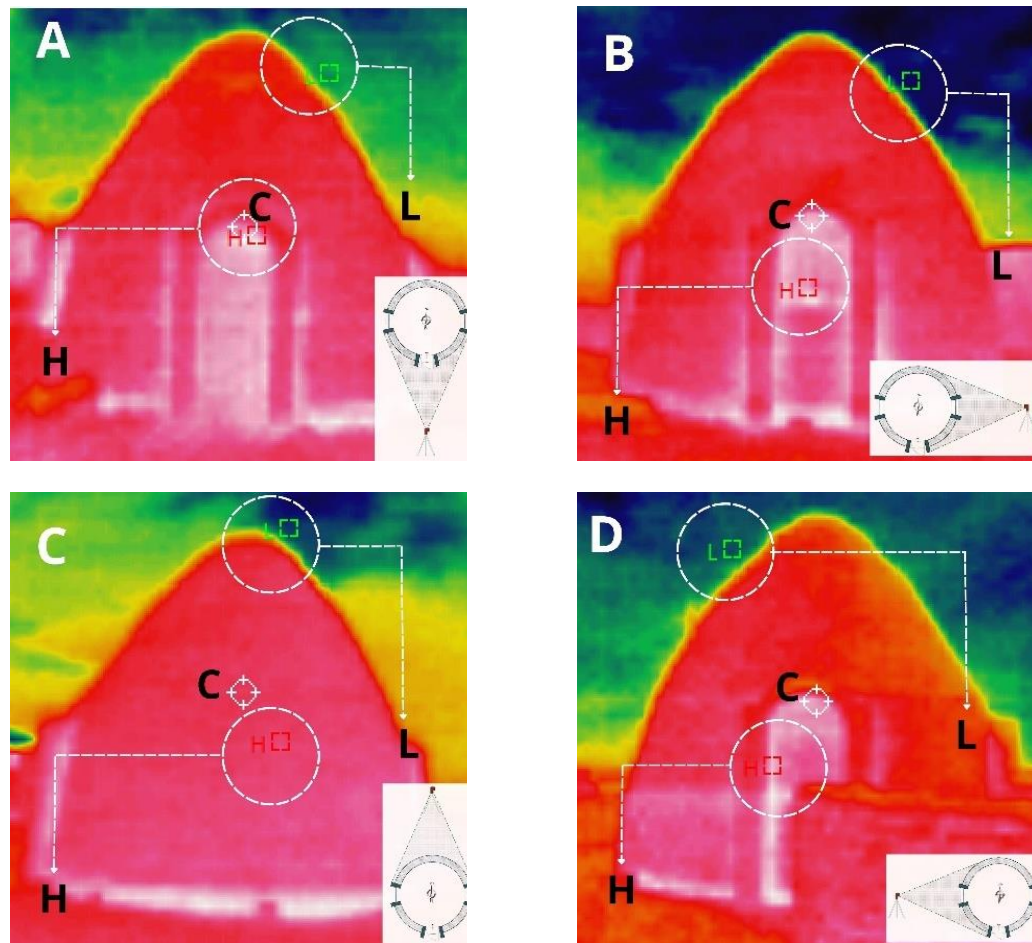
Thermal behavior inside the Putuco housing prototype



Thermal behavior inside the Putuco housing prototype in the morning, where H represents the point where the highest temperature is recorded, L is the lowest temperature, and C is the center where the thermocamera focuses. In situation (A), the focus is to the North with $H=16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=16.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. In situation (B), the focus is to the West with $H=17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=14.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=14.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. In situation (C), the focus is to the South with $H=15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=13.4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Finally, in situation (D), the focus is eastward with $H=15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figure 4

Outdoor thermal behavior of the Putuco housing prototype.



Outdoor thermal behavior of the Putuco housing prototype in the morning. In situa-tion (A), the approach is to the North with $H=12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=12.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. In situation (B), the approach is to the West with $H=11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$. In situation (C), the focus is to the South with $H=11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=11.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Finally, in situation (D), the focus is eastward with $H=11.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=4.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, and $C=11.3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The results of the Student's t-test for independent samples of the interior and exterior of the Putuco prototype showed a significance of 0.001 in all orientation comparisons (Southwest, South, Southeast, East, Northwest, North, Northwest, and West). This means that there is a statistical difference between the interior of Putuco and the



exterior, maintaining a constant temperature despite the inclement weather outside, from extreme cold to intense high Andean heat. In addition, the average temperature of the interior surface in the morning is 12.33°C, at noon it is 15.21°C, in the afternoon it is 11.65°C, and during the night it is 11.15°C. On the other hand, outside temperatures are extreme: in the morning it is 1.11°C, at noon it reaches 28.71°C, in the afternoon it drops to 8.55°C and at night it reaches 3.57°C. These data indicate that the indoor temperature difference in very cold climates is 11.22°C, while in extremely hot climates it is 13.51°C.

The Putuco housing prototype shows a remarkable ability to regulate and maintain the internal temperature, regardless of extreme variations in external climatic conditions. This quality is essential to provide a comfortable and stable indoor environment in a wide range of environmental conditions, both in very cold temperatures and in intense heat conditions. The average indoor and outdoor temperature values reflect this difference, highlighting Putuco's ability to mitigate thermal fluctuations and maintain a livable and pleasant environment in challenging climatic situations.

CONCLUSION

The ch'ampa material exhibits an average compressive strength of 10.6 Kg/cm², with a moisture content of 2.1% and a plastic index of 16.1%, classifying it as clay. The temperature variation inside a Putuco housing prototype is only 3.5 °C, in contrast to 12.8 °C in conventional adobe housing, in both cases without inhabitants or agents that influence the temperature variation. This disparity demonstrates the superior heat conservation qualities of Putuco and ch'ampa. The interior surface temperature differs significantly from the exterior, especially in the mornings when the exterior temperature



reaches $-10.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the interior remains at $9.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. The ch'ampa material exhibits a high thermal value due to its composition.

