South American Publishing

SAP Land and Architecture. 2025; 4:265
doi: 10.56294/la2025265

ORIGINAL

Passive Strategies in Rural Housing: Optimization of thermal comfort in cold humid climate, Vereda San Antonio - Ospina

Estrategias Pasivas en Viviendas Rurales: Optimización del confort térmico en clima frío húmedo, Vereda San Antonio- Ospina

Adriana Sofía Ruiz Salazar[1]

[1]Universidad CESMAG. Colombia.

Cite as
Ruiz Salazar AS. Passive Strategies in Rural Housing: Optimization of thermal comfort in cold humid climate, Vereda San Antonio - Ospina. SAP Land and Architecture. 2025; 4:265. https://doi.org/10.56294/la2025265

Publication History
Submitted: 16-10-2024
Revised: 09-02-2025
Accepted: 28-08-2025
Published: 29-08-2025

Corresponding Author
Adriana Sofía Ruiz Salazar

ABSTRACT

The research focused on the application of bioclimatic strategies in rural housing in the village of San Antonio, in Ospina, Nariño. Bioclimatic architecture was defined as a design approach that integrated the climatic environment and natural resources to create comfortable and sustainable spaces. In this context, the study sought to respond to the challenges of the cold humid climate characteristic of the region, where low temperatures and high humidity had a negative impact on the habitability of the houses. To address this problem, a detailed analysis of variables such as temperature, relative humidity, wind direction, topography and vegetation was carried out. Data collection was carried out through IDEAM records and in situ measurements with specialized instruments, which allowed us to understand the climatic patterns and their impact on thermal comfort conditions. The results showed that the relative humidity reached high values, generating risks of condensation and deterioration of materials, while the minimum temperatures represented a challenge for the natural heating of the houses. Based on the Givoni diagram, passive strategies such as the Trombe wall, bioclimatic greenhouses, bioclimatic windows and wood fiber insulation were selected to optimize the capture and conservation of solar energy. These strategies were evaluated through simulations and construction analysis, which demonstrated their effectiveness in improving thermal comfort and energy efficiency. In conclusion, the research validated that the implementation of these passive solutions made it possible to adapt rural dwellings to their climatic context, guaranteeing wellbeing for the inhabitants and reducing dependence on active air conditioning systems.

Keywords: Bioclimatic Architecture; Thermal Comfort; Passive Strategies; Cold-Humid Climate; Sustainability.

RESUMEN

La investigación se centró en la aplicación de estrategias bioclimáticas en viviendas rurales de la vereda San Antonio, en Ospina, Nariño. Se definió la arquitectura bioclimática como un enfoque de diseño que integró el entorno climático y los recursos naturales para crear espacios confortables y sostenibles. En este contexto, el estudio buscó responder a los desafíos del clima frío húmedo característico de la región, donde las bajas temperaturas y la alta humedad incidieron negativamente en la habitabilidad de las viviendas. Para abordar esta problemática, se realizó un análisis detallado de variables como temperatura, humedad relativa, dirección de vientos, topografía y vegetación. La recolección de datos se llevó a cabo mediante registros del IDEAM y mediciones in situ con instrumentos especializados, lo que permitió comprender los patrones climáticos y su impacto en las condiciones de confort térmico. Los resultados evidenciaron que la humedad relativa alcanzó valores elevados, generando riesgos de condensación y deterioro de materiales, mientras que las temperaturas mínimas representaron un desafío para la calefacción natural de las viviendas. A partir del diagrama de Givoni, se seleccionaron estrategias pasivas como el muro Trombe, invernaderos bioclimáticos, ventanas bioclimáticas y aislantes de fibra de madera, orientadas a optimizar la captación y conservación de la energía solar. Dichas estrategias se evaluaron mediante simulaciones y análisis constructivos, lo que demostró su eficacia en la mejora del confort térmico y la eficiencia energética. En conclusión, la investigación validó que la implementación de estas soluciones pasivas permitió adaptar las viviendas rurales a su contexto climático, garantizando bienestar para los habitantes y reduciendo la dependencia de sistemas activos de climatización.

Palabras clave: Arquitectura Bioclimática; Confort Térmico; Estrategias Pasivas; Clima Frío-Húmedo; Sostenibilidad.

© 2025; The Authors. This Open access article is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCCIÓN

La arquitectura bioclimática se define como un enfoque del diseño arquitectónico que integra de manera armónica las condiciones climáticas y los recursos naturales del entorno con el propósito de crear espacios habitables, confortables y sostenibles. Este enfoque prioriza el uso eficiente de la energía y la reducción del impacto ambiental a través de estrategias activas o pasivas que aprovechan elementos como la orientación solar, la ventilación natural y las propiedades térmicas de los materiales.[1,2]

Bajo esta perspectiva, esta investigación se encaminó en la aplicación de estrategias bioclimáticas para las viviendas rurales de la vereda San Antonio, Ospina Nariño, considerada una zona de gran importancia ambiental y antrópica teniendo en cuenta que esta región se ha desarrollado una arquitectura empírica tradicional, la cual se caracteriza por el uso de materiales locales y técnicas de construcción antiguas.[3,4,5] Este estudio expone una relevancia especial en la actualidad donde las condiciones geográficas y climáticas presentan desafíos específicos para la adaptación de viviendas adecuadas y resistentes.

