

# Estrategias de calefacción pasiva y el confort térmico en viviendas altoandinas en Apurímac - Perú

## Passive heating strategies and thermal comfort in high andean houses in Apurimac- Perú

RECIBIDO: MAYO 30 DE 2023 | REVISADO: JUNIO 14 DE 2023 | ACEPTADO: DICIEMBRE 30 DE 2023

AMANDA CERRÓN CONTRERAS<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The main objective of the research is to determine the impact of appropriate applications of passive heating strategies on the thermal comfort of the inhabitants of high Andean dwellings in Sabaino Apurímac, which have a cold climate and the problem of frost typical of these areas of Peru. This is a non-experimental, descriptive correlational research with non-probabilistic sampling. Measurements of thermal variables were taken at the study site to analyze the current situation faced by these areas and a survey of 34 specialists in the area was carried out to find the best passive strategies for improving the thermal comfort of high Andean housing. The results show that passive heating strategies are strongly associated with thermal comfort in high Andean homes. It is also concluded that the most suitable strategies that can be implemented in existing homes are zenithal skylights and attached greenhouses. Direct gain through windows facing north, east and west are more efficient in conjunction with the incorporation of insulating material in the envelope to achieve temperature increases of up to approximately 10°C.

**Keywords:** Passive heating systems, infiltrations, thermal comfort, solar incidence

### RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal determinar el impacto de las aplicaciones adecuadas de estrategias de calefacción pasiva sobre el confort térmico de los pobladores en viviendas alto andinas en Sabaino Apurímac que tienen un clima frío y el problema de las heladas típicas de estas zonas del Perú. Esta investigación es de diseño no experimental y descriptiva correlacional con muestreo no probabilístico. Se realizaron mediciones de las variables térmicas en el lugar de estudio para analizar la situación actual que enfrentan dichas zonas y una encuesta a 34 especialistas del área para encontrar las mejores estrategias pasivas de mejoramiento del confort térmico de viviendas de zonas altoandinas. Los resultados muestran que las estrategias de calefacción pasiva de calentamiento están asociadas fuertemente con el confort térmico en viviendas alto andinas. Asimismo, se concluye que las estrategias más idóneas que pueden implementarse en viviendas ya construidas son los tragaluces cenitales e invernaderos adosados. La captación directa a través de las ventanas orientadas al norte, este y oeste son más eficientes en conjunto con la incorporación de material aislante en la envolvente para lograr incrementos de temperatura de hasta 10°C aproximadamente.

**Palabras clave:** Sistemas de calefacción pasiva, infiltraciones, confort térmico, incidencia solar

<sup>1</sup>Filiación institucional: Escuela Universitaria de Posgrado, UNFV.  
Lima, Perú  
Correspondencia: acerron@unfv.edu.pe  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1518-3730>

DOI: <https://doi.org/10.24039/rcv20231121629>



## Introducción

El hombre desde sus orígenes siempre ha buscado la necesidad de encontrar en su vivienda las condiciones mínimas de confort interior, de no sentir ni frío ni calor, que lo ha llevado a través de los años hacia la búsqueda de diversos sistemas o estrategias de climatización pasiva que lo protejan del frío del microclima al que está expuesto y que repercute en su bienestar térmico.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), las llamadas heladas se producen en zonas sobre los 3000 m.s.n.m. de nuestra serranía. Los meses de bajas temperaturas pueden ser extremadamente intensos llegando a afectar la vida y salud, en especial en la población más vulnerable (INDECI, 2020).

Molina (2016) considera que en la zona rural existe un predominio del uso del adobe y tierra en los muros y suelo de las viviendas, respectivamente. El uso del adobe es bueno si no fuera por un inadecuado manejo del material, debido al mal cierre con otras componentes de la envolvente de la vivienda que ocasionan pequeñas grietas o agujeros por donde se pierde calor por infiltraciones.

Según De Decker (2012) un edificio tendrá un mayor o menor acceso a la radiación solar en función de cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno donde se encuentra el edificio, la forma del edificio y su orientación (citado en Franco-Medina y Bright-Samper, 2016). En su trabajo de investigación Javanroodi y Nik (2019) estudiaron las fluctuaciones de siete variables climáticas principales (velocidad del viento, dirección del viento, temperatura del aire, presión del aire, humedad relativa, radiación global y cobertura de nubes) a microescala con un intervalo de tiempo por hora para generar datos meteorológicos de microclima a través de un estudio de simulación CFD (Fluidodinámica computacional).

El uso de materiales de aislamiento térmico y el diseño de la estructura de aislamiento térmico a través de la envolvente externa se llevan a cabo para mejorar el rendimiento del aislamiento térmico de la habitación. Al mismo tiempo, tecnologías como el diseño de calefacción solar pasiva de la habitación combinado con la recolección de calor y la pared de almacenamiento y la luz solar adicional se adoptan para cumplir con los requisitos de confort térmico interior (Li y Zou, 2022). El aislamiento térmico de la envolvente es necesario para garantizar el buen funcionamiento de los sistemas de calefacción solar pasiva; plantear aislamientos térmicos en muros y techo reduce las pérdidas térmicas en las noches frías, y de esta manera el calor acumulado

brindará las condiciones adecuadas para la comodidad de los ocupantes al mantener las temperaturas interiores dentro del rango de confort térmico (Giraldo y Arango, 2020).