REFERENCE

- Adegun, O. B., & Adedeji, Y. M. D. (2017) Review of economic and environmental benefits of earthen materials for housing in Africa. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 519–528. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.003>
- Ayarquispe López, E. C. (2019) *Propuesta de un sistema constructivo con aislamiento térmico utilizando totora, madera y revoque de mortero en zonas altoandinas*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional – UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/17839>
- Castro Zuni, J. O. y Vilca Yucra, Y. C. (2019) Estado de conservación del patrimonio cultural ancestral de los Putucos de la comunidad Tuni Grande – Taraco. [Tesis de grado, Universidad Nacional Del Altiplano] https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_8f30b6788eaeblac0a00c0fcd2798bd/Description#tabnav
- Chandel, S.S., Sharma, V., & Marwah, B.M. (2016) Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 459–477. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.038>
- Chang, S., He, W., Yan, H., Yang, L., & Song, C. (2021) Influences of vernacular building spaces on human thermal comfort in arid climate areas of China. *Energy and Buildings*, 244 (110978), p. 110978. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110978>



- Chow, D. H. C. (2022) Indoor environmental quality: Thermal comfort. *In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences Elsevier*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90386-8.00006-1>
- Costa-Carrapiço, I., González, J.N., Raslan, R., Sánchez-Guevara, C., & Redondas Marrero, M.D. (2022) Understanding thermal comfort in vernacular dwellings in Alentejo, Portugal: A mixed-methods adaptive comfort approach. *Building and Environment*, 217(109084), p. 109084.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109084>
- Delgado, M. C. J., & Guerrero, I. C. (2006) Earth building in Spain. *Construction and Building Materials*, 20(9), 679–690.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.006>
- Elaouzy, Y., & El Fadar, A. (2022) Energy, economic and environmental benefits of integrating passive design strategies into buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167(112828), p. 112828.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112828>
- Gamarra Lazo, L.V. (2019) *Edificaciones de tierra cruda: Putucos de taraco, aportes tecnológicos y constructivos en la vivienda del altiplano peruano*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional – UNSA. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9416>
- Gamboa, J. D., Rosillo, M. E., Herrera, C. A., López, O., & Iglesias, V. (2011) *Confort ambiental en Vivienda de Interés Social en Cali*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://goo.su/zndu0z>
- Gamio Felipa, A.L. (2018) *Análisis de las características mecánicas y físicas de la unidad de construcción ancestral, denominada Putuco, situada en el altiplano peruano*.



- [Tesis de Maestría, E.T.S. de Edificación Universidad Politécnica de Madrid].
<https://oa.upm.es/49656/>
- Goyes Balladares, A. C. & Reinoso Caicedo, J. A. (2020) *Materiales vernáculos en el diseño interior de la vivienda contemporánea del cantón Patate*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica de Am-bato]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31224>
- Jara, P. (2016) Confort térmico, su importancia para el diseño arquitectónico y la calidad ambiental del espacio. *A+C 7. Architecture and Sustainable Wellbeing*, 108–121.
<http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/amasc/article/view/2529>
- Mamani, G. M. et al. (2023) Construction of a low-cost solar air collector prototype for heat-ing Andean houses. *Proceedings of the 8th Brazilian Technology Symposium (BTSym'22)*. Cham: Springer International Publishing, pp. 180–188.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-31007-2_18
- Municipalidad distrital de Taraco, Huancané, Puno (2021) *Plan de prevención y reducción del riesgo ante sequía del distrito de Taraco*.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/12664>
- Quille, Y. V. (2023) Water-resistant characteristics of ch'ampa type earth block masonry. *Proceedings of the 8th Brazilian Technology Symposium (BTSym'22)*. Cham: Springer International Publishing, pp. 399–408.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-31007-2_37
- Sanchez, P.F., & Hanco, L.M. (2022) Trombe walls with porous medium insertion and their influence on thermal comfort in flats in Cusco, Peru. *Energy and Built Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2022.09.003>

Wenninger, C. S. (2017) *Análisis del confort ambiental de dos edificaciones con parámetros ambientales en Asunción, Paraguay*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Asunción]. <http://hdl.handle.net/20.500.14066/3112>

ANEXOS

ANEXOS 1: INFORMACIÓN DE LA REVISTA

El comité organizador de BTSym'23 invita a los investigadores a asistir y enviar trabajos que aborden los temas de investigación de interés actuales. En 2023, el evento, después de tres días de duración, los días 24, 25 y 26 de octubre, en la Universidad Estadual de Campinas, Campinas-SP (de 9 a 22 horas). Las actas del evento serán publicadas por la editorial Springer Nature a través del libro Actas del 9º Simposio Brasileño de Tecnología - Tendencias y Desafíos Emergentes en Tecnología, y este libro será publicado en la serie “Innovaciones, Sistemas y Tecnologías Inteligentes”.

Indexación: Los libros de esta serie “Innovación, sistemas y tecnologías inteligentes” se envían a ISI Proceedings, EI-Compindex, SCOPUS, Google Scholar y Springerlink.





El Simposio Brasileño de Tecnología, es un excelente foro para presentaciones y discusiones de los últimos resultados de proyectos e investigaciones de desarrollo, en diversas áreas del conocimiento, en el ámbito científico y tecnológico.

Este evento busca reunir a investigadores, estudiantes y profesionales del sector industrial y académico, buscando crear y/o fortalecer los vínculos entre temas de interés conjunto. Se invita a los participantes a presentar trabajos de investigación, estudios de caso, artículos de opinión o carteles, que muestren estudios, metodologías y resultados alcanzados en proyectos de investigación de nivel científico, finalización de trabajos de curso de graduación, disertaciones y tesis.

