



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**DISEÑO A NIVEL DE ANTEPROYECTO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA  
APLICANDO ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN  
TÉRMICA Y ENERGÉTICA EN CLIMA HÚMEDO MUY CALUROSO**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Arquitecto

**AUTORES: JEREMY MATEO LITARDO GUZMÁN**

**SAMANTHA ALEJANDRA ALVEAR HERNÁNDEZ**

**TUTOR: ARQ. FELIPE EDUARDO CISNEROS JERVES**

Cuenca - Ecuador

2026

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jeremy Mateo Litardo Guzmán con documento de identificación N° 0106991680 y Samantha Alejandra Alvear Hernández con documento de identificación N° 0151140829; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Jeremy Mateo Litardo Guzmán

0106991680



---

Samantha Alejandra Alvear Hernández

0151140829

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Jeremy Mateo Litardo Guzmán con documento de identificación N° 0106991680 y Samantha Alejandra Alvear Hernández con documento de identificación N° 0151140829, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño a nivel de anteproyecto de un módulo de vivienda aplicando estrategias bioclimáticas pasivas para la optimización térmica y energética en clima húmedo muy caluroso”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Arquitecto, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de febrero del 2026

Atentamente,

---

Jeremy Mateo Litardo Guzmán

0106991680

---

Samantha Alejandra Alvear Hernández

0151140829

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Felipe Eduardo Cisneros Jerves con documento de identificación N° 0104977764, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO A NIVEL DE ANTEPROYECTO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA APLICANDO ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS PARA LA OPTIMIZACIÓN TÉRMICA Y ENERGÉTICA EN CLIMA HÚMEDO MUY CALUROSO, realizado por Jeremy Mateo Litardo Guzmán con documento de identificación N° 0106991680 y por Samantha Alejandra Alvear Hernández con documento de identificación N° 0151140829, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Arq. Felipe Eduardo Cisneros Jerves

0104977764

## **Dedicatoria Jeremy Litardo**

Dedicatoria Jeremy Litardo A mis padres, Gabriela y Cristóbal, por su amor incondicional, por creer en mí y acompañarme en cada etapa de este camino. A mi abuelo papito Maco, por ser uno de mis mayores apoyos, por no dejarme solo nunca y por sostenerme con su ejemplo y su confianza. A mis hermanos y a mi tía Cristina, por estar conmigo como familia, especialmente en los momentos más difíciles, brindándome cariño, compañía y fuerza cuando más lo necesité. De manera muy especial, a mi mejor amigo Sebastián, quien con el tiempo se convirtió en un hermano: gracias por tu lealtad, por estar siempre presente y por apoyarme sin condiciones. Extiendo también este agradecimiento a su madre, por su cercanía y apoyo, que han significado mucho para mí. Esta tesis es también un reflejo de todo lo que ustedes me han dado.

### **Dedicatoria Samantha Alvear**

Con todo mi amor y cariño a mis padres Alejandra y Diego, porque han luchado cada día por verme cumplir mis sueños, me han inspirado con sus palabras y sus vivencias a dar lo mejor de mí y siempre seguir adelante, han sido mi motor, mi apoyo y refugio en los días que sentía que no podía más, si hoy he logrado llegar aquí es porque nunca dejaron de creer en mí, este logro es el reflejo de cada cosa que me enseñaron, y de todo su amor, este es nuestro logro. A mi familia especialmente a mi tío y mi abuelito, por ser personas tan especiales en mi vida, gracias por estar siempre pendientes de mí y mis estudios, porque todo ese interés que han demostrada me ha hecho sentir acompañada, por los domingos de familia y los momentos compartidos, gracias por llenarme el corazón de alegría y ser un apoyo en mi vida. A mi Layka mi fiel compañera, por estar presente en los primeros ciclos de mi carrera, con ese amor que trascendía las barreras del lenguaje, su dulce compañía me calmaba en las noches donde la exigencia y el cansancio de los trabajos era muy alto, aunque ya no esté presente físicamente, todo lo vivido y el amor que nos unió permanece en mi corazón.

## **Agradecimientos Jeremy Litardo**

Agradezco primero a Dios, porque en cada etapa de este camino me sostuvo con su luz, me dio paz cuando la necesitaba y me regaló la fuerza para seguir adelante incluso cuando todo se hacía pesado. A mis padres, Cristóbal y Gabby, gracias con todo mi corazón por amarme, por confiar en mí y por estar presentes en cada paso. Su apoyo, sus palabras, sus esfuerzos y su forma de acompañarme han sido mi base; esta tesis también lleva un pedacito de ustedes. A mi abuelo, mi querido Papito Maco, gracias por ser mi refugio y mi ejemplo, por cuidarme, por no dejarme solo nunca y por darme ese impulso que tantas veces me levantó. A mis hermanos, Rafaela y Sebastián, gracias por ser mi hogar, por su compañía, por sus detalles y por quererme como soy; ustedes han sido parte de mi alegría y mi motivación diaria. A mi tío Andrés y a mi tía Cristina, gracias por estar cerca, por apoyarme de verdad y por acompañarme también en los momentos más difíciles; su cariño y su presencia significan muchísimo para mí. Y de manera muy especial, a mi amigo Sebastián, gracias por tu amistad sincera y leal, por estar cuando más te necesitaba, por escucharme, impulsarme y no dejar que me rinda. Gracias por celebrar mis logros como si fueran tuyos y por convertirte, con el tiempo, en un hermano. Te quiero mucho y valoro con el alma tenerte en mi vida. Finalmente, a mi compañera de tesis, Samantha, gracias por el trabajo compartido, por la paciencia, el apoyo y el esfuerzo durante este proceso. Valoro mucho todo lo que construimos en equipo y la manera en que nos acompañamos para llegar hasta aquí. A cada uno de ustedes: gracias por tanto amor. Este logro no lo siento solo mío, lo siento nuestro.

## **Agradecimientos Samantha Alvear**

A Dios por darme la vida para cumplir mis sueños, por los momentos difíciles en los que su amor me sostuvo, y me permitió continuar luchando. A mi mamá, aunque la distancia nos ha separado un tiempo, tu presencia siempre me ha acompañado, con mensajes, llamadas, toda esa preocupación que siempre tuviste por mí, porque siempre me motivaste a luchar, porque cuando hablamos siempre podía encontrar además de una madre, una amiga a quien confiarle mis problemas, y tú siempre estabas lista para escuchar y apoyarme, gracias por ser mi luz en todo este camino, por tu ejemplo de valentía y fuerza, gracias por creer siempre en mí y tus palabras de aliento, todo mi amor y gratitud hacia ti son infinitos. A mi papá, por sentarte a mi lado a ayudarme a terminar de hacer las maquetas, o arreglar los cortes que me salían mal, porque cuando te pedía que me ayudes a terminar de hacer mis planos, nunca te negaste ni aunque te levantarás en la madrugada, gracias por ese plato de comida que me subías cuando ni yo misma recordaba que debía parar, gracias porque cuando la carrera me derrumbaba siempre estuviste listo para consolarme y motivarme a seguir adelante, todo mi amor y admiración por ti son infinitos. A Jeremy, porque eres un gran amigo, gracias por todos los momentos que hemos vivido, desde la directiva hasta ser compañeros de tesis, por todas las noches que hicimos llamada para no quedarnos dormidos en las entregas, gracias por ayudarme en cada problema, ser un apoyo y una persona muy importante en mi vida. A Paula, por ser mi confidente, compartir tantos momentos lindos, eres esa persona que logra sacarme una sonrisa en los días más pesados, gracias porque tu compañía y tu amistad han hecho de esta experiencia algo maravilloso, tu dulzura y tu forma de ser han sido un regalo en mi vida. A nuestro tutor de tesis, Arquí Felipe por su guía y acompañamiento a lo largo de este proceso, gracias por cada revisión, por la paciencia en cada enseñanza que nos dio, por sus observaciones y por impulsarnos a seguir mejorando. A mi Kitty, mi compañera de cuatro patitas, gracias por acompañarme en cada noche de desvelo, por bajar hasta mi escritorio y acostarte a mi lado hasta que terminara, gracias por tus ronroneos y tus mimos, por acostarte sobre mí a observar lo que hago con curiosidad, gracias por tu amor silencioso pero profundo, eres una parte esencial y maravillosa en mi vida.

## **Resumen**

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un módulo de vivienda en un clima húmedo muy caluroso que, con la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas, genere condiciones adecuadas de confort térmico. El estudio se desarrolla a partir del diseño de un módulo base, sobre el cual se analizan diferentes estrategias con el fin de mejorar las condiciones de confort térmico interior sin recurrir a sistemas activos de climatización. La metodología empleada es de enfoque cuantitativo basada en la simulación térmica mediante el software DesignBuilder, para el análisis se utilizó un módulo base de 3,5 m x 3,5 m en el que se evaluó variables como temperatura operativa, humedad relativa, entre otras, considerando el escenario base como la aplicación progresiva de estrategias pasivas, entre ellas la materialidad, uso de cámaras de aire, ventilación cruzada, dimensionamiento y ubicación de ventanas, y protección solar. Los resultados evidencian que la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas reducen de forma significativa la carga térmica del módulo habitacional y mejoran el confort térmico interior en comparación con el modelo base sin estrategias. De manera que, su implementación constituye una alternativa eficiente para viviendas ubicadas en climas húmedos muy calurosos y contextos similares, ya que disminuye la dependencia del enfriamiento mecánico y contribuye a una arquitectura más sostenible y adaptada al entorno.

### **Palabras Clave:**

Clima húmedo muy caluroso, estrategias bioclimáticas pasivas, confort térmico, carga térmica, dependencia energética.

## **Abstract**

This research aims to develop a housing module for a hot–humid climate that, through the application of passive bioclimatic strategies, achieves adequate indoor thermal comfort conditions. The study is based on the design of a baseline module, on which different strategies are analyzed to improve indoor thermal comfort without relying on active cooling systems. The methodology follows a quantitative approach based on thermal simulation using DesignBuilder software. For the analysis, a 3.5 m × 3.5 m baseline module was used, and variables such as operative temperature and relative humidity, among others, were evaluated. The baseline scenario considered the progressive application of passive strategies, including material selection, the use of air cavities, cross ventilation, window sizing and placement, and solar protection. The results show that applying passive bioclimatic strategies significantly reduces the thermal load of the housing module and improves indoor thermal comfort compared to the baseline model without strategies. Therefore, their implementation represents an efficient alternative for housing in hot–humid climates and similar contexts, as it reduces dependence on mechanical cooling and contributes to architecture that is more sustainable and better adapted to its environment.

### **Keywords:**

Hot and very humid climate, passive bioclimatic strategies, thermal comfort, thermal load, energy dependence.

# Índice de contenido

Capítulo 1: Marco Teorico		023
1.1	Arquitectura bioclimatica y crisis ambiental contemporanea	025
1.2	Confort térmico, clima y eficiencia energética en la vivienda	027
1.3	Historia medioambiental de la arquitectura	031
1.4	Arquitectura bioclimática en América Latina y Ecuador	034
1.5	El clima húmedo muy caluroso en la costa ecuatoriana y en Machala	035
Capítulo 2: Zona de estudio		045
2.1	Localización de la zona de estudio y contexto climático de Machala	047
2.2	Características físicas y antecedentes del terreno de estudio	061
2.3	Síntesis del contexto y requerimientos para el módulo de vivienda y análisis FODA	063
Capítulo 3: Casos de estudio		065
3.1	Selección de casos de estudio	067
3.2	Análisis de los casos de estudio	071
Capítulo 4: Estrategias bioclimaticas pasivas		085
4.1	Estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas al módulo	087
4.2	Diseño del módulo: configuración espacial, modulación y lógica constructiva	093
Capitulo 5: Evaluacion		097
5.1	Evaluación del desempeño térmico del módulo mediante simulación en DesignBuilder	099
5.2	Consolidación del diseño pasivo optimizado y análisis comparativo frente al escenario base	121
5.3	Consolidación del Anteproyecto: Vivienda Bioclimática	126
Conclusiones y recomendaciones		137

# Introducción

En Ecuador perduran desafíos en el diseño de viviendas vinculados a la limitada incorporación de criterios de adaptación climática, de manera individual en territorios de clima cálidos y húmedos como es el caso de Machala (provincia de El Oro), según la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su apartado de eficiencia energética (NEC-HS-EE) Machala se clasifica dentro de la zona climática Húmeda muy calurosa (Zona 1), lo que se asocia a la necesidad de priorizar la protección solar, ventilación natural y control de ganancias de calor desde el diseño arquitectónico, sin embargo en múltiples viviendas de Machala, y por lo general en la costa ecuatoriana se han buscado soluciones tecnológicas como equipos de aire acondicionado como recurso principal para alcanzar condiciones mínimas de confort, en lugar de resolver el desempeño térmico con decisiones pasivas de proyecto, esta dependencia se relaciona con deficiencias en variables básicas de diseño, como orientación respecto al recorrido solar, ventilación cruzada efectiva y selección de materiales de la

envolvente. Debido al enfriamiento mecánico se incrementa la demanda eléctrica residencial y los costos operativos asociados al uso cotidiano de la vivienda, reforzando la necesidad de replantear el diseño arquitectónico para responder desde su concepción a las condiciones climáticas de cada sector y no únicamente mediante equipamiento posterior, por otro lado, al depender de sistemas activos cuyo acceso no es universal, se evidencian condiciones de desigualdad en la posibilidad de alcanzar ambientes térmicamente adecuados, lo que vuelve pertinente abordar el confort como componente de habitabilidad y vivienda digna desde estrategias pasivas de diseño.

Es por ello que en la presente investigación se desarrolla un módulo de vivienda que integre estrategias bioclimáticas pasivas para mejorar el confort térmico en clima húmedo muy caluroso; el módulo se concibe como un prototipo replicable y adaptable al contexto de la costa ecuatoriana, capaz de aportar lineamientos prácticos aplicables

a la vivienda, para verificar la efectividad de las estrategias pasivas, se plantea una evaluación del desempeño que considere la mejora del confort térmico con el fin de validar las decisiones de diseño y su posible adaptación a contextos climáticos similares, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de los usuarios.

# Problema

Ecuador es un país con una gran diversidad climática, dentro de la cual se encuentra el clima húmedo, caracterizado por altas temperaturas y elevados niveles de humedad. La ciudad de Machala está clasificada dentro de este rango por la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su apartado de Eficiencia Energética (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2023); mediante revisión de bibliografía y casos de estudio en contextos análogos, se han identificado deficiencias recurrentes en el diseño arquitectónico asociadas a la escasa incorporación de estrategias pasivas, lo que reduce el confort térmico interior en diversas viviendas. Entre los factores determinantes se identifican la orientación subóptima respecto al recorrido solar, la carencia de ventilación cruzada efectiva y la selección de materiales con baja inercia térmica. De acuerdo con Claudio Varini (2022), investigador y docente de la Universidad Católica de Colombia en su obra *Envolventes en Clima Tropical*, dichos elementos inciden directamente en el deterioro de las condiciones térmicas interiores,

resultando inadecuadas para garantizar confort y eficiencia energética en edificaciones ubicadas en climas húmedos.

Ante la ausencia de estrategias bioclimáticas aplicada, las edificaciones tienden a depender de sistemas artificiales de ventilación y enfriamiento, lo que eleva significativamente el consumo energético y los costos asociados esto según el Ministerio de Energía y Minas (2024). Investigaciones de viviendas sociales en el país han demostrado, que la implementación de soluciones pasivas, como envolventes térmicas adecuadas o cubiertas con materiales reflectivos, puede mejorar considerablemente el confort interior y reducir la demanda energética según el arquitecto Hidalgo Villacís (2018) (tesis de maestría, Universidad de Cuenca). Con base en estos antecedentes, se identifica una brecha entre lo recomendado y lo aplicado en la práctica proyectual; de allí que, en contextos de clima húmedo muy caluroso, persista debido a la ausencia de un planteamiento

arquitectónico que contemple de manera integral la orientación solar, la ventilación natural, el aislamiento térmico y la selección de materiales de la envolvente. Esta omisión propicia interiores con temperaturas inadecuadas, incrementa la demanda energética y deteriora el confort de los ocupantes.

# Importancias y alcances

En Ecuador existen regiones con un clima húmedo muy caluroso, caracterizadas por temperaturas promedios que varían entre 24 °C y 31 °C, este es el caso de la provincia de El Oro, y particularmente la ciudad de Machala, donde se observa la temperatura más elevada del país, con picos durante los meses de febrero a abril. Estas características climáticas generan bajos niveles de confort térmico en las viviendas, lo que afecta directamente en la manera de habitar de las personas. Frente a esta realidad, los usuarios recurren al uso de sistemas mecánicos de climatización, debido a que muchas de las veces los criterios de diseño bioclimáticos no son considerados de manera primordial durante las etapas iniciales de un proyecto, y como consecuencia se plantean soluciones que dependen principalmente de sistemas activos de climatización para alcanzar condiciones adecuadas de confort térmico, y esto provoca un incremento en el consumo energético, mayores costos económicos y un gran impacto ambiental.

Por estas razones se presenta el siguiente trabajo que busca promover un mayor uso de estrategias bioclimáticas pasivas para mejorar el confort térmico y reducir la dependencia a sistemas de climatización en climas húmedos muy calurosos, de esta manera se puede contribuir al diseño arquitectónico sostenible y a las familias ecuatorianas que habiten en climas similares, demostrando que es posible alcanzar condiciones adecuadas de confort térmico mediante decisiones pasivas de diseño. Asimismo, el módulo propuesto busca ser un referente aplicable en características climáticas similares.

# Delimitación

**Delimitación Espacial:**

La investigación se desarrolla en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, en el sector ubicado en la Vía Balosa, kilómetro 15, entrada al sitio Nueva Esperanza, este lugar fue seleccionado ya que presenta un clima húmedo muy caluroso, con problemáticas previamente descritas.

**Delimitación temporal:**

El trabajo de titulación se desarrollará durante el período 67 comprendido entre los meses de octubre de 2025 y febrero de 2026.

**Delimitación sectorial o institucional:**

La investigación se desarrolla en el área de diseño arquitectónico e investigación, y sin intervención directa de entidades públicas o privadas en el desarrollo del trabajo.

Luego del análisis de la problemática existente, se plantean las siguientes interrogantes que ayudarán a comprender claramente el problema de estudio y como afrontarlo.

# 0 1

¿Cómo diseñar un módulo de vivienda eficiente dentro de un clima húmedo muy caluroso, utilizando estrategias bioclimáticas pasivas que optimicen el comportamiento térmico y energético?

# 0 2

¿Es factible el diseño de un módulo de vivienda que sea eficiente térmica y energéticamente, a partir del análisis de las condiciones climáticas de un entorno húmedo muy caluroso, adaptándose a las características de este tipo de clima.

# 03

¿Se podrá Proponer un diseño de un módulo de vivienda que, responda eficientemente a las condiciones climáticas mediante estrategias bioclimáticas pasivas adaptadas al contexto local, para la optimización térmica y energética, sin recurrir a sistemas externos de climatización?

# 04

¿Es posible Evaluar el diseño de un módulo de vivienda, adaptado a las condiciones climáticas de un clima húmedo muy caluroso, analizando la efectividad de las estrategias bioclimáticas pasivas implementadas?

# Hipótesis

El uso de estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas en un módulo de vivienda genera el confort térmico adecuado para que se desarrolle la vida en su interior sin el uso de sistemas mecánicos.

# Objetivos

## **Objetivo General**

Desarrollar un módulo de vivienda en un clima húmedo muy caluroso que, con la aplicación estrategias bioclimáticas pasivas, genera condiciones adecuadas de confort térmico.

## **Objetivos Especificos**

Establecer los requerimientos iniciales bioclimáticos para el diseño de un módulo habitable a partir del análisis de las condiciones climáticas del entorno.

Proponer el diseño de un módulo habitable que con base a los requerimientos iniciales, responda eficientemente a las condiciones climáticas mediante el uso de estrategias bioclimáticas pasivas.

Evaluar la efectividad de las estrategias bioclimaticas pasivas implantadas en el módulo habitable adaptado a las condiciones climáticas de un clima húmedo muy caluroso.

# Marco metodológico

Para definir la metodología se revisaron tesis recientes con temas y clima similares al de Machala. A partir de esa revisión, se tomó como guía principal la secuencia de fases propuesta por Araujo Jaramillo y Salazar Aguilar (2024), porque su lógica de trabajo se ajusta al objetivo de pasar del diagnóstico climático a decisiones de diseño verificables. Como apoyo, se consideraron aportes metodológicos de estudios locales sobre vivienda en Machala y antecedentes de diseño bioclimático en otras ciudades del Ecuador, además del respaldo normativo de la NEC-HS-EE para enmarcar criterios de eficiencia energética aplicables al contexto nacional (Baquero Larriva, 2013; MIDUVI, 2018; Santín Galarza, 2023).

Con base en esta revisión, se plantea la siguiente estructura metodológica:

**Paso 1 Diagnóstico climático del sitio:** Reunir los datos base del clima (temperatura, humedad, radiación, viento y lluvia) a partir de fuentes confiables y archivos meteorológicos, y apoyarse en cartas bioclimáticas para orientar la lectura inicial del confort.

**Paso 2 Lectura del contexto local:** Observar cómo se construye y se habita en el lugar, materiales, vegetación y prácticas comunes, para que el diseño no sea genérico, sino compatible con el entorno y su lógica real de uso.

**Paso 3 Criterios de diseño del anteproyecto:** Definir reglas claras para el módulo (orientación, sombra, ventilación cruzada y decisiones sobre inercia térmica) tomando como base lo aprendido en el diagnóstico, también el análisis de casos de estudio en contextos análogos y el objetivo de confort interior (Givoni, 1994; Olgyay, 2015).

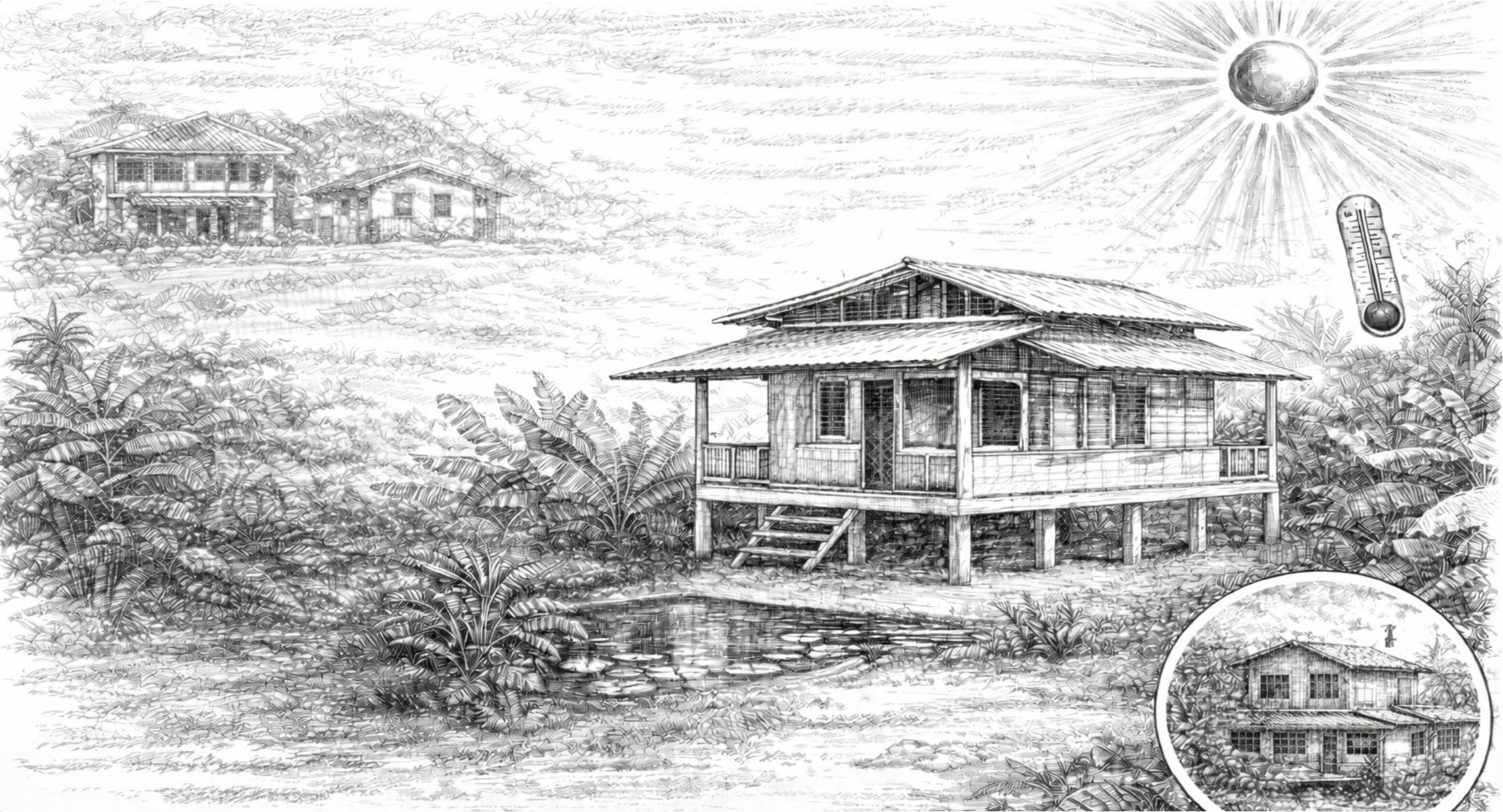
**Paso 4 Selección de estrategias pasivas:** Elegir y priorizar las estrategias bioclimáticas según tres filtros prácticos: qué tanto ayudan, cuánto cuestan y qué tan factibles son de construir, priorizando combinaciones coherentes entre control solar, ventilación y manejo de humedad.

**Paso 5 Desarrollo del módulo:** Traduciendo las estrategias seleccionadas a arquitectura: plantas, cortes, fachadas y detalles, verificando que la forma, la envolvente y el funcionamiento ambiental trabajen en conjunto.

**Paso 6 evaluación y validación:** Validación mediante simulaciones con archivo con modelos como DesignBuilder y EnergyPlus (DesignBuilder Software, 2009; U.S. Department of Energy, 2023), verificando si las estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas logran mantener un confort térmico óptimo.