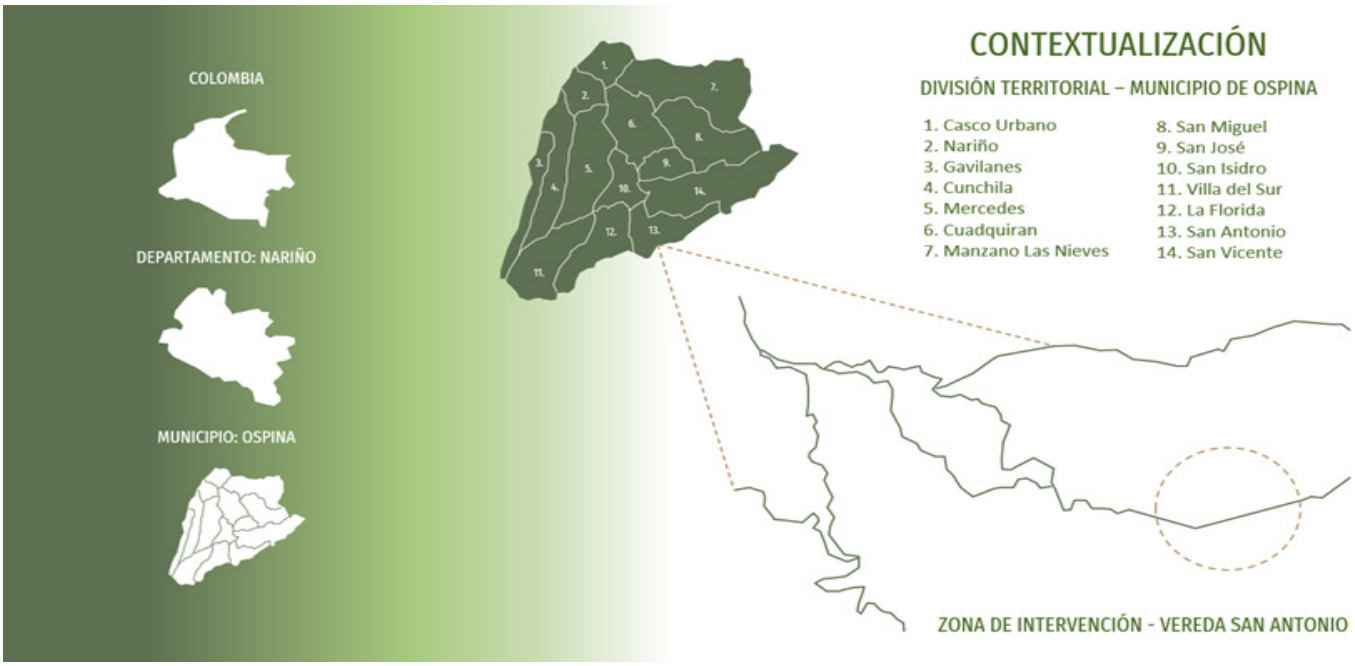

Figura 1. Contextualización (División territorial del municipio de Ospina Nariño**)**

La vereda San Antonio en el municipio de Ospina, al sur del departamento de Nariño, cuenta con una extensión total de 5 km² aproximadamente y está ubicada a 11 kilómetros de distancia del casco urbano de Ospina, cuenta con una vía importante dentro de la cual se ubica la vivienda estudiada.[6,7]

En San Antonio, donde prevalece un clima frío húmedo, las condiciones climáticas presentan características específicas que influyen significativamente en el comportamiento térmico de las viviendas. En este contexto, las temperaturas tienden a ser más bajas, especialmente durante los meses de invierno, con niveles de humedad medianamente altos. Estas condiciones climáticas implican un mayor riesgo de condensación y acumulación de humedad en las estructuras, lo que puede llevar a problemas de deterioro.[8,9] El análisis de las condiciones climáticas es de gran relevancia, debido a que las mismas permiten definir patrones y tendencias meteorológicas y facilitan el entendimiento del comportamiento climático. En un clima frío húmedo como el de la vereda San Antonio, es esencial tener en cuenta estas condiciones climáticas al diseñar viviendas y estructuras.[10] La adecuada gestión del aislamiento térmico, la prevención de la humedad y el diseño que aproveche las condiciones naturales (como la luz solar y la ventilación) son fundamentales para crear viviendas que sean confortables para sus habitantes y que respeten el entorno ambiental.[11,12] Además, el confort térmico es fundamental para el bienestar de los habitantes y, en contextos rurales como el estudiado, así la aplicación de estrategias bioclimáticas puede ser un enfoque efectivo.[13] La investigación aborda el problema del confort térmico en las viviendas rurales y ofrece un marco teórico y práctico que puede ser replicado en otros contextos rurales con características similares. Esto permite extender los beneficios de la arquitectura bioclimática a una amplia gama de comunidades y mejorar significativamente su calidad de vida.[14,15,16]

MÉTODO

La metodología empleada implica un análisis detallado de las condiciones climáticas locales, con inclusión de la temperatura, corrientes y dirección de vientos, humedad relativa, topografía y vegetación, entre otros factores relevantes. Además, se identifican las necesidades y requerimientos específicos de los usuarios. Las estrategias bioclimáticas seleccionadas se orientan a mejorar el confort térmico de las viviendas, las cuales aprovechan al máximo los aspectos beneficiosos del entorno.

La obtención de información se hizo a través de una consulta a la plataforma del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) para acceder a datos meteorológicos de la estación más cercana a la zona. Por medio de esta herramienta, se contó con datos de temperatura y humedad máxima, mínima y promedio mensual y anual con el fin de analizar las variaciones

climáticas en el área de estudio en un periodo de diez años.

Por otra parte se recogieron datos in situ de temperatura y humedad relativa. El protocolo empleado se basó en la recopilación de datos mediante un termohigrómetro digital (Ut333 de Unit-t) capaz de medir en un rango de 1,7 a 9 metros. Se seleccionaron varios puntos de referencia en el exterior de cada una de las viviendas incluidas en la muestra de estudio para capturar y representar de manera efectiva las variaciones climáticas en el área de estudio. En cada punto de muestreo, se realizaron mediciones consecutivas con un tiempo total de 10 minutos por espacio. Esto permitió calcular un promedio y suavizar las fluctuaciones momentáneas. Las mediciones se llevaron a cabo en un intervalo de tiempo que abarcaba desde las 09:00 hasta las 16:00 horas para capturar con precisión el período de máxima y mínima exposición solar durante el día.

Las mediciones se tomaron a una altura estandarizada de 1 metro sobre el nivel del suelo, lo que optimizó la captura de la radiación térmica del entorno. Además, se realizaron mediciones tanto en áreas expuestas como en aquellas bajo la influencia de la sombra proporcionada por la vegetación, que posibilitó una comparación significativa de los diferentes microclimas.

Medición de variables ambientales en el exterior e interior de la vivienda de estudio

La humedad relativa es un factor climático que permite analizar la durabilidad de estructuras y materiales, esto quiere decir que altos niveles de humedad relativa pueden afectar la durabilidad de los materiales de construcción y fomentar la aparición de moho y problemas relacionados con el deterioro de la vivienda. En contextos rurales como San Antonio, la humedad relativa puede influir en la sensación térmica de los habitantes. Este parámetro climático no solo tiene un papel fundamental en la percepción del clima, también desempeña un papel en la regulación del confort térmico.

