

ANÁLISIS COMPARATIVO DE VARIABLES CLIMÁTICAS ENTRE UNA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA Y UNA CONVENCIONAL DE INTERÉS SOCIAL, CONSTRUIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL, EL SALVADOR

Eva Margarita Pineda Luna

Arquitecta, Docente Investigadora de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA-FEPADE, Sede Central.

Correo electrónico: eva.pineda@itca.edu.sv

David Ernesto Chávez Escalante

Técnico en Ingeniería Civil. Docente Coinvestigador de la Escuela de Ingeniería Civil y Arquitectura. ITCA-FEPADE Sede Central.

Correo electrónico: dchavez@itca.edu.sv

Recibido: 03/06/2024 - Aceptado: 19/09/2024

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar el comportamiento de variables climáticas entre una vivienda con diseño bioclimático y una vivienda convencional, bajo condiciones ambientales similares; para tal efecto se utilizó equipo automatizado de medición instalado en cada vivienda. Se verificó el nivel de confort interno de ambas viviendas según parámetros estandarizados, con el fin de evaluar y contrastar la eficiencia y el rendimiento de cada tipo de vivienda en términos de adaptabilidad al entorno climático y bienestar de sus ocupantes. La metodología utilizada consta de seis fases, cada fase se enfoca en aspectos específicos, investigación técnica, capacitación, selección de las viviendas, instalación de equipos de medición de variables, recolección de datos y el análisis de los resultados. Se recopiló una base de datos confiable y precisa de las variables de temperatura y humedad relativa durante un período de siete meses, con mediciones tomadas cada quince minutos. Según los resultados se observó que las temperaturas en la vivienda bioclimática son menores en comparación con la vivienda tradicional, con una diferencia promedio de 1.46 grados Celsius. Además, se observó una mayor humedad relativa en la vivienda bioclimática debido a la relación inversa con la temperatura. En cuanto a la medición de iluminación, se encontró que es mayor en la vivienda bioclimática, con una distribución más uniforme y una mayor intensidad lumínica, según mediciones efectuadas con un luxómetro. Los resultados obtenidos de la medición de variables en la vivienda bioclimática y convencional mostraron que el diseño bioclimático favorece el confort interno y la iluminación. En vista de estos hallazgos, se recomienda una mayor exploración y promoción del diseño y construcción de viviendas bioclimáticas.

Palabras clave

Viviendas, bioclimatología, vivienda bioclimática, temperatura, arquitectura y clima, arquitectura - factores climáticos.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLIMATIC VARIABLES BETWEEN A BIOCLIMATIC HOUSE AND A CONVENTIONAL SOCIAL INTEREST HOUSE, BUILT IN THE DEPARTMENT OF SAN MIGUEL, EL SALVADOR

Abstract

The objective of this study was to compare the behavior of climatic variables between a bioclimatic house and a conventional house under similar environmental conditions. For this purpose, automated measuring equipment was installed in each house. The internal comfort level of both houses was verified according to standardized parameters to evaluate and contrast the efficiency and performance of each type of house in terms of adaptability to the climate and the well-being of its occupants. The methodology used consisted of six phases, each focusing on specific aspects: technical research, training, selection of the houses, installation of variable measurement equipment, data collection, and analysis of the results. A reliable and accurate database of temperature and relative humidity variables was compiled over a period of seven months, with measurements taken every fifteen minutes. The results showed that the temperatures in the bioclimatic house were lower than those in the traditional house, with an average difference of 1.46 degrees Celsius. Additionally, a higher relative humidity was observed in the bioclimatic house due to its inverse relationship with temperature. Regarding lighting measurements, it was found that the bioclimatic house has greater illumination, more uniform distribution, and higher light intensity, according to measurements taken with a lux meter. The results obtained from measuring variables in bioclimatic and conventional houses showed that the bioclimatic design favors internal comfort and lighting. Considering these findings, further exploration and promotion of bioclimatic housing designs are recommended.

Keyword

Houses, bioclimatology, bioclimatic house, temperature, architecture and climate, architecture - climatic factors.