Medina y Escobar, citando a Ogunkah y Yang (2012) señalan que como respuesta a las condiciones del clima es imperante la selección de los materiales de las estrategias a aplicar y, además, esta información debe ser frecuentemente evaluada con el fin de hacer una consideración apropiada y justificable de la elección (Medina y Escobar, 2019).

Las estrategias de calefacción pasiva son elementos constructivos que adecuadamente diseñados y con una correcta tecnología solar pasiva acorde al clima dan lugar a un confort higrotérmico o reducen la demanda de energía para calefacción (Rivasplata, 2018). Las estrategias bioclimáticas pasivas tienen cuatro pilares sobre la energía solar en los cuales se fundamentan: su captación, su acumulación, su distribución y su almacenamiento; según Neila (2004) “al fallar uno de estos pilares la estructura bioclimática se derrumbaría” (Pari et al., 2021, p.71).

Según Müller (2002) la climatización pasiva y el aprovechamiento de la energía solar en la vivienda ya sea para refrigerar o calentar, son estrategias de uso cada vez más frecuente en el diseño de viviendas sustentables, tanto en países ricos como en vías de desarrollo: permiten el mejoramiento de las condiciones de confort térmico a bajo costo ecológico como económico y por lo tanto viable a largo plazo y accesible para la mayoría de las personas. Los principales sistemas de calefacción pasiva son el invernadero adosado a la vivienda conocidos también como solariums que representan zonas de amortiguamiento al proteger el espacio interior adyacente calentado contra cambios externos repentinos (Vukadinovic et al., 2018); las claraboyas o tragaluces cenitales, ventanas, el muro Trombe, entre los más usados para calefacción pasiva.

Mamani (2022), propuso el mejoramiento en los componentes de la envolvente, en donde la orientación de las viviendas debe ser de sur a norte su eje longitudinal, el muro de mayor área, las ventanas y superficies transparentes deben estar orientadas hacia el este y oeste. En muros añade un material llamado aislante térmico con doble capa de aluminio adherida a burbujas de polietileno con un espesor de 6 mm (milímetros). En la cubierta añade una capa de paja de 2 cm, otra de estera de totora de 1cm y aislante térmico con doble capa de aluminio adherida a burbujas de polietileno con un espesor de 4 mm. En la cubierta amplia el área de policarbonato translucido en 4.01 m<sup>2</sup> para obtener una mayor ganancia de calor por radiación

solar. Para la protección en ventanas, añade poliestireno expandido dentro de la contraventana.

En la investigación realizada por Zhao et al. (2022) mencionan que la aplicación de calefacción pasiva de un espacio solar adjunto juega un papel importante en la reducción de carbono de la construcción rural en China. Cuando la radiación solar es intensa, los adjuntos sunspace (espacio solar) tienen una excelente captación de calor y por efecto de calentamiento pueden crear un interior satisfactorio.

Beyraghshamshir y Sarkardehei (2023) evaluaron los efectos de un atrio en el patio central en el rendimiento energético de un edificio con el software EnergyPlus. Simularon dos modelos hipotéticos que involucraron el diseño de un edificio de hotel con y sin atrio en la ciudad de Belgrado obteniendo como resultado que el edificio, sin un atrio, consumía más energía para fines de calefacción y refrigeración que el edificio con atrio. Cuando un atrio recibe la luz del sur, a través de la cual absorbe el calor del sol como un invernadero, reduce así la energía de calefacción.

Según Arrieta y Maristany (2018) citando a Nematchoua et al. (2014) señalan que el confort térmico no solo depende de factores ambientales sino que también de las condiciones físicas, fisiológicas y psicológicas del ser humano. Es por lo que su cuantificación resulta compleja, subjetiva y variable. Pari et al. (2021) señalan que es importante que los estándares internacionales que regulan los límites de confort no pueden abarcar especialidades para cada tipo de clima, así como las preferencias de cada población, la aclimatación y sus expectativas cambian, por lo que es necesario determinar condiciones particulares para cada lugar.

El objetivo del presente estudio fue determinar en qué medida las estrategias de calefacción pasiva se asocian con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas, y plantear las estrategias de calefacción pasiva que puedan implementarse en las viviendas altoandinas en Sabaino -Apurímac.

## Método

La investigación es de tipo descriptivo correlacional porque tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre las variables para determinar el grado de confort térmico que se logra por las estrategias de calefacción pasiva en las viviendas rurales. Asimismo, el diseño de la investigación es no experimental porque se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural y el estudio es de

corte transversal.

