

Sistemas de calefacción pasiva para lograr el confort térmico en viviendas alto andinas de Perú

Passive heating systems to achieve thermal comfort in high Andean homes in Perú

Recibido: 03 de mayo de 2022 | Revisado: 22 de junio de 2022 | Aceptado: 15 de agosto de 2022

Amanda Cerrón Contreras¹

ABSTRACT

The present research aims to provide updated information on passive heating systems in Perú and to establish which are the most optimal passive heating strategies that have achieved an improvement in indoor thermal comfort in high Andean homes. A review of articles from the scientific literature specialized in the area of passive heating systems applied to high Andean homes in the highlands of Peru that are located within the range of 3 000 to 5 000 meters above sea level, which are characterized by having a cold climate and also be exposed to the problem of frosts typical of these places. The results of these articles show that the most efficient passive heating systems or strategies achieved an increase in the interior temperature by 9.5°C on average, not being enough to achieve thermal comfort in high Andean homes, but that they are favorable because they achieve improve the feeling of well-being of users.

Keywords: Passive heating, thermal comfort, bioclimatic strategies, high Andean dwelling, solar irradiation.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo hacer una revisión de los trabajos realizados sobre los sistemas de calefacción pasiva y establecer cuáles son las estrategias pasivas de calentamiento más óptimas que han logrado una mejora en el confort térmico interior en las viviendas alto andinas en el Perú. Se realizó una revisión de artículos de la literatura científica especializada en el área de sistemas de calefacción pasiva aplicados a viviendas alto andinas en la sierra del Perú que se encuentran ubicadas dentro del rango de 3 000 a 5 000 msnm de altitud, que se caracterizan por tener un clima frío y además estar expuestos al problema de las heladas propias de dichos lugares. Los resultados de estos artículos muestran que los sistemas o estrategias de calefacción pasiva más eficientes lograron un aumento en la temperatura interior de 9,5°C en promedio, no siendo esto lo suficiente para alcanzar el confort térmico en viviendas altoandinas, pero que sí resultan propicias porque logran mejorar la sensación de bienestar de los usuarios.

Palabras clave: Calefacción pasiva, confort térmico, estrategias bioclimáticas, vivienda alto andina, irradiación solar.

¹Correo: acerron@unfv.edu.pe

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1518-3730>

Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Escuela Universitaria de Postgrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima- Perú.

DOI: <https://doi.org/10.24039/cv20221011379>

Introducción

Las duras condiciones ambientales en la zona alto andina del Perú, no permiten un adecuado confort térmico para los habitantes en sus viviendas. Las condiciones ambientales varían en el tiempo y son muy diferentes a las de otras zonas geográficas del país. Enfrentar estos problemas es una tarea que debe buscar estrategias bioclimáticas es decir un conjunto de soluciones capaces de crear un nivel de confort satisfactorio en las viviendas que se adapten a las condiciones ambientales a partir de las características morfológicas, dimensionales, termo físicas, temporales entre otras, de la zona.

En el Perú el 40% de la población vive en casas de tierra, de este porcentaje el 80% vive en zona rural, donde las viviendas son construidas con materiales y técnicas tradicionales. Este material es muy utilizado en la zona rural, donde los habitantes son de bajos recursos económicos, y solo conocen este sistema (Umán, 2019).

Según Espinoza (2014), la sierra cubre un 26% del territorio nacional. Sus altitudes están entre 1 200 m a 6 600 m sobre el nivel del mar, con temperaturas que varían de -6°C a 16°C. Entre los meses de junio y setiembre (invierno), los pobladores de la zona alto andina del Perú, tienen que sobrevivir a una ola de frío extremo, la temperatura ambiental puede alcanzar los 10°C bajo cero en algunas regiones del País. En estos lugares las viviendas se construyen utilizando materiales inapropiados térmicamente (Ramos et al., 2013).

A pesar de la necesidad de calentar las viviendas en estas zonas y de disponer de la energía solar para satisfacer esta demanda, existe un desconocimiento de aplicar estrategias bioclimáticas en la construcción de viviendas para elevar las temperaturas al interior de sus viviendas y sentirse más abrigados (Molina, 2016).

En el Perú, instituciones de diversas índoles sean privadas, estatales y ONGs, realizan transferencia de tecnología en base a estudios y experiencias realizados sobre el clima, materiales locales, construcciones bioclimáticas, y confort térmico. Materiales locales como el adobe por ejemplo cuyos conocimientos ancestrales de buenas prácticas constructivas se han perdido al pasar los años y deben recuperarse añadiendo estudios y técnicas modernas en su fabricación (Molina et al., 2020). El CER (Centro de Energías Renovables) de la UNI ante estos problemas que padecen los pobladores de las zonas altoandinas, estudian y analizan el comportamiento de las viviendas implementadas y

no implementadas en zonas altoandinas para lograr el confort térmico requerido para lograr una calidad de vida en lo que respecta principalmente a la salud de los habitantes.

Producto de las primeras experiencias y del resultado del estudio del CER - UNI, se han propuesto mejoras en los materiales, procesos, acabados y fortalecimiento de capacidades en las familias a fin de incrementar aún más el confort térmico en las futuras construcciones y viviendas existentes (Hartman, 2010).