Introducción

El clima influye significativamente en el diseño de nuestras viviendas, afectando tanto el bienestar como la eficiencia energética. Las viviendas bioclimáticas, que se adaptan al entorno climático, emergen como soluciones prometedoras para alcanzar la sostenibilidad y el confort habitacional. Este estudio se centra en la Zona Oriental de El Salvador, donde presenta una alta variabilidad climática.

Estudios realizados en El Salvador por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) indican una tendencia al incremento de la temperatura promedio, de más o menos 1.2 grados centígrados en los últimos 40 años. [4] Debido a estos cambios en las temperaturas, las viviendas generan dentro de ellas un efecto invernadero, y en algunas ocasiones la temperatura interna es más alta que la externa del ambiente.

La investigación busca comparar el comportamiento de las variables climáticas, temperatura, humedad relativa e iluminación interna, entre la vivienda bioclimática diseñada por la carrera de Arquitectura de ITCA-FEPADE y construida por Hábitat para la Humanidad El Salvador y una vivienda convencional. Se analizó cómo el diseño, posición de la vivienda y dirección del viento intervienen en las variables climatológicas; se investigó si el diseño, criterios bioclimáticos aplicados y materiales utilizados en la vivienda bioclimática, lograron los objetivos para mejorar la calidad de vida de las personas en un ambiente más confortable. Se monitorearon las viviendas durante siete meses utilizando mediciones automatizadas para obtener datos precisos y en tiempo real.

Los resultados mostraron que la vivienda bioclimática mantenía temperaturas más confortables, mejor iluminación natural y niveles de humedad relativa más estables en comparación con la vivienda convencional. Los habitantes de la vivienda bioclimática reportaron mayor comodidad y satisfacción. Este estudio subraya la importancia de diseños arquitectónicos adaptados al clima local para desarrollar soluciones habitacionales más resilientes y sostenibles, mejorando así la calidad de vida y reduciendo el impacto ambiental.

Para optimizar el diseño bioclimático, es fundamental entender y cuantificar los factores climáticos que influyen en el comportamiento del clima en una región específica. Los factores climáticos, definidos como condiciones físicas que determinan el clima de una región, incluyen la latitud, altitud, continentalidad y relieve natural y artificial.

Comprender estos factores permite mejorar el confort térmico y la eficiencia energética en proyectos de diseño bioclimático. [1]

Las variables climáticas fundamentales incluyen la lluvia, temperatura, humedad relativa, aire, viento, topografía y suelo, cada una influyendo de manera significativa en el entorno y el diseño arquitectónico.

Comprender y cuantificar estas variables es esencial para optimizar el diseño bioclimático, mejorando así el confort térmico y la eficiencia energética de las edificaciones. [2]

A. Clima en El Salvador y San Miguel

El Salvador, ubicado en la parte norte del cinturón tropical terrestre, experimenta influencias climáticas significativas de los vientos del noreste durante octubre y noviembre. Según la altitud, El Salvador se divide en tres zonas térmicas distintas, cada una con un promedio de temperatura ambiente específico a lo largo del año. La temperatura promedio disminuye con la altura, variando desde 28°C en las planicies internas (0-800m) hasta 10°C en valles y hondonadas por encima de los 1,800 metros. [3]

En la figura 1 se muestra el mapa del clima de El Salvador, Azul, menos de 12 °C / Celeste, de 12 a 20 °C / Amarillo, de 21 a 30 °C y Rojo, más de 30 °C.