Los registros detallados de humedad relativa obtenidos por el IDEAM en la última década revelan tendencias climáticas, donde se evidencia que, en estos años, se presenta una fluctuación de humedad entre el 85 % y 92 %. En el 2019 se presenta un menor porcentaje de humedad relativa, mientras que en el 2022 se presenta un punto máximo de humedad relativa con 92 %. Una humedad relativa alta puede causar condensación en las superficies frías dentro de la vivienda, como ventanas, paredes y techos. Esto puede afectar negativamente el confort térmico y dañar los materiales de construcción. La alta humedad puede dificultar el calentamiento de la vivienda, ya que el aire húmedo requiere más energía para aumentar de temperatura en comparación con el aire seco.

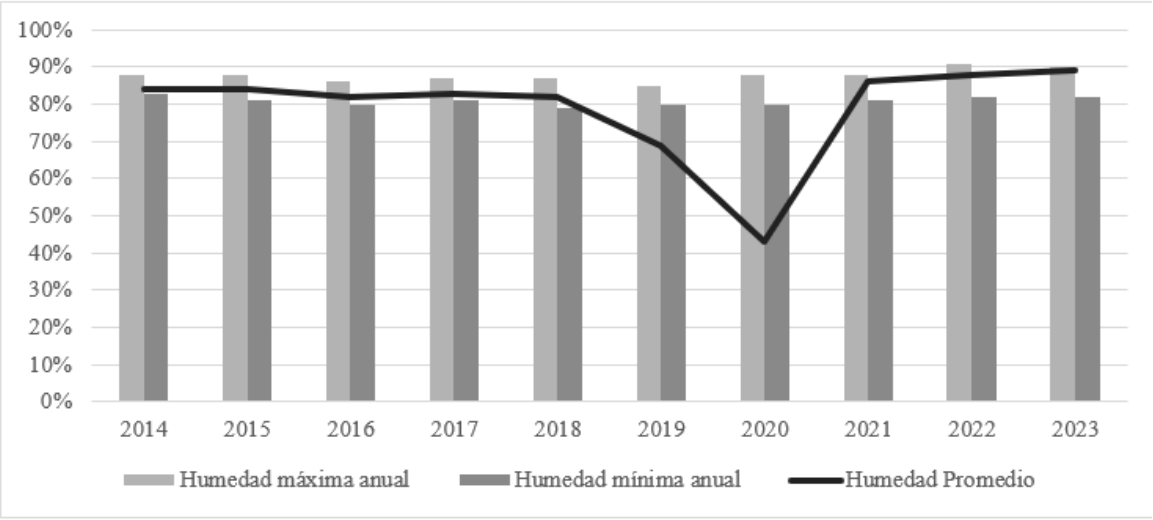

Figura 2. Humedad relativa máxima, promedio y mínima de la vereda San Antonio en el periodo comprendido entre 2014-2023

Por otra parte al analizar los datos contenidos en el año 2023, se pueden extraer varias consideraciones importantes, por ejemplo, entre el 50 % y 100 % hay posibilidades de que la condensación pueda ocurrir en ciertas condiciones. La condensación puede conducir a problemas de moho, deterioro de materiales y pérdida de eficiencia energética. Se hace importante examinar las estrategias de diseño que previenen la condensación, especialmente en superficies exteriores en este caso.

La temperatura influye directamente en la percepción de confort térmico, donde los valores extremadamente altos o bajos pueden llevar a sensaciones de calor excesivo o frío, respectivamente. A partir de la variación de temperatura se determinan los patrones estacionales y diarios de temperatura. Los registros de temperatura obtenidos por el IDEAM en la última década revelan tendencias climáticas con fluctuación de temperatura entre los 7,6 °C y 21,2 °C. La variabilidad climática observada en San Antonio tiene un impacto directo en el confort térmico de las viviendas campesinas. Durante los meses fríos, las temperaturas mínimas pueden resultar desafiantes para mantener un ambiente interior cálido y cómodo. La necesidad de estrategias de acondicionamiento térmico pasivo se hace evidente, instando a considerar elementos como aislamiento térmico y sistemas de calefacción pasiva.

Ahora bien, la información obtenida sobre las temperaturas mínimas y máximas basadas en mediciones propias en la región de San Antonio, es necesaria para comprender las condiciones climáticas locales y sus implicaciones. La variación de temperatura en el 2023 arroja resultados de temperatura máxima sobre los 15°C y sugiere que la región puede experimentar períodos de calor leves, lo que puede ser especialmente relevante durante los meses más cálidos del año. Por otro lado, la temperatura mínima de 6°C indica que las noches pueden ser demasiado frías en algunas épocas del año. La variación estacional en las temperaturas debe considerarse

al proponer estrategias de confort térmico en las viviendas.

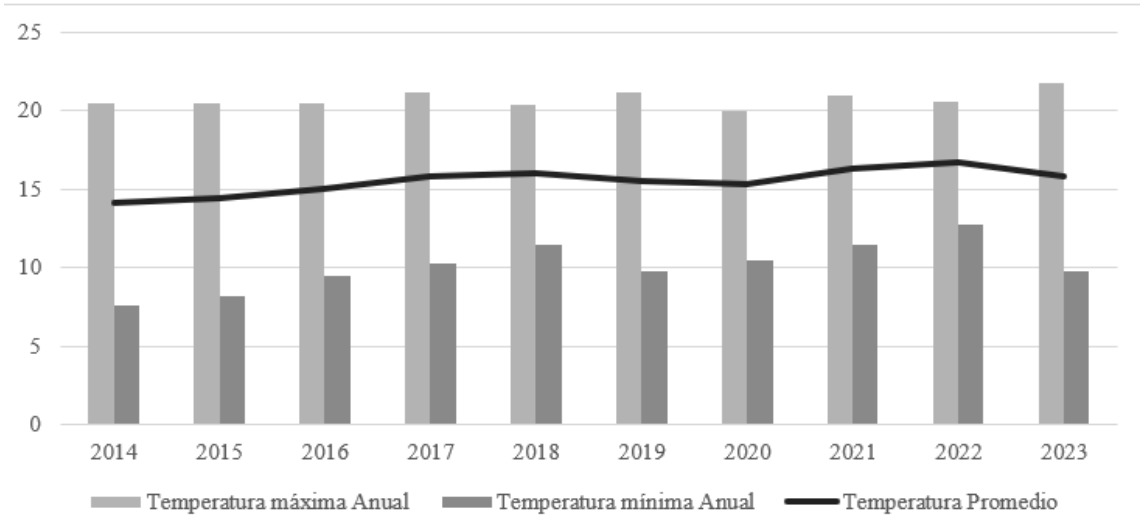

Figura 3. Temperatura máxima, promedio y mínima de la vereda San Antonio en el periodo comprendido entre 2014-2023