En el Perú, la norma nacional EM. 110, establece zonas del territorio del Perú de acuerdo a criterios bioclimáticos para las construcciones indicando las características de cada zona a través de parámetros técnicos de diseño que trata de mejorar a partir del diseño arquitectónico, las condiciones de confort térmico y lumínico con eficiencia energética de las edificaciones.

Según la norma ISO 7730, el confort térmico está referido a la percepción que expresa la satisfacción con el ambiente térmico, definido como un estado de satisfacción o comodidad del habitante frente a determinadas condiciones ambientales. Estas condiciones ambientales son la temperatura, la humedad relativa, la radiación y la velocidad del aire (Campos, 2019). Asimismo, la sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales (Calama et al., 2022).

El confort térmico en una vivienda saludable no solo tiene que ver con la isoterminia lograda si no que va más hacia un enfoque integral que contempla la conservación del calor, la ventilación adecuada de los ambientes de la vivienda, el aprovechamiento de la energía solar, tanto lumínica como calorífica, el ordenamiento de la vivienda y el control de la humedad interna (Hartman, 2010).

Las buenas prácticas de un diseño bioclimático deberían basarse en estrategias referidas a las condiciones particulares que presente el lugar, sus parámetros con la geografía, vegetación, ruido y contaminación, serán determinantes para desarrollar el proyecto. Los factores climáticos como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación, proporcionarán un vínculo con el medio ambiente teniéndolos particularmente presentes para desarrollar un buen diseño (Resano et al., 2021).

Una vivienda rural alto andina para ser calificada como “vivienda bioclimática” debe de tener por lo menos alguna técnica bioclimática aplicada en su construcción, ya sea aislamiento de pisos, muros, techos, captación de la energía solar (claraboyas, invernadero adosado), etc., aunque eso no asegura que al interior de la vivienda exista la comodidad térmica adecuada para las personas (Molina, 2016).

Al respecto, en países europeos, EEUU, Japón, entre otros, cuentan con proyectos desarrollados como el estándar Passivhaus, que proponen 7 principios básicos, algunas de ellas como el aislamiento térmico; eliminación de los puentes térmicos; control de las infiltraciones/estanqueidad; ventanas y puertas de altas prestaciones; optimización de las ganancias solares; modelización energética de ganancias y pérdidas de calor, que han surgido como propuestas innovadoras, que han logrado una incidencia social, económica, medioambiental y cultural, para la población y la ciudad (Palma, 2017).

En la búsqueda de una arquitectura eficiente cuyo objetivo final es mejorar la calidad de vida aparecen las estrategias bioclimáticas como una alternativa, las cuales son una composición de soluciones arquitectónicas a partir del conjunto de técnicas y los materiales disponibles, con miras a conseguir el resultado del confort deseado, de acuerdo con las exigencias del usuario y a partir del clima. Con respecto al confort térmico, la arquitectura bioclimática propone hacer uso de la energía solar captándola a través de la aplicación de estrategias pasivas para calefaccionar el interior de las viviendas y lograr alcanzar el confort térmico en el recinto (López, 2003). Según Wang y Li (2020) la arquitectura solar pasiva se basa en la orientación del edificio y su ambiente natural. Este método, que puede reducir el uso total de energía de los edificios, como la calefacción mediante el uso de energía solar, es muy bien recibido en las zonas rurales debido a su bajo precio y otras características.

La calefacción pasiva es como se denomina a una serie de técnicas que se llevan a cabo en la construcción de las viviendas para aumentar al máximo su adaptación al entorno y aprovechar de esta manera los recursos naturales para que el lugar se mantenga cálido en invierno y fresco en verano. En la actualidad, cada vez son más las viviendas que se construyen siguiendo estas técnicas. En las Tablas 2 y 3 se describen algunas características técnicas de la calefacción pasiva como la envolvente constituida con materiales aislantes (fibras de madera, de vidrio, corcho granulado, poliuretano y poliestireno expandido). 1 m² de estos materiales tiene un costo entre

S/. 50 y S/. 300. En la casa ecológica de la PUCP se tiene como calefacción pasiva el muro Trombe, elemento muy importante a la hora de conseguir un sistema sostenible para mantener el calor en el hogar. Este muro o pared se basa en la construcción de un muro con orientación hacia el Sol que se hace de materiales que puedan almacenar el calor y se combina con un espacio para el aire y una placa de vidrio. Tiene ventilaciones que convierten a este muro en un colector térmico totalmente natural. El costo de un muro de 1m² tiene un costo aproximado de S/. 1 000 lo que resultaría más económico en un año comparado con el consumo eléctrico para calefacción que sería de S/ 1 250 (Flores, 2017).

El Perú tiene una elevada radiación promedio solar anual siendo en la sierra de aproximadamente 5.5 a 6.5 kWh/m² día; 5.0 a 6.0 kWh/m² día en la Costa y en la Selva de aproximadamente 4.5 a 5.0 kWh/m² día, según el Atlas de Energía Solar del Perú (Rivasplata, 2018). Resultando ideal para el aprovechamiento de la radiación solar a través de las estrategias de captación solar pasiva o principios bioclimáticos.

La adopción de principios bioclimáticos en el diseño de las casas ubicadas en zonas rurales altoandinas alejadas de la ciudad ha sido presentada como un camino sustentable y sostenible ante la problemática que la población ubicada en estos lugares atraviesa durante la época de heladas, sin embargo, se concluye que aún falta que sean identificados e implementados con el apoyo del Gobierno Central (Espinoza, 2014), es por esto que se amerita una revisión de aportes recientes de estrategias bioclimáticas.