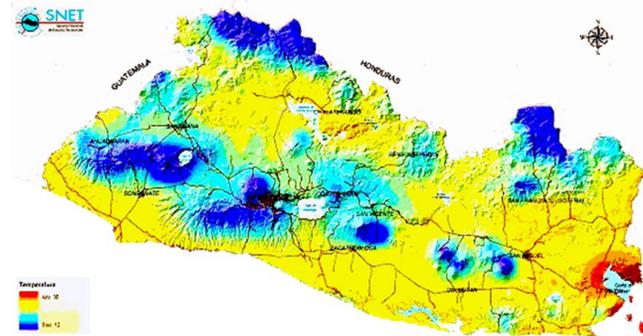


Figura 1. Zonas climáticas de El Salvador

Fuente: <https://www.elsalvadmipais.com/zonas-climaticas-de-el-salvador>

San Miguel, clasificado como un clima tropical según la clasificación climática de Köppen-Geiger, experimenta precipitaciones significativamente superiores durante los veranos en comparación con los inviernos. La temperatura media registrada es de 27.4 °C, con una precipitación anual aproximada de 1806 mm. La fluctuación de la temperatura anual es de alrededor de 3.9 °C. En términos de humedad relativa, septiembre presenta el nivel más alto (84%), mientras que febrero registra el nivel más bajo (47%). Además, septiembre tiene el mayor número de días de lluvia (19), en contraste con enero y febrero, que tienen el menor número de días húmedos (0).

Tabla 1. Datos climáticos de San Miguel.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	27.6	28.6	29.2	29.4	27.7	26.6	27.6	27.2	28	25.5	25.9	27
Temperatura min. (°C)	21.7	22.8	23.9	24.9	24.4	23.4	23.5	23.5	23	22.5	21.5	21.5
Temperatura máx. (°C)	34.2	35.1	35.5	35	32.4	31	32.7	32.1	30.2	29.7	31	33.2
Precipitación (mm)	1	2	10	48	255	295	199	269	352	308	60	7
Humedad(%)	49%	47%	49%	57%	72%	80%	73%	76%	84%	84%	72%	58%
Días lluviosos (días)	0	0	2	7	16	16	15	17	19	17	7	1
Horas de sol (horas)	10.1	10.2	10.3	10.2	9.4	9.3	10.5	9.7	8.2	8.1	9.6	10.0

Fuente. Data: 1991 - 2021 Temperatura min. y máx. (°C), Precipitación (mm), Humedad (%), Días Lluviosos.

Desarrollo

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la investigación se empleó una metodología cuasi-experimental con enfoque cuantitativo. Este enfoque permitió evaluar de manera precisa y sistemática el comportamiento de las variables temperatura, humedad relativa e iluminación en ambas viviendas. Las 6 fases del estudio fueron las siguientes: Fase 1: Investigación Técnica. Fase 2: Capacitación. Fase 3: Recopilación de información técnica. Fase 4: Análisis de datos. Fase 5: Realizar informe. Fase 6: Difusión del proyecto.

METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN



Diagrama 1. Esquema metodológico de la investigación.

Fuente. Elaboración propia, 2024

Resultados

A. Descripción de medición de datos de temperatura y humedad relativa.

Se realizaron mediciones de variables climáticas en dos áreas de cada una de las viviendas, un dormitorio y una zona conjunta de sala, comedor y cocina. Los datos recolectados entre julio de 2023 y enero de 2024 fueron organizados en tablas mensuales y semanales, incluyendo un número correlativo, fecha y hora de la medición, temperatura en grados Celsius y humedad relativa. Se obtuvieron un total de seis mil lecturas mensuales de cada una. Los datos fueron capturados mediante registradores de datos electrónicos o dataloggers programados para registrar información cada quince minutos. Este estudio permite comparar el comportamiento climático de ambos tipos de viviendas, proporcionando información clave para el diseño eficiente y confortable de viviendas.