Las áreas de conocimiento que abarca el evento son Diseños Inteligentes, Sostenibilidad, Inclusión, Tecnologías del Futuro, IoT, Arquitectura y Urbanismo, Informática, Ciencias de la Información, Diseño Industrial, Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería Agrícola, Ingeniería Biomédica, Biotecnología, Farmacéutica, Ingeniería Civil, Ingeniería de Control y Automatización, Ingeniería de Producción, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Naval y Oceánica, Ingeniería Nuclear, Ingeniería Química, Probabilidad y Estadística, Servicios de Vida, Gobierno Electrónico, Tecnologías Educativas, Proyectos Difusos y Diversos y Varios.



ANEXOS 2: TRADUCCIÓN AL ESPAÑOL

PROTOTIPO DE CASA VERNACULAR TIPO PUTUCO A PARTIR DE CH'AMPA PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN UN CLIMA FRÍO Y SECO AL SUR DEL PERÚ

RESUMEN

En la región rural altoandina de Puno, donde prevalece un clima frío, el confort térmico en las edificaciones es un desafío debido a la falta de condiciones de vida adecuadas. Este estudio se centra en un entorno específico con coordenadas 405132,69 m E y 8312571,47 m S, donde se observan edificaciones históricas y culturales de valor patrimonial denominadas Putucos. Estas estructuras, construidas con ch'ampa, enfrentan el deterioro y el olvido. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento térmico y resistencia física de ch'ampa en prototipos de viviendas vernáculas circulares, conocidos como Putucos. Las propiedades de la ch'ampa revelaron una resistencia a la compresión promedio de 10,6 Kg/cm², con un contenido de humedad de 2,1% y un índice plástico de 16,1%, clasificándola como arcilla. En términos de variación térmica, el interior de un prototipo de vivienda Putuco muestra una fluctuación de sólo 3,5 °C, en comparación con los 12,8 °C de una vivienda de adobe convencional. Esta disparidad demuestra la notable capacidad del Putuco y la ch'ampa para conservar el calor de manera más eficaz. Las temperaturas de la superficie interna difieren significativamente de las temperaturas de la superficie externa, especialmente por las mañanas, donde el exterior alcanza los -10,0 °C mientras que el interior se mantiene en 9,3 °C. Estas características resaltan el alto valor térmico propio de la ch'ampa debido a su composición única.

Palabras claves: Arquitectura vernácula, confort térmico, temperatura, unidad constructiva.



INTRODUCCIÓN

El impacto de las sociedades de consumo en busca de un desarrollo placentero tiene repercusiones negativas en la explotación de la naturaleza, caracterizada principalmente por una falta de responsabilidad hacia el medio ambiente (Gamboa et al., 2011). La industria de la construcción es una de las industrias que mayor impacto causa en el medio ambiente. Las construcciones alternativas tienen como uno de sus principales propósitos la reducción de este impacto (Wenninger, 2017). Asimismo, el confort térmico se refiere a la condición mental deseable que percibe una persona sobre el calor o el frío, ya que este afecta la productividad, la salud y el bienestar (Chow, 2022). En respuesta a los problemas de vivienda, es crucial abordar la cuestión de los materiales de construcción, especialmente aquellos que reducen los costos de construcción y minimizan el impacto en el medio ambiente (Adegun & Adedeji, 2017). Por lo tanto, el diseño pasivo ha ido ganando atención gradualmente como una opción para reducir el consumo de energía y disminuir la huella de carbono aprovechando las condiciones climáticas locales y las características de la construcción (Elaouzy & El Fadar, 2022). Actualmente, se estima que entre el 30% y el 50% de la población mundial reside en estructuras de tierra, principalmente en regiones de África, Asia y América Latina (Delgado & Guerrero, 2006). La convivencia de lo tradicional y lo moderno ha dado lugar a nuevos paisajes tanto en el ámbito rural como urbano del Perú, provocando que tecnologías ancestrales caigan en desuso y olvido, como es el caso de los Putucos en la región de Taraco (Gamarra, 2019). En muchos hogares de la sierra peruana la infraestructura carece de la infraestructura necesaria para enfrentar los fenómenos climáticos (Mamani et al., 2023). Los materiales vernáculos reflejan la adaptación de los edificios a su entorno, aprovechando al máximo los recursos naturales y manifestando aspectos sociales como la historia, la identidad y la cultura (Goyes & Reynoso, 2020). En la vivienda tipo Putuco



se han monitoreado las variables de confort térmico y las propiedades físicas de la ch'ampa como envoltura de la infraestructura.