El objetivo del presente estudio es revisar información técnica científica relacionada a los recientes aportes de las estrategias bioclimáticas de calefacción pasiva aplicadas a viviendas rurales para lograr el confort térmico en zonas altoandinas.

Contenido

En el presente artículo se realizó una revisión de la información técnica y científica con análisis documental de artículos científicos publicados en revistas indexadas actual referente a las diferentes estrategias bioclimáticas con especial atención a aquellas relacionadas con la calefacción pasiva que busca lograr el confort térmico en el interior de las viviendas altoandinas, de relevante importancia en nuestro país. Se efectuó una revisión de los siguientes aspectos: características climáticas de 5 provincias en el Perú; características de las estrategias

de calefacción aplicadas en edificaciones de otros países; características de las estrategias de calefacción aplicadas en viviendas alto andinas en Perú.

Esta revisión permitirá comparar las distintas estrategias bioclimáticas que han venido implementándose como en (Molina et al., 2020); (Umán, 2019); (Holguino et al., 2018), las cuales se han convertido en alternativas de importancia para lograr el confort térmico de los pobladores como por ejemplo el uso del sillar o tufo volcánico en Arequipa, Perú.

Es importante también señalar que se comparan algunos trabajos realizados fuera del país con el fin de lograr el confort térmico que incluyen simulaciones energéticas (EnergyPlus) empleando software como el Revit y Design Builder (Liang et al., 2017), (Aguilera et al., 2018) las cuales sirven como modelos para futuros trabajos aplicados a la zona altoandina.

Asimismo, se hace un recuento de las propuestas de diseño, intervención y construcción de viviendas rurales alto andinas ejecutadas con anterioridad a través de diferentes organismos (Gobierno del Perú y ONG's internacionales) para este fin (Palma, 2017). Estas

propuestas permitirán evaluar el impacto y los avances que se tienen en este tema, lo que sin duda contribuirá a tener un mejor panorama del contexto y conocer las alternativas existentes, para descartar o valorar las estrategias que según los resultados del estudio contribuyan a alcanzar viviendas rurales con alto grado de confort para el usuario y que la demanda de energía requerida sea mínima.

Datos climáticos

Se obtuvieron una serie de datos climáticos de los estudios analizados con respecto a la ubicación, la altitud, el tipo clima y datos del año 2010 al 2019 de registros promedios de temperatura, humedad relativa, precipitaciones al año, irradiación solar e índice de claridad obtenidos de Nasa Power. En la Tabla 1 se muestran los datos de ubicación y las características climáticas de 5 provincias del Perú. Estas se ubican en los departamentos de Puno, Huancavelica, Ayacucho, Cusco y Apurímac que corresponden a algunos departamentos de la zona alto andina y se caracterizan por presentar climas polares y oceánicos ubicados a más de 3 000 msnm, como se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Características climáticas de 5 provincias en el Perú.

Datos climáticos	Puno (Puno-Puno)	Huancavelica (Castrovirreyna-Castrovirreyna)	Ayacucho (Huambalpa-Vilcashuamán)	Cusco (Acahuasi-Anta)	Apurímac (Sabaino-Antabamba)
Latitud	15°48'52,02"S	13° 16' 60" S	13°45'40''S	13° 27' 26" S	14° 18' 49" S
Longitud	70°01'54,52"O	75° 19' 9" O	73°51'26''O	72° 18' 1" O	72° 56' 42" O
Altitud (msnm)	4 005	3 952	3 267	3 463	3 428
Tipo de clima (según Köppen)	Polar, ET	Polar, ET	Oceánico, Cfb	Polar, ET	Polar, ET
T° prom a 2m (°C)	7.5	8.5	10.2	10.9	6.5
T° min prom a 2m (°C)	1.4	3.4	5.2	6.7	1.3
T° max prom a 2m (°C)	15.4	16	17	16.5	14
Humedad relativa (%)	54	60	70	78	68
Precipitación (mm/a)	434	225	469	599	538
Irradiación total incidente (KWh/m2)	6	5.8	5.3	5	5.6
Índice de claridad de insolación de cielo despejado, KT	0.62	0.6	0.55	0.52	0.6

Nota. Elaboración propia con Datos sustraídos de NASA POWER y fuentes revisadas.

De los datos mostrados en la tabla 1 se puede observar que las 5 provincias cuentan con altos registros de irradiación solar que va en un rango de 5 a 6 (KWh/m²) acompañados de altos valores de índice de claridad de insolación de cielo despejado, KT, entre 0,52-0,62. Asimismo, rangos de temperaturas promedio mínimo del aire a 2 metros de altura entre 1,4 a 6,7°C y rangos de humedad relativa del aire entre 54 a 78%.