El análisis de la distribución estadística de datos climáticos -específicamente temperatura y humedad relativa- permitió identificar patrones de comportamiento ambiental en las distintas zonas del área de estudio. A través de esta herramienta, se identificaron las áreas que podrían estar más afectadas en términos de confort, alineándose con el modelo y los estándares de Givoni, que consideran dichos parámetros para evaluar las condiciones de habitabilidad. Teniendo en cuenta esta visión panorámica de las áreas potencialmente comprometidas, es posible establecer lineamientos más precisos para el diseño de estrategias bioclimáticas adaptadas a las condiciones locales.

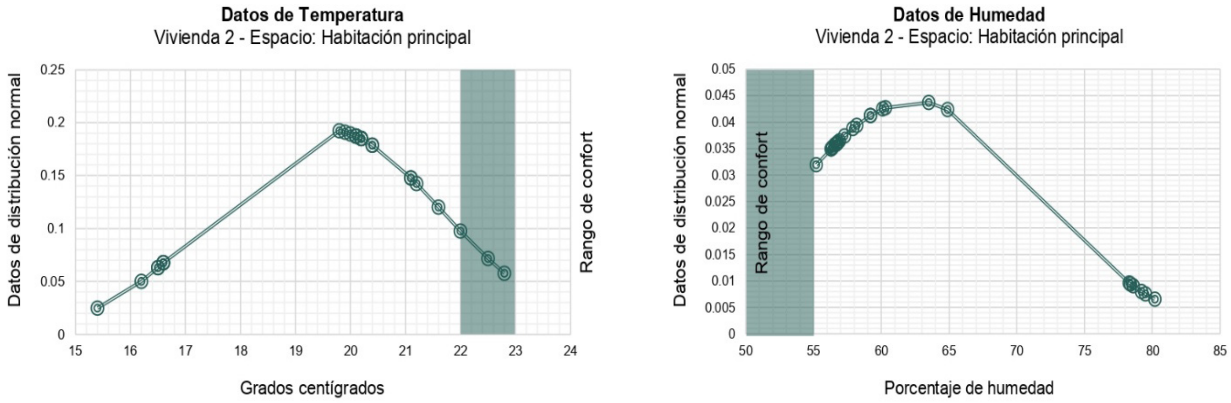

Figura 4. Distribución estadística para determinar el porcentaje de confort

Tabla 1. Distribución estadística para determinar el porcentaje de confort

Humedad relativa promedio	Desviación estándar	Confort máximo	Confort mínimo	% dentro del confort térmico	% fuera del confort
62 %	2,065113984	55 %	50 %	0 %	100 %
Temperatura promedio	Desviación estándar	Confort máximo	Confort mínimo	% dentro del confort térmico	% fuera del confort
19,58 °C	9,077462061	23°C	23°C	12,5 %	87,5 %

La representación gráfica demuestra que existen probabilidades (representado en porcentaje %) de alcanzar el confort térmico mediante soluciones pasivas teniendo en cuenta los límites establecidos para un rango de confort. El área de estudio presenta condiciones climáticas predominantemente frías y húmedas, caracterizadas por temperaturas promedio inferiores al umbral de confort térmico y niveles de humedad relativa constantemente elevados. Estas condiciones inciden directamente en la percepción de confort de los usuarios, y afectan tanto el bienestar térmico como la eficiencia energética de las edificaciones. Las medidas, articuladas desde una perspectiva de diseño sensible al clima, no solo mejoran las condiciones de habitabilidad y confort de los espacios, también contribuyen a medidas resilientes frente a las variaciones climáticas.

https://doi.org/10.56294/la2025265

Los rangos del confort térmico según el diagrama de Givoni corresponde a las condiciones de humedad y temperatura en las que el cuerpo humano requiere el mínimo gasto de energía para ajustarse al ambiente. En el diagrama de Givoni la zona de confort la temperatura suele estar entre 20 °C y 25 °C, a su vez, la humedad está en un rango entre 50 % y 55 %. La zona de confort se define como el área donde los parámetros climáticos no necesitan ninguna corrección constructiva para la obtención del bienestar y en la que cualquier edificación media cumple con las condiciones de procurar dentro de ella una sensación térmica agradable.[1]

Tabla 2. Datos correspondientes rangos promedio de humedad y temperatura

Variable	Rango	Sensación	Descripción
Humedad Relativa	Menos de 30 %	Seco	Puede sentirse incómodo y causar sequedad.
	Entre 50 % y 55 %	Confortable	Rango óptimo
	Más del 60 %	Húmedo	Puede sentirse pegajoso e incómodo, especialmente si la temperatura es alta.
Temperatura	Menos de 17 °C	Frío	Incomodidad térmica
	Entre 20 °C y 23 °C	Confortable	Rango óptimo
	Más de 30 °C	Caliente	Calor intenso, generalmente incómodo para la mayoría.

El rango de confort térmico en términos de humedad relativa tomado como referencia en esta investigación se sitúa entre el 50 % y el 55 %, considerado óptimo para evitar sensaciones de sequedad o exceso de humedad en el ambiente interior. Simultáneamente, los rangos de temperatura pueden variar según las preferencias individuales y las condiciones particulares del entorno climático; sin embargo, para este estudio se plantea como objetivo mantener una temperatura interior promedio de 23 °C, con esta temperatura se garantiza el bienestar térmico de los ocupantes en un contexto de clima frío húmedo, con disminución de la dependencia de sistemas activos de climatización y se priorizan soluciones pasivas adaptadas a la vivienda rural.