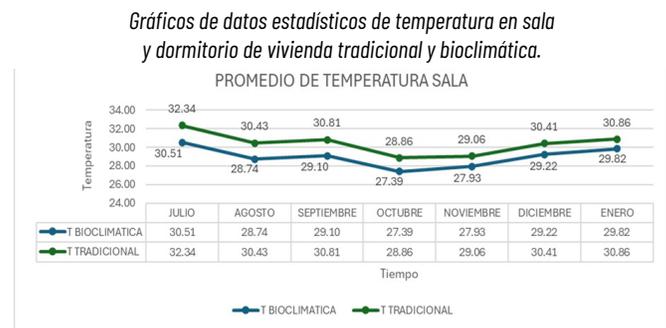
B. Gráficos de datos primarios de temperatura y humedad relativa

Posterior al ordenamiento de las lecturas, se procedió a analizarlas semanal y mensualmente. Se examinó el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa en los espacios seleccionados de cada vivienda. Para un análisis estadístico, se calcularon Medidas de Tendencia Central tales como Media, Moda y Mediana y Medidas de Dispersión, incluyendo, Mínimo, Máximo, Rango, Varianza, Desviación Estándar, Desviación Típica y Coeficiente de Desviación, lo cual permitió entender cómo se distribuyen los datos y su homogeneidad. Se utilizaron tres datos estadísticos principales: la Media Aritmética, el Mínimo y el Máximo. Estas medidas se utilizaron para crear gráficas

mensuales que muestran de manera eficiente las variaciones de temperatura y humedad relativa en cada espacio de ambas viviendas, proporcionando información valiosa para la evaluación del confort térmico.

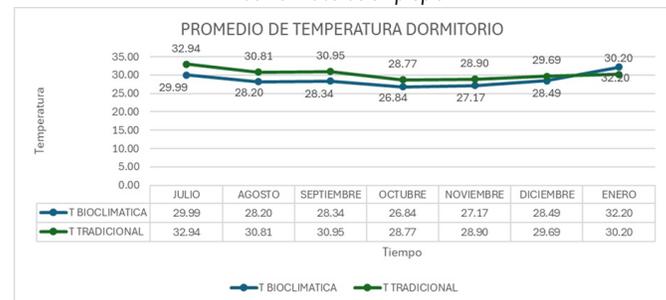
C. Gráficas comparativas de variables de temperatura y humedad relativa

Tras el ordenamiento de las tablas y representaciones gráficas mensuales correspondientes a cada vivienda, se pudo observar la dinámica de las variables investigadas durante el periodo de siete meses de recopilación de datos. Estas representaciones gráficas proporcionaron información más precisa, manejable y susceptible de análisis de datos sobre las condiciones en cada espacio. En tal sentido se presentan resultados comparativos de humedad relativa y temperatura para ambas viviendas.



Gráfica 1. Promedios de temperatura de sala casa tradicional y bioclimática.

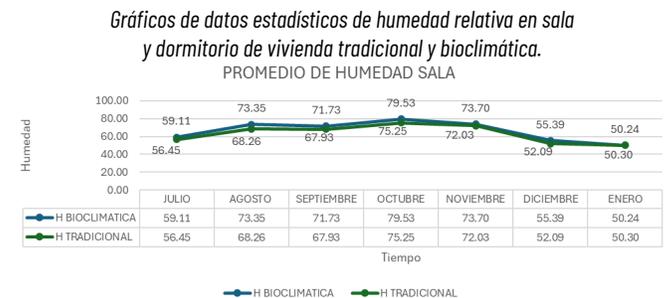
Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 2. Promedios de temperatura de dormitorio casa tradicional y bioclimática.

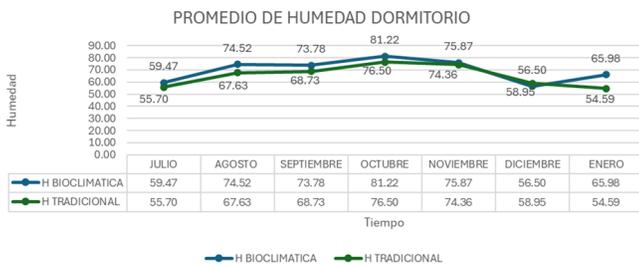
Fuente. Elaboración propia.

Las gráficas comparan la temperatura promedio en la sala/comedor/cocina y dormitorio de ambas viviendas, desde julio hasta enero. La vivienda bioclimática mantiene temperaturas más bajas en comparación con la tradicional, lo que indica una mejor eficiencia térmica.



Gráfica 3. Promedios de humedad relativa de sala casa tradicional y bioclimática.