La población objetivo está constituida por las viviendas que no cuentan con bienestar térmico (se estima en más de 400 viviendas en el distrito de Sabaino-Apurímac). Se utilizó el muestreo no probabilístico, ya que la elección se realizó a conveniencia del investigador. La muestra se determinó en 34 profesionales especialistas en el área de Arquitectura Sostenible y Energías Renovables de la Universidad Nacional Federico Villarreal y la Universidad Nacional de Ingeniería

Los instrumentos aplicados son el cuestionario y la ficha de observación con sus correspondientes técnicas: la encuesta y la observación. La encuesta estuvo dirigida a evidenciar las estrategias de calefacción pasiva óptimas a plantearse para viviendas rurales altoandinas para la mejora del confort térmico del poblador por medio de preguntas a docentes especialistas en el área, mientras que la observación fue dirigida a conocer algunas características de la vivienda para dar las pautas de adecuación de estrategias de calefacción pasiva a las viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac. Para determinar la confiabilidad del instrumento se usó el alfa de Cronbach en una prueba piloto, el valor obtenido del alfa de Cronbach fue de 0,866 lo cual nos indica que la confiabilidad del instrumento es muy buena; y además fue validada por tres expertos.

El procedimiento consistió en el análisis climático del lugar de estudio (mediciones los días 14 y 15 de junio de 2022 de temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad de vientos). Luego se analizó la situación actual de las viviendas rurales en Sabaino- Apurímac (orientación, materiales de la envolvente, etc.) y se realizó una encuesta (utilizando la herramienta digital Google Forms) la cual se validó mediante juicio de expertos y se efectuó de manera virtual a los 34 especialistas del área en el año 2022. Las preguntas que se desarrollaron en la encuesta están vinculadas a las dimensiones de las variables (las estrategias bioclimáticas de calefacción pasiva y el confort térmico). Los datos fueron recogidos a través de una encuesta y diversas investigaciones con el objetivo de analizar la relación entre las estrategias bioclimáticas de calefacción pasiva y el confort térmico. Para ello, se utilizó la prueba de Spearman con el objetivo de determinar la correlación entre ambas variables y además tablas y gráficas estadísticas descriptivas mediante el software estadístico SPSS (Statistic Package for the Social Science).

## Resultados

### Ubicación del área de estudio y características climáticas exteriores

El centro poblado de Sabaino se localiza en el departamento de Apurímac, provincia de Antabamba, distrito de Sabaino, a una latitud sur de  $14^{\circ} 18' 49''$  y longitud oeste de  $72^{\circ} 56' 42''$ , a una altitud de 3 428 m.s.n.m.

El clima en Sabaino según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite – SENAMHI es de tipo lluvioso, frío y con otoño e invierno seco. Esta región presenta temperaturas máximas de  $19^{\circ}\text{C}$  en promedio durante el año y temperaturas mínimas de hasta  $-3^{\circ}\text{C}$  en el mes más frío de invierno; con precipitaciones

acumuladas anuales que van desde los 500 mm. hasta los 1200 mm. aproximadamente (SENAMHI, 2020). La temperatura media anual en la zona es de  $6,61^{\circ}\text{C}$ , con una temperatura mínima promedio de  $1.30^{\circ}\text{C}$  y temperatura máxima promedio de  $13.94^{\circ}\text{C}$  y salto térmico del mes más frío en julio con un valor de  $13.61^{\circ}\text{C}$ . La precipitación es de 45,15 mm. al año, con bajas precipitaciones en los meses más fríos: junio, julio y agosto (se obtuvo los siguientes datos climatológicos en el periodo de años del 2010 al 2019 de Nasa Power).

Tabla 1  
Parámetros climáticos en Sabaino Apurímac (Latitud -14.3136, Longitud -72.945)

Datos climáticos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom.
T° prom a 2m (°C)	7.04	6.83	6.85	6.67	6.01	5.25	4.97	5.81	7.02	7.45	8.06	7.41	6.61
T° min prom a 2m (°C)	2.00	2.03	2.03	1.98	0.95	0.02	-0.64	-0.09	1.30	1.66	2.15	2.18	1.30
T° max prom a 2m (°C)	13.95	13.46	13.52	13.28	13.10	12.80	12.97	13.92	14.84	15.17	15.81	14.45	13.94
Humedad relativa (%)	73	78	78	76	71	68	63	59	61	61	60	69	68.03
Precipitación (mm/a)	93.08	104.57	71.18	40.49	9.52	2.69	6.68	7.89	17.78	44.76	50.32	92.82	45.15
Irradiación total incidente (KWh/m2)	5.60	5.24	5.27	5.09	5.37	5.26	5.35	5.74	5.89	6.16	6.47	5.76	5.60

Nota. Datos promedios del 2010 al 2019 obtenidos de Nasa Power <https://power.larc.nasa.gov/>

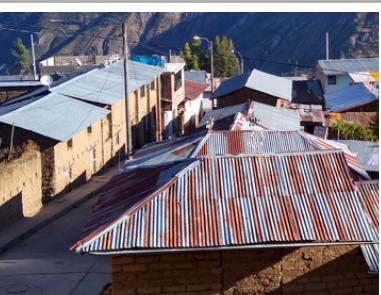
De los datos mostrados en la Tabla 1, el lugar de estudio presenta una irradiación total incidente considerable con valores entre 5 KWh/m<sup>2</sup> a 6 KWh/m<sup>2</sup>. Además muestra temperaturas mínimas promedio entre  $-0.09^{\circ}\text{C}$  a  $2.18^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa entre 59% a 78%. En la tabla señalada, se observa que la temperatura promedio exterior es de  $6.61^{\circ}\text{C}$  y según la ecuación de confort de Humphreys (temperatura neutral o de confort) se obtiene una temperatura de confort de  $15.42^{\circ}\text{C}$  con margen de error de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose un rango de confort térmico entre  $18.43^{\circ}\text{C}$  y  $12.43^{\circ}\text{C}$  para el lugar de estudio en Sabaino.