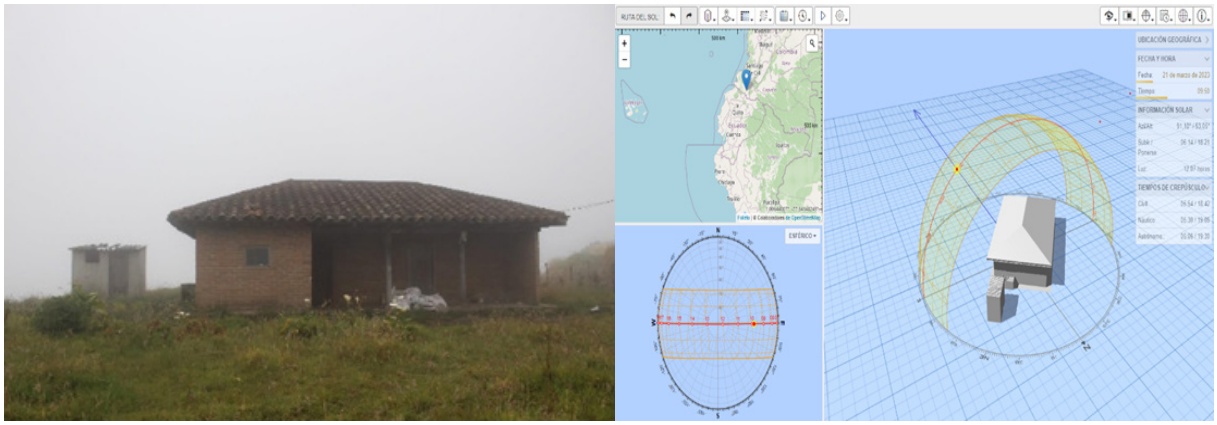

Figura 5. Vivienda seleccionada para el estudio y trayectoria solar

Por su parte, el análisis solar detallado permitió identificar las superficies óptimas para la implementación de soluciones constructivas pasivas orientadas al aprovechamiento de las ganancias térmicas por radiación solar durante el día. Este análisis se fundamentó en el estudio de la trayectoria solar a lo largo del año e integra variables clave como latitud, longitud, altitud y estacionalidad, con el fin de evaluar el comportamiento solar incidente sobre la envolvente arquitectónica.

En contextos de clima frío, si bien la captación solar es fundamental para mejorar el confort térmico interior, es necesario considerar mecanismos de control que eviten el sobrecalentamiento durante los meses más cálidos. El análisis solar permite prever este comportamiento y orientar el diseño de elementos de protección solar pasiva como aleros, celosías, persianas móviles o barreras vegetales, que contribuyen a sombrear estratégicamente las aberturas y fachadas expuestas.

En el caso de estudio, el análisis de la trayectoria solar evidencia que la fachada frontal presenta exposición directa al asoleamiento entre las 14:40 y las 18:15 horas, mientras que la fachada posterior recibe radiación solar directa entre las 6:45 y las 10:30 horas. Esta información resulta clave para la ubicación de dispositivos de captación térmica pasiva y elementos de protección solar, con el fin de optimizar el rendimiento energético de la vivienda.

Una vez realizado el diagnóstico bioclimático mediante el diagrama de Givoni, se procedió a la selección de una unidad habitacional representativa para la aplicación de estrategias pasivas de acondicionamiento térmico. La vivienda seleccionada corresponde a una edificación contemporánea que incorpora elementos de la arquitectura vernácula en la distribución de sus espacios interiores. Constructivamente, presenta una estructura basada en pilares de madera y materiales como teja de barro, ladrillo cocido a la vista y revestimientos en concreto. Su elección se fundamentó en factores como su ubicación topográfica, la ausencia de cobertura vegetal que permita mitigar el impacto de los vientos directos, y la diversidad de materiales empleados, los cuales ofrecen un contexto adecuado para evaluar el comportamiento térmico y la pertinencia de las estrategias pasivas propuestas.

https://doi.org/10.56294/la2025265

Las mediciones internas de la vivienda representan el primer paso hacia la creación de soluciones a medida que se adaptan perfectamente a las complejidades del entorno construido y natural, lo cual permite el enfoque de la disposición de los espacios donde existen dificultades para lograr el confort térmico. La variación en la temperatura interna presenta una fluctuación entre 16,2 °C y 22,8 °C, que indica un espacio interior con niveles de temperatura estables, aunque sin llegar a cumplir con el rango de confort térmico.

La humedad relativa registrada en la habitación principal es relativamente constante, aunque presenta picos de un 80,2 % en ciertas horas del día, con fluctuaciones mínimas y máximas cercanas entre sí. En este caso, se pueden considerar estrategias pasivas adicionales, como la optimización de la ventilación natural, el uso de cortinas o persianas para gestionar la radiación solar y la selección de materiales que proporcionan un mejor aislamiento, podría ayudar a optimizar aún más el confort térmico y la eficiencia energética de la habitación. Las mediciones en la habitación principal de la vivienda estudiada indican un ambiente interior estable y cómodo en términos de humedad y temperatura.

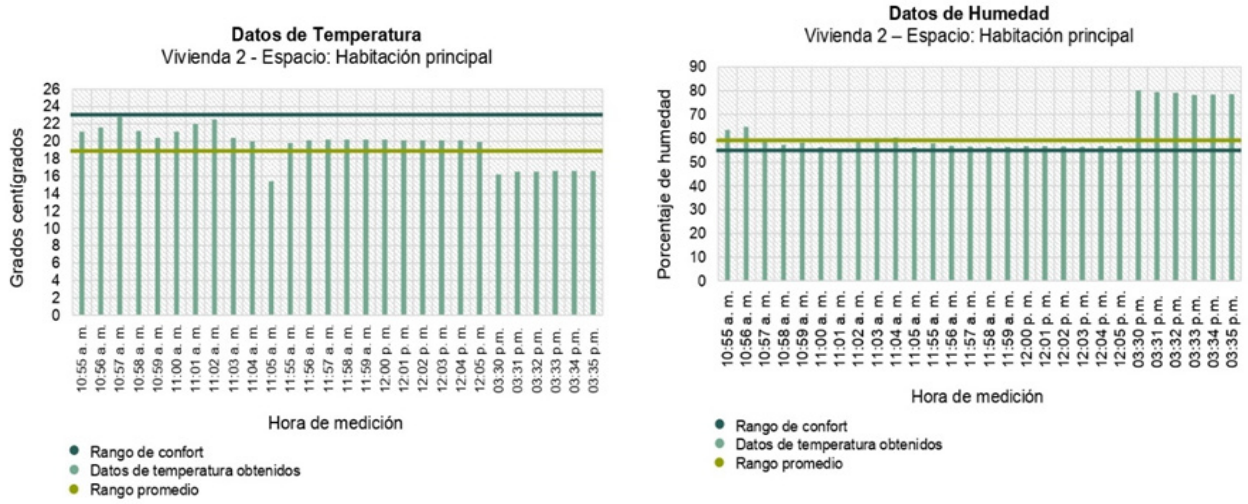

Figura 6. Mediciones realizadas dentro de la vivienda

Determinación de estrategias bioclimáticas pasivas existentes para clima frío - húmedo