# Capítulo 1

**Marco Teorico**



Fundamentos del diseño bioclimático en climas húmedos muy calurosos

### **1.1 Arquitectura bioclimática y crisis ambiental contemporánea**

La arquitectura bioclimática hoy en día se concibe como un enfoque de diseño orientado a integrar las edificaciones con condiciones climáticas del entorno, en donde se llega a optimizar la utilización de la radiación solar, el viento, la humedad y la vegetación para lograr un confort térmico interior con un consumo energético mínimo y una menor dependencia de sistemas mecánicos de climatización, esta idea ha sido trabajada por autores como el arquitecto Victor Olgyay (2015), considerado uno de los pioneros del diseño bioclimático actual y el investigador Baruch Givoni (1994) quien era especialista en confort térmico y comportamiento de edificios en distintos climas (Olgyay, 1963/2015; Givoni, 1994). Así también como señalan Emmanuel Imuetinyan Aghimien, Hin Wa Danny Li y Ernest K. W. Tsang, investigadores actuales quienes analizan cómo la arquitectura llega reducir el consumo energético

a través de un buen diseño, en donde su aporte evidencia que el diseño no se limita a lo estético, sino también constituye una herramienta directa de eficiencia energética (Aghimien et al, 2022). Entonces a diferencia de una arquitectura en donde se prioriza lo formal o la estética, en el sentido de bioclimática se considera el clima como factor determinante del proyecto y ayuda a la toma de decisiones sobre la orientación, la volumetría, la materialidad y el uso de la envolvente en función del comportamiento térmico, así también ayudando a reducir el consumo energético del edificio. Ante la crisis climática y el aumento de la demanda energética del sector constructivo existen datos muy relevantes para poder dimensionar la magnitud del problema y poder justificar la necesidad de estrategias pasivas que reduzcan cargas térmicas en una vivienda, gracias a los informes internacionales de referencia, como el Sexto Informe de Evaluación del IPCC y el Global Status Report for Buildings and Construction (UNEP–GlobalABC), en donde coinciden en que la edificación concentra una

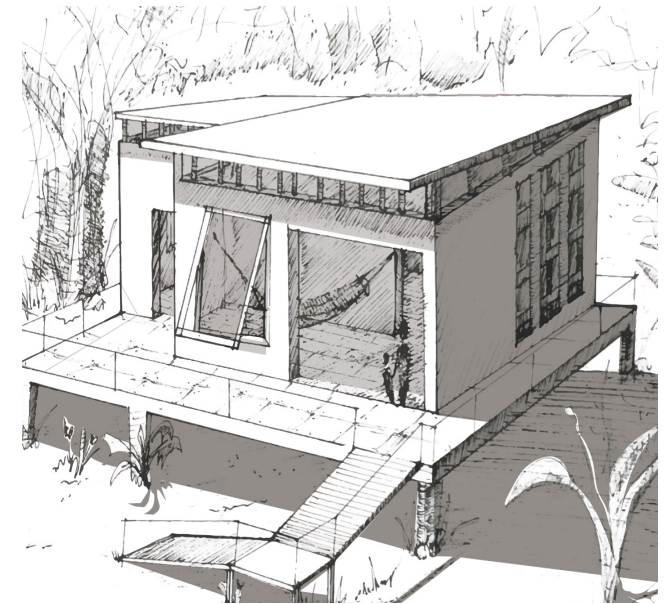
fracción importante del consumo energético global y de las emisiones asociadas, llegando a afectar principalmente debido al acondicionamiento térmico de los espacios (IPCC, 2022; United Nations Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction, 2024). Y asimismo la Agencia Internacional de Energía (Energy Agency, IEA), que es un organismo intergubernamental especializado en estadísticas energéticas, indica que la refrigeración llega a representar alrededor de un 10% de la demanda eléctrica mundial y mantiene una tendencia de crecimiento, en países con climas cálidos (IEA, 2023).

Teniendo en cuenta el uso de sistemas de aire acondicionado, estos se han convertido en una respuesta muy directa al aumento del calor y al sobrecalentamiento interior, pues las construcciones que no disponen de criterios pasivos en climas cálidos, llegan a sufrir de este problema. En este contexto, la Agencia Internacional de Energía (IEA) advierte que la demanda de refrigeración sigue creciendo y que las decisiones vinculadas al edificio, incluido el diseño son determinantes importantes en el consumo energético asociado al enfriamiento de los espacios (IEA, 2025). En climas tropicales, esta relación se vuelve más crítica, porque un proyecto inadecuado puede elevar el riesgo de sobrecalentamiento y con ello reforzar la dependencia de sistemas mecánicos. Esto se evidencia en los aportes de Juan Gamero Salinas, quien es un investigador que estudia el riesgo de sobrecalentamiento en vivienda en clima tropical y la efectividad de medidas de enfriamiento pasivo, mostrando que variables de diseño como la ventilación natural, el control solar y ciertos

espacios de transición tienen un impacto en la reducción del sobrecalentamiento (Salinas, 2021). Frente a este escenario, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) que es una institución pública que sistematiza criterios técnicos para el diseño habitacional reúne recomendaciones de enfoque bioclimático orientadas a aprovechar el viento y el asoleamiento para lograr confort y reducir la necesidad de climatización mecánica, criterio que resulta útil para sustentar y justificar, en esta tesis, la selección de estrategias pasivas aplicables a contextos cálido y húmedos (CONAVI, 2022) como se puede observar en la figura 1.

### FIGURA 1

Estrategias pasivas en vivienda para clima cálido y húmedo: elevación del volumen, protección solar y ventilación natural.



FUENTE: Tomado de Diseño cálido húmedo: Diseño bioclimático (p. 53), por Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI], 2022

## 1.2. Confort térmico, clima y eficiencia energética en la vivienda

La arquitectura bioclimática llega a comprenderse como una estrategia de mitigación y adaptación frente al cambio climático, esto debido a que permite disminuir la temperatura en la vivienda y, a la vez, sostiene condiciones mínimas de habitabilidad durante episodios de calor extremo. Según Claudio Varini (2022), quien es autor de estudios sobre la envolvente arquitectónica en el contexto de climas tropicales, engloba que el desempeño del edificio depende en gran medida de decisiones pasivas aplicadas desde el diseño, especialmente a través del control de ganancias térmicas y la respuesta climática de la envolvente. De manera complementaria, Ming Hu, Kai Zhang, Quynh Nguyen y Tolga Tasdizen (2023), autores del artículo de Urban Climate sobre estrategias pasivas en climas cálidos, a partir de una revisión ordenada evidenciaron que la aplicación de estrategias pasivas puede mejorar el confort térmico

interior y reducir la demanda energética asociada a la refrigeración en edificaciones ubicadas en climas cálidos. En síntesis, estos aportes respaldan que el diseño pasivo no constituye un recurso secundario, sino que se convierte en un componente principal para responder desde la vivienda a los desafíos del calentamiento global.

Teniendo una perspectiva desde la historia medioambiental de la arquitectura, Eduardo Prieto Gonzales, en su libro historia medioambiental de la arquitectura expresa que, existe un vínculo entre el diseño y las condiciones ambientales y este mismo no es un fenómeno reciente, sino que es una constante presente a lo largo de la historia. En la antigüedad, las edificaciones debían ajustarse de manera estricta al clima local, ya que no existían fuentes energéticas ni sistemas mecánicos capaces de compensar decisiones de diseño inadecuadas. Como resultado, la forma arquitectónica, la materialidad y las técnicas constructivas se consolidaron como una respuesta empírica

frente a los cambios y fenómenos ambientales. Adicionalmente asegura que, en la modernidad industrial; y, en el presente, persiste un malentendido y una apuesta por todo a la industria, la modernidad industrial produjo la ruptura de esta lógica, pues la disponibilidad de combustibles y la climatización artificial permitieron desvincular el edificio de su entorno ambiental, dando como resultado una arquitectura que renuncia al clima como criterio de proyecto y traslada la obtención del confort al consumo energético. La bioclimática actual puede entenderse como volver, de forma crítica, a diseñar tomando en cuenta el clima, como se hacía antes, pero ahora con apoyo de herramientas como la simulación energética y normas de eficiencia. Por eso, no es una moda reciente, sino una manera actualizada de aplicar principios que ya estaban presentes en la arquitectura vernácula (Prieto Gonzales, 2019).

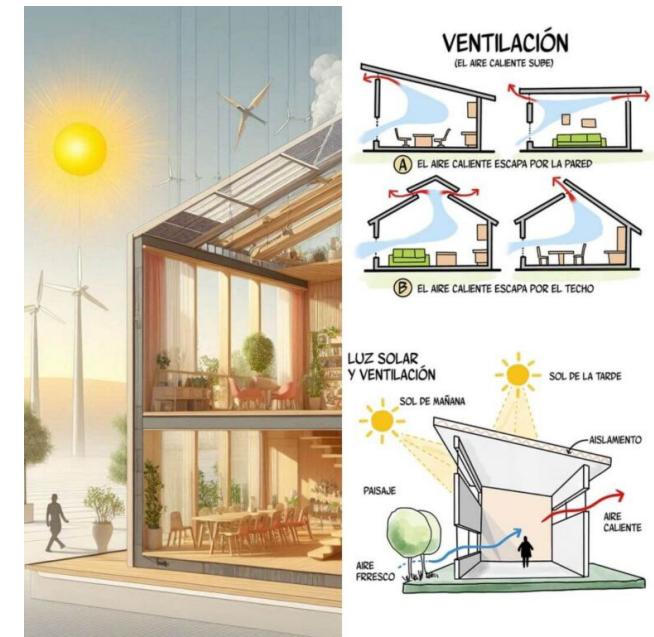
En la misma línea crítica, Judith Gifreu Font (2018), urbanista que plantea la necesidad de adaptar las ciudades al cambio climático, y Claudio Varini (2022) coinciden en que la adaptación de las ciudades y las viviendas al calor implica repensar la envolvente, la ventilación natural y el uso de la vegetación, de modo que el confort se logre priorizando estrategias pasivas y reduciendo la dependencia de soluciones mecánicas intensivas en energía. En otras palabras, es necesario reconceptualizar la arquitectura no solo como una expresión formal, sino también como un sistema en relación con el clima, que sea capaz de incidir de manera directa en la calidad del confort y la vida interior, en el caso de una vivienda, el confort térmico y la eficiencia energética no solo dependen de equipos o soluciones añadidas al final, sino también de decisiones proyectuales tomadas desde el principio del proyecto, que lleguen a integrar de forma consciente las decisiones que mejor funcionen según el clima local. En este mismo sentido, el diseño arquitectónico puede

reducir cargas de enfriamiento y disminuir impactos ambientales, consolidándose como una herramienta estratégica frente a la crisis climática de la actualidad (Aghimien et al., 2022). Recuperar esta visión implica reconocer que el confort no debería sostenerse en el consumo energético permanente, sino en estrategias pasivas verificables y coherentes con el desempeño térmico del edificio, fortaleciendo la autonomía ambiental del proyecto (Claudio Varini, 2022).

En síntesis, la arquitectura no debe ser solo una respuesta formal ni solo una solución energética. Su forma y desempeño resultan de integrar desde el inicio factores como clima, orientación, materialidad, ventilación, vegetación y uso, con un fin claro: garantizar la habitabilidad humana y el bienestar interior con coherencia y menor dependencia de sistemas mecánicos.

**FIGURA 2**

Envolvente climática y desempeño térmico.



FUENTE: Tomado de Los principios de la arquitectura bioclimática: Guía esencial, por N. Jiménez, 2025, El Arquí MX. <https://elarquimx.com/los-principios-de-la-arquitectura-bioclimatica/>

Uno de los principios fundamentales en la arquitectura bioclimática es el confort térmico, pues ayuda a evaluar la comodidad y la habitabilidad en un espacio, vivienda o construcción en diferentes climas, ya que esto influye en la percepción de bienestar de las personas. En palabras generales, el confort térmico se entiende como el estado en el que una persona manifiesta satisfacción con el ambiente térmico. Este término fue adoptado por los estándares internacionales de referencia bioclimática, siendo estos la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE, 2020) y la International Organization for Standardization (ISO, 2005).

Desde el contexto bioclimático, Givoni (1994) explica que esta satisfacción ocurre porque existe un equilibrio entre diferentes variables ambientales como la temperatura, la humedad relativa, el movimiento del aire y la radiación solar, en una mezcla con condiciones propias del usuario como puede ser la vestimenta y el

nivel de actividad. En donde se entiende como la influencia de estas variables permite orientar el diseño hacia soluciones que no solo se limiten en la funcionalidad sino en la comodidad. En este sentido, la ventilación natural es un factor clave, y el confort térmico debe abordarse desde decisiones ambientales verificables, especialmente aquellas vinculadas a la ventilación y al comportamiento del cerramiento (Olgyay, 2015). En la física ambiental, John L. Monteith y Michael H. Unsworth (2013), autores del texto de Principles of Environmental Physics, especifican como es que estas condiciones se explican por el balance térmico del cuerpo humano, determinado por la producción metabólica de calor y el intercambio energético con el entorno mediante convección, radiación y evaporación. Dando como resultado que cuando la combinación de altas temperaturas y también la humedad limitan la disipación del calor corporal, se incrementa el estrés térmico y se compromete la salud, aspecto que refuerza la necesidad de estrategias de protección frente al sobrecalentamiento interior en

contextos expuestos a calor extremo (World Health Organization [WHO], 2018).

Es necesario precisar el concepto de clima, dado que constituye el marco ambiental que condiciona el desempeño térmico de la vivienda. La Organización Meteorológica Mundial define las condiciones climáticas a partir de promedios calculados en periodos suficientemente largos, típicamente basados en series estándar de 30 años, lo cual permite distinguir entre el comportamiento meteorológico diario y las tendencias estructurales del entorno (World Meteorological Organization [WMO], 2017)

Comprender el clima local es indispensable para poder tomar decisiones sobre el proyecto, siendo estas la orientación, la geometría de las cubiertas, el comportamiento de la envolvente y la viabilidad de las estrategias pasivas y en cuanto al diseño bioclimático, este análisis no se entiende como una etapa descriptiva, sino como un procedimiento técnico que permite traducir datos climáticos ya sean de radiación, humedad, temperaturas y vientos en criterios concretos de diseño, en este contexto, Fuentes Freixanet y Rodríguez Viqueira (2004), desde un enfoque aplicado a la ventilación natural, plantean que el aprovechamiento del viento requiere caracterizar su dirección, velocidad y patrones de flujo, con el fin de configurar aberturas, recorridos de aire y condiciones de presión que favorezcan el intercambio de aire interior y de igual manera Monteith y Unsworth (2013) explican, desde la física ambiental, que el desempeño térmico depende de los intercambios de calor y masa entre el cuerpo, los materiales y la atmósfera, lo cual justifica que variables como el movimiento del

aire y la humedad sean determinantes al momento de evaluar estrategias pasivas, por ello, el análisis climático de Machala no constituye un insumo adicional, sino es la base técnica que permite sustentar el diseño del módulo habitable y anticipar su comportamiento térmico. En este sentido, la eficiencia energética se entiende como la capacidad de ofrecer el mismo nivel de servicio, por ejemplo, confort térmico con un menor consumo de energía, sin reducir el desempeño del espacio habitado (Stanford University, 2025). En vivienda, esta mejora puede lograrse mediante equipos más eficientes; sin embargo, cobra especial relevancia el diseño pasivo, ya que permite disminuir las cargas de enfriamiento desde la forma, la envolvente y la ventilación, reduciendo la dependencia de sistemas mecánicos (Aghimien et al., 2022).

En Ecuador, la relación entre confort térmico y consumo energético en vivienda se encuentra en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que es la normativa clave que establece criterios

mínimos de habitabilidad y eficiencia energética, en edificaciones residenciales, la NEC-HS-EE incorpora lineamientos para optimizar el consumo energético en función del clima de emplazamiento, lo que convierte a la envolvente y al diseño pasivo en criterios evaluables desde normativa nacional (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018). Como referencia de confort, la NEC-11 recomienda rangos de 18–26 °C para temperatura del aire y temperatura radiante media, 0,05–0,15 m/s para velocidad del aire y 40–65 % de humedad relativa (Norma Ecuatoriana de la Construcción [NEC], 2011).

### 1.3. Historia medioambiental de la arquitectura y saberes vernáculos en climas cálido y húmedos

Si miramos la arquitectura desde una lectura histórica más amplia, puede entenderse como una tecnología de gestión del clima. En este sentido Prieto Gonzales (2019), idealiza una historia de cómo las sociedades han organizado los flujos de calor, luz, viento y humedad mediante recursos espaciales y constructivos como muros, cubiertas, patios, galerías y espacios de transición. En etapas preindustriales, la escasez de recursos energéticos y la inexistencia de climatización mecánica obligaban a proyectar en función del clima local. Por ello, las formas, los materiales y las técnicas constructivas se consolidaron como respuestas vernaculas frente a la radiación solar, el régimen de lluvias, los vientos predominantes y las variaciones térmicas estacionales (Prieto Gonzales, 2019). En otras palabras, toda arquitectura era, de alguna forma, bioclimática, el marco teórico sustenta la pertinencia de recurrir a la arquitectura vernácula de la costa ecuatoriana como fuente de conocimiento proyectual, al demostrar

que sus estrategias espaciales y constructivas han surgido como respuestas adaptativas al clima local, aportando criterios técnicos válidos para el desarrollo de propuestas arquitectónicas contemporáneas. En el caso de la costa ecuatoriana, esta relación entre ambiente y diseño se evidencia en la vivienda tradicional desarrollada en sistemas livianos, construidos principalmente con madera y caña guadúa, adecuados para condiciones de alta humedad y suelos propensos a inundación.

Segun Claudia Peralta González (2014), en su estudio sobre la arquitectura vernácula en la cuenca baja del río Guayas, identifica estrategias como la elevación del volumen, la incorporación de espacios intermedios de sombra y el uso de vanos amplios que favorecen la ventilación cruzada. He investigaciones sobre vivienda vernácula manabita destacan el valor técnico de la guadúa y otros materiales locales, así como su potencial de reinterpretación en propuestas contemporáneas orientadas a sostenibilidad y adaptación climática (Muentes Rivera et al., 2023).

#### FIGURA 3

Hacienda La Reforma (Vinces, Ecuador): ejemplo de arquitectura tradicional y vernacula.



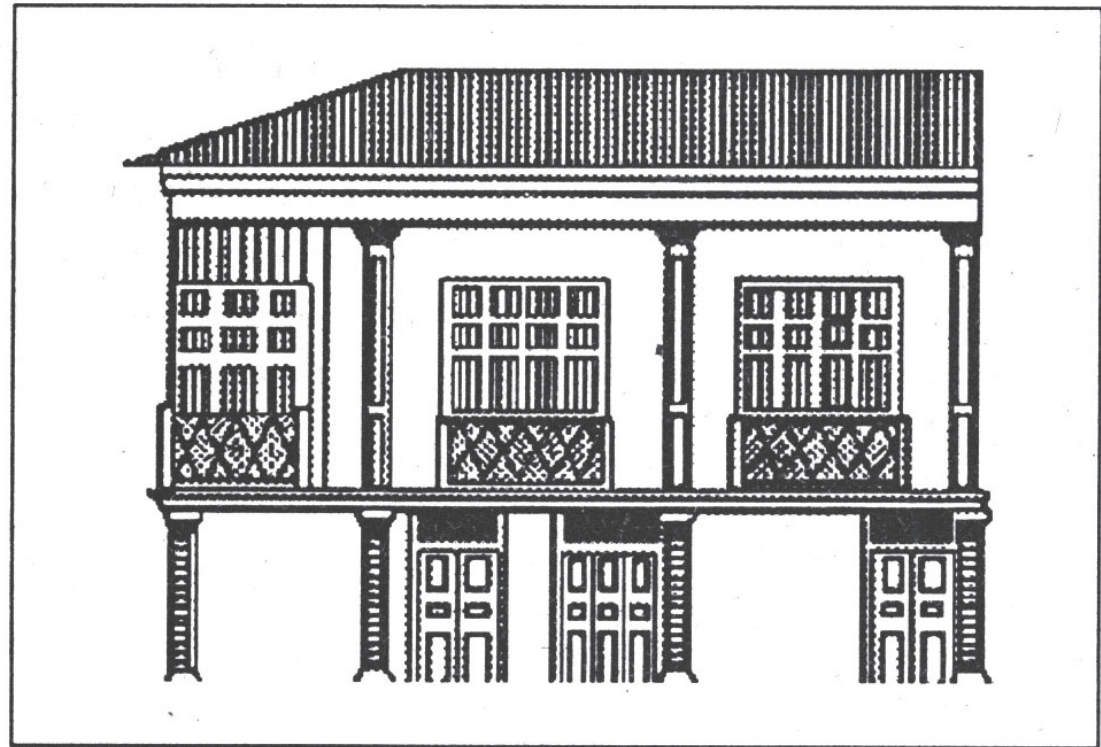
FUENTE: Tomado de Arquitectura vernácula de la zona baja de la cuenca hidrográfica del Guayas: Viviendas urbanas y rurales (Figura 8), por C. M. Peralta González, 2014, Arquitecturas del Sur, 32(46), p. 50.

**FIGURA 4**

Casas con soportales del centro: estudio de fachadas (Guayaquil, 1900–1925)

Asimismo, la evolución histórica de estas tipologías evidencia procesos de fusión entre técnicas locales y modelos urbanos introducidos durante años posteriores. Peralta González (2014) señala que, en el litoral, se consolidó un mezcla entre la organización espacial heredada del periodo colonial y los sistemas constructivos basados en madera y guadúa.

Por otra parte, Peralta González y Donoso Mogollón (2024) explican que, en Guayaquil, la arquitectura doméstica tradicional en madera (1896–1920) incorporó elementos como galerías, soportales y aleros, los cuales operaban como dispositivos de protección climática frente al sol y la lluvia. En conjunto, estos antecedentes permiten sostener que la arquitectura bioclimática contemporánea no surge como una tendencia reciente, sino como una actualización técnica de principios históricamente presentes en el habitar vernáculo.



FUENTE: Tomado de Bock, M. S. (1992). 2. Estudio macro-espacial de la arquitectura y de la sociedad guayaquileñas (1900–1940). En Guayaquil: Arquitectura, espacio y sociedad, 1900–1940. Institut français d'études andines.

A finales del XIX, los procesos de modernización urbana en la costa ecuatoriana impulsaron una transformación progresiva de la vivienda, tendiendo hacia configuraciones más compactas y de rápida ejecución. Sin embargo, en muchos casos se mantuvieron recursos de adaptación climática, siendo estos balcones, ventilaciones altas y patios interiores, los cuales contribuían a controlar la radiación solar y a favorecer la circulación del aire en ambientes cálidos y húmedos (Peralta Gonzales, 2024).

A lo largo del siglo XX, la incorporación del hormigón armado y la expansión del aire acondicionado no constituyeron por sí mismas el problema principal, sino la adopción acrítica de modelos arquitectónicos concebidos para otros contextos ambientales. Desde la lectura medioambiental de la arquitectura, Prieto Gonzales (2019) sostiene que esta ruptura se consolidó cuando el confort dejó de resolverse desde el proyecto y pasó a depender del consumo energético. En

Guayaquil, por ejemplo, esta transición se vinculó con una modernización formal que en ocasiones priorizó la imagen del progreso sin un desarrollo equivalente de criterios ambientales, debilitando la respuesta climática de la arquitectura. Florencio Guerrero (2020), arquitecto y doctor en diseño. En el contexto ecuatoriano y latinoamericano, esta lógica se ha materializado en edificaciones con protección solar insuficiente, ventilación cruzada limitada y envolventes que favorecen la acumulación térmica, lo que incrementa la necesidad de refrigeración y, en consecuencia, la demanda energética. En Guayaquil, Intriago Mairongo y su equipo (2021) desarrollan un estudio térmico de una vivienda y evalúan las ganancias de calor a través de muros, cubierta y piso, evidenciando cómo la materialidad y la exposición solar inciden en el sobrecalentamiento interior. De manera adicional, en el ámbito de la vivienda social, César Hidalgo Villacís (2018) arquitecto e investigador analiza el comportamiento térmico y el consumo energético de la envolvente de la vivienda tipo MIDUVI en

el clima de páramo andino, mostrando que una envolvente sin adecuación climática puede derivar en condiciones interiores desfavorables para la habitabilidad.

En síntesis, este apartado confirma que la arquitectura bioclimática no es inventar desde cero, sino reinterpretar y actualizar los principios climáticos ya presentes en los saberes vernáculos, integrándolos con herramientas técnicas, simulaciones y marcos normativos orientados al confort y desempeño.

#### **1.4 Arquitectura bioclimática en América Latina y Ecuador**

En América Latina, el rápido proceso de urbanización, la persistencia de la desigualdad social y la expansión de la vivienda informal han consolidado una zona habitacional donde una proporción relevante de construcciones se desarrolla sin criterios de diseño acordes con el clima. En este contexto es en donde predominan condiciones cálidas y húmedas, con temperaturas elevadas y altos niveles de humedad relativa durante una gran parte del año, sin embargo, la incorporación de estrategias pasivas en arquitectura continúa siendo limitada, particularmente en la vivienda de interés social. Según Giraldo Castañeda y Herrera (2017), esta situación refleja una brecha entre el conocimiento técnico disponible y su aplicación efectiva en el diseño arquitectónico y, en consecuencia, se incrementan los episodios de sobrecalentamiento interior, la dependencia de ventiladores y sistemas de aire acondicionado, y

la demanda eléctrica destinada al enfriamiento.

En Ecuador, la diversidad climática vinculada a la Costa, la Sierra, la Amazonía y la región insular impide comprender el territorio como una unidad homogénea. Con base en datos oficiales del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Fredi Portilla Farfán (2018) caracteriza a la región costera como predominantemente cálida y húmeda, con temperaturas relativamente estables y altos valores de humedad a lo largo del año. Dado que las regiones del país presentan condiciones térmicas y de humedad distintas, se requieren enfoques diferenciados de diseño, en el caso de la Costa, la prioridad se orienta al control solar y a la ventilación natural; en la Sierra, al manejo de pérdidas de calor y al aprovechamiento de ganancias térmicas; mientras que en la Amazonía se demandan soluciones acordes con la precipitación intensa y la humedad persistente. Desde el marco normativo, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), en su capítulo NEC-

HS-EE sobre eficiencia energética, clasifica el país en zonas climáticas y establece criterios prescriptivos para la envolvente, considerando variables como la demanda de enfriamiento y las condiciones de radiación. Al ser el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) la entidad rectora en materia de hábitat y vivienda, esta normativa constituye un referente técnico de aplicación obligatoria para el diseño arquitectónico en el país (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018). De acuerdo con la zonificación climática de la NEC-HS-EE, Machala se localiza en la condición húmeda muy calurosa, correspondiente a la zona 1 del esquema nacional y equivalente a la zona 1A en la referencia ASHRAE 90.1. Esta clasificación orienta el diseño hacia el control de radiación solar, la ventilación natural y la reducción de ganancias térmicas, especialmente en cubierta y fachadas (MIDUVI, 2018, pp. 40–41).

### **1.5 El clima húmedo muy caluroso en la costa ecuatoriana y en Machala.**

El clima de la costa ecuatoriana, y en particular el de Machala, se caracteriza por la persistencia de temperaturas elevadas y niveles altos de humedad relativa durante gran parte del año, condición que influye directamente en el desempeño térmico de las edificaciones y en la demanda de estrategias de acondicionamiento pasivo para asegurar la habitabilidad (Portilla Farfán, 2018). En este escenario, las decisiones arquitectónicas deben enfocarse en reducir la ganancia térmica sobre la envolvente y en mejorar el intercambio de aire, debido a que el ambiente exterior impone una carga climática constante que limita la disipación natural del calor. En esta investigación, estas variables se asumen como el punto de partida para definir criterios bioclimáticos específicos aplicables al módulo de vivienda propuesto. Dentro de los climas cálidos, resulta indispensable diferenciar los climas cálidos secos de los climas cálidos

húmedos, ya que su respuesta arquitectónica no puede ser equivalente. Según Givoni (1994), la baja humedad favorece la evaporación y permite soluciones basadas en inercia térmica, ventilación nocturna y organización espacial protegida de la radiación directa, como patios sombreados.