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 4. Promedios de humedad relativa de dormitorio casa tradicional y bioclimática. Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas comparan la humedad relativa promedio en los espacios de sala/comedor/cocina y dormitorio de las dos viviendas, desde julio hasta enero. La vivienda bioclimática muestra una humedad relativa generalmente más alta que la tradicional, lo que puede ser indicativo de una mayor retención de humedad debido a diferentes factores, como su diseño, materiales, clima o aislamiento deficiente.

D. Interpretación de resultados de variables de temperatura y humedad relativa

El análisis de las gráficas de temperatura y humedad relativa en viviendas tradicional y bioclimática revela tendencias divergentes en el comportamiento de las variables climáticas.

Temperatura, la vivienda bioclimática mantiene valores más bajos comparados con la tradicional, excepto en el mes de enero, indicando la efectividad del diseño bioclimático. La integración de aberturas estratégicas para la ventilación cruzada contribuye a este efecto. Según datos históricos del MARN, la temperatura promedio en San Miguel es de 28.5°C; la vivienda bioclimática muestra un incremento marginal a 28.85°C, mientras que la tradicional sube a 30.36°C, reflejando un mayor confort térmico en la primera.

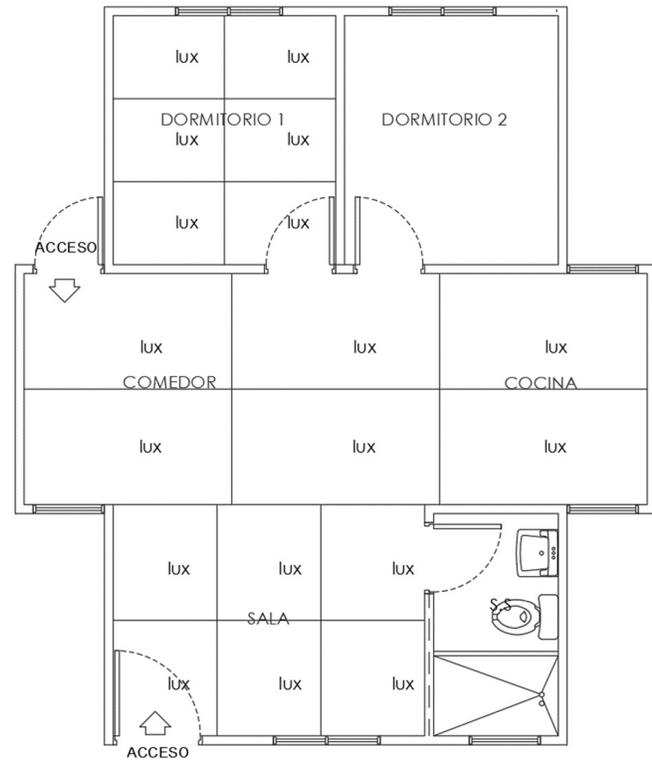
Humedad relativa, la vivienda bioclimática exhibe niveles consistentemente mayores que la tradicional, con una disminución significativa en diciembre y enero, adaptándose mejor a las condiciones secas de la temporada. Factores como el clima húmedo durante el invierno y la ventilación limitada por los usuarios influyen en la alta humedad relativa interior. Según el MARN, la humedad relativa externa promedio es del 70%, siendo 67.88% en la vivienda bioclimática y 64.20% en la tradicional, ambas inferiores al exterior, pero superiores al estándar interior del 60%, afectadas por las condiciones locales de San Miguel.

E. Variable de iluminación interna

El “índice de local” es un factor representado por la letra K obtenida de una fórmula y dado por cuatro condiciones, las cuales son largo y ancho del área, altura de montaje y tipo de iluminación directa o indirecta. Este factor nos sirve para calcular el “coeficiente de utilización” empleado para definir el número mínimo de puntos de medición N del área en estudio.

De cada una de las viviendas analizadas, se utilizaron los planos arquitectónicos para obtener los datos a emplear en la fórmula y así conocer la cantidad mínima de lecturas a realizar por espacio.