Para la selección de las estrategias pasivas más adecuadas, se recurre al diagrama psicrométrico de Givoni, herramienta que permite analizar las condiciones de temperatura y humedad específicas en cada una de las viviendas evaluadas. En dicho diagrama, el intervalo térmico comprendido entre 15 °C y 21,5 °C se identifica como la zona de aplicabilidad de las ganancias internas, en la cual el confort térmico puede alcanzarse mediante el aprovechamiento pasivo de la energía solar. Bajo estas condiciones, se plantea una intervención arquitectónica orientada a optimizar la captación de radiación solar en superficies estratégicas del edificio. Esta energía es almacenada en elementos de masa térmica diseñados para acumular calor y liberarlo progresivamente hacia los espacios interiores, asegurando una distribución térmica eficiente y sostenida que responda a las necesidades de calefacción a lo largo del ciclo diario.

Las estrategias implican la captura y redistribución de calor generado internamente, para aprovechar las actividades diarias y los elementos de la vivienda para modular la temperatura y la humedad. La elección de las ganancias internas como estrategia clave se basa en la comprensión de que la vida cotidiana en esta región genera una cantidad significativa de calor en horas específicas del transcurso del día.

La eficacia de estos sistemas depende en gran medida del concepto de conservación térmica. Resultaría contraproducente todo el proceso si el calor generado se perdiera al escapar del espacio interior o si no se pudiera utilizar cuando la radiación solar cesa. En este sentido, se distinguen tres tipos de sistemas de aprovechamiento solar según la relación entre la incidencia solar y el ambiente a calentar: directos, indirectos e independientes.

Los sistemas directos implican la calefacción de la estancia mediante la acción directa de los rayos solares. Por otro lado, los sistemas indirectos hacen que la radiación solar incida primero en una masa térmica ubicada entre el sol y el ambiente a calentar. Por su parte, los sistemas independientes se caracterizan por tener la captación solar y el almacenamiento térmico separados del espacio habitable. A este respecto, la implementación de muros trombe, techos termoaislantes, invernaderos bioclimáticos, ventanas bioclimáticas y aislantes de fibra de madera busca aprovechar al máximo la energía solar y los recursos naturales. Estas estrategias, basadas en los principios de la arquitectura bioclimática se adaptan a las condiciones climáticas locales. A través del análisis de cada una de las estrategias, se exploran los principios de funcionamiento, ventajas, aplicaciones prácticas y beneficios ambientales que se obtienen al implementar estas soluciones en la intervención de viviendas.

Muro trombre: el diseño estándar del muro trombe consiste en colocar un panel de vidrio a una distancia de aproximadamente 2 a 5 centímetros de una pared de mampostería oscura, que suele tener un espesor de 10 a 41 centímetros y está comúnmente construida con ladrillos, piedra u hormigón. Este sistema aprovecha la energía solar al permitir que el calor pase a través del vidrio, sea absorbido por la pared de masa térmica y luego se libere gradualmente al interior de la vivienda.

La clave de su funcionamiento radica en la diferencia en las longitudes de onda de la radiación solar directa y del calor reemitido

por la masa térmica. Mientras que la radiación solar directa, con longitudes de onda más cortas, atraviesa fácilmente el vidrio, el calor reemitido por la pared tiene longitudes de onda más largas, lo que dificulta su paso a través del vidrio. Este fenómeno, descrito por la ley de desplazamiento de Wien, permite que el muro Trombe retenga eficientemente el calor entre el panel de vidrio y la pared de mampostería, maximizando su absorción y limitando su pérdida hacia el exterior. Además, al estar el panel de vidrio colocado en el exterior de la pared, el calor puede transferirse sin obstáculos al interior de la vivienda. Este proceso, conocido como transferencia de calor convectiva, suele tardar alrededor de 8 a 10 horas en un muro Trombe estándar de 20 centímetros de espesor.

Invernadero bioclimático: un invernadero bioclimático es un tipo de construcción que combina elementos de arquitectura y tecnología para crear un ambiente interior cálido y estable, al usar la energía solar natural y minimizar el consumo de energía externa. Estos invernaderos solares operan como sistemas pasivos que aprovechan los principios del efecto invernadero para reducir las demandas energéticas del hogar, al tiempo que preservan el medio ambiente.

El invernadero tiene una estructura transparente o translúcida que permite la entrada de la radiación solar durante el día. La estructura está aislada térmicamente para retener el calor generado por la radiación solar y reducir las pérdidas de calor, se utiliza una masa térmica, como concreto, ladrillo o piedra, para absorber y almacenar el calor durante el día y liberarlo durante la noche. En horas del día, la radiación solar penetra en el invernadero a través de la estructura transparente y calienta la masa térmica. El aire se calienta y asciende hacia el techo, mientras que, en horas de la noche, la masa térmica libera el calor almacenado durante el día, manteniendo una temperatura estable en el interior del invernadero.

Panel aislante de fibra de madera: la fibra de madera es un material termo acústico aislante elaborado a partir de la trituración de madera natural. Para mejorar sus propiedades, se le pueden agregar aditivos específicos que la hagan resistente al fuego o la protejan contra insectos y roedores. Este aislante es ampliamente valorado tanto por su capacidad para mantener una temperatura interior estable como por su eficacia para reducir el ruido exterior, especialmente en techos de madera. Su uso está creciendo rápidamente en arquitectura e ingeniería gracias a su combinación de eficiencia energética, sostenibilidad y bajo impacto ambiental.

Dentro de sus beneficios, se destaca la regulación de la humedad debido a que es ideal para climas húmedos ya que absorbe el exceso de agua y la expulsa de forma controlada, también minimiza los cambios bruscos de temperatura al retener el calor durante el día y liberarlo gradualmente por la noche, se adapta eficazmente a climas cálidos y fríos; y proporciona un aislamiento eficiente. Es fabricado a partir de restos de madera, es un material respetuoso con el medio ambiente y reutilizable tras cumplir su vida útil.