En contraste, en los climas cálido-húmedos el alto contenido de vapor de agua reduce la efectividad de la evaporación del sudor, elevando la sensación térmica y provocando que temperaturas moderadas se perciban como sofocantes (Monteith & Unsworth, 2013). Esta condición también se reconoce en estudios regionales, donde se señala que la humedad amplifica el discomfort en entornos tropicales (Lozano, 2010, Portilla Farfán, 2018).

Desde esta distinción climática, el proyecto se orienta a responder al calor percibido no solo al calor medido como un criterio determinante de diseño. A partir de estos fundamentos, el diseño arquitectónico en clima cálido y húmedo debe

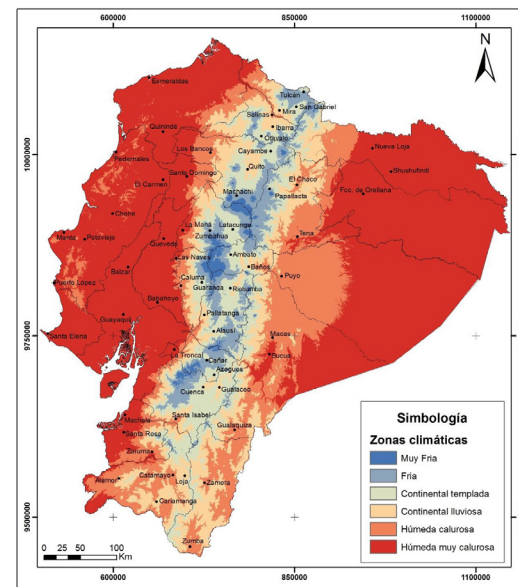
priorizar la reducción de ganancias solares y el aumento del movimiento de aire como mecanismo de disipación térmica, por encima de estrategias centradas en la acumulación de calor mediante masa térmica (Givoni, 1994).

En consecuencia, la ventilación natural, el sombreado efectivo y el control de la radiación incidente adquieren un rol determinante para mejorar el desempeño térmico interior sin depender exclusivamente de sistemas mecánicos y bajo este enfoque, este estudio justifica la selección de estrategias pasivas que optimicen el confort interior a través del control solar y el intercambio continuo de aire.

En el marco normativo nacional, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-HS-EE clasifica a Machala dentro de la zona climática “*húmeda muy calurosa*” (zona 1), criterio que orienta el diseño hacia estrategias pasivas de protección solar y ventilación natural (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018, p. 40). De manera adicional, los registros climáticos evidencian un comportamiento térmico alto y sostenido, en donde se reportan rangos típicos aproximados entre 21 °C y 31 °C a lo largo del año (WeatherSpark, 2025), así como eventos extremos cercanos a 35,5 °C (INAMHI, 2008). Estas condiciones se intensifican por humedades relativas elevadas, con valores promedio anuales cercanos al 77 %, lo cual refuerza la necesidad de estrategias pasivas orientadas al control solar y a la ventilación como medidas prioritarias de confort (Weather & Climate, 2025). En síntesis, la clasificación normativa y el comportamiento climático local confirman que el módulo debe diseñarse para minimizar ganancias térmicas y

mantener ventilación efectiva como principio rector del anteproyecto.

**FIGURA 5**  
Mapa de zonas climáticas del Ecuador



FUENTE: Tomado de la NEC REGISTROS METEOROLOGICOS INAMHI (COLOR)

Además del régimen térmico y de humedad, en Machala se registran velocidades de viento entre bajas y moderadas, con variaciones estacionales que condicionan la ventilación natural espontánea. Esta condición obliga a un diseño intencional de las aberturas ya sea posición, tamaño y relación entre entradas y salidas para capturar los vientos dominantes y aumentar la velocidad del aire al interior, especialmente en viviendas compactas (WeatherSpark, 2025). De forma complementaria, la cercanía a la línea ecuatorial implica altos niveles de exposición solar.

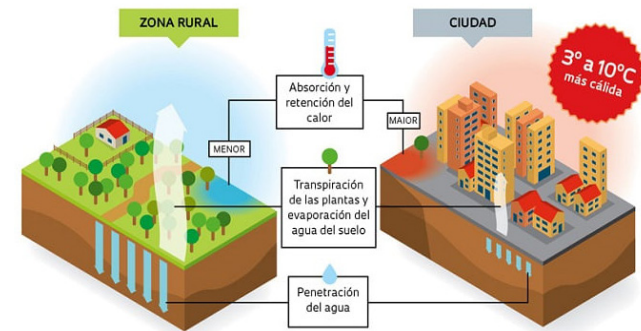
A estas condiciones se suman procesos de isla de calor urbana, asociados a la alta proporción de superficies impermeables, el uso de pavimentos oscuros, la reducción de cobertura vegetal y el incremento de densidad edificatoria, lo que modifica el balance energético del entorno construido y eleva la temperatura del aire cercano al suelo (Vujovic, 2021). En términos generales, las áreas urbanas pueden registrar temperaturas superiores a las zonas periurbanas o rurales, especialmente durante la noche y en escenarios de baja ventilación, lo que agrava la exposición térmica de la población (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2025). Desde la evidencia reciente, se ha identificado que la configuración urbana incluida la distribución de áreas verdes y el grado de compactación influye directamente en la intensidad del calentamiento local, por lo que la vegetación y el control morfológico se consolidan como medidas relevantes de mitigación (W. Zhou et al., 2023; Xu & Rui, 2024).

Todo ello incrementa la demanda de enfriamiento, particularmente cuando las viviendas presentan envolventes con alta ganancia térmica, poca sombra y ventilación cruzada deficiente. Por tanto, el problema térmico no depende solo del clima regional, sino también del microclima urbano inmediato, lo que justifica que este trabajo de titulación integre estrategias pasivas desde la escala arquitectónica y su relación con el entorno.

En este contexto, muchas viviendas de Machala y, en general, de la costa ecuatoriana que no incorporan estrategias bioclimáticas pasivas terminan dependiendo de ventiladores y equipos de aire acondicionado para alcanzar condiciones mínimas de confort térmico.

**FIGURA 6**

Por qué ocurre el efecto de isla urbana de calor (sombra, vegetación y permeabilidad).



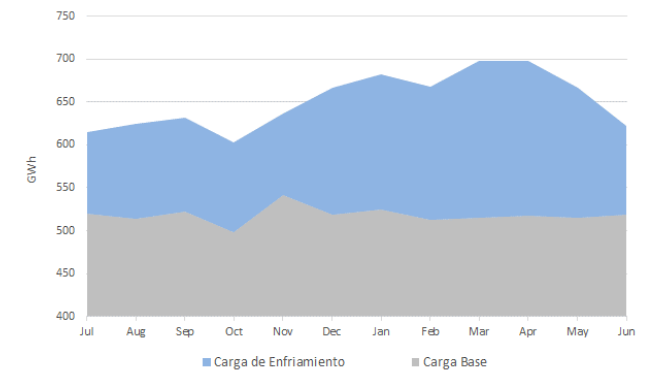
FUENTE: Tomado de Islas de calor, por Arkiplus (s. f.). <https://www.arkiplus.com/islas-de-calor>

Esta dependencia incrementa el consumo de electricidad en el uso residencial y eleva los costos de operación para los hogares. A escala nacional, el Balance Energético Nacional 2024, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Energía como entidad responsable del seguimiento estadístico del sector, evidencia que el consumo eléctrico se concentra principalmente en los sectores industrial y residencial, que en conjunto representan alrededor del 70 % del total de electricidad consumida en el país (Ministerio de Ambiente y Energía, 2024). En consecuencia, se refuerza la necesidad de replantear el diseño arquitectónico para que la vivienda responda desde su concepción a condiciones de alta temperatura y elevada humedad, y no únicamente mediante la incorporación posterior de soluciones tecnológicas añadidas. Por ello, se asume que el confort en Machala debe resolverse prioritariamente con decisiones pasivas de diseño, reduciendo la dependencia energética como parte de la habitabilidad.

Frente a esta problemática, la literatura especializada coincide en que, en climas húmedos muy calurosos, las estrategias bioclimáticas pasivas deben enfocarse en dos objetivos principales: reducir la ganancia térmica no deseada y favorecer el movimiento de aire a nivel del usuario, como mecanismos prioritarios para mejorar el confort sin depender de sistemas mecánicos (Givoni, 1994; Olgyay, 2015; Hu et al., 2023). En este estudio, estos dos objetivos se adoptan como criterios rectores para evaluar y seleccionar las decisiones de diseño del módulo de vivienda en Machala.

**FIGURA 7**

Estimación de la carga de enfriamiento en el sector residencial del Ecuador (2022).



FUENTE: Tomado de Nueva norma de eficiencia energética mínima para aparatos de aire acondicionado en el Ecuador (Figura 8, p. 20), por Chatellier-Lorentzen et al., 2024.

En este sentido, los aportes de Baruch Givoni y Victor Olgyay constituyen una base teórica clave para comprender cómo el edificio puede responder al clima mediante decisiones pasivas. A la vez, investigaciones recientes demuestran que la aplicación adecuada y combinada de estas estrategias puede lograr reducciones medibles de temperatura interior y de demanda de enfriamiento por ejemplo, una revisión sistemática reporta disminuciones promedio cercanas a 2,2 °C en climas cálidos cuando se integran soluciones pasivas de forma coherente (Hu et al., 2023). En consecuencia, variables proyectuales como la orientación, la proporción entre vanos y muros, los dispositivos de sombreado, la selección de materiales y la organización espacial se vuelven determinantes para el desempeño térmico del conjunto (Givoni, 1994; Hu et al., 2023). Por ello, se entiende el diseño bioclimático no como un complemento, sino como una estructura de decisiones coordinadas que define el comportamiento térmico del módulo desde el anteproyecto. En contextos ecuatoriales,

la orientación y la configuración de la envolvente permiten controlar la radiación incidente en fachadas y cubierta; en particular, se recomienda minimizar la exposición directa en las fachadas este y oeste, debido a que reciben radiación con ángulos bajos y más difíciles de proteger mediante aleros convencionales, y favorecer una geometría que facilite el sombreado a través de aleros, parasoles y vegetación (Olgyay, 2015). Asimismo, una relación adecuada entre superficies opacas y transparentes, con vanos dimensionados y protegidos, contribuye a reducir la carga térmica que ingresa al interior; en paralelo, la ventilación natural, especialmente la ventilación cruzada, resulta esencial para evacuar el calor acumulado y mejorar la sensación térmica al incrementar la velocidad del aire sobre el cuerpo humano (Givoni, 1994; Hu et al., 2023).

En síntesis, el confort en Machala depende de combinar control solar y ventilación cruzada efectiva como una respuesta integral, coherente

con el clima y con la lógica pasiva del módulo propuesto, entonces en función de ello, el anteproyecto prioriza decisiones de orientación, sombreado y configuración de vanos como base para integrar las estrategias pasivas evaluadas en el diseño final.

Fuentes como Freixanet y Rodríguez Viqueira (2004), autores de referencia en ventilación natural aplicada al diseño arquitectónico, y Giraldo Castañeda y Herrera (2017), en estudios sobre vivienda de interés social en clima ecuatorial, coinciden en que la ubicación, proporción y alineación de las aberturas respecto a los vientos dominantes inciden directamente en la eficacia de la ventilación y en la reducción de la temperatura operativa interior. El diseño de los vanos no debe asumirse como un recurso secundario, sino como una decisión técnica que condiciona el desempeño térmico del espacio habitable. Esto se traduce en definir aberturas dimensionadas y enfrentadas estratégicamente para sostener ventilación cruzada efectiva en el módulo propuesto.

En climas como el de Machala, la ventilación cruzada puede potenciarse mediante el efecto chimenea, incorporando aberturas altas o rejillas de salida que permitan la evacuación del aire caliente por ascenso, mientras el aire de admisión

ingresa por vanos ubicados a menor altura (Fuentes Freixanet & Rodríguez Viqueira, 2004; Givoni, 1994). Este enfoque permite transformar el concepto general de “ventilación natural” en una configuración espacial verificable y controlable desde el proyecto arquitectónico, bajo esta lógica, la disposición vertical y horizontal de los vanos se plantea como un recurso pasivo para incrementar la renovación de aire interior sin recurrir a equipos mecánicos.

La envolvente en climas cálido y húmedos debe concebirse para reducir la absorción de radiación y disipar el calor acumulado, más que para almacenarlo. En este sentido, la literatura sobre cubiertas de alta reflectancia y elevada emisividad evidencia que estas condiciones contribuyen a disminuir el sobrecalentamiento superficial y la demanda de enfriamiento (Santamouris, 2014; Alchapar & Correa, 2016). A la vez, es importante considerar que el uso excesivo de masa térmica sin estrategias de ventilación puede resultar

contraproducente, ya que la estructura tiende a liberar calor hacia el interior durante el periodo nocturno, cuando se requieren condiciones más estables (Varini, 2022).

En síntesis, se justifica priorizar una envolvente liviana y ventilada, especialmente en cubierta, como decisión constructiva clave para el desempeño térmico del módulo.

Roux-Gutiérrez (2018), en estudios sobre comportamiento térmico de materiales y sistemas constructivos, enfatiza que su selección debe sustentarse en propiedades como conductividad térmica, capacidad calorífica, reflectancia y emisividad, debido a su influencia directa en el intercambio de calor entre la envolvente y el ambiente interior. Este enfoque permite argumentar técnicamente por qué ciertas configuraciones constructivas ofrecen mayor estabilidad térmica en condiciones críticas de calor y humedad. Estas variables permiten fundamentar la materialidad final del cerramiento a partir de desempeño térmico y no únicamente por disponibilidad de mercado.

Las estrategias de control solar mediante aleros, pérgolas, celosías y vegetación se consolidan como recursos esenciales para disminuir ganancias térmicas por radiación, especialmente en fachadas expuestas. Estudios sobre dispositivos de sombreado demuestran que su implementación reduce la radiación directa

sobre los paramentos, mejora el confort térmico y disminuye la carga térmica transmitida hacia el interior (Pérez-Carramiñana et al., 2022). Asimismo, investigaciones recientes señalan que la vegetación aporta mejoras al microclima inmediato mediante sombra y enfriamiento local, reduciendo temperaturas percibidas en el entorno construido (Wu et al., 2025). Por ello, el sombreado se integra como parte permanente del diseño del módulo, priorizando la protección continua de vanos y superficies expuestas. Y finalmente, la incorporación de vegetación, espejos de agua y superficies permeables puede reforzar el desempeño térmico mediante procesos de evapotranspiración y enfriamiento evaporativo a escala próxima, aportando reducción térmica sin consumo energético directo. Se ha documentado que la humedad del suelo y la presencia de superficies porosas pueden favorecer el enfriamiento del aire y mitigar el estrés térmico en espacios exteriores, especialmente en escenarios cálidos (Gobatti et al., 2025; Shu, 2025).

En el anteproyecto, estos recursos se consideran apoyo microclimático complementario para reducir el calor del entorno inmediato y mejorar la habitabilidad exterior cercana a la vivienda.

Estas consideraciones permiten entender el módulo de vivienda no únicamente como un objeto aislado, sino como un elemento integrado a un sistema microclimático inmediato, donde la relación con el entorno (sombra, permeabilidad, vegetación y materiales exteriores) puede modificar el intercambio térmico y apoyar el confort. En este enfoque, el paisaje deja de ser un componente decorativo y se convierte en un recurso de diseño con capacidad de mejorar las condiciones ambientales próximas a la vivienda, tal como se plantea en estudios sobre diseño microclimático del espacio exterior (Brown & Gillespie, 1995). Por ello, el desempeño térmico del módulo se potencia cuando sus estrategias pasivas se articulan con recursos del entorno inmediato y no solo con decisiones internas de la envolvente.

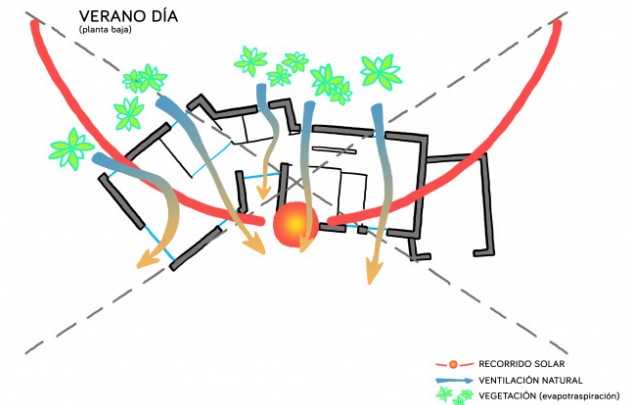
La evidencia empírica muestra que la aplicación coherente de estrategias pasivas puede generar reducciones medibles de la temperatura interior y disminuciones relevantes en la demanda de

enfriamiento en viviendas ubicadas en climas cálidos. En particular, Hu, Zhang, Nguyen y Tasdizen (2023) realizaron una revisión sistemática con metaanálisis sobre estrategias pasivas de enfriamiento en vivienda y estimaron una disminución promedio de 2,2 °C en la temperatura interior, junto con reducciones en la carga de enfriamiento y extensiones de horas de confort cuando las medidas pasivas se seleccionan y ajustan al contexto climático. Estos resultados confirman que, cuando el diseño se sintoniza correctamente con el clima, las estrategias pasivas no son marginales, sino que constituyen la base técnica de una arquitectura capaz de mejorar el confort térmico y la eficiencia energética en condiciones ambientales exigentes.

La arquitectura en Machala requiere estrategias pasivas integradas como fundamento del diseño, y no como correcciones posteriores para “compensar” un bajo desempeño térmico.

#### FIGURA 8

Esquema de estrategias pasivas integradas: recorrido solar, ventilación natural y vegetación.



FUENTE: Tomado de Arquitectura bioclimática: pasiva VS activa, por Angulo Rodrigo, T. (2023, 30 de marzo), BiReCo.

A partir de lo expuesto, se evidencia que el diseño de vivienda en Machala no puede plantearse desde modelos genéricos que ignoran el clima local, sino desde una lectura fina del clima húmedo muy caluroso y de las condiciones urbanas que lo intensifican. Las deficiencias actuales como orientaciones desfavorables, escasa ventilación cruzada, envolventes de alta ganancia térmica y ausencia de sombra explican la fuerte dependencia de sistemas mecánicos de enfriamiento y la consiguiente carga económica y ambiental para los hogares, tal como se ha señalado en estudios sobre vivienda social y en balances energéticos oficiales (Hidalgo Villacís, 2018; Ministerio de Energía y Minas, 2024). Bajo este enfoque, el empleo de un módulo permite trabajar con una unidad básica de vivienda que puede adaptarse a distintos terrenos y configuraciones, manteniendo un conjunto estable de decisiones bioclimáticas esenciales, ya sean orientación optimizada, planta favorable para ventilación cruzada, envolvente de alta reflectancia, cubiertas ventiladas, protección

solar efectiva y uso estratégico de vegetación. Esta lógica favorece la replicabilidad del diseño sin perder coherencia técnica, ya que el módulo conserva criterios mínimos de desempeño térmico aplicables a escenarios recurrentes de vivienda en la costa, entonces el módulo se plantea como una estrategia de diseño controlable y repetible, capaz de sostener confort térmico mediante reglas pasivas claras y verificables.

Además, esta unidad puede evaluarse mediante simulación térmica y energética, lo que permite cuantificar el impacto de las estrategias pasivas en indicadores de confort interior y demanda de enfriamiento. En este sentido, el uso de herramientas como DesignBuilder, software que integra motores de simulación energética de edificios, y el empleo de archivos climáticos en formato EPW provenientes de bases de datos utilizadas en simulación (por ejemplo, repositorios asociados a EnergyPlus y a fuentes meteorológicas de largo plazo), constituyen un soporte técnico para traducir el marco teórico

en resultados medibles (DesignBuilder Software Ltd., 2009; U.S. Department of Energy, 2025). Este tipo de enfoque se alinea con trabajos recientes desarrollados en Machala, Araujo Jaramillo y Salazar Aguilar (2024) evidencian que la simulación permite fundamentar decisiones proyectuales con base en el desempeño térmico esperado en climas húmedos muy calurosos. Por lo tanto, la simulación se integra como un medio de validación técnica que conecta la teoría bioclimática con el rendimiento verificable del anteproyecto.

Adicionalmente, el enfoque modular también dialoga con principios reconocidos en la arquitectura vernácula de la costa ecuatoriana, donde recursos como la elevación del piso, aleros amplios y alta permeabilidad al viento han sido históricamente utilizados como respuesta ambiental. Investigaciones sobre vivienda vernácula en la cuenca baja del río Guayas y en territorios costeros como Manabí documentan la lógica climática de estas soluciones y su potencial para aportar criterios al diseño contemporáneo (Peralta González, 2014; Rivera et al., 2023). Reinterpretar estos principios bajo un lenguaje actual, compatible con exigencias de durabilidad y con criterios normativos como la NEC-HS-EE, permite construir una propuesta que no solo optimiza el desempeño térmico, sino que se encuentra contextualizada territorial y culturalmente.

Finalmente, al articular el módulo con el marco constitucional del derecho a la vivienda adecuada y con la normativa nacional de eficiencia energética,

la propuesta adquiere pertinencia social y jurídica, al vincular el desempeño térmico con obligaciones y estándares que orientan la política pública de hábitat y vivienda (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008, art. 30; Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018). De este modo, el confort térmico deja de ser un objetivo opcional y se entiende como una condición básica de calidad habitacional en el contexto costero y el módulo se concibe como una pieza adaptable al territorio que actualiza aprendizajes vernáculos mediante criterios técnicos contemporáneos orientados al confort y la eficiencia bioclimática.

Esta orientación se alinea con el derecho a un hábitat seguro y saludable y con la necesidad de optimizar el consumo energético residencial mediante criterios de diseño y envolvente, tal como establecen la Constitución del Ecuador y la NEC-HS-EE (Asamblea Constituyente del Ecuador, 2008, art. 30; MIDUVI, 2018). Y en consecuencia, la estrategias pasivas se consolidan

como una respuesta preventiva que protege la habitabilidad y reduce la dependencia energética en climas húmedos muy calurosos.

# Capítulo 2

**Zona de estudio**

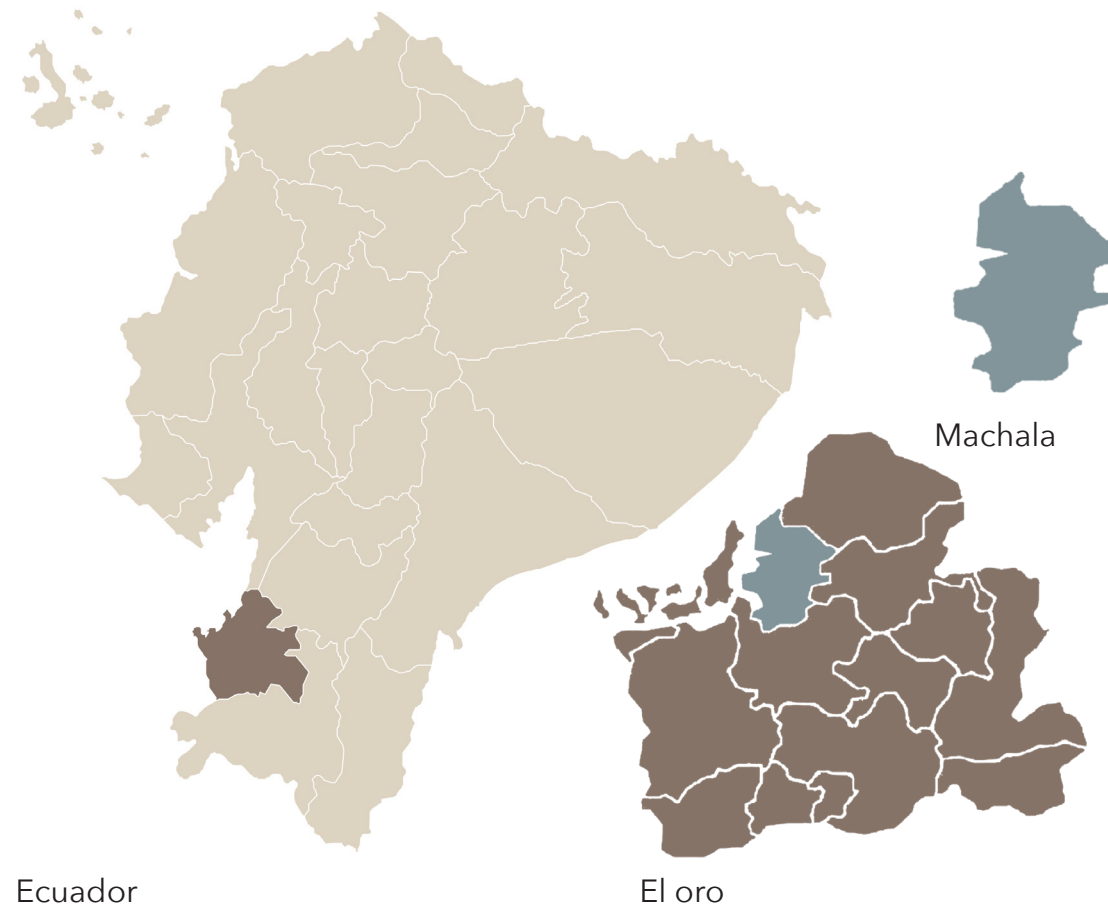


Caracterización territorial y climática de Machala para el modelado y la simulación del módulo

## 2.1 Localización de la zona de estudio y contexto climático de Machala

Machala se localiza en el sur del litoral ecuatoriano, en la llanura costera comprendida entre la cordillera de los Andes y el golfo de Guayaquil. En términos político-administrativos, es cabecera cantonal y capital de la provincia de El Oro, y se emplaza en una planicie de muy baja altitud ( $\approx 6$  m s. n. m.), condición que refuerza su carácter de ciudad costera y su exposición a la influencia del océano Pacífico (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Machala, 2022; Cherrez et al., 2009). Bajo esta relación directa entre territorio y ambiente, la investigación delimita un punto específico de intervención en el borde cantonal, donde el uso agroproductivo y el clima local influyen de manera determinante en los criterios de diseño.