En el Plano 1 se muestra la planta arquitectónica de la vivienda bioclimática con las cuadrículas de los puntos de medición de iluminación por área.



Plano 1. Planta arquitectónica casa bioclimática con cuadrícula de puntos de medición de iluminación. Fuente: Elaboración propia.

F. Iluminancia media (E media)

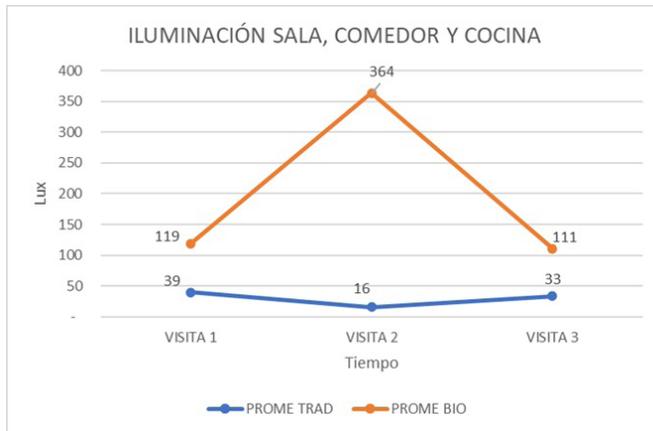
Se calcularon los promedios de los valores obtenidos durante las visitas y se compararon con los estándares de iluminación para espacios residenciales.

$$E \text{ media} = \frac{\Sigma \text{valores medios (Lux)}}{\text{cantidad de puntos medios}}$$

Los datos promedio o “E media” se utilizaron para crear gráficos comparativos de la iluminación en ambas viviendas. Se generaron gráficos por cada espacio, incluyendo la sala, comedor, cocina y dormitorio. Estas representaciones gráficas facilitan la detección de áreas con iluminación deficiente, aspecto esencial para el confort visual de los residentes.

En la gráfica 5 se muestra de forma comparativa la iluminación en sala, comedor y cocina entre vivienda tradicional y vivienda bioclimática.

La comparación entre viviendas muestra que la tradicional presenta iluminación baja y consistente, mientras que la bioclimática exhibe variabilidad significativamente mayor, alcanzando un pico de 364 lux.



Gráfica 5. Comparación de iluminación en sala, comedor, cocina entre vivienda tradicional y climática. Fuente. Elaboración propia.

G. Análisis comparativo de temperatura, humedad relativa e iluminación de vivienda tradicional y vivienda bioclimática

Temperatura. La comparación entre viviendas bioclimáticas y tradicionales revela temperaturas promedio más bajas en la bioclimática, dormitorio: 28.75°C, sala: 28.96°C, frente a la tradicional dormitorio: 30.32°C, sala: 30.40°C, tal como se muestra en la Tabla 2. La diferencia promedio de 1.5°C, aunque pequeña, impacta significativamente en el confort térmico y el consumo energético. Las viviendas bioclimáticas demuestran eficiencia energética al mantener un ambiente confortable utilizando recursos naturales y minimizando la climatización artificial. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar estrategias bioclimáticas en el diseño de viviendas para mejorar el confort y la calidad de vida.

Tabla 2. Tabla de datos promedios de temperatura Fuente. Elaboración propia.

DATOS PROMEDIOS DE TEMPERATURA		
Espacio	TBioclimática	Ttradicional
Dormitorio	28.75	30.32
Sala	28.96	30.40
Prom. Temperatura	28.85	30.36

Humedad relativa. El análisis de datos revela que la vivienda bioclimática tiene un nivel de humedad relativa promedio más alto en el dormitorio 69.62% y la sala 66.15%, en comparación con la vivienda tradicional, dormitorio: 65.21%, sala: 63.19%. La diferencia promedio de humedad relativa de 3.68% sugiere una menor humedad relativa en la vivienda tradicional, en comparación a la bioclimática, pero la variable de humedad relativa responde de forma inversamente proporcional a los datos de temperatura.