Las estrategias pasivas han demostrado ser eficaces para reducir la demanda de energía y la huella de carbono (Elaouzy & El Fadar, 2022). Fenómenos climáticos extremos como frío, lluvia y viento en las zonas altoandinas de Puno generan efectos negativos sobre la vida, la salud, la actividad agrícola y ganadera, así como daños a la infraestructura (Ayarquispe, 2019). El confort térmico es uno de los principales objetivos del diseño arquitectónico ya que busca generar condiciones ambientales confortables y saludables. Es importante comprender cómo el diseño arquitectónico bioclimático se relaciona con este objetivo (Jara, 2016). Estudios (Chang et al., 2021; Costa-Carrapiço et al., 2022; Chandel et al., 2016; Sanchez & Hanco, 2022) demuestran que los materiales vernáculos mejoran el confort térmico por su aislamiento y capacidad de almacenamiento de energía solar, lo que contribuye a la conservación del patrimonio. Como consecuencia de la modernidad, tecnologías ancestrales están cayendo en desuso o siendo olvidadas, como es el caso de Putuco, que es un ejemplo de arquitectura vernácula con propiedades de confort térmico (Gamarra, 2019). Este Putuco está ubicado en la comunidad de Tuni Grande, en el distrito de Taraco, provincia de Huancané, departamento de Puno. Sus coordenadas UTM-WGS 84 son 405132.00 m E, 8312571.00 m S, Zona 19L. Se encuentra en el piso altitudinal Suni y la altitud media del distrito es de 3820 m sobre el nivel del mar. Se encuentra a 35 km de las orillas del lago Titicaca y cerca del río Ramis. Respecto a las viviendas, el 62.6 % son de material de adobe, el 31.56 % tienen paredes de madera y el 3.67 % están construidas con ladrillo o bloques de cemento (Municipalidad distrital de Taraco, 2021). La comunidad de Tuni Grande alberga un número considerable de viviendas tipo Putuco, las cuales se encuentran en proceso de deterioro y reposición debido a factores meteorológicos, económicos, administrativos y socioculturales (Castro

& Vilca, 2019). Los Putucos aún permanecen en pie en el distrito de Taraco y son visibles desde lejos en los nuevos paisajes rurales, conviviendo con lo tradicional y la influencia de lo moderno (Gamarra, 2019). El Putuco constituye un sistema constructivo ancestral en el que el principal material utilizado es la ch'ampa. Este material tiene cualidades de resistencia térmica y a la humedad superiores a las del adobe y la tierra apisonada. Además, en su comportamiento mecánico es un material dúctil y flexible. La ch'ampa es también un elemento cultural con un legado histórico (Gamio, 2018). Los Putucos demuestran resistencia sísmica en su estructura, confort térmico en el interior y exposición solar. Por tanto, son importantes para mejorar la calidad de la vivienda actual y el bienestar de sus habitantes (Gamarra, 2019). Por tal motivo, el propósito de este estudio es evaluar el comportamiento del confort térmico y la resistencia física de la ch'ampa en un nuevo prototipo de vivienda vernácula tipo Putuco. Esto se hace para contribuir a la reducción de emisiones provocadas por el cambio climático y revalorizar la arquitectura vernácula peruana.

MATERIALES Y MÉTODOS

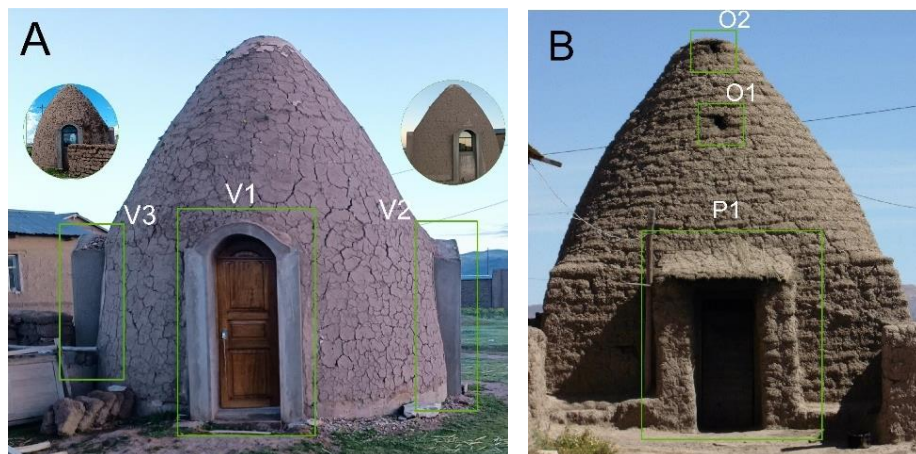
Diseño del prototipo Putuco

La Fig. 1A muestra el prototipo del Putuco de base circular, compuesto por dos ventanas y una puerta. La mampostería se configura en una única estructura que culmina en forma de cúpula. El diámetro interior es de 4 metros, con una altura aproximada de más de 5 metros. El principal elemento constructivo de mampostería es la unidad de ch'ampa, extraída de suelos vírgenes. La ch'ampa está compuesta por el suelo natural que contiene raíces de un pasto silvestre con raíces de más de 15 cm de profundidad, llamado ch'iji. Estas raíces poseen la cualidad de entrelazarse en la

mampostería del Putuco. Esto ocurre porque, al colocarse en sentido inverso (con las raíces hacia arriba), estas raíces tienden a permanecer en busca de agua y entrelazarse con el material, formando una estructura reticular natural que refuerza toda la unidad Putuco. El módulo presenta un refuerzo estructural de hormigón armado en la puerta y las dos ventanas, que se extienden desde la base de la cimentación. Los Putucos tradicionales suelen tener una base cuadrada o rectangular con una pequeña puerta. Además, no tienen ventanas, sólo pequeños orificios para ventilación, como se muestra en la Fig. 1B.

Figura 1

Prototipo y construcción tradicional del Putuco



(A) Muestra las aberturas V1, V2 y V3 del prototipo de una casa vernácula del Putuco, (B) muestra la puerta P1 y los orificios de ventilación O1 y O2 de una construcción tradicional del Putuco.