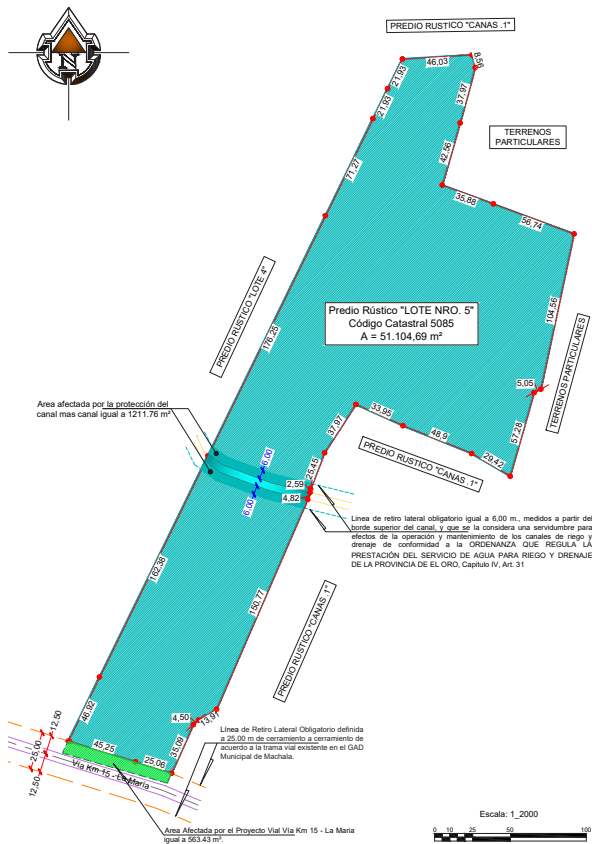
**FIGURA 9**  
Mapa geográfico del Ecuador, El oro y Machala



FUENTE: Elaboracion propia

**FIGURA 10**

Línea de fábrica y área afectada del predio rústico “Lote Nro. 5” (código catastral 5085) por el Proyecto Vial Via Km 15 – La María

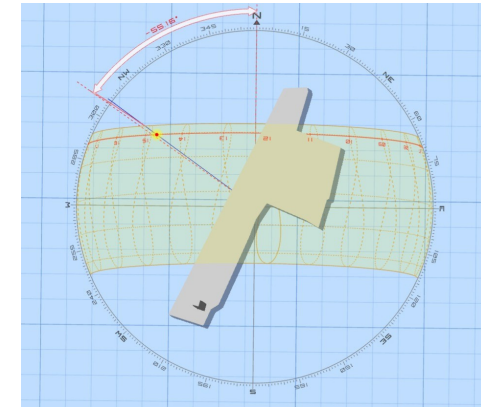


FUENTE: Tomado de Línea de fábrica – Predio rústico “Lote Nro. 5”, código catastral 5085, por Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Machala, 2025. [Plano].

El módulo de vivienda bioclimático se plantea en un terreno actualmente destinado al cultivo de banano, correspondiente a una unidad productiva de varias hectáreas ubicada en la vía a Balosa, aproximadamente en el kilómetro 15, en el ingreso al sitio Nueva Esperanza, cantón Machala, provincia de El Oro, de acuerdo con el plano de línea de fábrica del predio rústico “Lote Nro. 5” (código catastral 5085), el terreno presenta una franja afectada por el Proyecto Vial Via Km 15 llamada La María (563,43 m²), condición que introduce restricciones de retiro y condiciona la implantación del módulo dentro del lote. El anteproyecto se establece a 10 m hacia el interior respecto del límite de afectación vial, con el fin de garantizar compatibilidad con la intervención y preservar el funcionamiento del predio agrícola. Esta decisión se complementa con criterios bioclimáticos del lugar ya sea orientación, control solar y ventilación natural.

**FIGURA 11**

Implantación del módulo en el predio mediante visualización solar en PD: 3D Sun-Path



FUENTE: Elaboración propia a partir de una captura generada con PD: 3D Sun-Path (Marsh, 2015).

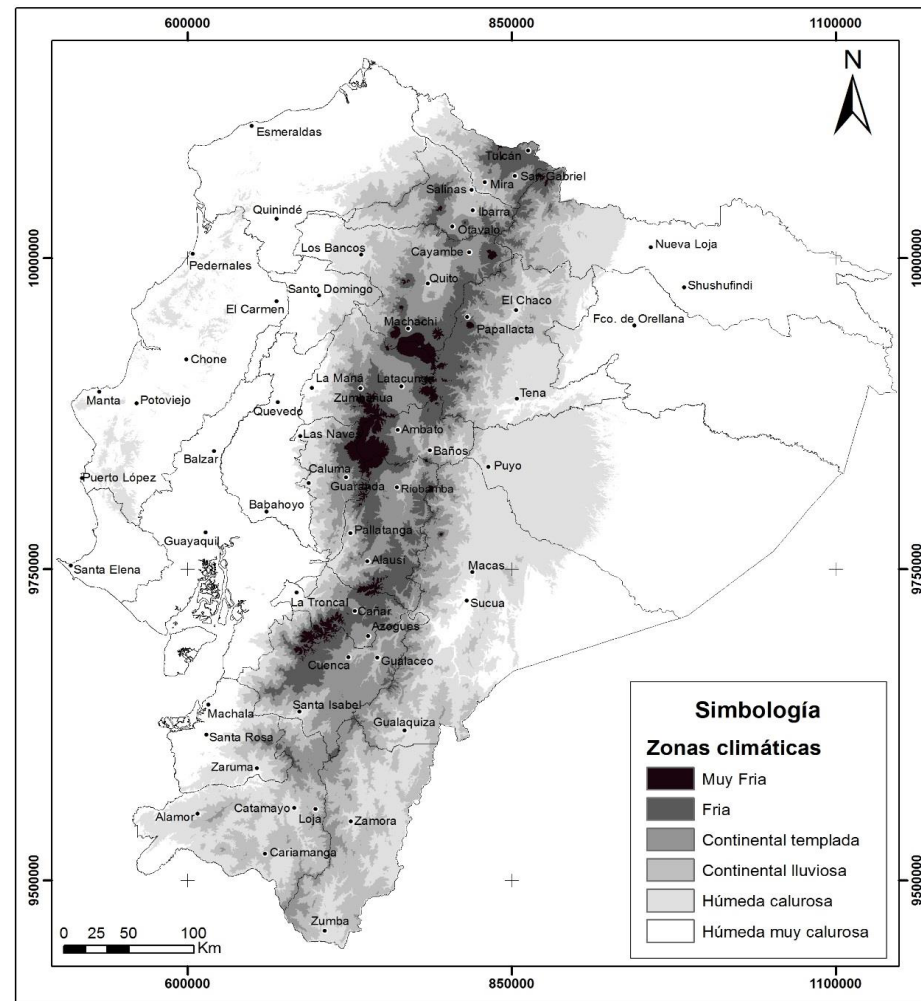
Por ello, a continuación se profundiza en la caracterización climática de Machala, información que servirá como base técnica para definir un módulo de vivienda consistente con la realidad ambiental y territorial de la costa sur ecuatoriana.

### 2.1.1 Caracterización climática de Machala

Machala se caracteriza por un clima cálido y húmedo, propio de la franja costera del Ecuador, donde la combinación de temperaturas elevadas y alta humedad relativa se mantiene durante gran parte del año. En este contexto, Portilla Farfán (2018), describe a la región Litoral como un territorio de clima tropical, con temperaturas medias altas y precipitaciones abundantes a lo largo del año. Esta visión permite interpretar que las condiciones de calor y humedad en Machala no corresponden a episodios aislados, sino a una característica persistente del ambiente costero, con implicaciones directas para el desempeño térmico de la vivienda.

**FIGURA 12**

Mapa de zonas climáticas (escala de grises)



FUENTE: Tomado de : INER E INAMHI. FUENTE: REGISTROS METEOROLÓGICOS INAMHI (ESCALA DE GRISES)

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en el apartado Habitabilidad y Salud – Eficiencia Energética (NEC-HS-EE), Machala (provincia de El Oro) se clasifica dentro de la zona climática húmeda muy calurosa (Zona 1), equivalente a la clasificación ASHRAE 1A (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2023). Esta condición se asocia con una predominancia de cargas de enfriamiento, por lo que la normativa recomienda priorizar el control solar en fachadas y cubiertas, el aprovechamiento de la ventilación natural y la reducción de ganancias internas y externas de calor. En consecuencia, la NEC constituye un respaldo técnico directo para justificar que el diseño del módulo en Machala se oriente a disminuir la demanda de enfriamiento mecánico mediante estrategias pasivas y un desempeño térmico eficiente de la envolvente (MIDUVI, 2023).

**Tabla 1**

Zonas climáticas (NEC-HS-EE) para ciudades de la provincia de El Oro

Provincia	Ciudad	Zona climática (NEC)
El Oro	Machala	Húmeda muy calurosa
El Oro	Zaruma	Húmeda muy calurosa
El Oro	Santa Rosa	Húmeda muy calurosa

FUENTE: Tomado de la Tabla 2 “Zonas climáticas de algunas ciudades” de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-HS-EE: Eficiencia energética en edificaciones residenciales (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018, p. 10).

**Tabla 2**

Equivalencia de zonas climáticas NEC–ASHRAE y criterio térmico por grados-día

Zona (Ecuador)	Zona (ASHRAE 90.1)	Nombre	Criterio térmico
1	1A	Húmeda muy calurosa	$5000 < \text{CDD}10^{\circ}\text{C}$
2	2A	Húmeda calurosa	$3500 < \text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 5000$
3	3C	Continental lluviosa	$\text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 2500$ y $\text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 2000$
4	4C	Continental templado	$2000 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 3000$
5	5C	Fría	$\text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 2500$ y $\text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 2000$ ; $2000 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ ; $3000 \text{ m} < \text{Altura (m)} \leq 5000 \text{ m}$
6	6B	Muy fría	$\text{CDD}10^{\circ}\text{C} \leq 2500$ y $\text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 2000$ ; $2000 < \text{HDD}18^{\circ}\text{C} \leq 3000$ ; $5000 \text{ m} < \text{Altura (m)}$

FUENTE: Tomado de la Tabla 3 “Referencia para zonificación climática” de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-HS-EE: Eficiencia energética en edificaciones residenciales (MIDUVI, 2018, p. 12).

Con el propósito de sustentar el diseño bioclimático del módulo de vivienda propuesto para Machala, se desarrolló un análisis climático a partir del archivo meteorológico en formato EPW Machala–Serrano. AP, el cual fue procesado mediante Climate Consultant para identificar variables ambientales relevantes —temperatura, radiación solar, humedad relativa y vientos dominantes— que influyen directamente en el desempeño térmico del espacio habitable (Climate.OneBuilding.Org, s. f.; Milne, 2009). De manera complementaria, y con el fin de reforzar la confiabilidad de esta caracterización, primero se contrastaron los resultados con información de plataformas climatológicas de alcance internacional y con bibliografía científica basada en promedios de largo plazo y registros locales.

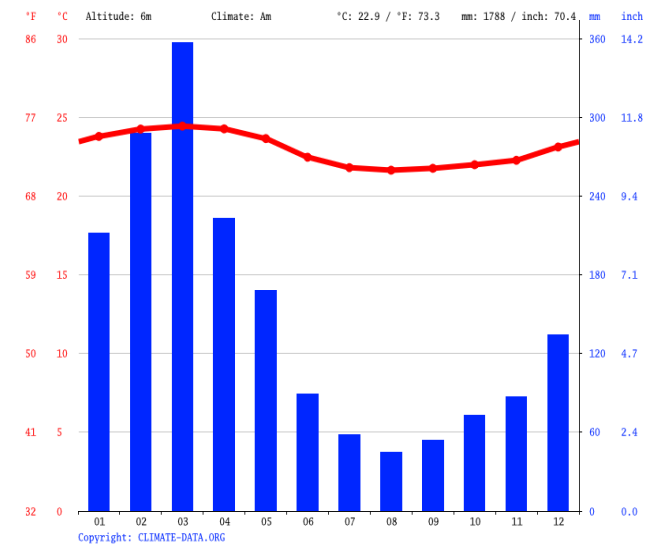
Se revisaron los datos reportados por Climate-Data.org, un portal climatológico internacional que compila estadísticas a partir de registros meteorológicos y promedios multianuales.

Para el caso de Machala, esta fuente indica una temperatura media anual aproximada de 22,9 °C y una precipitación acumulada cercana a 1 788 mm/año, valores que permiten contar con una referencia base de temperatura y lluvia para el contexto local (Climate-Data.org, 2024).

Este tipo de información resulta útil como punto de verificación, ya que contribuye a estimar de forma preliminar la magnitud de la carga térmica del entorno y la disponibilidad potencial de agua lluvi, sin embargo, al compararla con otras bases climáticas, el objetivo no es establecer una cifra única exacta, sino comprobar que los resultados se mantienen dentro del mismo rango.

**FIGURA 13**

Climograma de Machala: temperatura media mensual y precipitación

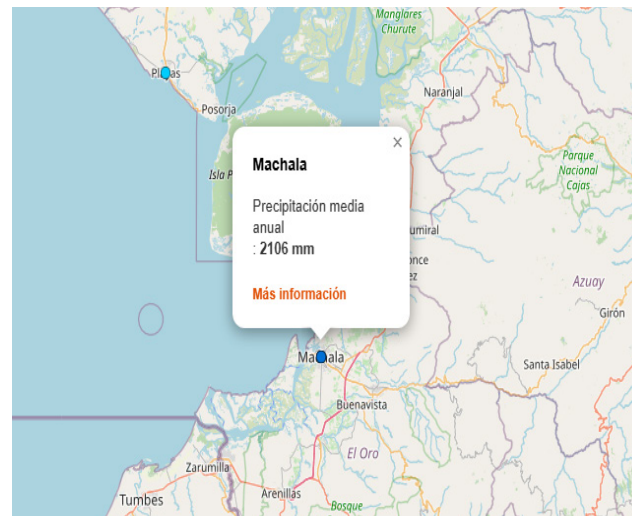


FUENTE: Tomado de Climograph, Machala, por Climate-Data.org (2025)

La base internacional Weather & Climate reporta para Machala una precipitación media anual aproximada de 2 106 mm, calculada a partir de series climáticas de largo plazo (Weather & Climate, 2025). En una línea complementaria, Serrano Vincenti et al. (2016) equipo de investigadores que analizó amenazas por inundación en Machala señalan que, en años particularmente lluviosos, la precipitación total anual supera los 1 800 mm, utilizando registros de la estación Granja Santa Inés y otras estaciones con series extensas. Asimismo, los autores precisan que la información meteorológica empleada proviene del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), entidad técnico y científica responsable de generar y difundir información hidrometeorológica oficial y de administrar sus anuarios meteorológicos en el país (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2025.; Serrano Vincenti et al., 2016). Aunque las cifras varían según la fuente y el periodo analizado, adoptar un valor de referencia cercano a 1 800 mm/año no sobredimensiona la

lluvia, sino que representa de forma razonable la magnitud de la precipitación esperable en la costa sur de la provincia de El Oro.

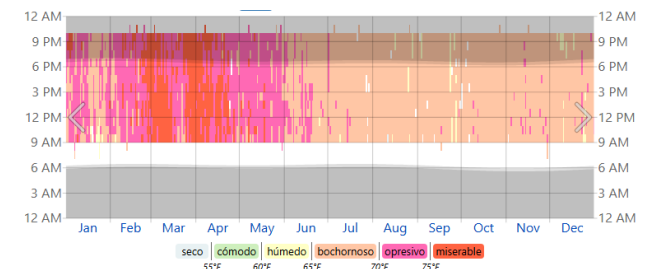
**FIGURA 14**  
Precipitación de Machala



FUENTE: Tomado de “Clima Machala (Ecuador)”, por Climate-Data.org (2025)

En cuanto a la humedad relativa se mantiene elevada durante gran parte del año. WeatherSpark, plataforma que utiliza el punto de rocío para describir el nivel de “bochorno”, indica que por varios meses la ciudad se ubica en rangos bochornosos u opresivos (WeatherSpark, 2025). Esto implica un aire con alta carga de vapor de agua, lo que reduce la eficacia de la evaporación del sudor y dificulta la disipación del calor corporal.

**FIGURA 15**  
Nivel de bochorno en Machala (porcentaje de tiempo en condiciones bochornosas/opresivas).



FUENTE: Tomado de “Clima promedio en Machala, Ecuador, durante todo el año”, por WeatherSpark (2025)

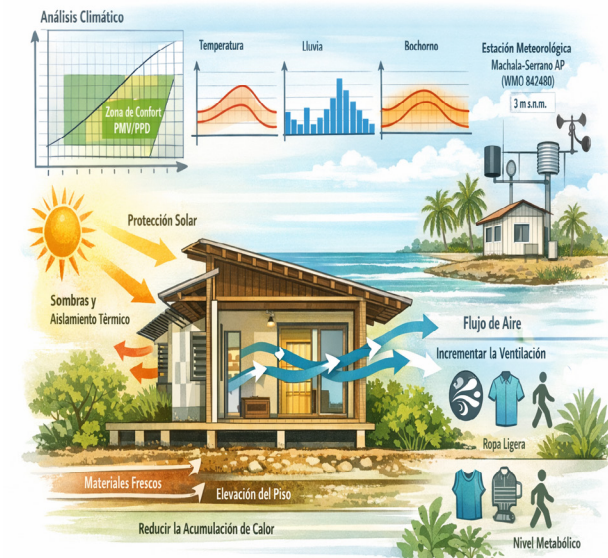
Desde el punto de vista del diseño bioclimático, esto refuerza que el problema no es únicamente la temperatura del aire, sino la combinación de calor y humedad, por tanto, resulta clave incrementar el movimiento de aire al interior de la vivienda, reducir la radiación directa y evitar materiales y soluciones constructivas que acumulen calor en exceso.

En conjunto, las aportaciones de Portilla Farfán sobre el clima de la región costera; los promedios de temperatura y lluvia que reportan Climate-Data.org y Weather and Climate; la clasificación de la NEC-HS-EE para la zona húmeda muy calurosa; las curvas de temperatura, lluvia y bochorno presentadas por WeatherSpark y Weather-Atlas; y el respaldo institucional del INAMHI, junto con los estudios de Serrano Vincenti y su equipo, permiten construir una caracterización climática sólida de Machala. En contraste se hizo el análisis del clima en climate consultant y se utilizó una base de datos correspondiente a la estación meteorológica Machala-Serrano.AP (WMO 842480), con una

elevación aproximada de 3 m s. n. m., mediante un conjunto de datos tipo TMYx (año meteorológico típico). Asimismo, se incorporaron criterios de confort basados en el modelo PMV/PPD del Estándar ASHRAE 55 (2004), el cual relaciona la sensación térmica con variables como la temperatura, la humedad, la velocidad del aire, la vestimenta (clo) y el nivel metabólico (met). Estas bases de información numérica y cualitativa resultan fundamentales para que, en los apartados siguientes, dichos datos se traduzcan en requerimientos bioclimáticos concretos para el módulo de vivienda, considerando además su implantación en un terreno real dentro de la ciudad.

**FIGURA 16**

Síntesis de fuentes y criterios para la caracterización climática de Machala (El Oro).

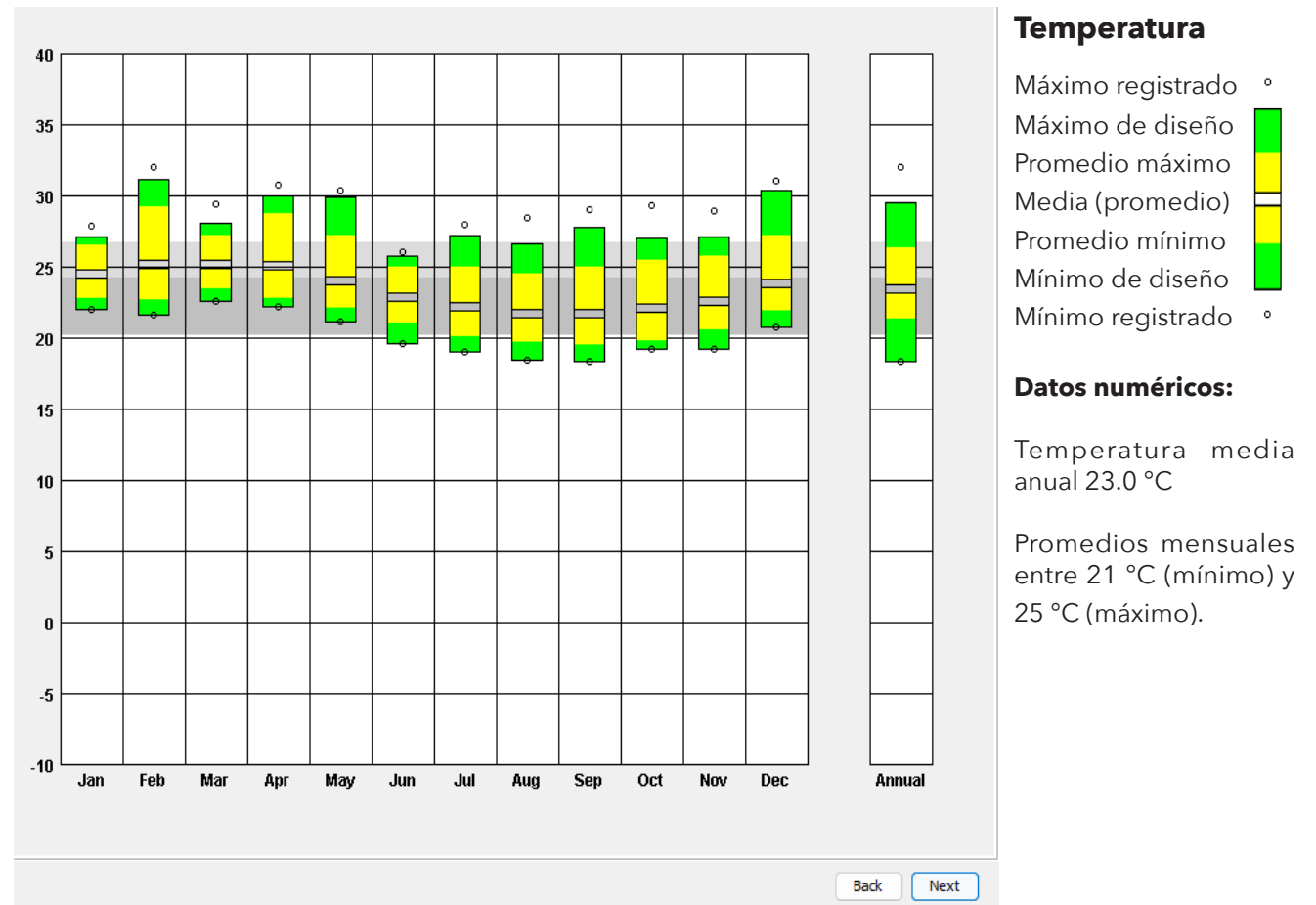


**FUENTE:** Elaboración propia. La figura resume fuentes climáticas consultadas (INAMHI; Climate-Data.org; WeatherSpark) y el criterio de confort térmico basado en ASHRAE 55 (PMV/PPD).

## Rango de temperatura

El gráfico de rango de temperatura representa el comportamiento estadístico de la temperatura del aire (bulbo seco) y su relación con la zona de confort definida por el Estándar ASHRAE 55 mediante el modelo PMV/PPD (ASHRAE, 2004). Se observa que las medias mensuales se mantienen cercanas al límite superior del confort, y que en los meses más cálidos se presentan episodios de sobrecalentamiento, evidenciados por valores que superan la franja de confort.

En términos de diseño, el proyecto debe priorizar estrategias pasivas de enfriamiento, tales como sombreado efectivo, el uso de materiales con baja absorción solar en cubierta, la ventilación cruzada y la reducción de cargas internas, antes que incrementar la masa térmica sin condiciones que permitan un enfriamiento nocturno efectivo.



**FIGURA 17**

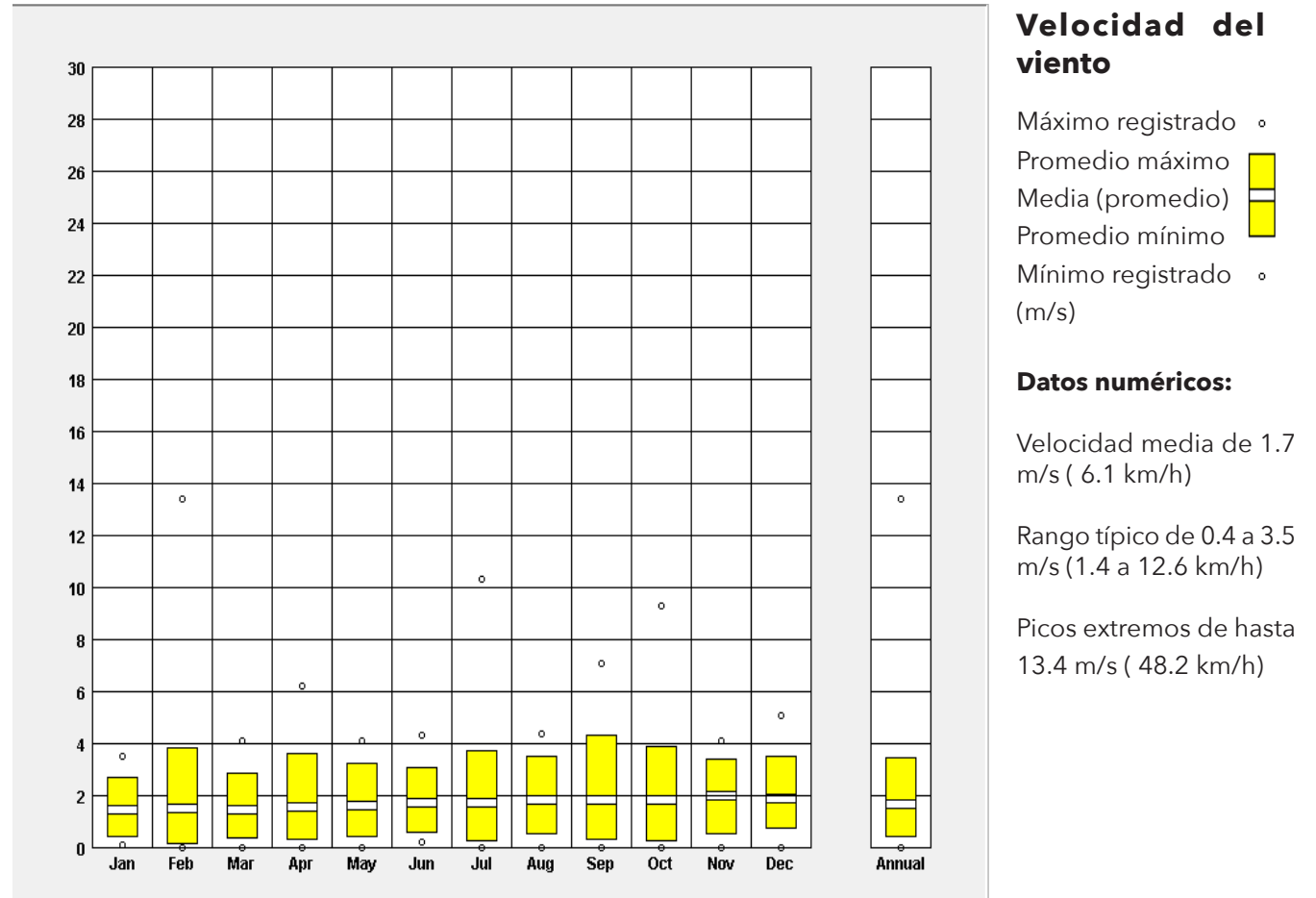
Rango de temperatura

FUENTE: Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

## Velocidad del viento

El gráfico de la velocidad del viento presenta la distribución mensual de la velocidad del viento, mostrando promedios, rangos típicos y valores extremos, se observa que la mayor parte del tiempo las velocidades se concentran en valores bajos (1 a 3 m/s), esto sugiere que el confort térmico dependerá, principalmente, de facilitar el flujo de aire a través del interior, más que de asumir la presencia de vientos fuertes y constantes (Milne et al., 2009).