Estrategias de calefacción aplicadas en edificaciones en otros países

Se realizó una evaluación en revistas seleccionadas de otros países sobre las estrategias de calefacción aplicadas en edificaciones para lograr el confort térmico, donde se tuvo en cuenta el objetivo, la metodología y los resultados obtenidos por cada autor como se muestra en la Tabla 2. En el estudio desarrollado por Calderón (2019) se buscó determinar el balance del confort térmico al incorporar a las viviendas nuevos materiales encontrando que la temperatura media interior de las viviendas se incrementaba en 6°C. Asimismo, en el trabajo de Castillo et al. (2019) se encontró que la incorporación de fibras de madera, de vidrio, corcho granulado, poliuretano y poliestireno expandido consiguen una óptima temperatura interior, proporcionando bienestar interior. Por su parte Aguilera et al. (2018) encontraron que, al sustituir vidrio simple, por doble acristalamiento, se logra una disminución del

sistema de calefacción de un 28,3% y en el sistema de refrigeración de un 11,5%.

En el estudio desarrollado por Giraldo y Arango (2020) encuentran que para el buen diseño de los sistemas de captación solar (invernadero) son principalmente un valor más alto en el ancho y alto y un valor más bajo en la profundidad del del sistema de captación solar para lograr mejores resultados en el confort interior.

En otro trabajo relacionado con el confort térmico Liang y Roskilly (2017) durante la temporada de invierno en Chile campaña de invierno mantuvieron temperaturas interiores de 22,0°C y 17,7°C en la casa pasiva y la casa convencional respectivamente. Con respecto al consumo de energía para lograr un confort térmico Liang et al. (2015) lograron una reducción del consumo total de energía de aproximadamente un 33,38%. Molina y Veas (2012) reportaron que en Chile el 80% de los edificios prefieren ambientes más cálidos en invierno. Saavedra (2014), comparó el comportamiento térmico de dos viviendas, una vivienda nueva o albergue y vivienda modificada acondicionada térmicamente, logrando alcanzar temperaturas mínimas de 10°C en la vivienda acondicionada en comparación de los 4°C de temperatura mínima alcanzada en la vivienda nueva sin acondicionar.

Tabla 2

Características de las estrategias de calefacción solar aplicadas en edificaciones de otros países, según diversos autores.

Objetivo	Autor / País	Metodología	Resultados
Definir la solución óptima de un sistema de captación solar pasiva, invernadero con muro acumulador, adherible a las construcciones existentes, con el fin de mejorar las condiciones de confort higrotérmico interior.	Giraldo y Arango (2020) / Colombia	Uso un software de simulación de análisis térmico paramétrico (EnergyPlus) con algoritmos de optimización de metamodelos para encontrar el mejor caso del diseño del dispositivo arquitectónico de calefacción solar pasiva, invernadero con muro acumulador además de aislamiento en cubierta.	Las variables más importantes para el invernadero, son principalmente el valor más alto en el ancho y alto del sistema de captación solar, pero no tanto su profundidad, por lo cual este debe tener un valor bajo para lograr mejores resultados en el confort interior.
Determinar el balance térmico y el modo en que los materiales empleados responden a las condiciones climáticas existentes	Calderón (2019) / Colombia	Expone un estudio de caso, en el cual se emplearon dos métodos: el protocolo dado por la norma ISO 7730 y una caracterización de los materiales existentes a través de herramientas estáticas de análisis de confort térmico.	Se determinó que los nuevos materiales mejoraron el confort térmico del hábitat, al comprobarse un aumento de 6°C en la temperatura media interior.

Establecer parámetros que determinan el confort térmico para el consumo de energía eléctrica para acondicionamiento ambiental.	Castillo et al. (2019) / Ecuador	Se utilizó la encuesta como técnica de investigación, la misma que consistió en 5 preguntas enfocadas en el bioclima y la percepción térmica de los residentes del sector	La envolvente constituida con materiales aislantes (fibras de madera, de vidrio, corcho granulado, poliuretano y poliestireno expandido) consigue una óptima temperatura interior, proporcionando bienestar interior.
Cuantificar y valorar la influencia de las estrategias pasivas más adecuadas, en un clima mediterráneo-continental, en viviendas unifamiliares con superficie acristalada grande en su envolvente.	Aguilera et al. (2018) / España	Se busca un modelo base sobre el que trabajar y una herramienta de simulación energética. Posteriormente se analiza el modelo y se plantean diferentes estrategias pasivas, atendiendo a la orientación de la vivienda	Sustituir vidrio simple, por doble acristalamiento, supone una disminución del sistema de calefacción de un 28,3% y en el sistema de refrigeración de un 11,5%.
Monitorear el rendimiento del edificio durante un año de una casa convencional y una casa pasiva en el noreste de Inglaterra	Liang et al. (2017) / Reino Unido	El estudio de simulación fue realizado por el software DesignBuilder, los modelos simulados fueron validados por datos monitoreados para predecir el rendimiento de la casa convencional después de la modernización.	La reducción de la demanda de calefacción de espacios de la casa pasiva es de aproximadamente un 80% en comparación con la casa convencional, además la temperatura interior promedio anual de las dos propiedades se mantuvo en 22,0°C y 17,7 °C, respectivamente.
Realizar una investigación del consumo de energía de una propiedad desde el punto de vista del ahorro de energía pasivo.	Liang et al. (2015) / Reino Unido	Una auditoría de campo y el uso del software Design Builder La simulación de una vivienda unifamiliar se llevó a cabo durante este estudio.	Para el análisis de materiales de aislamiento (La pared de la cavidad aislada con poliuretano), el rendimiento del poliuretano es mejor que el del aire, la reducción del consumo total de energía es de aproximadamente un 33,38%
Analizar las condiciones de confort térmico durante la campaña de invierno para cada recinto de trabajo observado.	Molina y Veas (2012) / Chile	Se midieron variables ambientales y realizaron encuestas de satisfacción en 10 edificios públicos en uso en Chile	Se halló un bajo porcentaje de aceptabilidad ambiental en las 4 escuelas debido a la mala calidad de aire y bajas temperaturas. En el 80% de los edificios prefieren ambientes más cálidos en invierno, desplazándose el neutro en +0,52.