Para la evaluación del confort térmico y resistencia física de la ch'ampa en un prototipo de vivienda vernácula tipo Putuco, se identifican los siguientes procedimientos:

Identificación de las propiedades físico-mecánicas de ch'ampa: Para ello se llevaron muestras de ch'ampa al laboratorio, donde se realizaron análisis granulométricos, pruebas

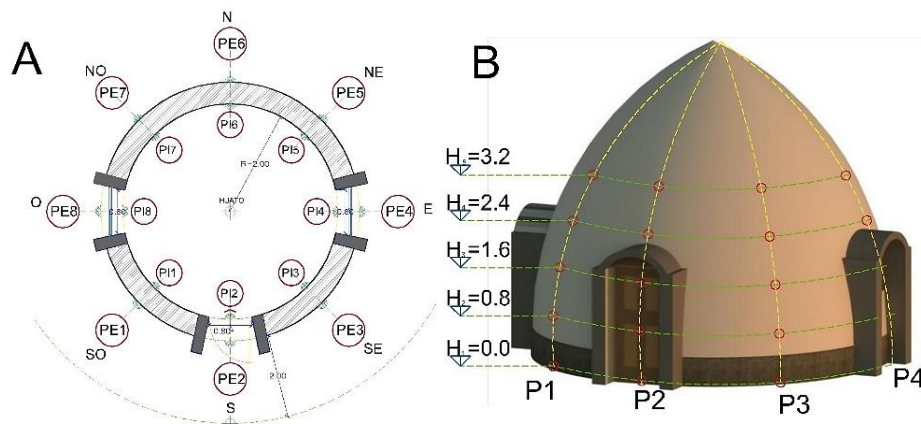
de resistencia a la compresión, medición del contenido de humedad y determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.

Comparación térmica entre una casa típica de adobe y el prototipo de casa vernácula tipo Putuco: Para lograrlo, se instalaron instrumentos de medición de temperatura y humedad en ambos ambientes, sin presencia de habitantes, para establecer un mayor control sobre las variables. El Huato S100 se colocó a 3 metros sobre el piso terminado, mientras que el Elitech GSP-6 se colocó a una altura de 1,80 metros. Estos instrumentos fueron grabados permanentemente durante la temporada de otoño, las 24 horas del día, con un intervalo de 10 minutos. La vivienda de adobe se caracteriza por el uso de ladrillos de adobe elaborados con la misma tierra del sitio. Además, cuenta con techo a dos aguas de madera y calamina, tres ventanas, puerta, acabado exterior de barro, acabado interior de yeso y suelo de cemento pulido.

Los datos de temperatura y humedad exterior se monitorearon mediante un termohigrómetro digital marca Habotest HT618. Los registros se realizaron manualmente durante las 24 horas del día, con intervalos de 3 horas: 00:00, 3:00, 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00 y 21 :00 horas. La distancia de medición fue de 2 metros desde el módulo. Dentro de la casa, se colocó un registrador de datos de temperatura y humedad Huato, modelo S100, a una altura de 3,5 metros del piso terminado. Este registrador de datos registró datos durante 24 horas, con intervalos de 10 minutos. Además, se tomaron datos de la superficie de la mampostería tanto interior como exterior en 8 puntos equidistantes. Fig. 2A, muestra la ubicación de los puntos interiores (PI1, PI2, PI3, PI4, PI5, PI6, PI7, PI8) y exteriores (PE1, PE2, PE3, PE4, PE5, PE6, PE7, PE8) en 5 diferentes alturas: 0 m, 0,80 m, 1,60 m, 2,40 m y 3,20 m, a las 6:00, 12:00, 18:00 y 20:00 horas, como se ilustra en la Fig. 2B.

Figura 2

Ubicación de los instrumentos de medición.



En (A) se muestra en plano la ubicación de los instrumentos de medición, para el pirómetro ocho puntos interiores y/o exteriores, un sensor Huato para datos de temperatura y humedad en medio del Putuco, y un higrómetro a una distancia de 2 m. del Putuco. En (B) la vista en alzado donde se proyectan las alturas, desde el nivel de piso terminado 0.00 m hasta 3.20 m.

La temperatura de la superficie se controló utilizando una termocámara UNIT, modelo UTi85A. Estas mediciones se realizaron en 4 puntos interiores (PI2, PI4, PI6, PI8) y 4 puntos exteriores (PE2, PE4, PE6, PE8) en cuatro horarios del día: 6:00, 12:00, 18:00 y 22 :00 horas. Se obtuvieron imágenes térmicas que diferenciaron la radiación infrarroja emitida por la superficie del Putuco respecto a su entorno, durante todo el transcurso de las mediciones el espacio interior no estuvo habitado por personas, para tener mayor precisión y control de las mediciones. Es importante señalar que el registro de datos se realizó durante las temporadas de verano y la mayor parte de otoño. Durante estas estaciones, el altiplano peruano se caracteriza por lluvias y granizadas en verano, mientras que en otoño se presentan heladas y fuertes corrientes de viento. Además, este año se ha visto impactado por el fenómeno de la sequía. Se ha enfatizado la importancia de contar



con una infraestructura capaz de soportar las inclemencias de cada estación. Por ello, una de las características destacadas de la ch'ampa es su impermeabilidad, a diferencia de los materiales actuales. Esto se consigue gracias al entrelazamiento de sus raíces (Quille, 2023). En consecuencia, este prototipo de vivienda se caracteriza por un alto grado de resistencia a las adversidades y fenómenos propios de las zonas altoandinas del Perú. Además, esta vivienda es respetuosa con el medio ambiente y contribuye a la revalorización de la identidad cultural del lugar.

RESULTADOS

Propiedades físicas y mecánicas del ch'ampa

Se realizaron pruebas de compresión siguiendo la NTP 399.613 (Norma Técnica Peruana) para determinar el esfuerzo de rotura promedio. Este tipo de muestra no convencional en material ch'ampa tiene su referente más cercano en la norma E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Armada”. Se realizaron dos pruebas después de la extracción de la ch'ampa y antes de su incorporación al prototipo de vivienda del Putuco, como se muestra en la Tabla 1. Para las diferentes pruebas se siguieron las normas correspondientes. Para el contenido de humedad se utilizó la norma ASTM - D - 2216 - MTC - E 108. Para el análisis granulométrico mediante tamizado se aplicó la norma ASTM D422. Para el límite líquido y límite plástico se siguieron las normas ASTM - D424 y D-4318, respectivamente. Finalmente, para el índice de plasticidad se utilizó la norma AASHTO - T90.