Las viviendas bioclimáticas demuestran un equilibrio entre sostenibilidad y confort, resaltando la importancia de principios bioclimáticos en el diseño de viviendas.

Tabla 3. Tabla de datos promedios de humedad relativa. Fuente. Elaboración propia.

DATOS PROMEDIOS DE HUMEDAD		
Espacio	H Bioclimática	H tradicional
Dormitorio	69.62	65.21
Sala	66.15	63.19
Prom. Temperatura	67.88	64.20

Iluminación. La comparación entre viviendas muestra que la tradicional presenta iluminación baja 39, 16, y 33 lux, mientras que la bioclimática exhibe variabilidad significativa, 119, 364 y 111 lux, alcanzando un pico de 364 lux en el mes de noviembre, sugiriendo mejor captación o distribución de luz. El promedio de iluminancia es significativamente mayor en la vivienda bioclimática, indicando una mejor calidad de iluminación y potencial ahorro energético. Este análisis resalta que la vivienda bioclimática ofrece un entorno favorable para los ocupantes. La iluminancia media se compara con los estándares mínimos para recomendar mejoras en ambas viviendas.

Tabla 4. Tabla de iluminancia media de la vivienda bioclimática y tradicional. Fuente. Elaboración propia.

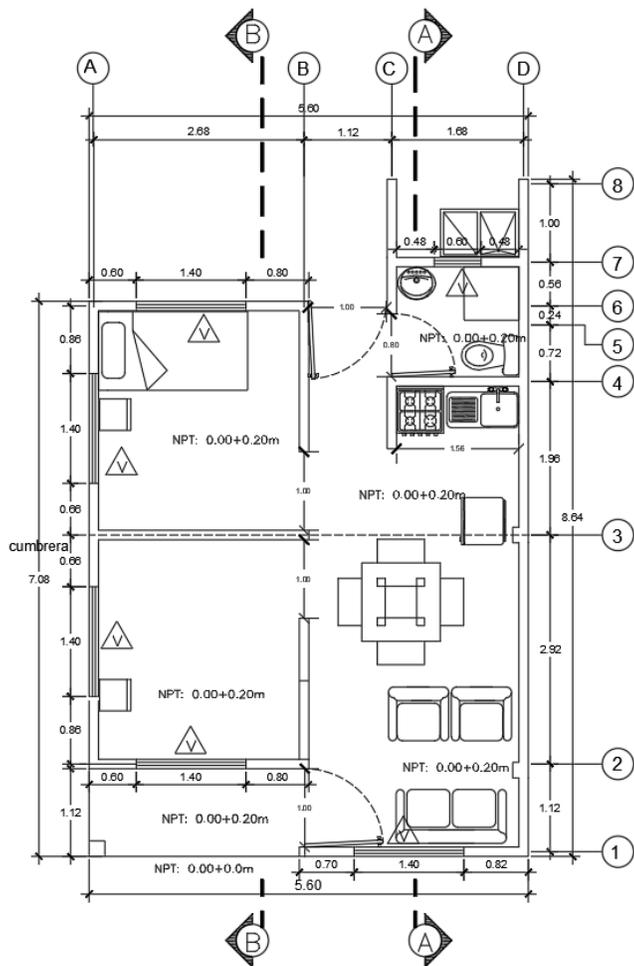
ILUMINANCIA MEDIA				
Espacio	Sala comedor cocina		Dormitorio 1	
Fecha de visita	Prom. tradicional	Prom. bioclimática	Prom. tradicional	Prom. bioclimática
9/8/23	39	119	0	96
22/11/23	16	364	0	185
15/02/23	33	111	0	88

H. Propuestas de mejoras al diseño de vivienda tradicional

Tras realizar los análisis en la vivienda tradicional, se propone implementar mejoras en la infraestructura para aumentar el confort térmico interno y mejorar la iluminación. Las modificaciones consideran la ubicación actual de la vivienda en el terreno. Se sugiere agregar una ventana adicional en los dormitorios y ampliar las ventanas existentes a 1.40 m de ancho en la sala, comedor, cocina y dormitorios. Estas mejoras facilitarán la circulación cruzada del aire, permitiendo su entrada y salida por ventanas opuestas, promoviendo un flujo constante que reducirá la temperatura interna.