Nota. Elaboración propia con datos sustraídos de fuentes revisadas.

Estrategias de calefacción pasiva aplicadas en viviendas alto andinas en el Perú

Dentro de los trabajos que evalúan las características de las estrategias de calefacción solar aplicadas en viviendas alto andinas en el Perú sobre las estrategias de calefacción solar aplicadas en edificaciones para lograr el confort térmico, donde se tuvo en cuenta el objetivo, la metodología y los resultados obtenidos por cada autor como se muestra en la Tabla 3. En estos trabajos se muestra que es posible lograr incrementar la temperatura en el interior de viviendas altoandinas. Molina et al. (2020) mediante la evaluación sistemática de varias configuraciones de operatividad de un módulo experimental de vivienda (con el software EnergyPlus) entre ellas técnicas arquitectónicas pasivas de aislamiento térmico (piso aislado, dobles puertas de madera, ventanas con doble vidrio y coberturas de madera, y techo con cielo raso, en ambiente norte y sur) reportan incrementos de temperatura en el interior del MEV del orden de 9,5 °C en promedio y, de hasta 16,6°C en horas críticas de la madrugada respecto a la temperatura exterior de -7,1°C a las 6 a.m. Endara y Jiménez (2019) a nivel estructural en la casa ecológica estudiada no alcanza confort térmico sin embargo debido a la implementación de las tecnologías de calefacción (piso radiante, muro trombe y cama caliente) si alcanza confort térmico llegando a una temperatura interna de 18°C. Holguino et al. (2018) y colaboradores realizaron una evaluación del confort térmico al interior de la habitación de prueba (HP) de adobe y materiales de la zona alto andina del Perú. La temperatura al interior de HP durante las épocas de invierno tiene valores medio mayores en 63,83 y 68,83%. Harman (2010), analizó la construcción y adecuación de viviendas con Confort Térmico en las provincias de Castrovirreyna y Huaytará, realizando mejoras en el confort térmico en construcciones nuevas, y en viviendas existentes, entre ellas los ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, muros trombe - modelo fito toldo; con las mejoras se aumentaron los mínimos de temperatura en 5°C aproximadamente, donde la menor temperatura llega hasta los 11°C. Saavedra (2014) analizó la mejora en el desempeño térmico de un módulo de vivienda mejorada optimizando la captación de la radiación solar, el almacenamiento de calor y minimizando pérdidas térmicas. Para esto construyó un módulo de vivienda mejorada, y se evaluó la temperatura, en diferentes puntos de la vivienda por un periodo de 2 meses y se usó el programa de simulación térmica de edificaciones, EnergyPlus. Se mejoró las condiciones térmicas de

habitabilidad de las viviendas mejoradas, alcanzando temperaturas mínimas de 10°C en promedio.

Asimismo, en estos artículos se revisan otros aspectos como la salubridad y estrategias de climatización pasiva. Sánchez (2020), evaluó si las condiciones de salubridad se mejoran al mejorar el confort térmico en las viviendas rurales alto andinas de las familias en los distritos de San José de Quero y Yanacancha en la Región Junín, se encontró que el confort térmico en las viviendas rurales alto andinas ayudará a mejorar significativamente las condiciones de salubridad. Umán (2019) simula con Autodesk Ecotect las mejoras de una vivienda típica altoandina con 4 estrategias pasivas en la simulación de una vivienda típica analizada (sin infiltraciones de aire, aislamiento térmico de los muros, aislamiento térmico de las ventanas y aislamiento térmico del piso) en la vivienda de adobe de la zona rural de Anta-Cusco, 2017; reduciendo hasta en un 80%, los requerimientos de calefacción dentro de la vivienda. Palma (2017) ubica su trabajo en la zona bioclimática Meso andina (Cusco) y realizó pruebas cruzadas de espesor de aislamiento con vidrio doble y triple, y simulaciones con las opciones de 0.10 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$ y 0.20 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$. Se logró reducir la conductividad térmica hasta $1.80 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$, en comparación a una ventana de vidrio simple que tiene $5.10 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$, y en el proceso de simulación se pudo ver que al colocar más superficie de ventanas la demanda de calefacción incrementó. Molina (2016) comparó el comportamiento térmico de dos viviendas acondicionadas pasivamente en la comunidad de San Francisco de Raymina (SFR) en Ayacucho, la vivienda 1 (diseñada con carácter de prototipo experimental de adobe, con claraboyas, que se ubican en el dormitorio norte y la sala con piso aislado, con aislamiento en el techo con un invernadero adosado a las paredes de las habitaciones), la vivienda 2 (con patio tipo invernadero, con invernadero adosado a las paredes de los dormitorios, con claraboyas instaladas en el techo con piso apisonado de tierra). Se concluyó que el método más apropiado es el calentamiento solar pasivo porque logra mejorar la temperatura al interior de las viviendas haciendo uso de diversas técnicas bioclimáticas en su construcción o adecuándolas a viviendas existentes.