En el diseño del módulo, esta condición justifica el uso de aberturas opuestas, configuraciones de planta poco compartimentadas y elementos que canalicen o aceleren el aire, como celosías, paneles perforados y diferencias de altura entre una abertura baja de ingreso y una abertura alta de salida.



**FIGURA 18**

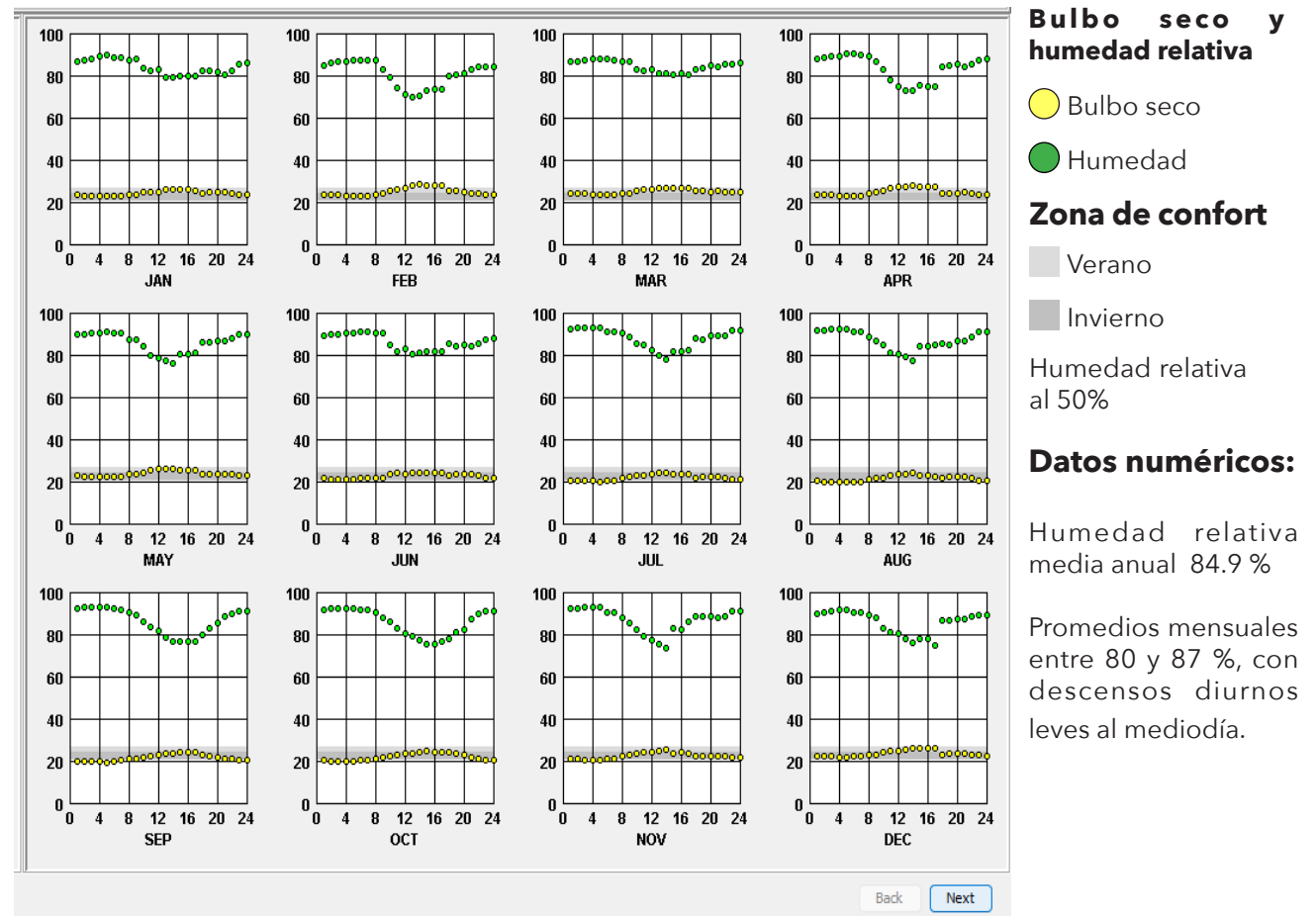
Velocidad del viento

FUENTE: Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

### Comportamiento de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa

El gráfico de comportamiento de la temperatura de bulbo seco y de la humedad relativa identifica un patrón frecuente en climas cálidos y húmedos, en donde la humedad relativa aumenta durante la noche y la madrugada, disminuye hacia el mediodía por efecto del incremento de la temperatura del aire y vuelve a elevarse en la tarde y noche.

La condición crítica no depende solo de la temperatura, sino de la humedad elevada, que limita la evaporación del sudor y acentúa la sensación de bochorno y es por ello que la ventilación natural adquiere un rol central, ya que el movimiento de aire favorece el enfriamiento por convección y mejora el potencial de evaporación en el interior (Givoni, 1998; Milne et al., 2009).



**FIGURA 19**

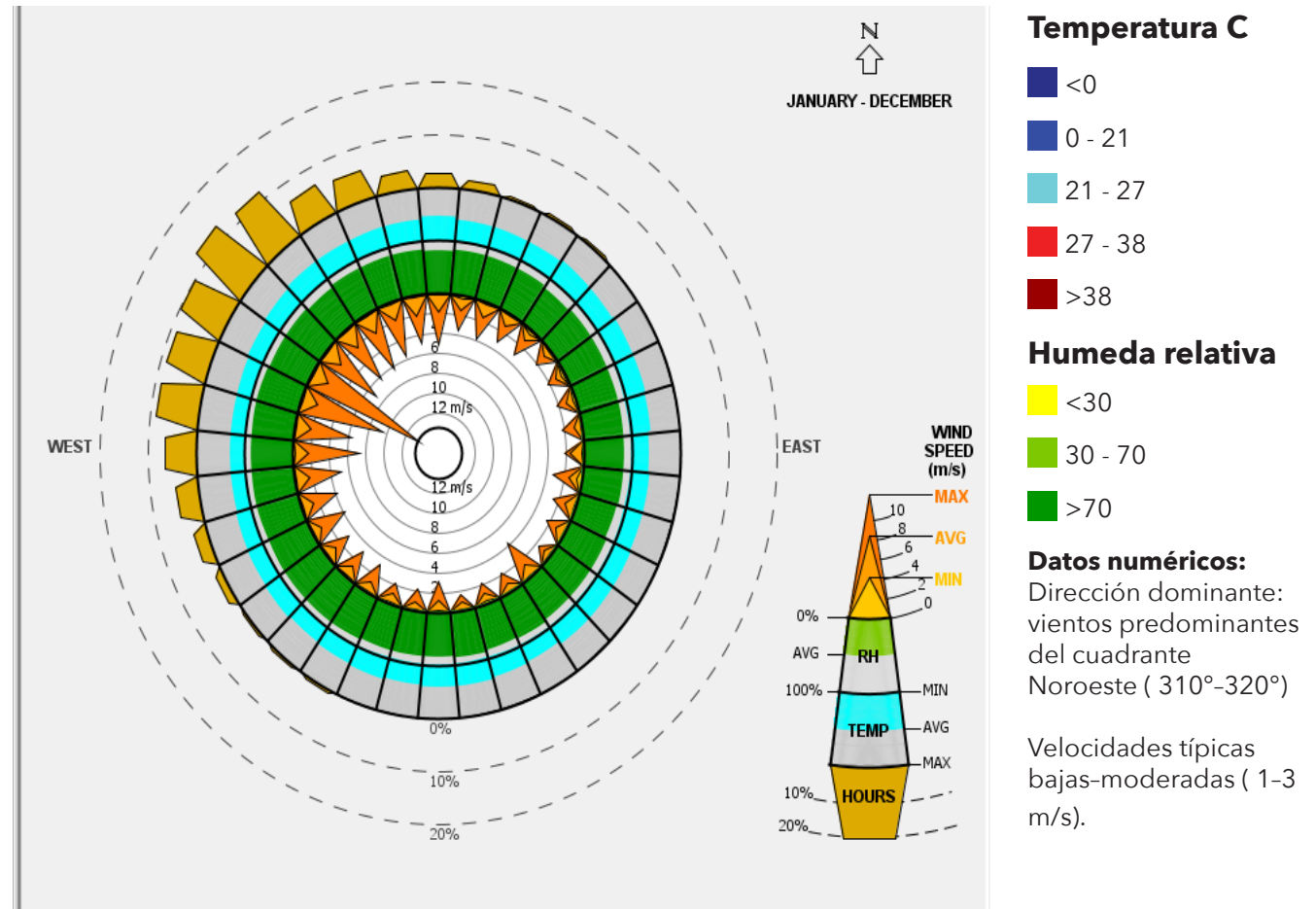
Bulbo seco y humedad relativa

**FUENTE:** Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

## Rosa de vientos

La rosa de vientos sintetiza la frecuencia de dirección del viento, sus velocidades mínimas, promedio y máximas, y su asociación con condiciones de temperatura y humedad. Para Machala se identifica una predominancia de vientos procedentes del cuadrante oeste–noroeste (WNW–NW), información relevante para el emplazamiento del módulo y la orientación de sus aperturas principales hacia la brisa dominante (Milne et al., 2009).

Para el diseño se recomienda vanos enfrentados en fachadas opuestas, de modo que el aire ingrese por la fachada de barlovento y se evacúe por sotavento, potenciando la ventilación cruzada (Givoni, 1998). Asimismo, se sugiere incorporar aberturas altas para favorecer la salida del aire caliente acumulado por efecto de flotación.



**FIGURA 20**

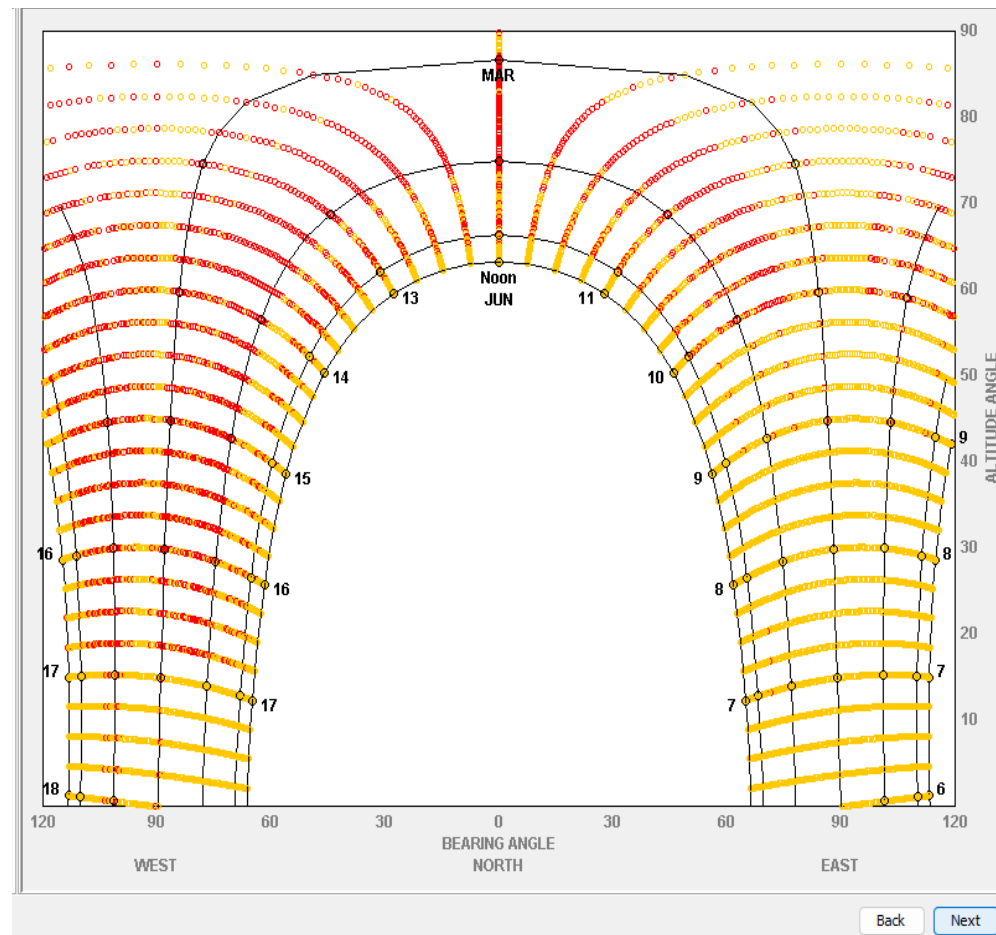
Rosa de vientos

**FUENTE:** Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

### Carta de sombreado:

La carta de sombreado relaciona la posición solar (altura y azimut) con condiciones térmicas del aire, permitiendo identificar en qué horas la radiación solar directa resulta favorable o desfavorable para el confort. En el gráfico, los puntos rojos representan horas cálidas ( $T > 27^{\circ}\text{C}$ ) en las que se recomienda sombra; los puntos amarillos indican condiciones templadas donde el sombreado aporta; y los puntos azules corresponden a situaciones frías en las que el asoleamiento sería beneficioso (ASHRAE, 2004; Milne et al., 2009). En Machala predominan las horas cálidas y templadas, lo que confirma que el control solar debe asumirse como una estrategia prioritaria durante casi todo el año.

En términos de diseño, esto implica dimensionar aleros para bloquear el sol alto del mediodía.



**FIGURA 21**

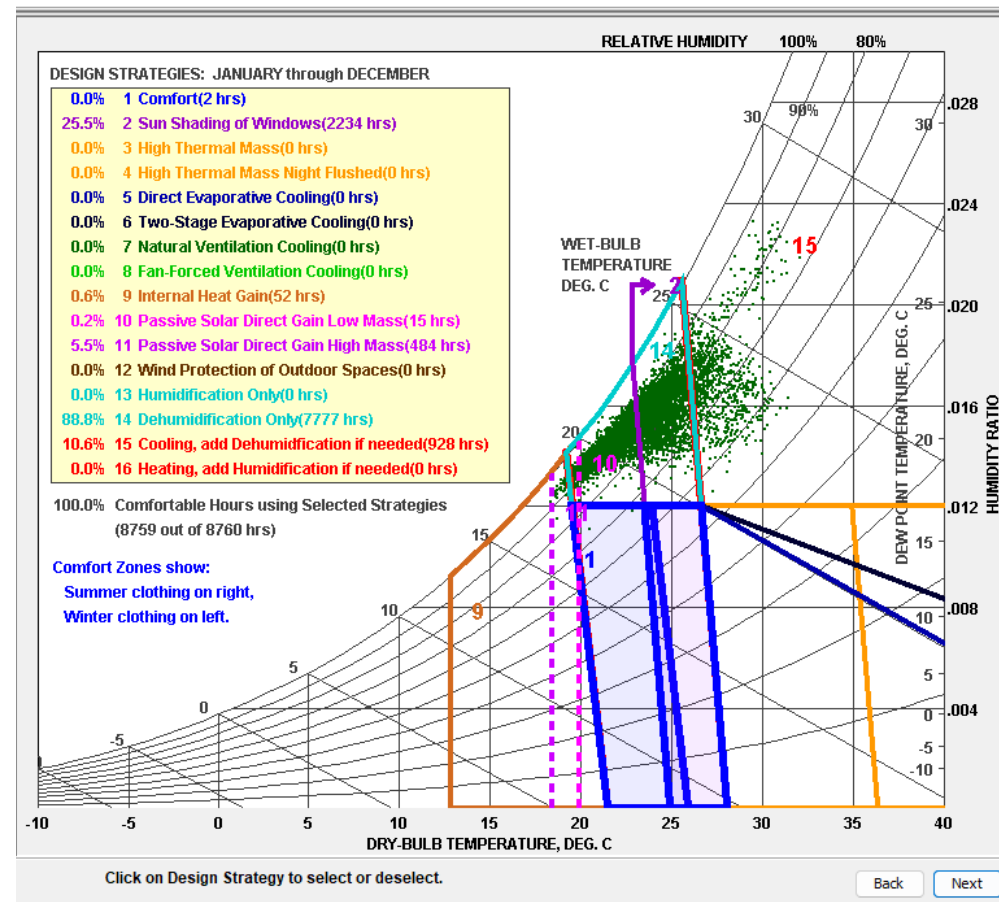
Carta de sombreado

FUENTE: Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

## Carta psicometrica

La carta psicrométrica integra temperatura y humedad del aire, permitiendo estimar cuántas horas del año se ubican en confort y qué estrategias pueden acercar las condiciones a ese rango (ASHRAE, 2004; Givoni, 1998).

En Machala, los puntos climáticos se concentran en temperaturas altas con humedad elevada, por lo que resulta prioritario aumentar el movimiento de aire mediante ventilación natural o ventilación asistida (ventiladores), y complementar con sombreado de vanos y control de ganancias internas para reducir el sobrecalentamiento (Givoni, 1998; Milne et al., 2009). En contraste, estrategias como enfriamiento evaporativo o ganancia solar directa tienen baja pertinencia en un clima húmedo muy caluroso.



## Confort interior

■ 100% Comfortable

■ 0% No comfortable

## Estrategias:

Confort sin medidas:  
2 h/año (0 %)

Sombreado de  
ventanas:  
2234 h/año (25.5 %)

Deshumidificación:  
7777 h/año (88.8 %)

Enfriamiento y  
deshumidificación:  
928 h/año (10.6 %)

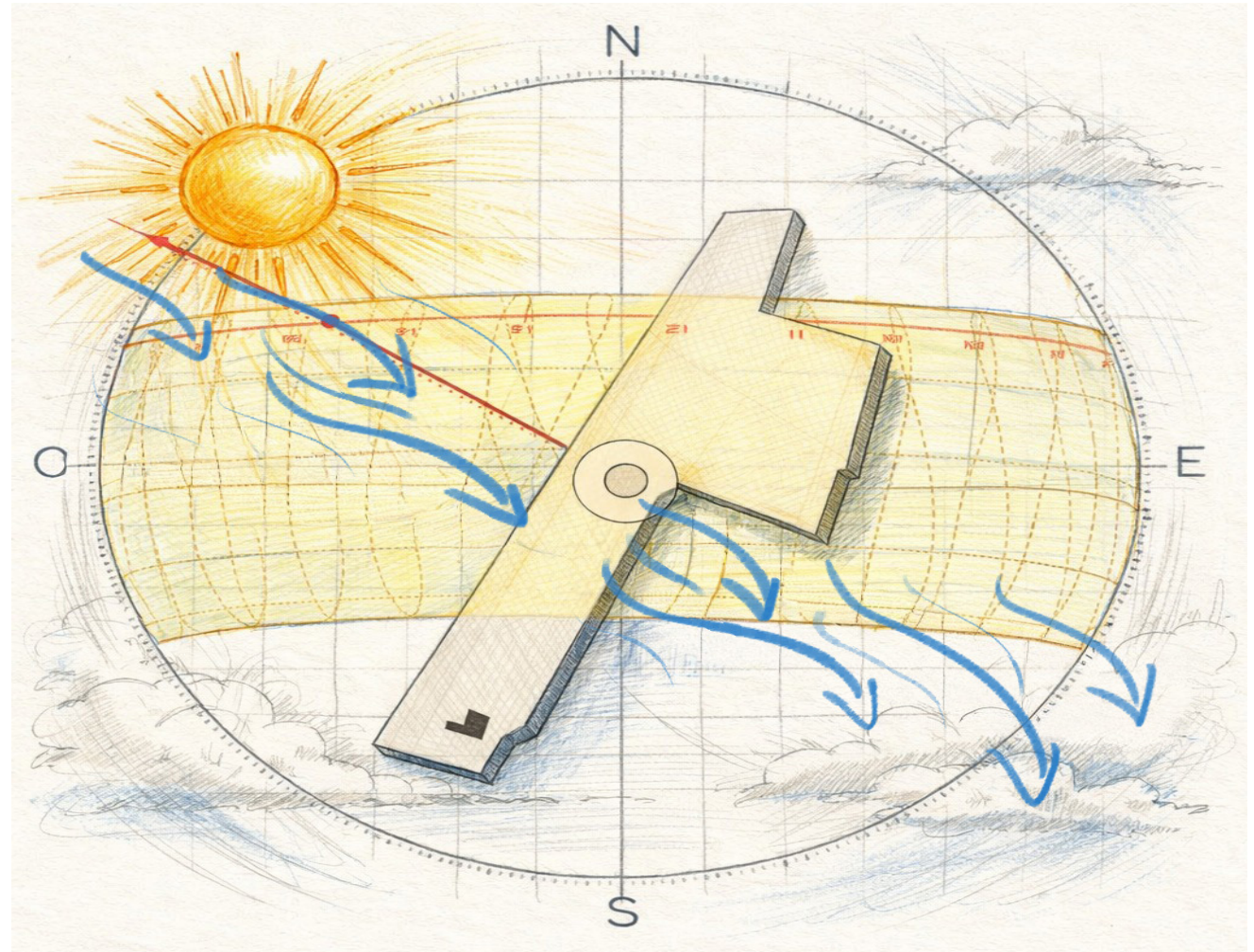
**FIGURA 22**

Carta psicometrica

FUENTE: Elaboración propia a partir del archivo EPW Machala-Serrano.AP (WMO 842480) y su procesamiento en Climate Consultant (Climate. OneBuilding.Org, s. f.; Milne et al., 2009; ASHRAE, 2004).

En síntesis, los gráficos confirman que Machala presenta un ambiente húmedo muy caluroso, con radiación elevada y humedad persistente, en consecuencia el módulo debe priorizar estrategias pasivas orientadas a reducir la carga térmica con sombreado, cubiertas con baja absorción y cámaras ventiladas y también incrementar el movimiento de aire con ventilación cruzada, aberturas operables, alturas diferenciadas y ventilación superior.

Estos criterios se incorporarán en la etapa de simulación en DesignBuilder mediante configuraciones de ventilación natural y modo mixto, la definición de áreas efectivas de apertura y la verificación del desempeño anual.



**FIGURA 23**

Mapa climático (carta solar y orientación del módulo) para Machala.

FUENTE: Elaboración propia

## 2.2 Características físicas y antecedentes del terreno de estudio

El predio presenta una geometría aproximadamente rectangular, coherente con la lotización residencial predominante del sector. Su topografía es prácticamente plana, condición típica de las llanuras costeras de Machala, lo que facilita la implantación de edificaciones de baja altura. El lote se asienta sobre suelos de llanura aluvial vinculados históricamente a la actividad agrícola en la provincia de El Oro. Villaseñor, Chabla y Luna (2015), investigadores asociados a estudios de suelos agrícolas en la región, describen estos perfiles como depósitos fluviales recientes con alta aptitud productiva, para su uso en implantaciones constructivas recomiendan controlar la saturación y el escurrimiento superficial, especialmente en terrenos planos (Villaseñor et al., 2015).

En cuanto a infraestructura, el sector dispone de redes básicas de agua potable, alcantarillado sanitario, energía eléctrica y recolección de residuos, según lo registrado en los anexos de servicios del Plan de Uso y Gestión del Suelo (PUGS) del cantón Machala (GAD Machala, 2021). Sin embargo, se observa una oferta limitada de vegetación de sombra y un predominio de superficies impermeables (pavimentos y losas de hormigón), lo que incrementa la acumulación de calor superficial y favorece el efecto de isla de calor urbana (Oke, 1987).

El terreno combina condiciones físicas favorables para una implantación de baja altura (geometría regular, topografía plana y suelos aluviales) por lo que el diseño del módulo debe integrar estrategias bioclimáticas y de manejo de sombra y áreas permeables para mejorar el confort local.

**FIGURA 24**

Fotos del Terreno para el caso de estudio



FUENTE: Elaboracion propia

El sector donde se ubica el lote responde a un patrón recurrente en Machala, la ciudad se ha expandido progresivamente sobre suelos agrícolas, especialmente bananeros. Burgo Bencomo (2022), investigador que analiza la dinámica de desarrollo territorial en la provincia de El Oro, señala que aproximadamente el 77 % del territorio cantonal mantiene uso agropecuario y que una proporción significativa se destina a la producción de banano, actividad estrechamente vinculada al crecimiento urbano del cantón. De igual manera, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Machala describe un proceso de expansión continua sobre suelos productivos, asociado a la aparición de nuevos asentamientos y barrios en los bordes urbanos (GAD Machala, 2022).

En este contexto, el lote se mantiene dedicado al cultivo de banano y no presenta edificaciones permanentes; sin embargo, se evidencian presiones de crecimiento en el entorno inmediato, con viviendas dispersas y subdivisiones incipientes

de predios agrícolas. Esta condición se ajusta a lo que el PDOT identifica como áreas rurales de expansión urbana, donde el tejido agrícola comienza a fragmentarse y a mezclarse con usos residenciales (GAD Machala, 2022). A medida que la ciudad avanza sobre estas áreas, se intensifican problemáticas típicas en climas cálido-húmedos, particularmente las asociadas a lluvia intensa y drenaje. Serrano Vincenti et al., equipo de investigadores que estudió inundaciones en Machala con datos del INAMHI, evidencian que la ciudad es vulnerable a precipitaciones fuertes y que el cambio de uso del suelo puede agravar el encharcamiento y el riesgo de inundación (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2025.; Serrano Vincenti et al., 2016). En el terreno analizado, esta situación se traduce en un espacio con potencial para vivienda por su accesibilidad vial y posibilidad de conexión a servicios, pero que aún no ofrece una respuesta adecuada frente al clima húmedo muy caluroso ni ante los problemas de agua y calor del entorno. Por

ello, la brecha entre el potencial del lugar y su bajo desempeño ambiental justifica la propuesta de un módulo de vivienda bioclimático, concebido como un referente de buenas prácticas replicables para este tipo de borde urbano y agrícola.

En síntesis, la condición de borde urbano y agrícola y su vulnerabilidad hídrica y térmica convierten al predio en un caso pertinente para demostrar, mediante un módulo bioclimático, cómo mejorar el desempeño ambiental de la vivienda en escenarios de expansión sobre suelos productivos.

### **2.3. Síntesis del contexto y requerimientos para el módulo de vivienda y análisis FODA**

En conjunto, el análisis del clima, la ciudad y el terreno confirma que el proyecto se implanta en un contexto territorial específico de la costa sur del Ecuador: Machala, caracterizada por un clima húmedo muy caluroso y por la presencia dominante del sistema agroproductivo bananero. Portilla Farfán, investigador ecuatoriano que desarrolla estudios de agroclimatología, señala que la región Litoral mantiene temperaturas altas y precipitaciones significativas a lo largo del año (Portilla Farfán, 2018). De forma consistente, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su apartado NEC-HS-EE, clasifica a Machala dentro de la zona húmeda muy calurosa, donde se priorizan medidas como protección solar y ventilación natural para reducir la demanda de enfriamiento (MIDUVI, 2018). En este marco, el confort térmico deja de ser un aspecto secundario y se convierte en un requisito básico

para la vivienda. Paralelamente, los instrumentos de planificación del GAD Machala evidencian la expansión urbana sobre suelos agrícolas principalmente bananeros y la consolidación de bordes urbano y rurales como el sector Nueva Esperanza, en la vía a Balosa, donde se localiza el lote de estudio (GAD Machala, 2019, 2021).