### Análisis de la situación actual de las viviendas en la zona de estudio

Las viviendas rurales predominantes en el lugar de estudio en Sabaino Apurímac, son de adobe y los principales problemas identificados en las viviendas se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Principales problemas identificados en viviendas rurales en la zona de estudio

Problemas identificados	Características
	 <p>Infiltraciones de aire entre las juntas del techo y paredes.</p>
	 <p>Infiltraciones de aire en puertas y ventanas</p>
	 <p>Envolvente en mal estado (techos, paredes, ventanas y puertas)</p>
	 <p>Perdidas de calor por material de alta transmisión térmica del techo de chapa metizada.</p>

## Análisis del factor ambiental en el lugar de estudio

Se presentan resultados de mediciones de las variables ambientales en el interior de la vivienda y del ambiente exterior para analizar las condiciones climáticas en la zona de estudio en Sabaino Apurímac año 2022.

## Temperatura interior y exterior

Se realizaron las mediciones de la temperatura interior y exterior en una vivienda típica en el lugar de investigación los días 15 y 16 de junio de 2022, los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla y figura.

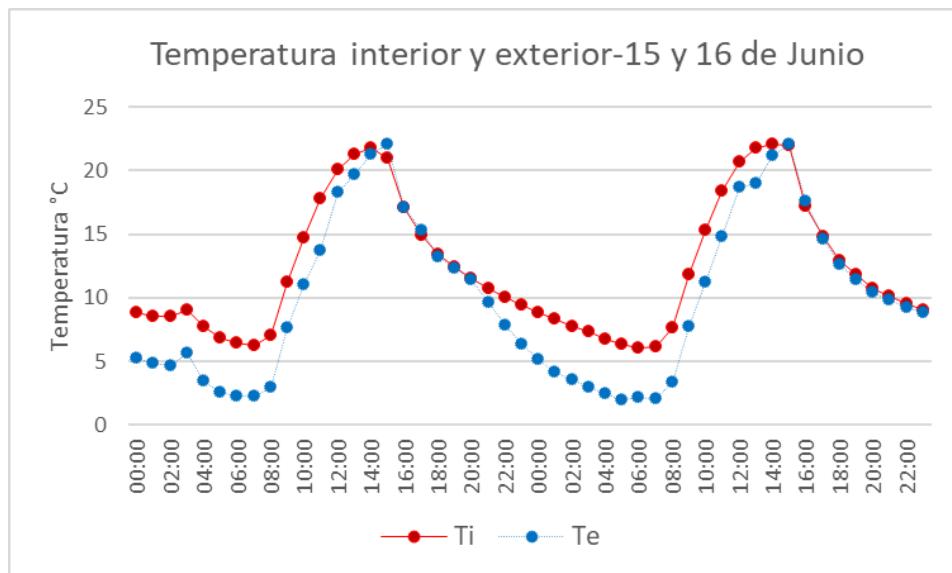
Tabla 2

*Temperatura exterior y temperatura interior en el lugar de estudio*

Horas del día	15-Jun		16-Jun	
	Temperatura exterior (°C)	Temperatura interior (°C)	Temperatura exterior (°C)	Temperatura interior (°C)
00:00	5.30	8.80	5.2	8.8
01:00	4.90	8.50	4.2	8.3
02:00	4.70	8.50	3.6	7.7
03:00	5.70	9.00	3	7.3
04:00	3.50	7.70	2.5	6.8
05:00	2.60	6.90	2	6.4
06:00	2.30	6.50	2.2	6.1
07:00	2.30	6.30	2.1	6.2
08:00	3.00	7.10	3.4	7.6
09:00	7.60	11.20	7.7	11.8
10:00	11.00	14.70	11.2	15.3
11:00	13.70	17.80	14.8	18.4
12:00	18.30	20.10	18.7	20.7
13:00	18.90	21.30	19	21.8
14:00	21.10	21.80	21.2	22.1
15:00	22.30	21.00	23.3	22
16:00	16.10	17.10	16.6	17.2
17:00	14.20	14.90	14.1	14.8
18:00	13.20	13.40	12.6	12.9
19:00	12.30	12.40	11.4	11.8
20:00	11.40	11.50	10.4	10.7
21:00	9.60	10.70	9.8	10.1
22:00	7.80	10.00	9.2	9.5
23:00	6.40	9.40	8.8	9

Figura 2

Temperatura exterior y temperatura interior en el lugar de estudio



En la Tabla 2 y Figura 2, se puede observar que la Tint oscila entre 6.3°C a 21.8°C con un salto térmico de 15.5°C y la Tex oscila entre 2.3°C a 23.6°C con un salto térmico de 21.3°C. La temperatura promedio exterior e interior del día 15 fue de 9.93°C y 12.36°C respectivamente y del 16 de junio fue de 9.88°C y 12.22°C.