Ventana bioclimática: es un tipo de ventana diseñada para aprovechar los recursos naturales como el sol, la ventilación natural y la inercia térmica para regular la temperatura y la humedad en el interior de una vivienda o edificio. La ventana se orienta estratégicamente para maximizar la captación de energía solar durante el invierno y minimizar la exposición solar directa en verano. El diseño de la ventana también puede incluir elementos como aleros, persianas o toldos para controlar la entrada de luz solar. Se utilizan materiales aislantes de alta calidad en el marco y el acristalamiento de la ventana para reducir las pérdidas de calor en invierno y la entrada de calor excesivo en verano.

Las anteriores estrategias pasivas ayudan a la intervención de muros y fachadas con el fin de optimizar la ganancia solar en invierno y minimizarla en verano. Mediante simulaciones y cálculos numéricos, se evalúa la incidencia solar en las viviendas y se identifican las áreas con mayor potencial para aprovechar la energía solar de forma pasiva.

La comprensión del valor U y su aplicación en diferentes estrategias bioclimáticas permite diseñar edificios que se adapten naturalmente al clima y respondan a las necesidades de los usuarios de manera eficiente y responsable. La solución constructiva propuesta tiene en cuenta el valor U de los diferentes componentes constructivos para determinar su capacidad de aislamiento térmico. El valor U es un factor crucial en el diseño y la construcción de soluciones bioclimáticas eficientes y sostenibles. Al seleccionar materiales y sistemas constructivos con bajo valor U, podemos reducir el consumo de energía, mejorar el confort térmico y contribuir a la protección del medio ambiente.

En el contexto de la arquitectura y la eficiencia energética, autores como Francis D.K. Ching en su libro Building Construction Illustrated y Donald Watson en Time-Saver Standards for Architectural Design Data han abordado el tema del factor U y sus rangos asociados en relación con el diseño de edificaciones sostenibles. Estos autores proporcionan información detallada sobre los valores típicos del factor U para una variedad de materiales y componentes de construcción, que respalda la referencia al rango entre 0,1 y 1,2 W/m²K. De acuerdo con García[2] en su publicación acerca del cálculo de cargas de enfriamiento, la ganancia solar es la cantidad de energía térmica que un edificio gana a través de sus envolventes (paredes, techo, ventanas) debido a la radiación solar. Esta energía puede ser tanto beneficiosa, al proporcionar calefacción gratuita en invierno, como perjudicial, por causa de sobrecalentamiento en verano si no se gestiona adecuadamente.

La ecuación $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ es una simplificación de los cálculos de transferencia de calor y se utiliza comúnmente en el análisis térmico de edificios. Cada término representa un factor clave:

- Q: representa la cantidad de calor transferido (ganancia solar en este caso) a través de una superficie en un determinado período de tiempo. Se mide en Watts (W).
- U: es el coeficiente de transmisión térmica global. Indica la facilidad con la que el calor se transmite a través de un material o componente constructivo. Se expresa en Watts por metro cuadrado Kelvin (W/m²K). El valor de U depende del tipo de material, su espesor y las condiciones de borde.
- A: es el área de la superficie a través de la cual se produce la transferencia de calor. Se mide en metros cuadrados (m²).
- ΔT: es la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio. Se mide en grados centígrados.

La ecuación funciona de la siguiente manera, la cantidad de calor que gana un edificio (Q) es directamente proporcional a el área de la superficie, ya que cuanto mayor sea el área expuesta al sol, mayor será la ganancia solar. La diferencia de temperatura debido

a que mientras mayor sea la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, mayor será el flujo de calor hacia el interior y el coeficiente de transmisión térmica porque un valor U más bajo indica un mejor aislamiento térmico, ya que refleja una menor pérdida de calor transferido en una solución constructiva.

Como se menciona anteriormente, se debe tener en cuenta que la ecuación $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ es una simplificación. En la realidad, la transferencia de calor es un fenómeno más complejo, influenciado por factores como la radiación solar directa e indirecta, la convección, la radiación infrarroja, etc. Además, el coeficiente de transmisión térmica U varía, dependientemente de las condiciones de borde, la humedad, la temperatura, y otros factores. La ganancia solar no es uniforme. Varía a lo largo del día, las estaciones y dependen de la orientación de la superficie.

Los resultados del análisis térmico aplicado a la vivienda demuestran que bajo condiciones controladas, los espacios evaluados (habitación y cocina) presentan un incremento térmico debido a las ganancias internas calculadas mediante ecuación. La cocina muestra un mayor aporte térmico (0,7747 Wh, equivalente a 1,467 °C), en comparación con la habitación (0,6623 Wh, equivalente a 1,255 °C), lo cual está asociado a una mayor diferencia de temperatura en ese espacio. Los datos proporcionan información relacionada con la envolvente térmica con un valor U bajo de 0,083 que contribuye a conservar el calor generado internamente, lo que resulta eficaz en climas fríos para mejorar el confort térmico sin recurrir a sistemas activos y validan la funcionalidad de las estrategias aplicadas a la vivienda.