Tabla 1*Resistencia a la compresión de la ch'ampa*

Condición	Dimensiones	A ³	C ⁴	E ⁵	P ⁶
PE ¹	42.02x16.04x23.1	970.66	9970	10.27	10.35
	42.06x16.02x23.14	973.27	10150	10.43	
PC ²	41.05x16.1x23.24	954.00	10480	10.99	10.92
	42.32x16.29x23.12	978.44	10620	10.85	
Tensión de rotura media (f ^b)					10.6

(1) Post-extracción, (2) Pre-construcción (3) Área bruta en cm², (4) Carga en kg, (5) Resistencia a la rotura en kg/cm², (6) Promedio parcial en kg/cm².

Los límites plásticos para la muestra obtenida luego de la extracción de la ch'ampa arrojaron un límite líquido de 47.39%, un límite plástico de 31.64% y un índice de plasticidad de 15.75%. En la segunda muestra, antes de la construcción del prototipo, se obtuvieron valores de 47,75% límite líquido, 31,29% límite plástico y un índice de plasticidad de 16,46%. Además, el contenido de humedad en la ch'ampa después de su extracción fue de 1.98%, y en la etapa de construcción fue de 2.21%. Estos parámetros son muy apropiados para la construcción. En cuanto al tamaño de partícula, en la primera prueba el 87,28% pasó por el tamiz N° 200 con apertura de 0,075 mm. Para la segunda prueba, el 87,83% pasó por el mismo tamiz con la misma apertura. Cuando más del 50% de la muestra pasa por el tamiz N° 200, se clasifica como suelo de grano fino según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Por este motivo se clasifica como CL (arcilla). Estas características hacen de la ch'ampa un material valioso para la construcción en el sur del Perú. Además, es un material que contribuiría a la reducción de emisiones en los edificios.



Evaluación térmica de prototipo de vivienda vernácula

Los resultados se obtuvieron a partir de los instrumentos de medición colocados en el ambiente interior, donde el grupo control fue la vivienda de adobe y el prototipo de vivienda Putuco. Los resultados de la prueba t de Student para muestras independientes mostraron una significancia de 0,001 en todas las comparaciones en los períodos de medición (mañana, mediodía, tarde y noche). Además, los resultados de la evaluación de la temperatura promedio en la mañana en la vivienda de adobe corresponden a 7.4 °C, con un índice de humedad relativa de 45.4%. Por su parte, para el prototipo de vivienda Putuco, la temperatura promedio es de 10,6 °C, con un índice de humedad del 62,8%. Al mediodía, la vivienda de adobe registra una temperatura de 13,3 °C, con un índice de humedad relativa de 37,9%. En cambio, en el prototipo de vivienda Putuco la temperatura promedio es de 11,2 °C, con un índice de humedad de 62,1%. Durante la tarde, la casa de adobe presenta una temperatura de 11.7 °C, con un índice de humedad relativa de 42.1%, mientras que el prototipo de vivienda Putuco muestra una temperatura promedio de 10.7 °C, con un índice de humedad de 62.0%. Por las noches, la casa de adobe tiene una temperatura de 9.4 °C, con un índice de humedad relativa de 44.6%, mientras que el prototipo de vivienda Putuco tiene una temperatura promedio de 10.6 °C, con un índice de humedad de 63.4%.

Los resultados de las mediciones de temperatura y humedad en las casas de adobe y el prototipo de vivienda Putuco resaltan las diferencias en el comportamiento térmico y de humedad en ambos ambientes. En horas de la mañana, el prototipo de vivienda del Putuco muestra temperaturas más altas que la vivienda de adobe, lo que indica un posible efecto de calentamiento debido al diseño y materiales del Putuco, influyendo en la capacidad de la ch'ampa para capturar y liberar calor de manera eficiente. Además, se observa un