Se observa que el 15 de junio la temperatura exterior llega a un pico a las 15 horas con un valor de 22.3°C y un descenso de temperatura a las siete horas con un valor de 2.3°C. La temperatura interior alcanza un pico a las 14 horas con un valor de 21.8°C y un descenso a las siete horas con un valor de 6.3°C.

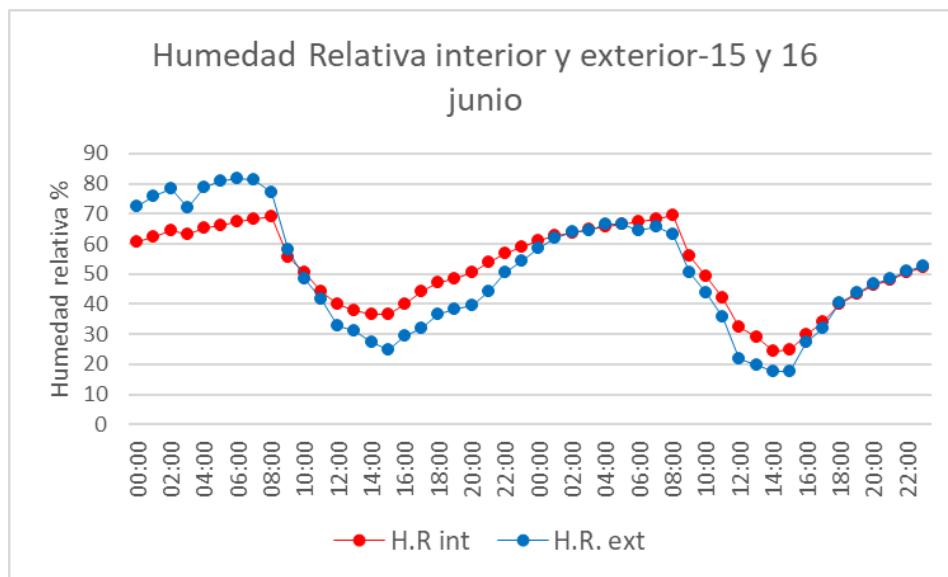
### Humedad relativa

Se realizaron las mediciones de la humedad relativa interior (H.R. int) en una vivienda típica y la humedad relativa exterior (H.R. ext) en el lugar de investigación los días 15 y 16 de junio de 2022. Los datos obtenidos se muestran en las siguientes tablas y figuras, donde se observa que el 15 de junio H.R. exterior llega a un pico a las seis horas con un valor de 81.7% y un descenso a las 15 horas con un valor de 24.6%. La H.R. interior llega a un pico a las ocho horas con un valor de 69.1% y un descenso a las 14 horas con un valor de 36.6%.

Tabla 3  
*Humedad relativa interior y exterior en el lugar de estudio*

Horas del día	15-Jun		16-Jun	
	H.R. ext (%)	H.R. int (%)	H.R. ext (%)	H.R. int (%)
00:00	72.6	60.6	58.6	61.2
01:00	75.9	62.2	61.7	62.9
02:00	78.3	64.6	64	63.8
03:00	72.2	63.1	64.5	64.9
04:00	78.7	65.1	66.7	65.6
05:00	80.7	66.2	66.6	66.4
06:00	81.7	67.2	64.6	67.2
07:00	81.2	68.4	65.9	68.3
08:00	77.2	69.1	63.3	69.6
09:00	58.3	55.5	50.5	56.2
10:00	48.5	50.7	43.6	49.3
11:00	41.5	44.2	35.6	41.9
12:00	32.8	39.8	22	32.2
13:00	31	38	19.7	29.1
14:00	27.3	36.6	17.6	24.2
15:00	24.6	36.8	17.7	25
16:00	29.5	39.9	27.3	29.7
17:00	32	44.2	32	33.9
18:00	36.8	47	40.2	40.1
19:00	38.2	48.5	43.6	43.4
20:00	39.5	50.4	46.9	46.3
21:00	44.4	53.7	48.3	48.1
22:00	50.5	56.7	50.8	50.6
23:00	54.2	59.1	52.8	52

Figura 3  
Humedad relativa interior y exterior en el lugar de estudio



## Irradiancia solar

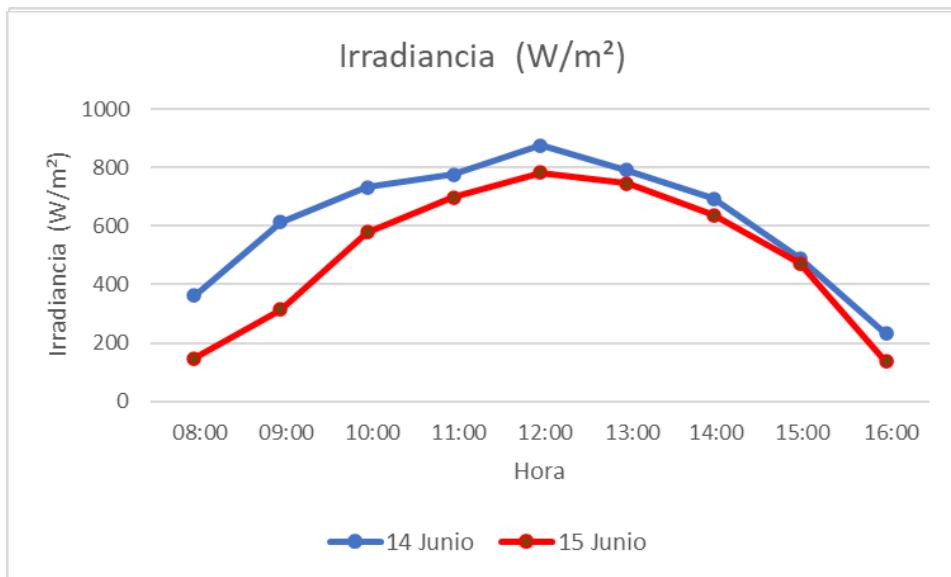
Se realizaron las mediciones de la irradiancia solar, para evaluar el potencial solar, utilizando el