Figura 7. Simulación constructiva y resultados de aporte de grados centígrados

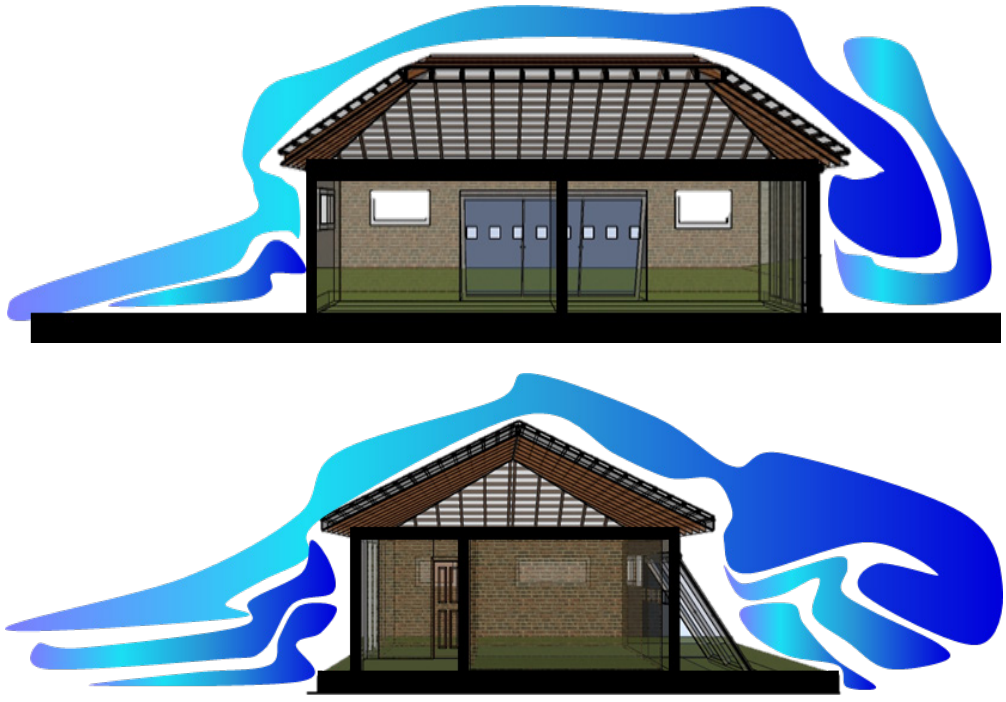

Figura 8. Simulación del comportamiento de los vientos locales con implementación de las estrategias pasivas en la vivienda

https://doi.org/10.56294/la2025265

Finalmente, para verificar la eficiencia de la aplicación de hermeticidad a través del uso de corrientes de aire se usó el programa FlowIIlustrator que ayuda a visualizar las corrientes de aire que ingresan y egresan de la vivienda a través de filtraciones y aberturas, y los cuales proporcionan una comprensión de los puntos críticos de hermeticidad. El software permite cuantificar la tasa de infiltración de aire expresada en metros cúbicos por hora por metro cuadrado (m3/h/m2). Esta información es esencial para evaluar el nivel de hermeticidad de la vivienda y compararlo con estándares establecidos para la verificación de su cumplimiento.

Al analizar las corrientes de aire, es posible identificar los puntos específicos de la vivienda por donde se produce la mayor fuga de aire, y permiten enfocar las medidas de hermeticidad de manera más efectiva. En este caso, se evaluó el modelado de la vivienda con las intervenciones establecidas, con el fin de verificar si el estándar de hermeticidad se cumple.

CONCLUSIONES

Incorporar un enfoque bioclimático es relevante en contextos rurales, donde frecuentemente se subestiman las condiciones climáticas locales, a pesar de su influencia determinante en la calidad de vida de los habitantes. La investigación evidencia que, al integrar estrategias de diseño pasivo adaptadas a las condiciones específicas del entorno y la arquitectura vernácula, es posible mejorar sustancialmente el confort térmico interior y, con ello, el bienestar general de las comunidades.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio se distingue por la combinación de datos meteorológicos históricos con mediciones empíricas in situ, lo que estableció correlaciones precisas entre las variables ambientales y el desempeño de las estrategias pasivas implementadas. Esta aproximación, basada en evidencia cuantitativa, supera las limitaciones de métodos tradicionales al ofrecer resultados más representativos y ajustados a la realidad de las edificaciones rurales.

Uno de los aportes más relevantes de la investigación es el desarrollo de un modelo cuantitativo de correlación, que permite asociar la efectividad de diversas estrategias pasivas con las características constructivas y espaciales de las viviendas rurales. Este modelo, validado mediante simulaciones digitales y mediciones de campo con dispositivos como el termo-higrómetro, constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el diseño arquitectónico, que resultan en la selección y ubicación óptima de soluciones pasivas.

La evaluación del desempeño térmico de las estrategias pasivas, apoyada en herramientas digitales y datos empíricos, ha permitido comprender en mayor profundidad cómo dichas estrategias responden ante variables como la deficiencia térmica estructural, la orientación y la materialidad de las construcciones rurales.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Adriana Sofía Ruiz Salazar.
Curación de datos: Adriana Sofía Ruiz Salazar.
Análisis formal: Adriana Sofía Ruiz Salazar.
Redacción – borrador original: Adriana Sofía Ruiz Salazar.
Redacción – revisión y edición: Adriana Sofía Ruiz Salazar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García DL. Sostenibilidad energética de la edificación en Canarias: Manual de diseño. 2011. P. 354.

2. García M. Cálculo de cargas de enfriamiento. https://mariogarciauni.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/04/capitulo-61.pdf

3. Berg CE. Volviendo a lo básico: psicometría y la carta psicométrica. Boletín Técnico Colmac Coil. Colville: Colmac Coil Manufacturing; 2016. P. 1.

4. Casabianca G. Una mirada al confort y la eficiencia energética. Artículo. Buenos Aires; 2018. P. 2.

5. Ching FDK. Building construction illustrated. 5th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2014.

6. Fuentes Freixanet O. Modelo de análisis climático y definición de estrategias de diseño bioclimático para diferentes regiones de la República Mexicana. Trabajo de grado. México; 2009. P. 15.

7. Gonzáles Olarte MJ. Propuesta de diseño de una vivienda bioclimática aislada unifamiliar. Trabajo de grado. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colombia; 2022. P. 13.

8. Linares Llamas P. Eficiencia energética y medio ambiente. Artículo. Madrid, España; 2009. P. 1.

9. Moreno Quintero DP, Carreño León ÁA.

10. Requena Ruiz I. Bioclimatismo en la arquitectura de Le Corbusier: El Palacio de los Hilanderos. Informes de la Construcción. 2016. P. 3.

11. Osorno Ramírez J. Tipologías de vivienda según construcción. Trabajo de grado. Bogotá, Colombia; 2014. P. 3.

12. Piñeiro Lago M. Arquitectura bioclimática, consecuencias en el lenguaje arquitectónico. Trabajo de grado; 2015. P. 20.

13. Passive House Institute. Criterios para los estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética. 2016. https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_criterios_edificios_es.pdf

14. Quijano Vodniza AJ, Calvachi Morillo MA. Diseño de estrategias bioclimáticas de conservación preventiva de las piezas arqueológicas descubiertas en el Medio Universitario San Damián del corregimiento de Catambuco. Inédito. San Juan de Pasto; 2023. P. 1.

15. Watson D, Crosbie MJ. Time-saber standards for architectural design data. 7th ed. New York: McGraw-Hill; 2004.

16. Barranco Arévalo O. La arquitectura bioclimática. Artículo de investigación. Barranquilla, Colombia; 2014. P. 25.