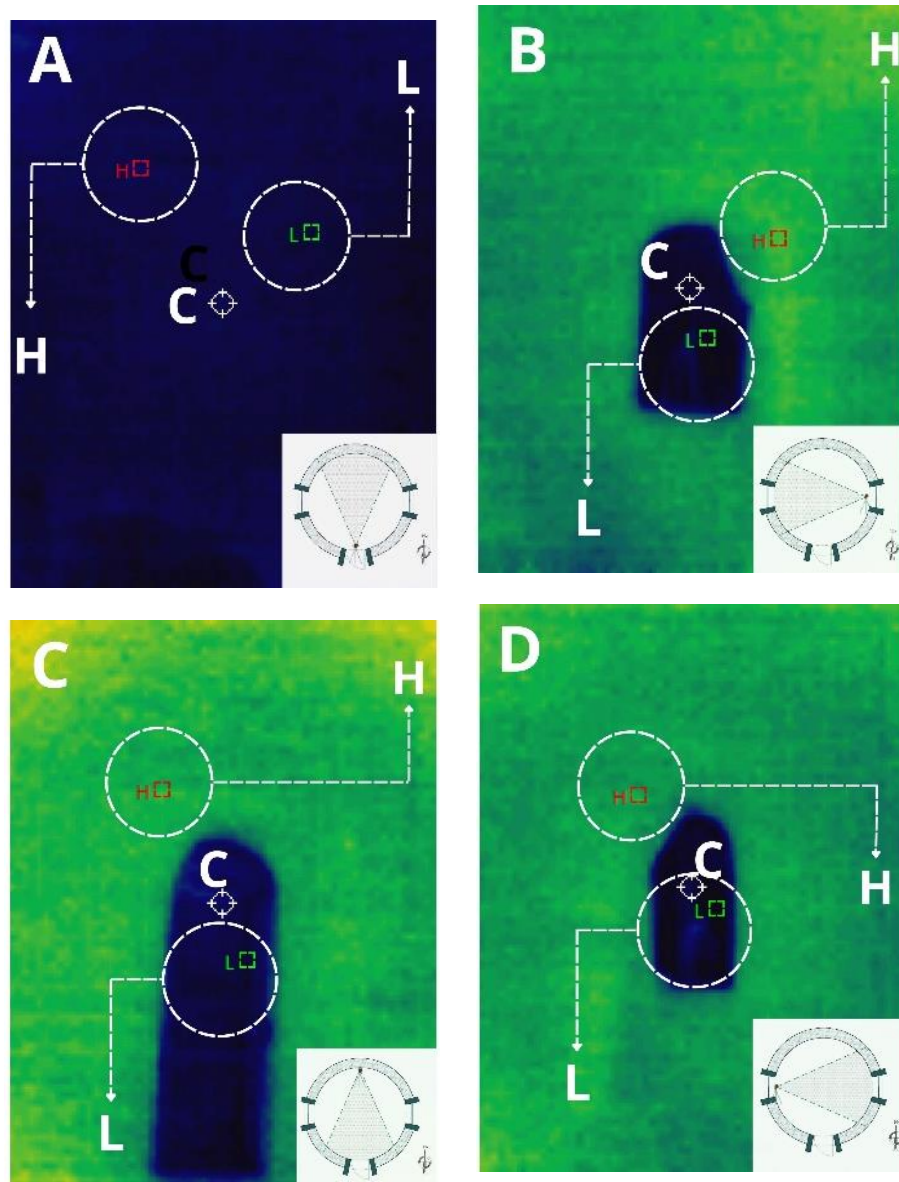


aumento significativo en el índice de humedad relativa al interior del Putuco, lo que sugiere un ambiente más húmedo y confortable. Hacia el mediodía, la vivienda de adobe registra temperaturas ligeramente superiores a las del prototipo de vivienda Putuco, aunque con un menor índice de humedad relativa. Este patrón podría estar relacionado con las propiedades de aislamiento térmico de los materiales de adobe, que retienen el calor por más tiempo. En horas de la tarde y noche, el Putuco mantiene temperaturas cercanas a las de la vivienda de adobe, pero con mayores índices de humedad relativa. Esta observación sugiere que la casa prototipo mantiene niveles de humedad más constantes, lo que contribuye al confort térmico. Además de ser una interpretación científica de los datos, la temperatura registrada del 15 de mayo al 16 de junio en la casa prototipo Putuco tuvo una temperatura mínima de 9,3 °C y una máxima de 12,8 °C, con una humedad mínima de 40,7%. y un máximo del 69,5%. En cambio, para la casa de adobe la temperatura mínima fue de 5.2 °C y máxima de 18.0 °C, con una humedad mínima de 22.1% y máxima de 61.2%. La casa tipo Putuco se caracteriza por mantener una temperatura constante las 24 horas del día, a diferencia de una casa de adobe convencional. Esto se debe a su composición en mampostería hecha con ch'ampa. Las cualidades de este elemento le permiten captar y almacenar el calor que proviene de los rayos del sol. Además, la forma continua del Putuco, que asemeja una cúpula, evita pérdidas de temperatura. Ganancia térmica y resistencia de la ch'ampa. La cámara UNIT Thermo, modelo UTi85A, evidenció el rango de temperatura con imágenes infrarrojas tomadas en el interior y exterior del Putuco, así podemos verificar la diferencia de temperatura entre la mampostería (ch'ampa) y los vanos, lo que evidencia la pérdida de calor debido a las características de estos materiales como se muestra en la Fig. 3. En el exterior del Putuco en la Fig. 4, la diferencia de temperatura entre la mampostería (ch'ampa) del Putuco para sus alrededores Es evidente que, en ambos casos, existe una

temperatura significativamente mayor para los materiales o ambiente al que está expuesto el Putuco.

Figura 3

Comportamiento térmico al interior del prototipo de vivienda Putuco.