El terreno no enfrenta únicamente condiciones de calor y bochorno, sino también problemas asociados a la acumulación de agua y al drenaje insuficiente, típicos de procesos de expansión urbana poco controlados. En consecuencia, este capítulo delimita los requerimientos mínimos que debe atender el módulo de vivienda bioclimático: reducir ganancias de calor en un clima húmedo muy caluroso, potenciar la ventilación natural, mejorar el sombreado del entorno inmediato e incorporar superficies permeables y áreas verdes que apoyen el drenaje y disminuyan la temperatura superficial (Serrano Vincenti et al., 2016).

Más que una vivienda aislada, el módulo se plantea como una pieza adaptada al borde urbano y agrícola en donde responde a la normativa vigente, mejora la habitabilidad mediante estrategias pasivas y propone un esquema replicable en otros terrenos con condiciones ambientales y territoriales similares de la costa ecuatoriana.

ANALISIS FODA			
Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Contexto climático claramente definido, que permite aplicar criterios bioclimáticos específicos y fundamentados.	Las altas temperaturas y la elevada humedad justifican el uso de estrategias pasivas como eje central del diseño del módulo.	Condiciones climáticas caracterizadas por altas temperaturas, elevada humedad y lluvias intensas durante todo el año	Riesgo de encharcamientos e inundaciones asociado al cambio de uso del suelo y a deficiencias en el drenaje urbano.
Existencia de un marco normativo claro (NEC-HS-EE, LOOTUGS y PUGS de Machala) que orienta el diseño hacia la protección solar y la ventilación natural.	La normativa vigente respalda técnica y legalmente la propuesta de soluciones arquitectónicas adaptadas al clima local.	Ubicación del terreno en un borde urbano-rural con infraestructura aún en proceso de consolidación.	Expansión urbana desordenada que puede intensificar la isla de calor urbana y los problemas ambientales.
Emplazamiento en un borde urbano-agrícola que permite mayor flexibilidad espacial y contacto con áreas abiertas.	Posibilidad de integrar áreas verdes, drenaje natural y estrategias de adaptación climática propias del entorno agrícola.	Dependencia histórica de sistemas mecánicos de climatización en la vivienda local.	Persistencia de modelos habitacionales estandarizados poco adaptados a las condiciones climáticas de Machala.
Enfoque proyectual centrado en el confort térmico como necesidad básica de la vivienda	Potencial de replicabilidad del módulo en otros sectores de la costa ecuatoriana con condiciones climáticas similares.	Vulnerabilidad del suelo frente a acumulación de agua por lluvias intensas.	Incremento de eventos climáticos extremos asociados al cambio climático.

**Tabla 3**

Analisis FODA

FUENTE: Elaboracion Propia

El análisis FODA muestra que el proyecto se desarrolla en unas condiciones climáticas que están claramente definidas las cuales se caracterizan por tener altas temperaturas y humedad elevada, lo cual no es un limitante sino más bien una oportunidad para aplicar estrategias de diseño bioclimático pasivo, incorporando soluciones arquitectónicas como la protección solar, la ventilación natural y el control de la carga térmica, además el emplazamiento en un borde urbano rural también permite aprovechar la relación con áreas abiertas y el entorno natural lo que facilita la incorporación de áreas verdes, favorece la ventilación cruzada contribuyendo al confort lo que minimiza el uso de sistemas mecánicos de climatización.

El proyecto asume las condiciones climáticas y territoriales como parámetros del diseño, transformando las debilidades identificadas en criterios arquitectónicos que buscan fortalecer el confort térmico de la vivienda su potencial de adaptabilidad en otros sectores con condiciones similares.

# Capítulo 3

Casos de estudio



### 3.1 Selección de los casos de estudio

La selección de casos de estudio constituye una etapa primordial dentro del desarrollo del módulo de vivienda, debido a que permite analizar, estudiar y comprender distintas soluciones arquitectónicas que responden de manera eficiente a las condiciones climáticas complejas de un sector mediante el uso de estrategias pasivas. De esta manera, el estudio de referentes construidos aporta criterios de diseño técnicos y espaciales que fortalecen y guían la toma de decisiones en cuanto a las estrategias que se aplican en el módulo de vivienda.

Inicialmente, se identifican seis referentes arquitectónicos que responden a la necesidad de contar con un número amplio de soluciones desarrolladas en climas similares, cálidos y húmedos. Esta primera selección permite reconocer varios recursos usados en el diseño bioclimático pasivo. A partir de este grupo de casos de estudio, se realiza un análisis comparativo que evita

una elección arbitraria, priorizando criterios que se pueden adaptar al contexto del lugar de estudio y estrategias verificables; de modo que la selección final de los referentes arquitectónicos se fundamenta en la pertinencia y aplicabilidad real, y en la cantidad de datos existentes para su revisión, como planos, diagramas, imágenes, etc.

Posteriormente, se seleccionan tres referentes arquitectónicos, los cuales se analizan con base en su mayor correspondencia con las condiciones climáticas de la ciudad de Machala, caracterizadas principalmente por altas temperaturas, elevada humedad relativa y fuerte radiación solar. Los proyectos seleccionados demuestran un desempeño destacado en el control térmico, la ventilación natural y la protección solar mediante estrategias pasivas claramente integradas al diseño arquitectónico.

Asimismo, se valora la coherencia entre la organización espacial, el uso de una materialidad

sostenible y adaptable a la zona de estudio del proyecto, y su afinidad climática con la ciudad de Machala. Cada uno de estos proyectos seleccionados aporta de manera significativa al desarrollo del módulo de vivienda propuesto en un clima húmedo muy caluroso.

**FIGURA 25**

Sinfonía Verde Home

**FUENTE:** Tomado de “Sinfonia Verde Home / Studio Saxe” (ArchDaily, 2024).

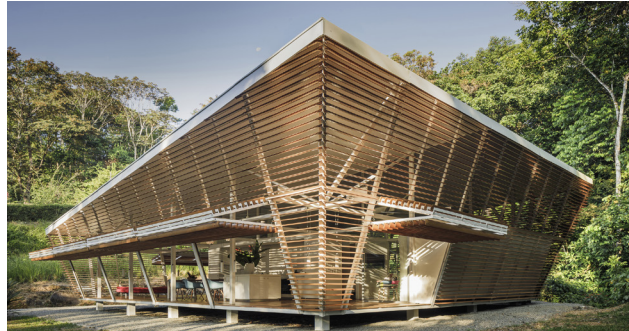
Sinfonía Verde es una vivienda off grid (autónoma) que se ubica en la Península de Osa (Carate, Costa Rica), diseñada como un disco con óculo central para integrarse a un claro natural del bosque (Studio Saxe, s. f.). Esta vivienda se eleva del suelo con un sistema de pilotes, además incorpora louvers que permiten una ventilación pasiva constante y usa una cubierta aislada y de tonalidad clara para reducir el sobrecalentamiento (Archello, s. f.; Designboom, 2024). Con relación a la autonomía, integra generación energética y sistemas de abastecimiento que fortalecen su lógica de bajo impacto ambiental (UR Design Mag, 2024).

Aporte al módulo:

Confort por sombra + ventilación + elevación, sin depender de aire acondicionado

**FIGURA 26**

No Footprint House

**FUENTE:** Tomado de “No Footprint House / A-01” (ArchDaily, 2019).

La Casa sin Huella (NFH) se desarrolla en Ojochal, (Costa Rica), como un prototipo para producción en serie, construido desde un catálogo de componentes prefabricados configurables (Architizer, s. f.). El sistema se plantea como un módulo adaptable a necesidades del usuario y al sitio (A-01, s. f.). El proyecto fue prefabricado y transportado al lugar en un solo camión, lo cual aporta en la reducción de tiempos de obra e impacto con el medio ambiente (The Plan, 2019). Además, selecciona materiales bajo evaluación de origen y huella ambiental, reforzando una construcción sostenible verificable (Architecture MasterPrize, 2021).

Aporte al módulo:

Bioclimática + replicabilidad (modularidad como sistema).

**FIGURA 27**

Modular 5.5

**FUENTE:** Tomado de Modular 5.5” (UNAbv)

Modular 5.5 esta ubicado en Brasil, es un sistema de vivienda basado en módulos combinables (dormitorio, sala, estudio, terraza) para adaptarse a distintos contextos con mínimo impacto en el terreno (UNA BV, s. f.).

Usa madera de reforestación y una lógica de montaje tipo ensamblaje, en cuanto a su desempeño pasivo cuenta con aleros amplios que permiten grandes vanos con control solar y mejor ventilación e iluminación natural (UNA BV, s. f.).

Aporte al módulo:

Modularidad eficiente + sombra profunda + ventilación natural controlada.

**FIGURA 28**

Tropical Shed

FUENTE: Tomado de Tropical Shed / Laurent Troost Architectures” (ArchDaily, 2022).



Tropical shed esta ubicado en Manaus (Brasil) esta oficina funciona como un espacio flexible que integra la naturaleza en su proyecto, que genera un microclima interior mediante la sombra y vegetación (Wallpaper, 2022). Su estrategia principal es la forma en la que se concibe su estructura, la cual es una secuencia de pórticos que guían el crecimiento de plantas trepadoras, creando un ambiente más fresco y ventilado (Simon Architecture Prize, 2022). Además, incluye una fachada permeable hecha de ladrillo que permite el paso de los vientos dominantes que ventilan el lugar, mejorando su confort térmico.

Aporte al módulo:

Idea de pérgola bioclimática + sombra activa.

**FIGURA 29**

Vivienda Bioclimática en Tenerife (La Geria)

FUENTE: Tomado de Vivienda Bioclimática en Tenerife” (Ruiz-Larrea, 2000).



La vivienda bioclimática La Geriase encuentra en Tenerife (España) y usa muros de doble hoja hechos de piedra Tosca con una cámara de aire que ayuda a distribuir el aire fresco desde el terreno hacia el interior por el efecto Venturi (Ruiz-Larrea, 2000). Su cubierta eta conformada por una losa de hormigón con una capa vegetal que se humedece mediante el riego por goteo, lo que ayuda a favorecer el enfriamiento por evaporación y estabiliza la temperatura de la masa térmica. Además, incorpora un forjado de madera con cámara ventilada sobre suelo excavado y húmedo, y complementa su autonomía con un depósito de 2000 L de agua lluvia para aguas grises.

Aporte al módulo:

Demuestra confort pasivo con viento + masa térmica + evaporación + ventilación inferior.

**FIGURA 30**

ON THE SAND

FUENTE: Tomado de ON THE SAND” (Studio MK27, 2015–2019).



On the sand se ubica en Trancoso, Bahía (Brasil), esta vivienda se plantea como una arquitectura abierta al paisaje y al ambiente tropical del lugar (Studio MK27, 2019). El programa se compone de cinco espacios (cocina, comedor, sala, dormitorio principal y de huéspedes) que se conectan por una plataforma de madera que se eleva del suelo, lo que permite circulaciones abiertas priorizando el paso del aire y la sombra. Todos estos espacios estan cubiertos por una pérgola rústica de eucalipto, que se sostiene por catorce pórticos de madera laminada, esta se encarga de filtrar la radiación y lluvia interrumpiéndose para abrazar árboles existentes, de esta manera genera sombra dinámica y confort ambiental.

Aporte al módulo:

Cubierta con sombra + ventilación + espacios intermedios.

## SELECCION DE CASOS DE ESTUDIO







Caso de estudio	Clima : Calido-Humedo	Estrategias Pasivas: Ventilacion Natural y Pasiva	Materialidad adaptable y sostenible	Modular	Habitabilidad y confort interior	Desempeño bioclimatico	Puntaje Total
 Sinfonía Verde Home	X	X	X	X	X	X	6/6
 Casa sin huella	X	X	X		X	X	5/6
 Modular 5.5	X	X	X	X	X	X	6/6
 Galpão Tropical (Tropical Shed)	X	X	X		X		4/6
 Vivienda La Geria		X	X		X	X	4/6
 On the sand	X		X		X	X	4/6

Tabla 4

Selección de casos de estudio  
FUENTE: Elaboración Propia

### **3.2 Analisis de los casos de estudio**

Los tres casos de estudio que fueron seleccionados presentan condiciones climáticas similares a las de la ciudad de Machala, caracterizados por altas temperaturas, alta humedad relativa y una fuerte incidencia solar, esta compatibilidad climática es fundamental, porque permite evaluar soluciones arquitectónicas y adaptarlas en entornos cálidos y húmedos, donde, la ventilación natural y la protección solar son fundamentales para el confort interior de una vivienda. Asimismo, los casos elegidos destacan por su enfoque integral en el uso de la materialidad, la configuración de la envolvente y la organización espacial como herramientas de adaptación climática, cada proyecto busca el confort térmico desde distintas escalas, realidades y estrategias, ya sea a través de sistemas de capas en fachada, uso de sombra, orientación o soluciones constructivas que favorecen la ventilación natural y reducen las cargas térmicas.

Además se incluye un caso modular que complementa el análisis ya que toma en cuenta criterios de flexibilidad del espacio, crecimiento progresivo y prefabricación, estos aspectos son importantes para contextos de expansión urbana y vivienda accesible.

Los tres referentes seleccionados aportan una base para el desarrollo del módulo de vivienda bioclimático, al demostrar que es posible integrar confort térmico, adaptación climática y funcionalidad mediante estrategias pasivas replicables en la costa ecuatoriana.

#### **1. Sinfonia Verde Home (Materialidad)**

#### **2. Casa sin huella (Estrategias Pasivas)**

#### **3. Modular 5.5 (Modulo)**

# 01

## Sinfonia Verde Home (Materialidad)

Arquitectos Studio Saxe

Área 400 m<sup>2</sup>

Ubicación Costa Rica

El proyecto Sinfonía Verde , está emplazado en Costa Rica, se caracteriza por un clima cálido y húmedo, además posee una gran integración con el entorno natural; gracias a estas cualidades la materialidad se convierte en una estrategia fundamental para garantizar el confort ambiental, la durabilidad de la vivienda frente a las condiciones climáticas y su adecuada adaptación al entorno, tiene como objetivos regular el calor, la humedad y favorecer la ventilación, al mismo tiempo que busca mimetizarse con el paisaje tropical, respetando su entorno.

**Figura 31**

Sinfonia Verde Home



FUENTE: Tomado de "Sinfonia Verde Home / Studio Saxe" (ArchDaily, 2024).

**Figura 32**

Planta de Sinfonia Verde Home

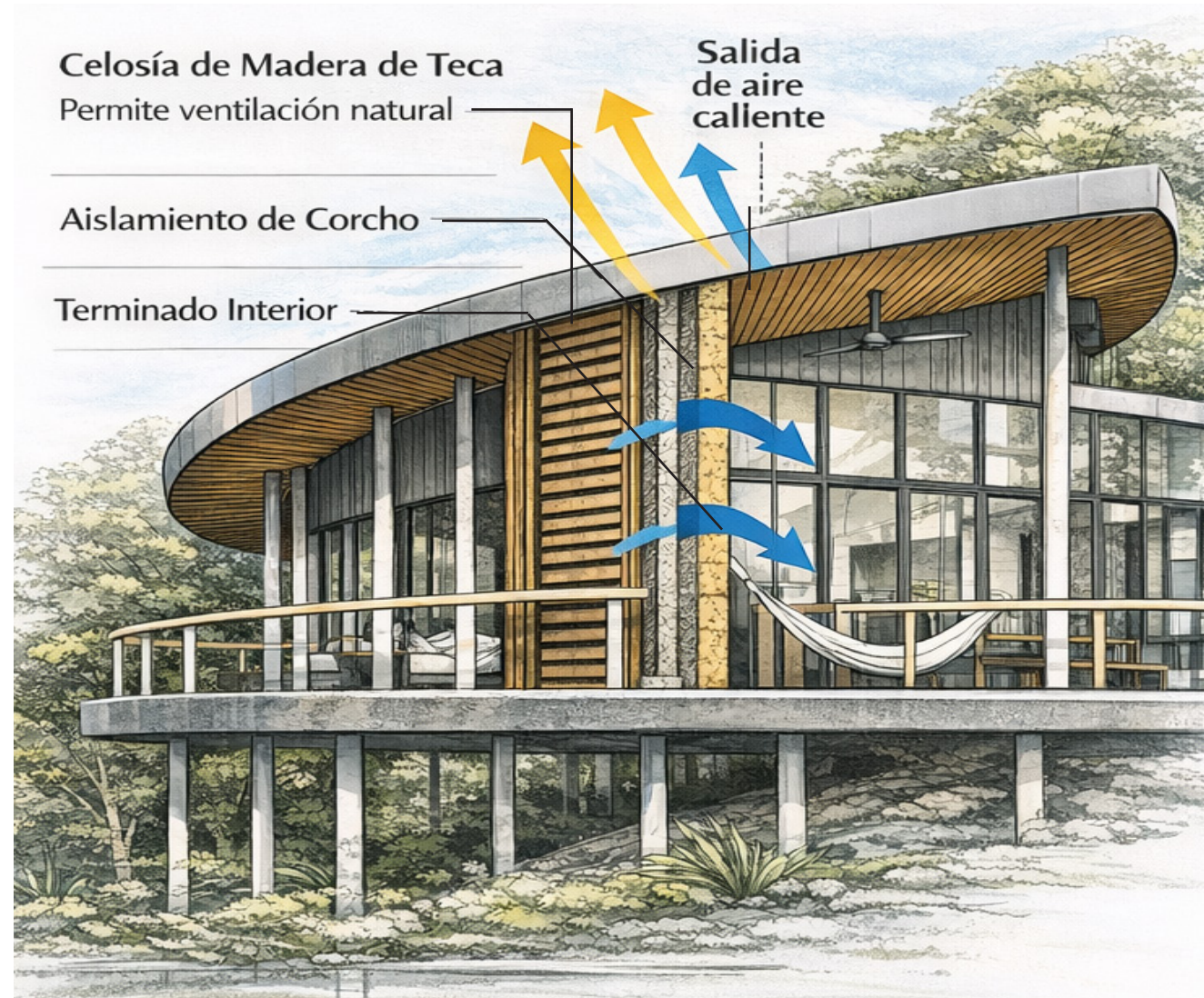


FUENTE: Tomado de "Sinfonia Verde Home / Studio Saxe" (ArchDaily, 2024).

La planta se organiza como un anillo alrededor de un patio verde central, que estructura el proyecto y aporta luz y ventilación natural. Los espacios se distribuyen en módulos radiales conectados por una circulación curva continua, diferenciando de forma clara la zona social y la zona privada, siempre vinculadas al vacío central que funciona como patio interior lo que brinda una mejor ventilación al proyecto.

Las fachadas se conforman por varias capas, las cuales responden de manera eficiente al clima cálido y húmedo, la primera capa funciona como una piel exterior permeable de madera de teca, que se encuentra en las celosías, y el cerramiento, de esta manera la envolvente interna se encuentra protegida del impacto climático directo, en la parte interna de este cerramiento está el corcho que funciona como un material aislante, mejorando el confort térmico interior; finalmente, los acabados interiores aportan calidad estética a la vivienda.

**Figura 33**  
Materialidad Sinfonía Verde



FUENTE: Elaboración propia a partir de Sinfonía Verde Home (Studio Saxe, 2024).

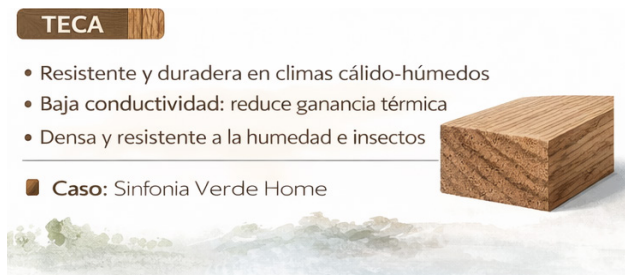
## Teca

Uno de los materiales predominantes en el proyecto es la madera de teca, utilizada principalmente en elementos de cerramiento, celosías, y revestimientos, la teca posee propiedades físicas y un comportamiento que es favorable en climas cálidos y húmedos, ya que es una madera densa y naturalmente es resistente a la humedad, ataque de insectos y al deterioro causado por la exposición constante al exterior, todas estas propiedades la convierten en un material adecuado para ambientes tropicales sin necesidad de tratamientos químicos intensivos, en cuanto a propiedades térmicas la teca presenta una baja conductividad, lo que reduce la transferencia de calor hacia los espacios interiores y por consecuencia las temperaturas se vuelven más estables y confortables.

Al conformarse celosías y superficies permeables también se crea una estrategia bioclimática clave, ya que permite el paso controlado del aire y la luz,

favoreciendo la ventilación natural y los espacios de sombra, de esta manera, el material no actúa únicamente como un acabado, sino también como un elemento que permite controlar el confort térmico; además este tipo de madera aporta una sensación de calidez al espacio, reforzando la relación entre el interior y exterior, y mimetizando el proyecto con su entorno.

**Figura 34**  
Propiedades de la teca



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

## Corcho

Es usado principalmente como material aislante para el cerramiento y elementos interiores, este material destaca por sus excelentes propiedades térmicas y acústicas, que provienen de su composición interna ya que contiene aire en su interior, es microporoso; esta característica permite reducir la transmisión de calor desde el exterior hacia el interior, además, el corcho al ser un material transpirable ayuda a controlar la humedad sin generar condensaciones, ya que el corcho permite una difusión del vapor de agua, pero sin absorber ni transmitir el agua, lo que es favorable para climas cálidos húmedos. La incorporación del corcho en el sistema constructivo permite mejorar el confort térmico del espacio interior, en especial se encarga de regular la humedad sin la necesidad de recurrir a sistemas mecánicos.

Por otra parte es un material renovable y de bajo impacto, ya que se obtiene a través de la extracción de la corteza del árbol alcornoque, el cual se regenera sin causar ningún daño.

**Figura 35**

Propiedades del corcho

#### CORCHO

- Aislante renovable y transpirable
- Regula la humedad y mejora el confort interior
- Térmico y acústico: reduce el calor y el ruido

■ Caso: Sinfonia Verde Home



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

La combinación de teca y corcho es eficiente para este tipo de climas ya que la primera actúa como una piel expuesta, encargada del control solar, la ventilación y la protección frente al ambiente exterior, y la segunda funciona como una capa interna que mejora el desempeño térmico y además se encarga de absorber y amortiguar las ondas del sonido, reduciendo la transmisión del ruido

entre espacios; de esta manera las envolventes trabajan complementándose una con otra frente a las condiciones climáticas, reduciendo la ganancia térmica y mejorando el confort térmico.

Es importante tener en cuenta la durabilidad de los materiales frente a las condiciones climáticas en este caso la teca ofrece resistencia y envejecimiento controlado, y el corcho aporta estabilidad térmica y confort interior, disminuyendo la dependencia de sistemas mecánicos de climatización.

La cubierta en el proyecto, se resuelve mediante paneles de fibrocemento de tonalidad clara, que fueron seleccionados por su buen comportamiento térmico y resistencia a la humedad, este material posee una menor conductividad térmica en comparación con otro tipo de cubiertas, lo que reduce la transferencia de calor hacia el interior de la vivienda, la tonalidad clara de la superficie contribuye a reflejar la radiación solar, evitando sobrecalentamiento, bajo esta cubierta se incorpora una cámara de aire que permite la ventilación y

dissipación del calor acumulado, complementada por un cielo raso de teca, de esta manera la cubierta funciona como una barrera térmica pasiva que limita la ganancia de calor desde la parte superior de la vivienda y trabaja de manera integrada con las fachadas ventiladas y la materialidad del proyecto.

**Figura 36**

Funcionalidad de cubierta de fibrocemento



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

# 02

## Casa sin huella (Estrategias Pasivas)

Arquitectos A-01

Área 150 m<sup>2</sup>

Ubicación: Costa Rica

La Casa Sin Huella es un proyecto desarrollado por los arquitectos A01, concebido como un referente de arquitectura bioclimática aplicada a contextos de clima cálido y húmedo. Su entorno está caracterizado por altas temperaturas, elevada humedad relativa y una fuerte incidencia de radiación solar durante gran parte del año, condiciones que influyen directamente en el confort térmico de los espacios, debido a estas características del clima se desarrollaron varias estrategias bioclimáticas pasivas que ayuden a mejorar el confort térmico.

**Figura 37**

No Footprint House



FUENTE: Tomado de “No Footprint House / A-01” (ArchDaily, 2019).

**Figura 38**

Planta Arquitectónica de No Footprint House

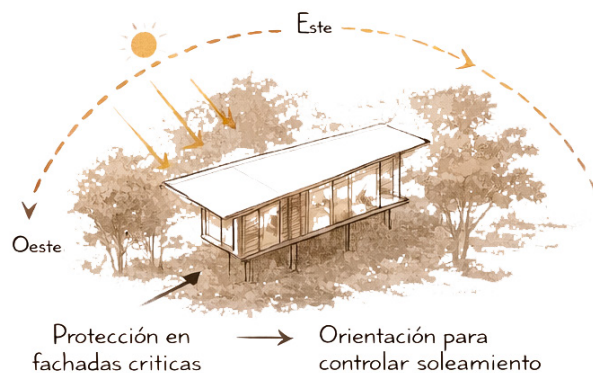


FUENTE: Tomado de “No Footprint House / A-01” (ArchDaily, 2019).

La vivienda se emplaza de manera estratégica para controlar la radiación solar directa, favoreciendo la incidencia del sol en horarios y fachadas controladas, mientras se protege de la radiación más intensa mediante aleros, voladizos y elementos que proveen sombra y regulan el ingreso del calor sin bloquear la iluminación natural.

La vivienda se emplaza de manera estratégica para controlar la radiación solar directa, favoreciendo la incidencia del sol en horarios y fachadas controladas, mientras se protege de la radiación más intensa mediante aleros, voladizos y elementos que proveen sombra y regulan el ingreso del calor sin bloquear la iluminación natural.

**Figura 39**  
Diagrama de emplazamiento

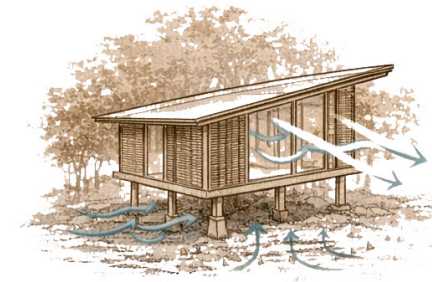


FUENTE: Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

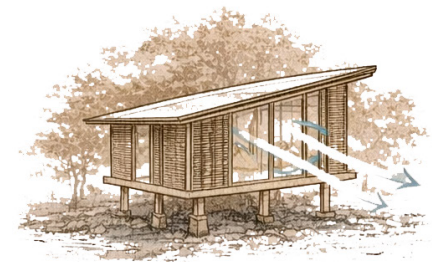
Una de las estrategias fundamentales del proyecto es la elevación de la vivienda sobre el terreno, lo que permite separar el volumen de la humedad del suelo y favorecer la circulación de aire por debajo de la edificación, esta decisión es importante en climas cálido y húmedos, ya que el contacto directo con el suelo puede generar acumulación de humedad, asimismo puede incrementar la temperatura interior y aparición de patologías en la vivienda, es por ello que se opta por elevarla, de esta manera se crea una cámara de aire que actúa como regulador térmico haciendo que el calor se disipe y no ascienda a los espacios interiores, además esta estrategia contribuye a la protección frente a lluvias intensas y mejora la durabilidad de los materiales.