Tabla 3

Características de las estrategias de calefacción aplicadas en viviendas alto andinas en Perú, según diversos autores.

Objetivo	Autor / País	Metodología	Resultados
<p>Evaluar experimentalmente el desempeño térmico de un Módulo Experimental de Vivienda (MEV), en la región Alto Andina- Ayacucho.</p>	<p>Molina et al. (2020).</p>	<p>Mediante la evaluación sistemática con el software EnergyPlus de varias configuraciones de operatividad de un módulo experimental de vivienda entre ellas técnicas arquitectónicas pasivas de aislamiento térmico: piso aislado, dobles puertas de madera, ventanas con doble vidrio y coberturas de madera, y techo con cielo raso, en ambiente norte y sur.</p>	<p>Los incrementos de temperatura en el interior del módulo experimental de vivienda solo con técnicas arquitectónicas pasivas de aislamiento térmico lograron incrementos de los ambientes sur y norte del orden de 3,7 °C y de 4,2°C.</p>
<p>Determinar el cumplimiento de las transmitancias térmicas de la casa ecológica andina PUCP del distrito de Langui – Cusco</p>	<p>Endara y Jiménez (2019)</p>	<p>Analiza la Casa Ecológica Andina PUCP y se especifica a través de cuadros de cálculo las características de cada envolvente y se obtiene el cálculo de las transmitancias térmicas.</p>	<p>La casa ecológica a nivel estructural no alcanza confort térmico y con la implementación de las tecnologías de calefacción (piso radiante, muro trombe y cama caliente) si alcanza el confort térmico llegando a una temperatura interna de 18°C.</p>
<p>Mejorar las condiciones térmicas de habitabilidad con estrategias de climatización mediante sistemas naturales en la vivienda de adobe de la zona rural de Anta- Cusco.</p>	<p>Umán (2019).</p>	<p>Se simula con Autodesk Ecotect las mejoras de una vivienda típica altoandina con 4 estrategias pasivas en la simulación de una vivienda típica analizada: Sin filtraciones de aire, aislamiento térmico de los muros (lana de roca) con, aislamiento térmico de las ventanas (con doble acristalamiento) y aislamiento térmico del piso (con lana de roca).</p>	<p>Los resultados demostraron que las estrategias de climatización pasiva, contribuyen a mejorar las condiciones térmicas de habitabilidad, reduciendo hasta en un 80%, los requerimientos de calefacción dentro de la vivienda.</p>
<p>Evaluación del confort térmico al interior de la habitación de prueba (HP) de adobe y materiales de la zona alto andina del Perú</p>	<p>Holguino et al. (2018)</p>	<p>Utilizaron en la construcción de la HP tales como adobe (97,7 % de tierra arcillosa con 2,3 % de paja), yeso, y madera, elaborándose muestras de 3 dimensión 12x12x1,8 cm para cada material.</p>	<p>El sistema acumulador de HP almacena energía calorífica equivalente a 8,305 MJ, el excedente de energía calorífica permite que la temperatura al interior de HP durante las épocas de invierno tenga valores medio mayores en 63,83 % a las temperaturas medias de HC.</p>
<p>Establecer parámetros y estrategias dirigidas a la mejora de la eficiencia de la vivienda rural de la zona bioclimática Meso andina (Cusco)</p>	<p>Palma (2017).</p>	<p>Se realizaron pruebas cruzadas de espesor de aislamiento con vidrio doble y triple, y simulaciones con las opciones de 0.10 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}2\text{K}$ y 0.20 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}2\text{K}$.</p>	<p>A medida que se añadió cámaras de aire y más láminas de vidrio lograron reducir la conductividad térmica hasta $1.80 \text{ W}/^\circ\text{m}2\text{K}$, en comparación a una ventana de vidrio simple que tiene $5.10 \text{ W}/^\circ\text{m}2\text{K}$, y en el proceso de simulación se pudo ver que al colocar más superficie de ventanas la demanda de calefacción incrementó.</p>