fotoradiómetro Deltaohm, en la zona de investigación, considerando la posición horizontal del equipo. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 4 y Figura 4.

Tabla 4  
Irradiancia solar en el lugar de estudio

Hora	14-Jun	15-Jun
	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )	Irradiancia (W/m <sup>2</sup> )
08:00	361	146
09:00	614	314
10:00	732	579
11:00	776	699
12:00	877	782
13:00	791	746
14:00	693	637
15:00	490	473
16:00	231	136

Figura 4  
Irradiancia solar en el lugar de estudio



En la Figura 4, el día 14 de junio se observa que la mayor cantidad de energía captada se da entre las 9 a 15 horas, teniendo una irradiancia mínima de 231 W/m<sup>2</sup> y un máximo de 877 W/m<sup>2</sup> al medio día, obteniendo una irradiación total de 5.57 kWh/m<sup>2</sup>/día. Y el día 15 de junio se observa que la mayor cantidad de energía captada se da entre las 10 a 15 horas, teniendo una irradiancia mínima de 136 W/m<sup>2</sup> y un máximo de 782 W/m<sup>2</sup>, obteniendo una irradiación total de 4.51 kWh/m<sup>2</sup>/día.

### Contrastación de Hipótesis

Planteamiento: Si el Valor p calculado es  $\geq 0.05$ , se aceptará la hipótesis nula ( $H_0$ ); pero, si el valor p calculado es  $< 0.05$ , se aceptará la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

### Hipótesis General

$H_0$ : Las estrategias de calefacción pasiva no se asocian significativamente con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

$H_a$ : Las estrategias de calefacción pasiva se asocian significativamente con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Según los resultados obtenidos de la encuesta se comprobó que la hipótesis general obtuvo un valor del coeficiente de Rho de Spearman de 0,611 y una significancia del valor p menor a 0.05, aceptándose la hipótesis alterna, que las estrategias de calefacción pasiva

pasiva se asocian con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

### Hipótesis específica 1

$H_0$ : Las estrategias de calefacción pasiva considerando el factor ambiental no se asocian, significativamente, con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

$H_a$ : Las estrategias de calefacción pasiva considerando el factor ambiental se asocian, significativamente, con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Según los resultados obtenidos, se comprobó que la primera hipótesis específica obtuvo un valor de Rho de Spearman de 0,750 y una significancia del valor p menor a 0.05, aceptándose la hipótesis alterna, que las estrategias de calefacción pasiva según el factor ambiental se asocian significativamente con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino- Apurímac, año 2022.

### Hipótesis específica 2

$H_0$ : Las estrategias de calefacción pasiva considerando el comportamiento térmico de la envolvente no se asocian, significativamente, con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Ha: Las estrategias de calefacción pasiva considerando el comportamiento térmico de la envolvente se asocian, significativamente, con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Según los resultados obtenidos, se comprobó que la segunda hipótesis específica obtuvo un valor de Rho de Spearman de 0,668 y una significancia del valor p menor a 0.05, aceptándose la hipótesis alterna, que las estrategias de calefacción pasiva considerando el comportamiento térmico de la envolvente se asocian significativamente con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

### Hipótesis específica 3

Ho: Las estrategias de calefacción pasiva considerando los sistemas de calefacción pasiva no se asocian con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Ha: Las estrategias de calefacción pasiva considerando los sistemas de calefacción pasiva se asocian con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

Según los resultados obtenidos, se comprobó que la tercera hipótesis específica obtuvo un valor de Rho de Spearman de 0,580 y una significancia del valor p menor a 0.05, aceptándose la hipótesis alterna, que las estrategias de calefacción pasiva considerando los sistemas de calefacción pasiva se asocian con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac, año 2022.

## Discusión

Molina (2016) obtiene que, en una vivienda de adobe acondicionada pasivamente con claraboyas en el dormitorio norte, con un piso aislado en la sala, un techo aislado con un invernadero adosado a las paredes de las habitaciones logró una temperatura media de 15,7°C en el dormitorio norte, la cual resulta mayor en 6°C a la temperatura exterior de 9°C. Además, Giraldo y Arango (2020) consideran que todo sistema solar pasivo debe contar con un buen sistema que acumule la energía generada térmicamente para que de esta manera el calor generado por el sol sea usado por las noches. De la misma forma, Li y Zou (2022) afirman que la tecnología de calefacción solar pasiva combinada con un buen sistema de recolección de calor y pared de almacenamiento y la luz solar se adoptan para

cumplir con los requisitos de confort térmico. De la encuesta realizada, un 85,3% considera que es posible contrarrestar las bajas temperaturas a partir del diseño y estrategias de calefacción pasivas a tal punto que la temperatura interior esté por encima de 10°C respecto al exterior en la zona altoandina.