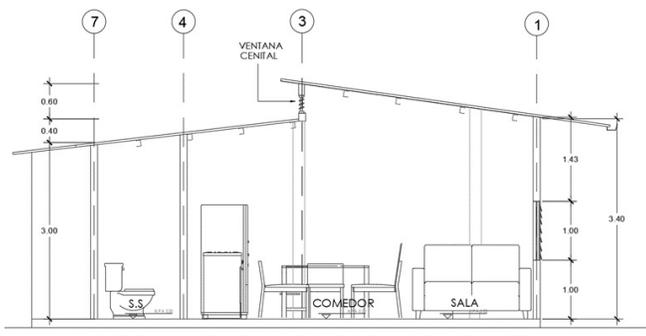
Se propone elevar la cumbrera del techo en 0.60 m para instalar ventanas que permitan una iluminación cenital. Esta medida aumentará la entrada de luz y facilitará la salida del aire caliente, mejorando el confort interno.

Los cambios propuestos se detallan en la planta arquitectónica del Plano 2 y la sección longitudinal Plano 3 muestra las variaciones de alturas.



PLANTA ARQUITECTONICA VIVIENDA TRADICIONAL SIN ESCALA

Plano 2. Propuesta planta arquitectónica, vivienda tradicional. Fuente. Elaboración propia.



SECCION LONGITUDINAL CORTE A-A SIN ESCALA

Plano 3. Sección longitudinal sala comedor cocina, vivienda tradicional. Fuente. Elaboración propia.

Conclusiones

- La automatización en la toma de datos ha permitido obtener una base de datos que facilitó el análisis eficiente y la generación de representaciones gráficas de calidad.

- Las mediciones muestran que los criterios bioclimáticos pasivos implementados en la vivienda bioclimática, como la ventilación cruzada y la ubicación estratégica de ventanas, contribuyen significativamente al confort interno, resaltando la eficacia del diseño bioclimático.
- La diferencia promedio de temperatura de 1.50°C menor en la vivienda bioclimática indica un cumplimiento exitoso del criterio bioclimático de disminución de temperatura en el diseño.
- Se observa una mayor humedad relativa en la vivienda bioclimática, influenciada por la inversa proporcionalidad entre temperatura y humedad relativa.
- El diseño bioclimático ofrece un mejor control térmico y de humedad relativa, lo que resulta en una mayor comodidad y ahorro energético en comparación con la vivienda tradicional.
- La similitud en las variables climáticas durante ciertos meses sugiere que ciertos factores estacionales pueden afectar ambas viviendas de manera similar, destacando la importancia de considerar el entorno climático en el diseño arquitectónico.
- La iluminación natural en la vivienda bioclimática presenta una distribución más uniforme y una intensidad lumínica superior en comparación con la vivienda tradicional, según los datos obtenidos con el luxómetro.
- La variante de iluminación natural interior de la vivienda tradicional no cumple con los requerimientos mínimos solicitados (100lux) en los estándares de confort visual, lo que causa un mayor uso de energía eléctrica para lograr confort visual.

Agradecimientos

Agradecimientos especiales a Hábitat para la Humanidad El Salvador por el apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- [1] R. A. Figueroa Cardoza, "Clasificación de zonas bioclimáticas de El Salvador, sus herramientas y estrategias para diseño urbano-arquitectónico", Tesis de Arquitecto. Esc. Arq., Univ. de El Salv. San Salvador, 2008.
- [2] Dirección General de Observatorio de Amenazas y Recursos Naturales, "Clima en El Salvador", Accedido: 8 de diciembre 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>
- [3] Induanalisis Laboratorio Ambiental, "Calidad del aire", Accedido: 23 enero 2023. Disponible en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/variables_climaticas_23