<p>Analizar la energía asociada a la utilización de técnicas bioclimáticas aplicadas en la construcción de una vivienda alto andina, ubicada en la comunidad de San Francisco de Raymina (SFR) en Ayacucho.</p>	<p>Molina (2016)</p>	<p>Se compara el comportamiento térmico de dos viviendas acondicionadas pasivamente la vivienda 1 (diseñada con carácter de prototipo experimental de adobe, con claraboyas, que se ubican en el dormitorio norte y la sala con piso aislado, con aislamiento en el techo con un invernadero adosado a las paredes de las habitaciones; la vivienda 2, con patio tipo invernadero, con invernadero adosado a las paredes de los dormitorios, con claraboyas instaladas en el techo con piso apisonado de tierra.</p>	<p>El promedio de temperatura alcanzado en el dormitorio norte de la vivienda 1 es de 15,7°C para el dormitorio norte el cual resulta mayor a la temperatura exterior hasta en 9°C. Esta temperatura interior se encuentra muy próxima a la temperatura de confort de 16,4°C aproximadamente. En la vivienda 2, las temperaturas de dormitorios norte poseen un promedio de temperatura de 11,6°C, la temperatura del dormitorio norte el cual resulta mayor a la temperatura exterior hasta en 8°C a la temperatura exterior</p>
<p>Comprobar la mejora en el desempeño térmico de un módulo de vivienda mejorada optimizando la captación de la radiación solar, el almacenamiento de calor y minimizando pérdidas térmicas.</p>	<p>Saavedra (2014).</p>	<p>Se construyó un módulo de vivienda mejorada, y se evaluó la temperatura, en diferentes puntos de la vivienda por un periodo de 2 meses y se usó el programa de simulación térmica de edificaciones, EnergyPlus</p>	<p>se mejoró las condiciones térmicas de habitabilidad de las viviendas mejoradas, alcanzando temperaturas mínimas de 10°C en promedio. A diferencia de las viviendas típicas que registraron temperaturas medias interiores de 4°C.</p>
<p>Construcción y adecuación de viviendas con Confort Térmico en las provincias de Castrovirreyna y Huaytará,</p>	<p>Harman (2010).</p>	<p>Se realizaron mejoras en el confort térmico en construcciones nuevas, y en viviendas existentes, entre ellas los ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, muros trombe - modelo fito toldo. Se realizó un estudio comparativo que fue encargado al CER – UNI.</p>	<p>Se aumenta los mínimos de temperatura interior en 5°C aproximadamente, donde la menor temperatura llega hasta los 11°C. El cambio de hábito en las familias es clave para el logro de un mayor confort térmico al interior de las viviendas y sí es posible implementar el Confort Térmico.</p>

Nota. Elaboración propia con datos sustraídos de fuentes revisadas.

Discusión

De los resultados presentados en la tabla 2 se observa que en los análisis del confort térmico de viviendas en el exterior se encuentra que es posible alcanzar un confort térmico haciendo cambios en los materiales con los que se construyen las viviendas. En los trabajos presentados de logran mejoras en la temperatura media interior desde 6°C (Calderón, 2019), alcanzándose temperaturas en el interior de hasta 22°C (Lian et al., 2017) y logrando una disminución en la energía consumida en el sistema de calefacción de un 28,3% (Aguilera et al., 2018), en otros trabajos se alcanzó un mejoramiento en el consumo de energía del 33,38%.

Con respecto a las estrategias pasivas de calefacción en viviendas altoandinas presentados en la tabla 3, los reportes realizados por Molina et al. (2020), encuentran mejoras sustanciales en el confort térmico en las viviendas como lo muestra la mejora del orden de 9.5°C y hasta una temperatura de 16,6 °C en horas críticas de la madrugada respecto a la temperatura exterior de -7,1°C a las 6 a.m. (Molina et al., 2020). Asimismo, Harman, (2010) indica que el confort térmico alcanzado se debe a los materiales que se emplean como los ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, muros trombe - modelo fito toldo priorizando el uso de estrategias de climatización pasiva, porque son más fáciles de adaptar a viviendas existentes sin alterar las características formales y funcionales de la vivienda, logrando aumentar en 5°C

la temperatura interior. De igual modo Molina (2016) menciona que el método más apropiado para mejorar la temperatura interior es el calentamiento solar pasivo con el uso de diversas técnicas bioclimáticas. Además, Palma (2017) indica que el uso de vidrio doble y triple, logra reducir la conductividad térmica hasta $1.80 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$, en comparación a una ventana de vidrio simple que tiene $5.10 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$, logrando así disminuir la demanda energética por calefacción.

Conclusiones

Los resultados muestran que los sistemas o estrategias de calefacción y condiciones de operatividad (manejo nocturno de contraventanas hasta actividad humana, uso de cocinas a gas y uso de dos sistemas de calefacción solar activo) más eficientes lograron un aumento de la temperatura interior en $9,5^\circ\text{C}$ en promedio y hasta temperaturas de 22°C (en horas de madrugada) en zonas con una temperatura exterior de -7°C .

Las estrategias de climatización pasiva muestran ser fáciles de adaptar a viviendas existentes sin alterar las características formales y funcionales de la vivienda. El uso adecuado de aislamiento y de vidrios dobles o triples en la envolvente, logran disminuir la demanda energética por calefacción, debido a la disminución de la conductividad térmica hasta $1.80 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$, en comparación a una ventana de vidrio simple que tiene $5.10 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$.

Los métodos que buscan el confort térmico en trabajos de otros países también muestran una tendencia hacia la calefacción pasiva, haciendo énfasis principalmente en los materiales empleados y en el uso de materiales aislantes como fibras de madera, de vidrio, corcho granulado, poliuretano y poliestireno expandido y aislamiento térmico en las ventanas con doble acristalamiento como se observa en los trabajos presentados en la Tabla 2 de Ecuador, Colombia o España. Este aspecto también se observa en los trabajos de investigación nacionales remarcando que en nuestro país se buscan materiales típicos de la zona como el adobe y materiales aislantes en la envolvente de las viviendas con lana de roca y aislamiento térmico en las ventanas con doble acristalamiento.

Fuentes de financiamiento: La investigación fue autofinanciada.

Conflicto de interés: La autora declara que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna.

Agradecimiento: La autora agradece a la UNFV por la publicación de este artículo.