En el trabajo presentado por Wieser et al. (2021) obtienen condiciones de confort térmico en condiciones extremas climáticas a 4 200 msnm en Puno, con la captación de la radiación solar acompañado con aislamiento de la envolvente, la hermeticidad del conjunto y el uso correcto de los vanos para retener el calor ganado. Estas fueron las principales estrategias usadas en conjunto con la intensa radiación solar. Gastines et al. (2015), obtuvieron que la ganancia al norte es máxima en el mes más frío, junio, a pesar de la menor incidencia ya que los rayos del sol llegan con un ángulo de incidencia menor. Al este y oeste reciben radiación solo en la mañana y en la tarde respectivamente. Sin embargo, Mamani (2022), obtuvo que el este y oeste son las mejores orientaciones. De la encuesta realizada un 82,4% considera que las horas de insolación al día en zonas altoandinas es suficiente para el óptimo funcionamiento de los sistemas de calefacción pasiva para lograr el confort térmico en viviendas altoandinas. De esta forma, se observa que la radiación solar es fundamental para el correcto funcionamiento de los sistemas de calefacción pasiva por lo que el lugar de estudio al presentar buenas condiciones de radiación solar en los meses más fríos y con la implementación de dichos sistemas pasivos lograría alcanzar el confort térmico.

Molina (2016) observó que debido a un inadecuado manejo del uso del adobe en viviendas en zonas rurales y al mal cierre con otras componentes de la envolvente generan pérdidas de calor por infiltraciones. Pari et al. (2021) notaron que la primera estrategia más usada es la mejora térmica de la envolvente, con paredes de gran espesor y aislamiento en falso techo. Molina et al., (2020) mencionan que solo con técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo y manejo de contraventana se logra incrementos de temperatura interior de 5.3°C. De la encuesta realizada, un 97,1% considera que las pérdidas de calor a través de la envolvente de las viviendas altoandinas se deben, principalmente, a las infiltraciones de aire.

Fernández et al. (2020) obtuvieron que el uso de balcones acristalados en dormitorios como estrategia bioclimática para climas fríos es viable. Asimismo, Pari et al. (2021) consideran, principalmente, estrategias de mejora térmica de la envolvente, captación solar por sistemas directos (ventanas translúcidas en el techo),

indirectos (Pared Trombe) y semidirectos por pared (invernaderos adosados de vidrio y plástico con marco de madera).

Para Corrales (2012) los sistemas pasivos más eficaces para calentar viviendas son el sistema solar pasivo directo, claraboyas y/o patios con techo vidriado, además de tener un buen aislamiento térmico en la envoltura de cierre. De la encuesta realizada, respecto a la calefacción pasiva, un 67,6% considera que las estrategias óptimas para captar la radiación solar e incrementar la temperatura interior son los tragaluces cenitales e invernaderos adosados.

## Conclusiones

Las estrategias de calefacción pasiva y su impacto en el logro del confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac sería favorable de darse; teniendo en cuenta los sistemas de calefacción pasiva, la orientación y la captación directa a través de las ventanas orientadas al norte, este y oeste. En conjunto, la incorporación de material aislante en la envolvente permite lograr incrementos de temperatura de hasta 10°C aproximadamente.

Las estrategias de calefacción pasiva teniendo en cuenta los sistemas de calefacción pasiva se asocian significativamente con el confort térmico de los pobladores en viviendas altoandinas en Sabaino-Apurímac; asimismo, los sistemas de calefacción pasiva más convenientes de implementar serían los tragaluces cenitales e invernaderos adosados y el Muro Trombe con mejoras en su diseño.

## Recomendaciones

Se requiere instalar una estación meteorológica para monitorear las variables climáticas que facilitaría una mejor comprensión del impacto que generan en el confort de las viviendas porque no existen datos precisos en esta zona de estudio.

**Fuente de Financiamiento:** Este trabajo fue autofinanciada por el autor

**Conflicto de Interés:** La autora del artículo declara que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado al mismo.