**Figura 40**  
Diagrama de elevación sobre pilotes

Regula la temperatura interior y reduce humedad



Elevación sobre pilotes:  
Regula la temperatura interior y reduce humedad



Circulación de aire por debajo ↑ Protección ante inundaciones

- Mantiene la vivienda fresca y protege los materiales.

FUENTE: Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

Por otro lado, la ventilación cruzada es otra estrategia clave en la Casa Sin Huella, se incorporan vanos en fachadas opuestas y laterales que permite el ingreso de vientos dominantes y la salida del aire caliente acumulado, esta estrategia se ve complementada gracias a la disposición de espacios interiores continuos, con mínimas divisiones, lo que facilita el movimiento del aire a través de la vivienda, la ventilación también disminuye la humedad relativa, mejorando la sensación térmica y el confort de los usuarios sin el uso de sistemas de climatización. Además, la vivienda posee fachadas permeables y ventiladas, de madera, como rejillas y paneles que permiten el paso controlado del aire y la luz solar actuando como filtros climáticos, protegiendo del asoleamiento directo y evitando el sobrecalentamiento de los espacios; los paneles que conforman la fachada pueden cerrarse o abrirse lo que permite un mayor flujo del aire, crean privacidad y mayor conexión con la naturaleza del entorno.

La parte superior de la vivienda se encuentra abierta, ya que el aire caliente al ser menos denso se acumula en la parte alta y sale hacia el exterior, se usa paneles mosquiteros para evitar el paso de insectos.

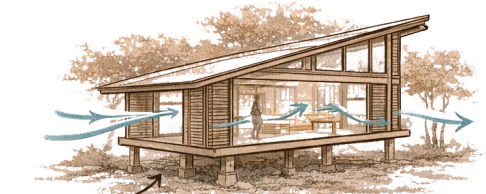
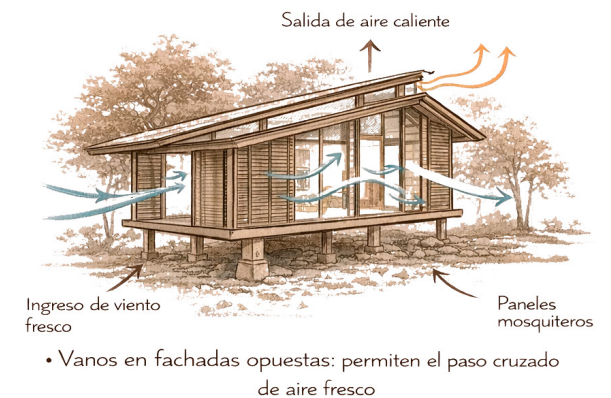
**Figura 41**  
Diagrama de fachadas permeables y sombra



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

**Figura 42**  
Diagrama de ventilación

Permite el flujo constante de aire fresco, removiendo el calor y la humedad del interior.



- Elimina el aire caliente acumulado y reduce la humedad relativa
- Mejora el confort y la sensación térmica sin uso de climatización
- Los paneles de la fachada se abren o cierran para regular el flujo de aire y brindar privacidad
- La parte superior abierta y los paneles mosquiteros impiden el paso de insectos

**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

Por otra parte la configuración de la cubierta ayuda a reducir la ganancia térmica mediante la incorporación de cámaras de aire ventiladas, que facilitan la disipación del calor acumulado, gracias a este espacio intermedio entre la cubierta y el cielo raso se permite la disipación del calor acumulado mediante convección natural, y se evita la transmisión directa hacia los espacios interiores, ya que al calentarse, el aire presente en la cámara asciende y es evacuado, generando un flujo continuo que reduce la ganancia térmica y mejora el confort interior; esta solución es clave, ya que así se evita que el calor se transfiera directamente al interior, y se logra mantener una temperatura adecuada para el confort de los usuarios. La presencia de áreas verdes, y árboles ayuda a generar sombra, reduce temperatura del ambiente y mejora el microclima cercano a la vivienda, ya que esta actúa como regulador térmico, disminuyendo la radiación y enfriando el aire, mejorando la sensación térmica en climas húmedos y calurosos. Todas estas estrategias integradas de una manera

correcta generan espacios confortables, eficientes y sostenibles, lo cual reduce el impacto al medio ambiente y el consumo energético.

Es importante comprender las limitaciones climáticas de la zona, al momento de diseñar ya que de esta manera se pueden crear estrategias bioclimáticas pasivas que se integren junto con las primeras decisiones de diseño, como es el caso de la Casa sin huella que a través de su elevación, la ventilación cruzada, el control solar, el uso de fachadas permeables, una cubierta eficiente que incorpora cámara de aire y la integración de la vegetación, logra condiciones de confort térmico sin la necesidad recurrir a sistemas activos de climatización, mostrando que con pequeñas pero inteligentes decisiones se crean espacios de bienestar para el usuario, que son eficientes energéticamente y el respetan el entorno natural.

**Figura 43**

La Casa Sin huella



FUENTE: Tomado y redibujado de No Footprint House / A-01” (Arch-Daily, 2019).

# 03

## Modular 5.5 (Modulo)

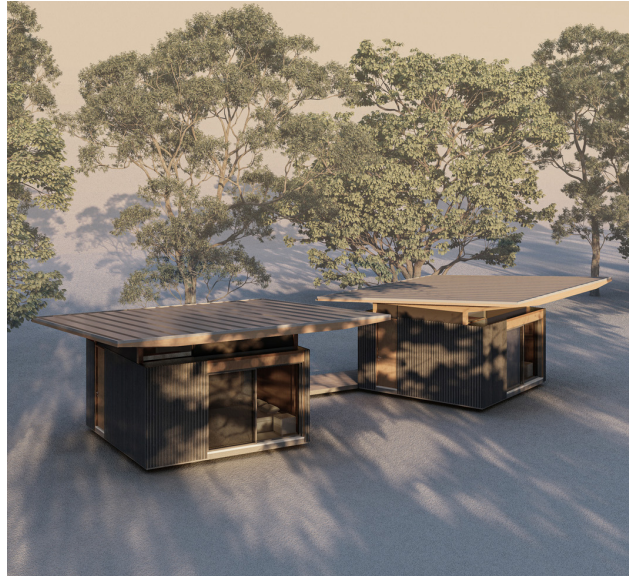
Arquitectos: Fábio Valentim y Fernanda Barbara

Ubicación: Brasil

Materialidad: Madera de reforestación (eucalipto), con sistema industrializado: vigas/pilares, paredes y losas en madera.

La vivienda Modular 5.5 fue desarrollada en la oficina UNA BV, su objetivo era ofrecer una flexibilidad espacial en cada módulo que sea capaz de adaptarse al lugar, crecer con el tiempo y ensamblarse de distintas maneras según las necesidades de los usuarios. El módulo base está constituido por una pieza prefabricada de 5 x 5 metros, estos 25 m<sup>2</sup> son suficientes para albergar distintos espacios como: Dormitorio, sala, comedor, estudio, cocina, inclusive una terraza cubierta.

**Figura 44**  
Modular 5.5

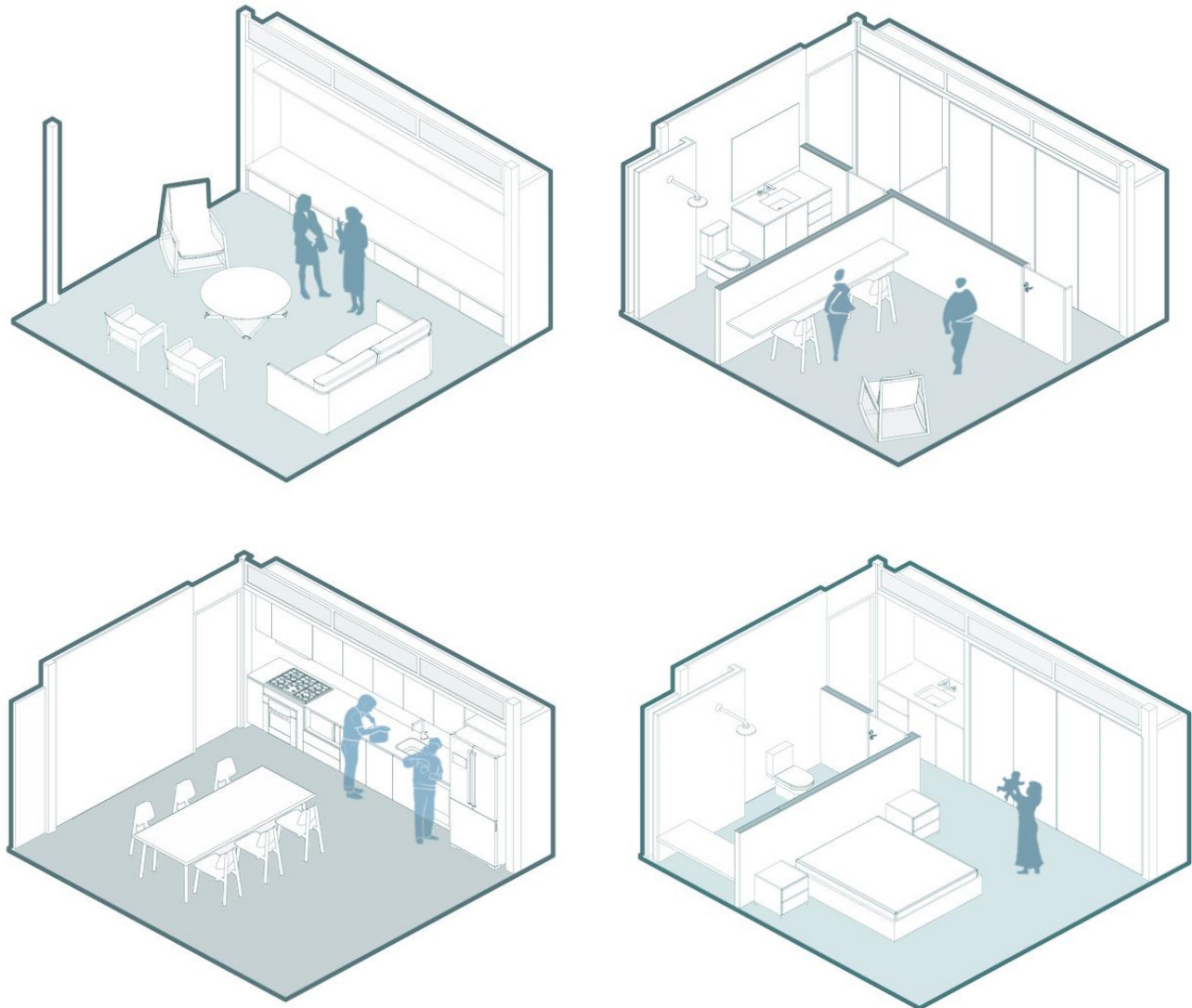


FUENTE: Tomado de "Modular 5.5" (UNAbv)

Figura 45  
Diagramas de espacios modulares

La medida 5 x 5 metros en el interior del módulo, aporta orden espacial, constructivo y funcional, esta modulación se basa en la escala humana, ya que un módulo de 25 m<sup>2</sup> se pueden generar subdivisiones que integren funciones domésticas sin crear espacios incómodos, lo que garantiza el confort en la circulación y una correcta disposición del mobiliario.

Desde el punto de vista constructivo y estructural, se usa un sistema aporticado que facilita el transporte, prefabricación, y montaje además se reducen los costos de construcción, y por otra parte la medida del módulo permite una adecuada ventilación cruzada con un mejor control solar mediante vanos y aleros, debido a estas estas razones, el módulo de 5 x 5 metros, es una propuesta que integra criterios de adaptabilidad, optimización y confort.



FUENTE: Tomado de Modular 5.5" (UNAbv)

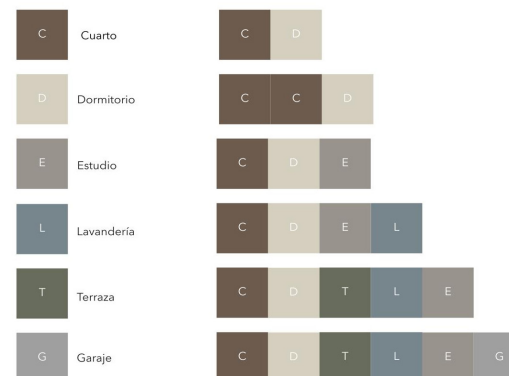
Cada módulo puede organizarse de distintas maneras, según lo requieran los usuarios. Por ejemplo el módulo sala de estar se constituye por muebles para el descanso mesas funcionando como el espacio principal, módulo de cocina comedor puede incorporar mobiliarios básicos para su funcionamiento con suficiente espacio para la circulación, en el módulo de dormitorios se puede colocar cama, closet, velador y puede incluir el baño asegurando un buen dimensionamiento, asimismo se pensó en módulos de estilo abierto que funcionan como terrazas de vegetación que son la transición entre el espacio exterior e interior, lo cual es clave en zonas tropicales.

Gracias a esta modulación, los espacios pueden agruparse libremente permitiendo un sinfín de combinaciones, ya sean espacios de secuencia, o figuras en L para favorecer patios interiores, o en U generando espacios que pueden ser protegidos del viento o la radiación solar. Los módulos pueden conectarse a través de pasillos

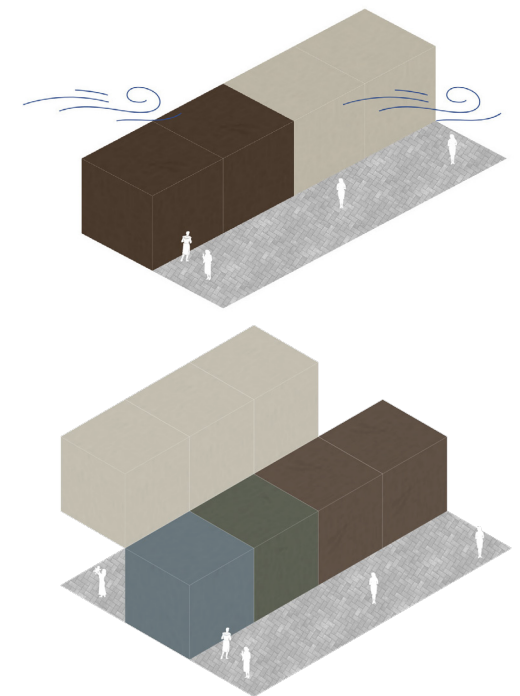
al exterior lo que mejora la ventilación de los espacios; esta libertad de composición es la clave del Sistema Modular de BV, ya que se puede generar configuraciones adaptadas a cada sitio.

Un usuario puede comenzar con uno o dos módulos, como dormitorio y sala y con el paso del tiempo ir agregando aquellos módulos que vaya necesitando, convirtiéndose en una vivienda progresiva que se va adaptando al crecimiento de la familia o la situación económica de cada persona.

**Figura 46**  
Diagramas de zonificación



**Figura 47**  
Axonometría de zonificación

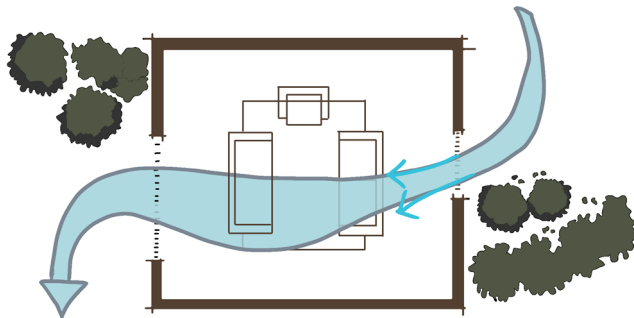


FUENTE: Elaboración propia a partir de Modular 5.5" (UNAbv)

El sistema Modular BV demuestra cómo un módulo puede dar lugar a una arquitectura flexible, adaptada al contexto y bioclimática; la manera en la que se organiza cada módulo puede adaptarse a diferentes necesidades y configuraciones, permitiendo la expansión progresiva de la vivienda y contribuyendo a la ventilación cruzada.

**Figura 48**

Diagramas de ventilación cruzada



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

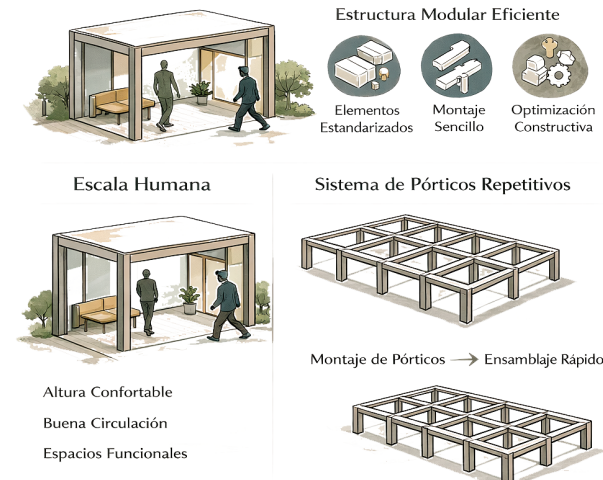
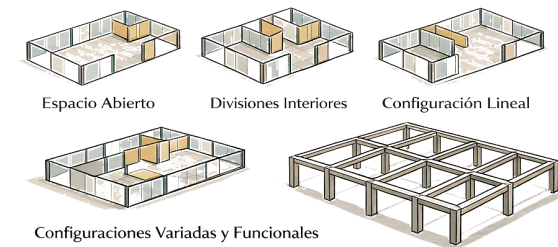
La repetición de cada módulo da lugar a una planta flexible y adaptable, que es capaz de responder a distintas configuraciones sin perder su funcionalidad, además desde el punto de vista estructural, el proyecto trabaja de manera eficiente con luces de cinco metros, facilitando la comprensión del sistema y su montaje en obra de esta manera se reduce la complejidad constructiva, se estandariza los elementos estructurales y por lo tanto se optimiza los procesos de ensamblaje.

La dimensión del módulo responde adecuadamente a la escala del ser humano, ya que permite una correcta circulación y una organización funcional clara, dando como resultado espacios confortables y óptimos para los habitantes.

**Figura 49**

Diagrama de planta modular

### Planta Flexible y Adaptable



**FUENTE:** Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

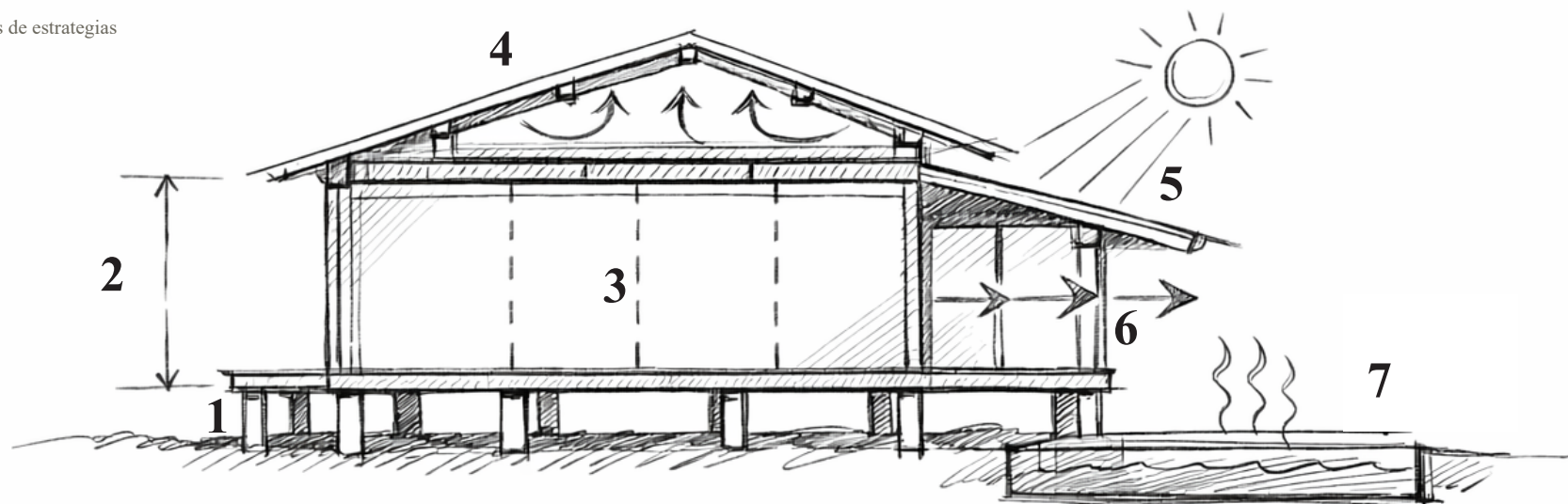
A partir de la revisión de los casos de estudio y del análisis de las condiciones climáticas del sector, se ha determinado las siguientes estrategias bioclimáticas, que serán analizadas en el siguiente capítulo.

1. Elevación del módulo sobre el suelo
2. Altura del módulo
3. Modulación
4. Sistema de doble cubierta ventilada

5. Control solar mediante aleros
6. Ventilación cruzada
7. Espejo de agua

**Figura 50**

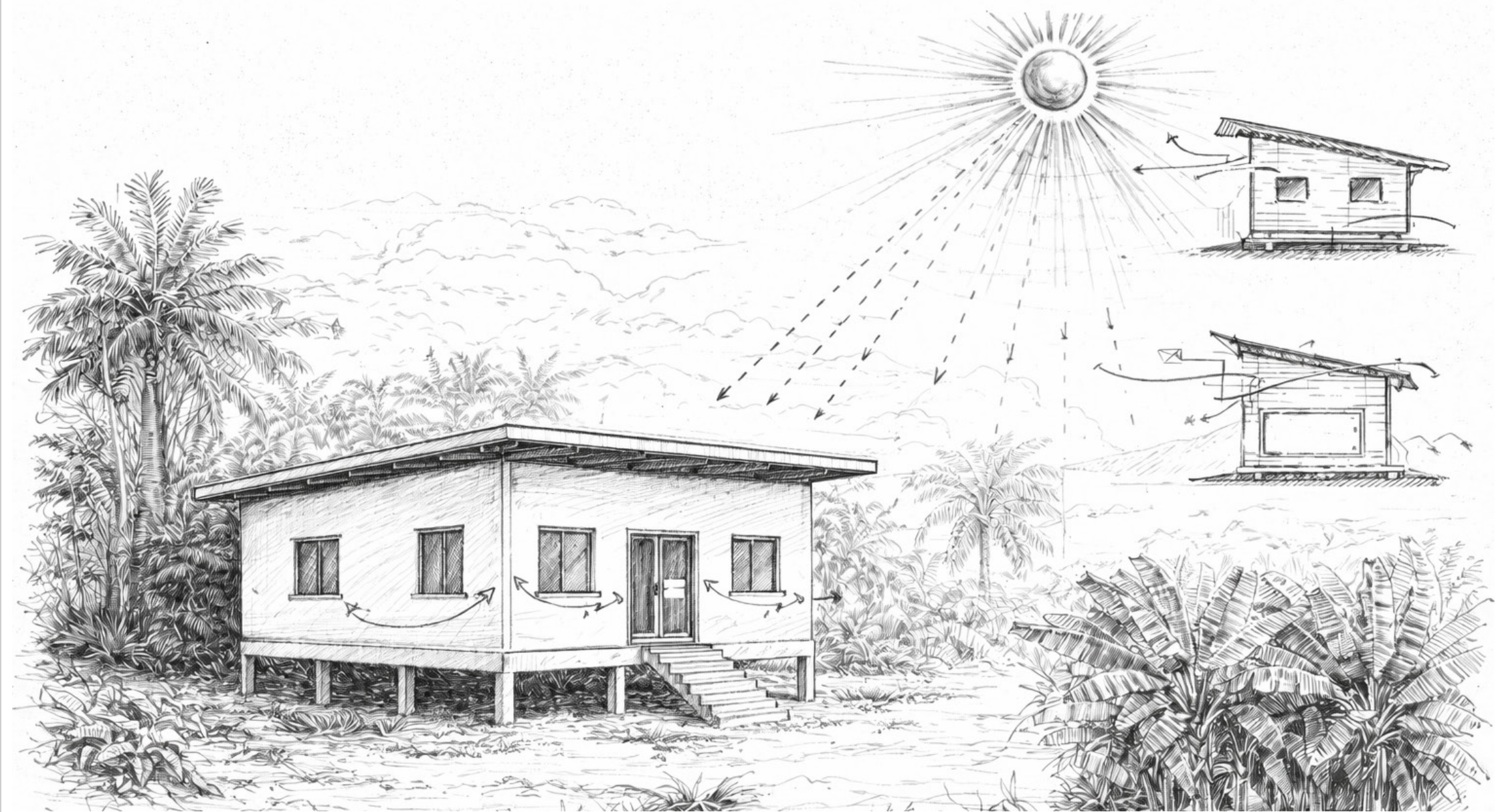
Diagrama síntesis de estrategias



FUENTE: Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

# Capítulo 4

Estrategias  
bioclimáticas pasivas



Anteproyecto del módulo bioclimático: integración de estrategias pasivas y validación por simulación

La propuesta del módulo se fundamenta en el análisis detallado de las condiciones climáticas de la ciudad de Machala, las cuales son los altos niveles de humedad relativa, temperaturas elevadas y la incidencia de radiación solar a lo largo del año. Estas variables necesitan soluciones que prioricen el control solar, la ventilación natural y la reducción de ganancias térmicas desde las decisiones en el diseño arquitectónico.

El módulo se compone de diversos criterios bioclimáticos algunos de ellos se han identificado en los casos de estudio, y reconocen estrategias pasivas como: orientación adecuada del volumen, materiales ligeros, y una correcta relación entre vanos y muros, también se plantea una organización espacial que favorece a la ventilación cruzada y la disipación del calor acumulado, aprovechando los vientos dominantes y minimizando la exposición directa al sol.

El módulo es una propuesta arquitectónica adaptada al clima de Machala, que también busca ser replicable en sectores con características climáticas similares. A partir de este diagnóstico, para el desarrollo del diseño del módulo de vivienda primero se definen las estrategias pasivas prioritarias para el clima húmedo muy caluroso y, posteriormente, se traducen en decisiones arquitectónicas concretas del módulo.

**FIGURA 51**  
Diagrama de asoleamiento



FUENTE: Elaboración propia

#### 4.1 Estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas al módulo

En este apartado se sintetizan las estrategias bioclimáticas consideradas más pertinentes para Machala, como control solar, ventilación natural, optimización de la envolvente y reducción de ganancias térmicas estableciéndolas como criterios de diseño que permiten orientar del módulo, estas estrategias se entienden como un sistema integrado, cuyo objetivo es mejorar el confort térmico interior.