Referencias

- Aguilera, P., Viñas, C., Rodríguez, A. y Varela, S. (2018). Análisis de la influencia, en la demanda de climatización, de estrategias pasivas en viviendas con grandes superficies acristaladas, mediante un código de simulación. La casa Farnsworth. *Anales de Edificación*, (4) 3 34-43. https://www.researchgate.net/publication/328383684_Analisis_de_la_influencia_en_la_demanda_de_climatizacion_de_estrategias_pasivas_en_viviendas_con_grandes_superficies_acristaladas_mediante_un_codigo_de_simulacion_La_casa_Farnsworth_Analysis_of_the_in
- Calama, C., León, A. y Suárez, R. (2022). Climate change mitigation: thermal comfort improvement in Mediterranean social dwellings through dynamic test cells modelling, *International Journal of Energy and Environmental Engineering* <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00498-1>
- Calderón, F. (2019). Evaluación del mejoramiento del confort térmico con la incorporación de materiales sostenibles en viviendas en autoconstrucción en Bosa, Bogotá, Colombia. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 30-41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2019.09.02.03>
- Campos, X. (2019). Confort térmico y habitabilidad de la vivienda en el AA. HH. Edén del Manantial, en las lomas costeras El Paraíso. *Investiga Territorios*, (4), 107-123. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/investigaterritorios/article/view/21455>
- Castillo, E., Mite, J. y Pérez, J. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 303-309. <https://pt.scribd.com/document/556502444/influencia-de-los-materiales>

- Endara, C. y Jiménez, M. (2019). Evaluación de las transmitancias térmicas de la casa ecológica andina Pucp del distrito de Langui, provincia de Canas – Cusco, según los parámetros de la norma técnica peruana em.110, para mejorar las condiciones de confort térmico de las viviendas de la zona bioclimática alto andina en el Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio Digital de Tesis Universidad Andina del Cusco. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/2884/Christians_Mario_Tesis_bachiller_2019_Part.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Espinoza, R. (2014). Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de San Francisco de Raymina - Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales Alto Andinas. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional Universidad de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2648>
- Flores, A. (2017). Sistema de acondicionamiento solar pasivo para calefacción de viviendas altoandinas del Perú, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de la Energía, UTEC. [Tesis de pregrado, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio Institucional UTEC. https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/79/6/Flores%20Anthony_Tesis.pdf
- Giraldo, J. y Arango, J. (2020). Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo. *Revista Técnica “energía”,* 16 (II), 100-110. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/357>
- Harman, L. (2010). Confort Térmico en Viviendas Altoandinas: un enfoque integral, Care Perú. <https://studylib.es/doc/7104679/confort-t%C3%A9rmico-en-viviendas-altoandinas%E2%80%A6-un-enfoque>
- Holguino, A., Olivera, L. y Escobar, K. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas,* 20(3), 289-300. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2313-29572018000300003&lng=pt&nrm=iso
- Liang, X., Wang, Y. y Roskilly, T. (2015). Reduce Household Energy Consumption Using Passive Methods. *Energy Procedia,* 75 (2015), 1335-1340. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.203>
- López, M. (2003). Estrategias bioclimáticas en la arquitectura. Diplomado internacional. Universidad Autónoma de Chiapas. https://www.academia.edu/40179119/Maria_Lopez_de_Asiain_Estrategias_bioclimaticas_en_arquitectura
- Molina, C. y Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la construcción,* 11(2), 27-38. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000200004>
- Molina, J. (2016). Evaluación bioclimática de una vivienda rural alto andina de la comunidad de San Francisco de Raymina de Ayacucho. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://1library.co/document/y81e710z-evaluacion-bioclimatica-vivienda-andina-comunidad-francisco-raymina-ayacucho.html>
- Molina, J., Horn M. y Gómez, M. (2020). Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar. *Tecnia,* 30(1), 70-79. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.841>
- Palma, E. (2017). Estrategias de eficiencia energética para la vivienda rural de la zona bioclimática mesoandina de Cusco- Perú. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]. https://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/152969/1/Palma_Quispe_%20Melissa_Katheryn_M.pdf
- Ramos, E., Ocupa, F., Molina, J., Natividad, J., Espinoza, R. y Prieto, R. (2013). *Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Altoandinas.* Lima, Perú: CER-UNI. <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/12/Ramos-Martinez-Eduardo.pdf>
- Resano, D., Rodríguez, R. y Guillen, O. (2021). Passive Comfort Strategies for Typical Peruvian Meso-Andean Houses, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 943 (2021) 012029. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/943/1/012029/pdf>

Rivasplata, X. (2018). Modelo de vivienda climatizada para el Distrito de Calana utilizando métodos solares pasivos. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna, Perú]. Repositorio de la Universidad Privada de Tacna. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/481#:~:text=La%20tesis%20%E2%80%9CModelo%20de%20vivienda,una%20forma%20de%20logar%20confort>

Saavedra, G. (2014). Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas Arriba, distrito de Pisacoma, provincia Chucuito, región Puno. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4484>

Sánchez, L. (2020). El confort térmico en las viviendas rurales alto andinas y las condiciones de salubridad de las familias en los distritos de San José de Quero y Yanacancha en la región Junín. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4450>

Umán, S. (2019). Estrategias de climatización pasiva y confort térmico en la vivienda de adobe en la zona rural de Anta-Cusco, 2017. [Tesis de Maestría, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2860>

Wang, B. y Li, Y. (2020). Analysis of thermal energy storage system for energy saving reconstruction of building in region with heating provision and high sunshine. THERMAL SCIENCE (24) 5B, 3079-3087. <https://doi.org/10.2298/TSCI191028082W>