## Referencias

- Beyraghshamshir, M y Sarkardehei, E. (2023). A comparison of the cooling and heating performance of two passive systems of central courtyards and atriums at an elementary school in Yazd City, *Solar Energy*, 252, 156-162. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X23000403>
- Corrales, M. R. (2012). Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz. Puno, Perú: XIX. Simposio Peruano de Energía solar y del Ambiente (XIX SPES). <https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI-f5e2c8eef3189e532510aa7b6b4d9d83>
- Fernández, J., Malheiro, R., Castro, M., Gervasio H., Silva, S. y Mateus, R. (2020). Thermal performance and comfort condition análisis in a vernacular building with a glazed balcony. *Energies*, 13(624). [https://www.researchgate.net/publication/338970086\\_Thermal\\_Performance\\_and\\_Comfort\\_Condition\\_Analysis\\_in\\_a\\_Vernacular\\_Building\\_with\\_a\\_Glazed\\_Balcony#fullTextContent](https://www.researchgate.net/publication/338970086_Thermal_Performance_and_Comfort_Condition_Analysis_in_a_Vernacular_Building_with_a_Glazed_Balcony#fullTextContent)
- Franco-Medina, R. y Bright-Samper, P. J. (2016). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad. Aproximación histórica. *Revista de Arquitectura*, 18 (2), p. 95-106. <https://www.redalyc.org/journal/1251/125148006009/html/>
- Gastines, M. Correa, E y Pattini, A. (2015). Evaluación del balance energético de ventanas en mendoza. Impacto de su tecnología y orientación. *ASADES* (Argentina), 19(2015), 1-12. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/142740/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/142740/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 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>
- Instituto Nacional de Defensa Civil -INDECI (2020). *Temporada de bajas temperaturas*. <https://portal.indeci.gob.pe/minisites/bajastemperaturas2020/>
- Javanroodi, K.y Nik, V.M. (2019). Impacts of Microclimate Conditions on the Energy Performance of Buildings in Urban Areas. *Buildings* 9(189) [https://www.researchgate.net/publication/335228189\\_Impacts\\_of\\_Microclimate\\_Conditions\\_on\\_the\\_Energy\\_Performance\\_of\\_Buildings\\_in\\_Urban\\_Areas](https://www.researchgate.net/publication/335228189_Impacts_of_Microclimate_Conditions_on_the_Energy_Performance_of_Buildings_in_Urban_Areas)

- Li, L. y Zhou, J. (2022). Application research of solar heating technology in rural buildings in Western Sichuan Plateau. *Energy Reports*, 8 (7), 295-306. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722009192>
- Mamani, F. K. (2022). Evaluación del confort térmico de viviendas rurales sismorresistentes construidas por el Programa Nacional de Vivienda Rural, Juliaca-Puno 2022. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97926>
- Medina N. & Escobar, J. (2019). Envolventes eficientes: Relación entre condiciones ambientales, espacios confortables y simulaciones digitales. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 1(1), 90-109. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2019.21.1.2140>
- 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://library.co/document/y81e7oz-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 altoandina para lograr el confort térmico con energía solar. *Tecnia*, 30(1), 70-79. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.841>
- Müller, E. 2002. Manual de diseño para viviendas con climatización pasiva. Universidad de Kassel, Alemania. <https://docplayer.es/5005434-Manual-de-diseno-para-viviendas-con-climatizacion-pasiva.html>
- Pari, D., Cronemberger, J. y Frederico, C. (2021). Confort térmico en viviendas sociales en la zona Mesoandina de Perú-soluciones para mejorar la calefacción pasiva usando materiales autóctono. *Latino-americana de Ambiente Construido y Sustentabilidad* de, 2(6), 1-12. [https://www.researchgate.net/publication/356196996\\_Confort\\_termico\\_en\\_viviendas\\_sociales\\_en\\_la\\_zona\\_Mesoandina\\_de\\_Peru\\_-\\_soluciones\\_para\\_mejorar\\_la\\_calefaccion\\_pasiva\\_usando\\_materiales\\_autoctonos](https://www.researchgate.net/publication/356196996_Confort_termico_en_viviendas_sociales_en_la_zona_Mesoandina_de_Peru_-_soluciones_para_mejorar_la_calefaccion_pasiva_usando_materiales_autoctonos)
- Rivasplata, X. (2018). Modelodeviviendaclimatizada 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%20>
- tesis%20%E2%80%9CModelo%20de%20vivienda,una%20forma%20de%20lograr%20confort
- Vukadinovic, A., Radosavljevic, J., Dordevic, A., Vasovic, D. y Janackovic, G. (2018, 11 al 12 de octubre). Sunspaces as passive design elements for energy efficient and environmentally sustainable housing [Paper presentation]. *VIII International Conference Engineering and Environmental Protection*, Zrenjanin, Serbia. [https://www.researchgate.net/publication/328531566\\_SUNSPACES\\_AS\\_PASSIVE\\_DESIGN\\_ELEMENTS\\_FOR\\_ENERGY\\_EFFICIENT\\_AND\\_ENVIRONMENTALLY\\_SUSTAINABLE\\_HOUSING#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/328531566_SUNSPACES_AS_PASSIVE_DESIGN_ELEMENTS_FOR_ENERGY_EFFICIENT_AND_ENVIRONMENTALLY_SUSTAINABLE_HOUSING#fullTextFileContent)
- Wieser, M., Rodríguez-Larraín, S. y Onnis, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo en Orduña, Puno, Perú. *Estoa*, 10(19), 10-21. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/estoa/v10n19/1390-9274-estoa-10-19-00010.pdf>
- Zhao, J., Liu, D. y Lu, S. (2022). Research on the Indoor Thermal Environment of Attached Sunspace Passive Solar Heating System Based on Zero-State Response Control Strategy. *Appl. Sci.* 2022 (12), 855. <https://doi.org/10.3390/app12020855>