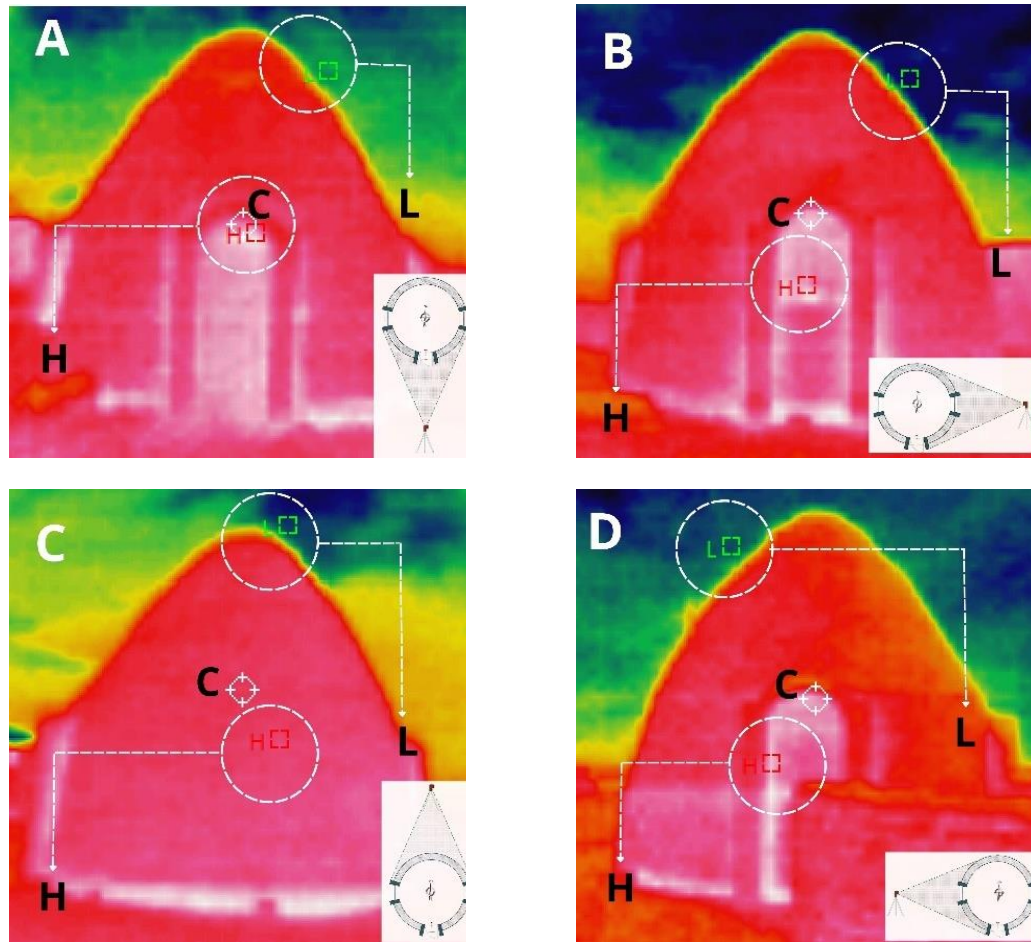


Comportamiento térmico al interior del prototipo de vivienda Putuco en horas de la mañana, donde H representa el punto donde se registra la temperatura más alta, L es la temperatura más baja y C es el centro donde enfoca la termocámara. En la situación (A), el foco está hacia el norte con $H=16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la situación (B),

el foco está hacia el oeste con $H=17,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=14,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la situación (C), el foco está hacia el sur con $H=15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Finalmente, en la situación (D), el foco está hacia el este con $H=15,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=12,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=13,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 4

Comportamiento térmico exterior del prototipo de vivienda Putuco.



Comportamiento térmico exterior del prototipo de vivienda Putuco en horas de la mañana. En la situación (A), la aproximación es hacia el norte con $H=12,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la situación (B), la aproximación es hacia el oeste con $H=11,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=11,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la situación (C), el foco está hacia el sur con $H=11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=11,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Finalmente, en la situación (D), el foco está hacia el este con $H=11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $L=4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $C=11,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Los resultados de la prueba t de Student para muestras independientes del interior y exterior del prototipo Putuco mostraron una significancia de 0,001 en todas las comparaciones de orientación (Suroeste, Sur, Sudeste, Este, Noroeste, Norte, Noroeste y Oeste). Esto significa que existe una diferencia estadística entre el interior de Putuco y el exterior, manteniéndose una temperatura constante a pesar de las inclemencias del tiempo exterior, desde frío extremo hasta intenso calor altoandino. Además, la temperatura promedio de la superficie interior por la mañana es de 12.33°C, al mediodía es de 15.21°C, por la tarde es de 11.65°C y durante la noche es de 11.15°C. Por otro lado, las temperaturas exteriores son extremas: por la mañana es de 1,11°C, al mediodía alcanza los 28,71°C, por la tarde baja a 8,55°C y por la noche alcanza los 3,57°C. Estos datos indican que la diferencia de temperatura interior en climas muy fríos es de 11,22°C, mientras que en climas extremadamente cálidos es de 13,51°C.

El prototipo de vivienda Putuco muestra una notable capacidad para regular y mantener la temperatura interna, independientemente de las variaciones extremas de las condiciones climáticas externas. Esta cualidad es esencial para proporcionar un ambiente interior confortable y estable en una amplia gama de condiciones ambientales, tanto en temperaturas muy frías como en condiciones de calor intenso. Los valores promedio de temperatura interior y exterior reflejan esta diferencia, destacando la capacidad de Putuco para mitigar las fluctuaciones térmicas y mantener un ambiente habitable y agradable en situaciones climáticas desafiantes.



CONCLUSIÓN

El material ch'ampa presenta una resistencia a la compresión promedio de 10,6 Kg/cm², con un contenido de humedad de 2,1% y un índice plástico de 16,1%, clasificándolo como arcilloso. La variación de temperatura dentro de un prototipo de vivienda Putuco es de sólo 3,5 °C, en contraste con los 12,8 °C en una vivienda de adobe convencional, en ambos casos sin habitantes ni agentes que influyan en la variación de temperatura. Esta disparidad demuestra las cualidades superiores de conservación del calor del Putuco y la ch'ampa. La temperatura de la superficie interior difiere significativamente de la exterior, especialmente por las mañanas cuando la temperatura exterior alcanza los -10,0 °C y la interior se mantiene en 9,3 °C. El material ch'ampa exhibe un alto valor térmico debido a su composición.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo MIRIAN LOURDES VILCA BARRANTES,
identificado con DNI 72861183 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
ESCUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ PROTOTIPO DE CASA VERNÁCULA TIPO PUTUCO A BASE DE CH'AMPA PARA
MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN UN CLIMA FRÍO Y SECO AL
SUR DEL PERÚ ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 12 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo MIRIAN LOURDES NILCA BARRANTES
identificado con DNI 72061103 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
ESUELA PROFESIONAL DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" PROTOTIPO DE CASA VERNÁCULA TIPO PUTUCO A BASE DE CHAMPA
PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN UN CLIMA FRÍO Y SECO AL
SUR DEL PERÚ"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 12 de JUNIO del 20 24

FIRMA (obligatoria)



Huella