### Elevación del módulo sobre el suelo

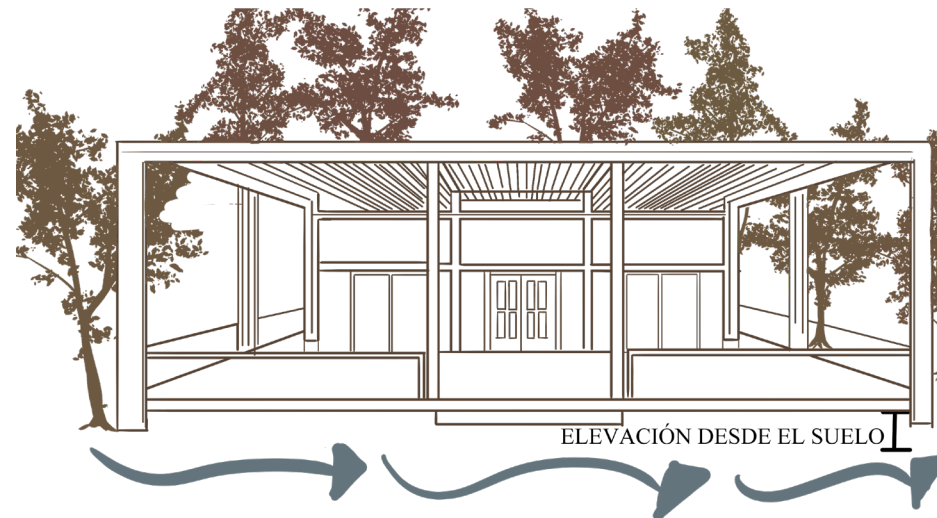
Las viviendas ubicadas en climas cálido húmedos se elevan respecto al terreno mediante pilotes o una estructura separada del suelo, para evitar el contacto con la humedad, disminuir riesgos por inundaciones y favorecer la circulación del aire bajo la vivienda, lo que ayuda a mejorar el comportamiento térmico de la misma.

Asimismo, Islam y Ahmed (2021), investigadores de arquitectura y diseño ambiental, identifican que en las viviendas de madera del trópico la separación entre el piso y el terreno suele resolverse mediante plintos o apoyos elevados, con un rango aproximado de 0,30 a 0,60 m, con el objetivo de evitar la humedad desde el suelo y mejorar la ventilación, es por eso que el módulo de vivienda propuesto adopta una elevación de 0,60 m, para favorecer su confort térmico. En este mismo contexto Nguyen et al. (2011) analizan estrategias de diseño adaptadas al clima y evidencian que las

soluciones tradicionales son las que responden de manera efectiva a las condiciones ambientales locales, como la elevación de una vivienda especialmente cuando se busca reducir cargas térmicas sin depender de climatización mecánicas.

### FIGURA 52

Diagrama de elevación del módulo



FUENTE: Elaboración propia a partir de Construir una casa en un terreno inclinado

### Altura del módulo

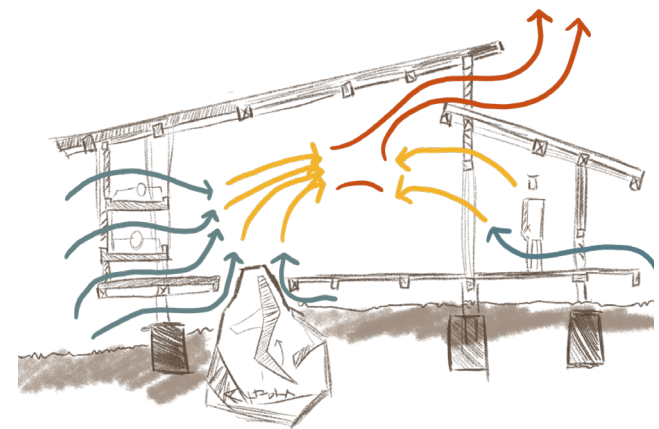
En el clima húmedo muy caluroso de Machala, el diseño pasivo debe responder a dos objetivos simultáneos: reducir ganancias térmicas por radiación y facilitar la evacuación del calor mediante ventilación natural cruzada, para ello es importante entender cómo actúa la altura interior, es un recurso bioclimático que influye en la estratificación del aire y en la posibilidad de disponer aberturas altas de extracción. Las guías de diseño para climas tropicales indican que una mayor altura de cielo raso permite mantener la masa de aire caliente alejada de los ocupantes (OAS, 2013, p. 33) y que la altura del cielo raso debe ser suficiente para facilitar la salida del aire calentado por acumulación térmica (OAS, 2013, p. 29). Desde el PUGS de la ciudad de Machala se define que en edificaciones residenciales, la altura mínima permitida es 2,30 m y se define como la distancia entre piso terminado y cielo raso terminado (GAD Municipal de Machala, 2021, p. 53). Este valor

cumple un mínimo de habitabilidad; sin embargo, en el clima de estudio no necesariamente representa un valor óptimo para garantizar ventilación pasiva.

El uso de la ventilación por efecto chimenea se apoya en las diferencias de temperatura y densidad del aire: el aire frío que ingresa a la vivienda tiende a permanecer en el espacio habitable y a medida que se va calentando asciende, ya que posee una densidad más baja, y puede salir hacia el exterior por vanos debidamente colocados en grandes alturas. Se recomienda maximizar la distancia vertical entre vanos de entrada y de salida, mantener alturas entre piso-cielo no menores a 3,0 m (Bhatia, 2007, p. 24) además es importante considerar que el área total de salida del aire sea ligeramente mayor que el área total de entrada (relación aproximada 1 : 1,25) para contribuir a la extracción natural del aire (Bhatia, 2007, p. 23). Con base al análisis anterior, se establece una altura interior libre de 3,50 m como criterio de diseño bioclimático pasivo para el módulo de vivienda.

Creando sistema de ventilación natural por capas: (1) aberturas de entrada a baja o media altura protegidas por aleros, (2) recorrido transversal del aire, (3) vanos superiores.

**FIGURA 53**  
Diagrama de altura del módulo



FUENTE: Redibujo y elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

### Sistema de doble cubierta ventilada (cubierta interior + cámara de aire + cubierta exterior)

La cubierta es uno de los elementos más expuestos a la radiación solar y, por lo tanto se convierte en una fuente importante de ganancia térmica hacia el interior, por esta razón el módulo incorpora un sistema de doble cubierta ventilada, que busca disminuir el sobrecalentamiento mediante dos mecanismos pasivos: sombreado permanente y evacuación del calor por ventilación en una cámara de aire.

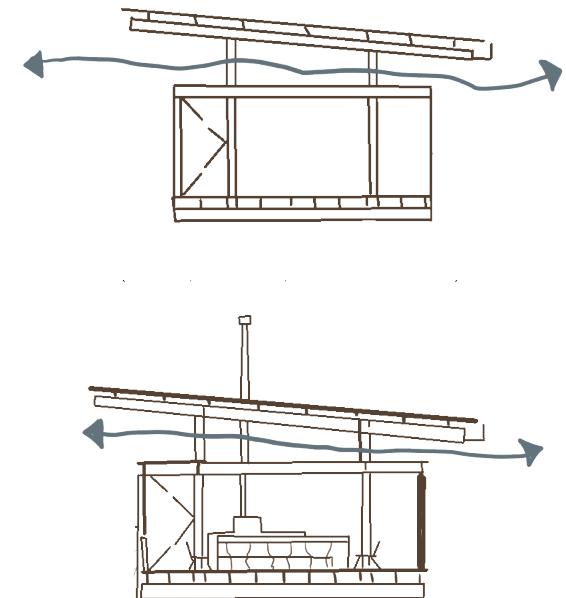
El sistema propuesto se compone de: (1) una cubierta interior principal del módulo de vivienda que se conforma por un paquete constructivo de cielo raso y aislamiento térmico; (2) una cámara de aire ventilada en un rango entre 0,60 m a 1,00 m de altura, y (3) una cubierta exterior independiente, que funciona como una segunda piel para interceptar la radiación solar y evitar que ingrese a la cubierta interior.

Este enfoque coincide con estudios que señalan

que los sistemas de doble cubierta pueden contribuir al enfriamiento pasivo, al reflejar parte de la radiación y permitir que el calor residual se disipe por convección natural dentro de la cavidad ventilada (Biwole et al., 2008).

La cubierta exterior se encarga de reducir la carga solar, mientras que la cámara ventilada limita la acumulación de aire caliente entre ambas cubiertas. El comportamiento térmico de la cubierta mejora cuando existe una cavidad donde el flujo de aire favorece la extracción del calor, reduciendo el aire caliente que pueda transmitirse hacia los espacios interiores (Tong & Li, 2014). La cámara de aire ventilada se plantea como un espacio continuo, donde el aire ingresa promoviendo la disipación del calor antes de que este se transfiera a la cubierta interior.

**FIGURA 54**  
Diagrama de altura del módulo



FUENTE: Elaboración propia con base en información gráfica de diversas fuentes.

### Control solar mediante aleros y sombreados permanentes

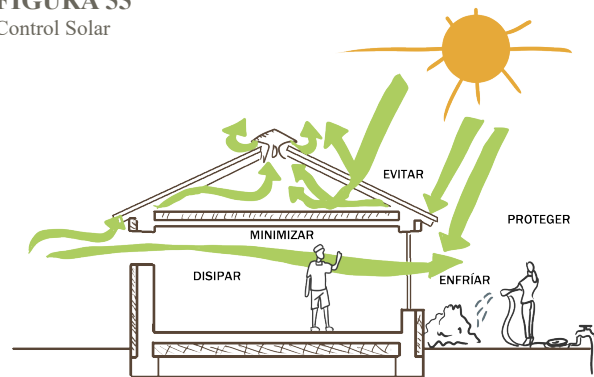
En el clima húmedo muy caluroso, el control solar evita que la radiación llegue al vidrio y a los cerramientos, lo que reduce las ganancias térmicas evitando que el calor se acumule en el interior. Estudios en climas tropicales muestran que los sombreados mejoran el confort térmico.

Al-Tamimi y Syed Fadzil (2011) evidencian mediante simulaciones que el uso de elementos tanto horizontales como verticales a modo de celosía o sombreado reducen el sobrecalentamiento interior; y Tzempelikos y Athienitis (2007) demuestran que la sombra pensada correctamente disminuye la demanda de enfriamiento y mejora el balance con la iluminación natural.

En cuanto a la normativa, NEC-HS-EE (Norma Ecuatoriana de la Construcción Habitabilidad, Salud y Eficiencia Energética) considera la

reducción del SHGC (Coeficiente de ganancia de calor solar) cuando existen proyecciones opacas permanentes, aplicando multiplicadores según el PF (Factor de proyección), entendido como la relación entre profundidad del alero y altura protegida: a mayor PF, mayor protección solar (MIDUVI, 2018). En la propuesta, se priorizan aleros horizontales en cada una de las fachadas, especialmente en este y oeste que son las caras donde existe mayor incidencia solar.

**FIGURA 55**  
Control Solar



**FUENTE:** Elaboración propia de un redibujo a partir de Guía de diseño para la eficiencia energética en vivienda social

### Espejo de agua

El espejo de agua contribuye al confort térmico gracias al enfriamiento evaporativo, cuando el agua se evapora, absorbe calor del aire, lo que provoca una disminución de la temperatura, este aire más fresco entra al módulo lo que mejora la sensación térmica interior. De acuerdo con Szokolay (2004), el enfriamiento evaporativo es una estrategia pasiva eficaz para reducir la temperatura del aire en climas cálidos, favoreciendo la creación de microclimas más confortables.

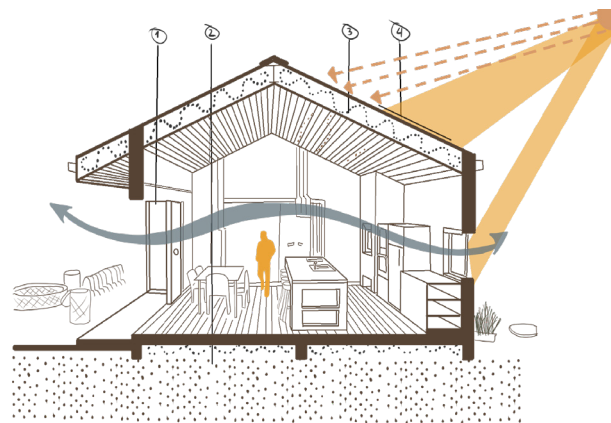
## Ventilación Cruzada

La ventilación cruzada permite renovar el aire interior y favorecer la evacuación del calor acumulado, aprovechando el movimiento natural del viento, su desempeño depende, principalmente, de la ubicación de vanos en fachadas opuestas, la continuidad del flujo y una organización espacial que minimice obstáculos, de modo que el aire pueda atravesar los ambientes y mejorar la sensación térmica del usuario (Givoni, 1998; Olgyay, 2015). En la propuesta del módulo de vivienda, esta estrategia se integra usando vanos opuestos que faciliten el recorrido del aire a través de los espacios, reforzando el enfriamiento por movimiento de aire sin recurrir a sistemas mecánicos, además, con el fin de optimizar su funcionamiento, se plantea una evaluación comparativa del tipo de ventanas y su configuración considerando su relación con la dirección predominante del viento identificada en la rosa de vientos de Machala. De esta forma, la ventilación cruzada se consolida como un criterio

de diseño, orientado a reducir la carga térmica interna y mejorar el confort en condiciones de alta temperatura y humedad relativa.

**FIGURA 56**

Diagrama ventilación cruzada

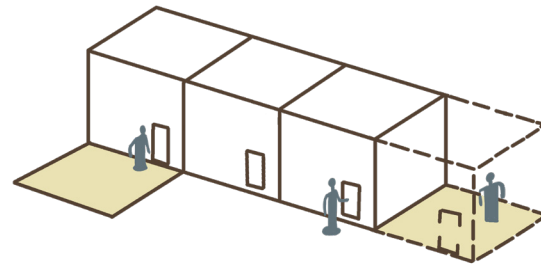


1. Ventilación cruzada de rejillas de refrigeración.
2. La losa elevada sobre el suelo protege contra la humedad.
3. La capa de aire reduce el intercambio de temperatura.
4. Paneles solares orientados al norte

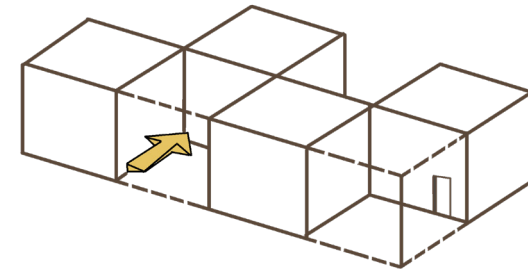
Las estrategias bioclimáticas pasivas seleccionadas responden al clima húmedo muy caluroso de Machala, donde el confort térmico está condicionado por radiación solar, la humedad elevada y la necesidad de mantener el interior ventilado, por estas razones la propuesta también integra control solar mediante aleros, evitando la captación de radiación solar por las ventanas. Estos criterios bioclimáticos buscan reducir la carga térmica y mejorar la habitabilidad sin depender de sistemas mecánicos (MIDUVI, 2018).

El siguiente apartado desarrolla el módulo como una respuesta integral, donde las estrategias pasivas funcionan de manera conjunta y coherente.

**FIGURA 57**  
Diagramas de módulos



FUENTE: Elaboración propia



#### 4.2 Diseño del módulo: configuración espacial, modulación y lógica constructiva

Para el diseño del módulo de vivienda se adopta medidas base de  $3,50\text{ m} \times 3,50\text{ m}$  ( $12,25\text{ m}^2$ ) siendo cada módulo adaptable a diversas composiciones y configuraciones. En cuanto a las dimensiones la propuesta se apoya en la coordinación modular métrica ( $M = 100\text{ mm}$ ), donde las medidas se expresan como múltiplos del módulo básico (ISO, 1974, p. 2). De esta manera se pueden reducir ajustes en obra, facilitar la prefabricación de piezas y mejorar el encaje entre cerramientos, estructura, vanos y acabados, además, la guía de coordinación modular de la Building and Construction Authority precisa que, aunque el módulo básico es 1M, también se puede hacer uso de submódulos ( $0,5\text{ m}$   $0,25\text{ m}$ ) siempre que se requiera hacer ajustes finos sin perder la lógica de coordinación (BCA, 2000, pp. 18–19). Bajo esta lectura,  $3,50\text{ m}$  equivale a  $3\ 500\text{ mm}$  ( $35\text{ m}$ ), por lo que mantiene coherencia con una retícula métrica basada en 1M.

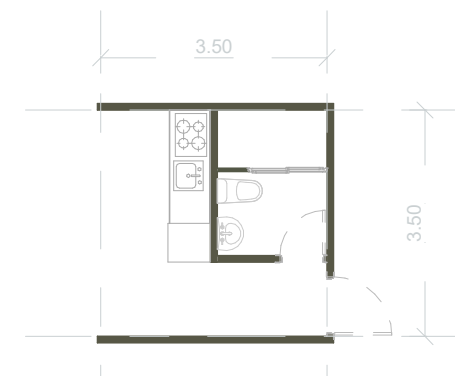
Asimismo, el valor de  $3,50\text{ m}$  tiene la posibilidad de subdividirse en siete franjas de  $0,50\text{ m}$ , lo que facilita el trazado y la ubicación de elementos como celosías, ventanas y puertas haciendo uso de una retícula claramente definida.

Desde el punto de vista bioclimático, la ventilación natural es una estrategia pasiva central sin embargo, su eficiencia depende de la configuración geométrica del espacio y de la posibilidad de flujo del aire, con base a esto, el manual técnico MIL-HDBK-1011/2 indica que para ventilación cruzada una profundidad moderada es preferible frente a plantas grandes, y que las configuraciones de sencillas facilitan el intercambio de aire en comparación con configuraciones más profundas (MIL-HDBK-1011/2, 1990, pp. 20, 62). E. Con base a este análisis se puede determinar que el módulo ayuda a organizar viviendas compactas pero ampliables, donde cada unidad, tiene distintas funciones según su ubicación, además este sistema permite que el proyecto pueda crecer por etapas

sumando módulos sin alterar su funcionamiento, lo cual simplifica la ejecución constructiva, el control técnico del conjunto, ya que todo se mantiene en un estándar, garantizando continuidad entre diseño, desempeño térmico y proceso de obra.

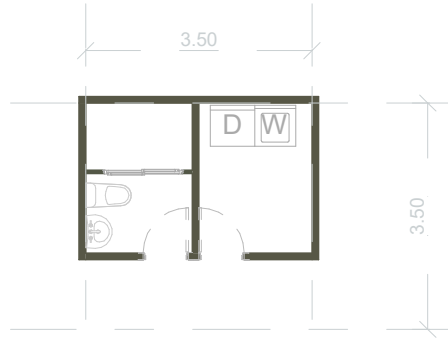
A continuación, se presentan ejemplos de las posibles configuraciones de este sistema modular:

**FIGURA 58**  
Módulo baño + cocina + pasillo

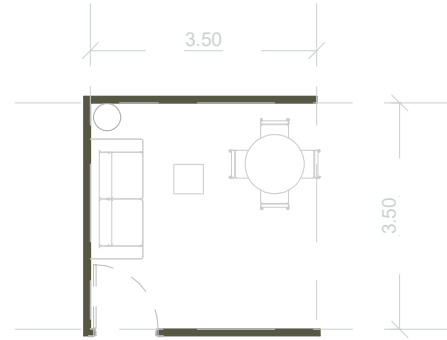


FUENTE: Elaboración propia

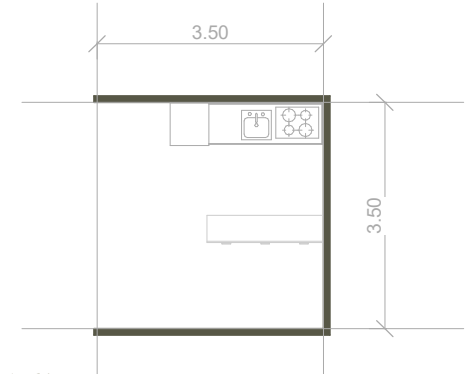
FUENTE: Elaboración propia



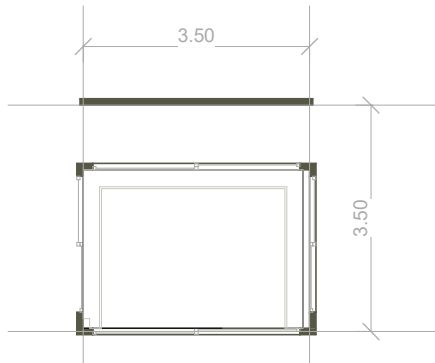
**FIGURA 59**  
Módulo baño + lavandería + pasillo



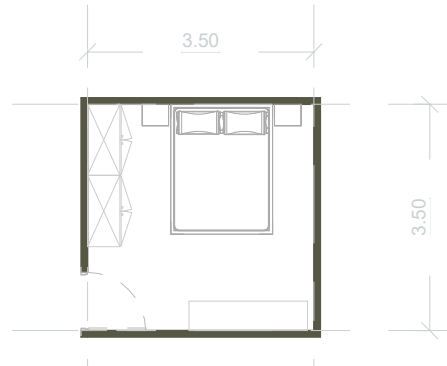
**FIGURA 60**  
Módulo sala + comedor + pasillo



**FIGURA 61**  
Módulo cocina



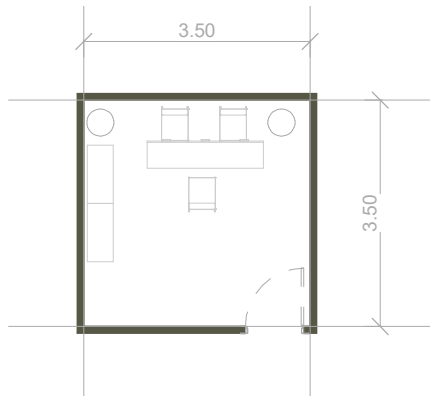
**FIGURA 62**  
Módulo patio interior + pasillo



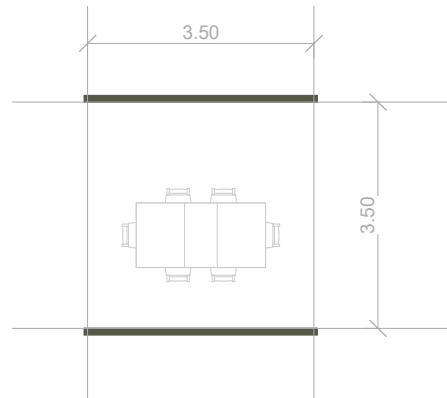
**FIGURA 63**  
Módulo dormitorio master



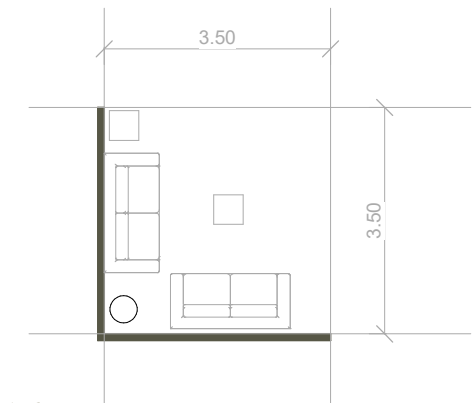
**FIGURA 64**  
Módulo dormitorio



**FIGURA 65**  
Módulo cuarto de estudio



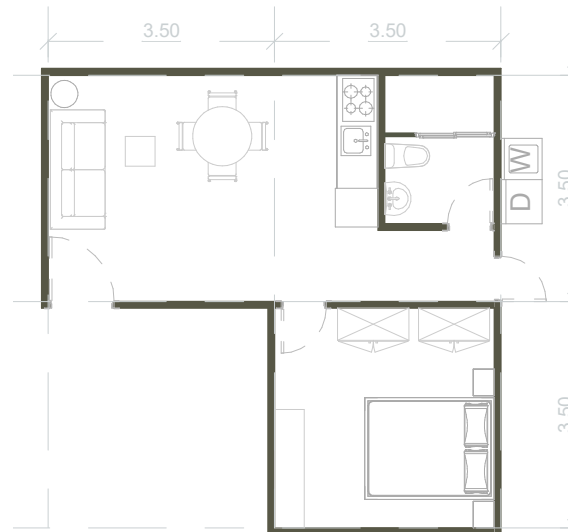
**FIGURA 66**  
Módulo comedor grande + pasillo



**FIGURA 67**  
Módulo sala de estar

A partir de este sistema modular, la vivienda puede configurarse de distintas maneras, mediante la combinación de unidades, permitiendo variaciones en planta según los requerimientos funcionales o condiciones del terreno, se plantean alternativas para programas mínimos, así como otras de mayor área, por lo tanto, el diseño no se entiende como una única distribución fija, sino como un conjunto adaptable y flexible a las necesidades de cada usuario, siendo capaz de reorganizar áreas sociales, servicios y espacios privados pero manteniendo coherencia entre sí.

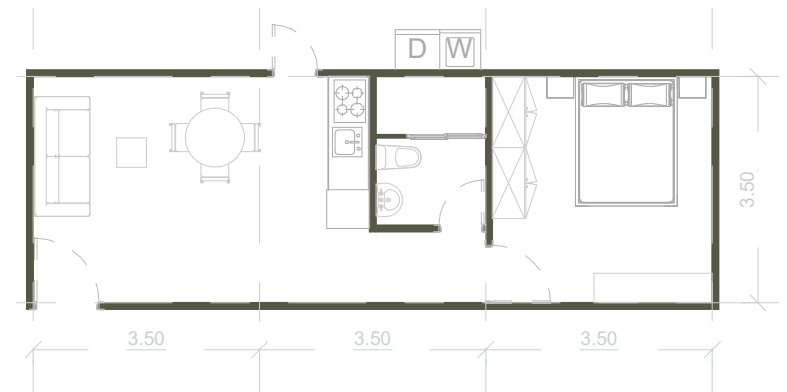
**FIGURA 68**  
Sistema # 1 módulo



FUENTE: Elaboración propia

Configuración del sistema 1 a partir de módulo  
propuesto 3,5 m x 3,5 m (1 dormitorio)

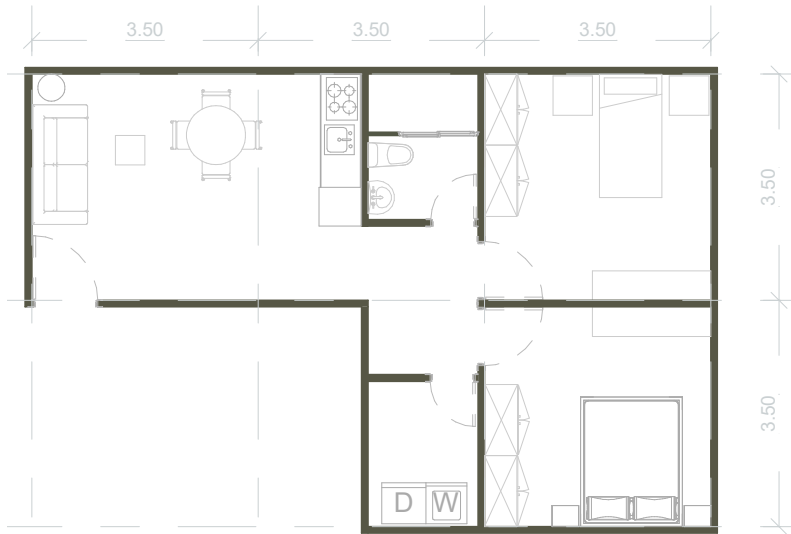
**FIGURA 69**  
Sistema # 2 módulo



FUENTE: Elaboración propia

Configuración del sistema 2 a partir de módulo  
propuesto 3,5 m x 3,5 m (1 dormitorio)

**FIGURA 70**  
Sistema #3 módulo



FUENTE: Elaboración propia

Configuración del sistema 3 a partir de módulo propuesto 3,5 m x 3,5 m (2 dormitorios)

**FIGURA 71**  
Sistema #4 módulo

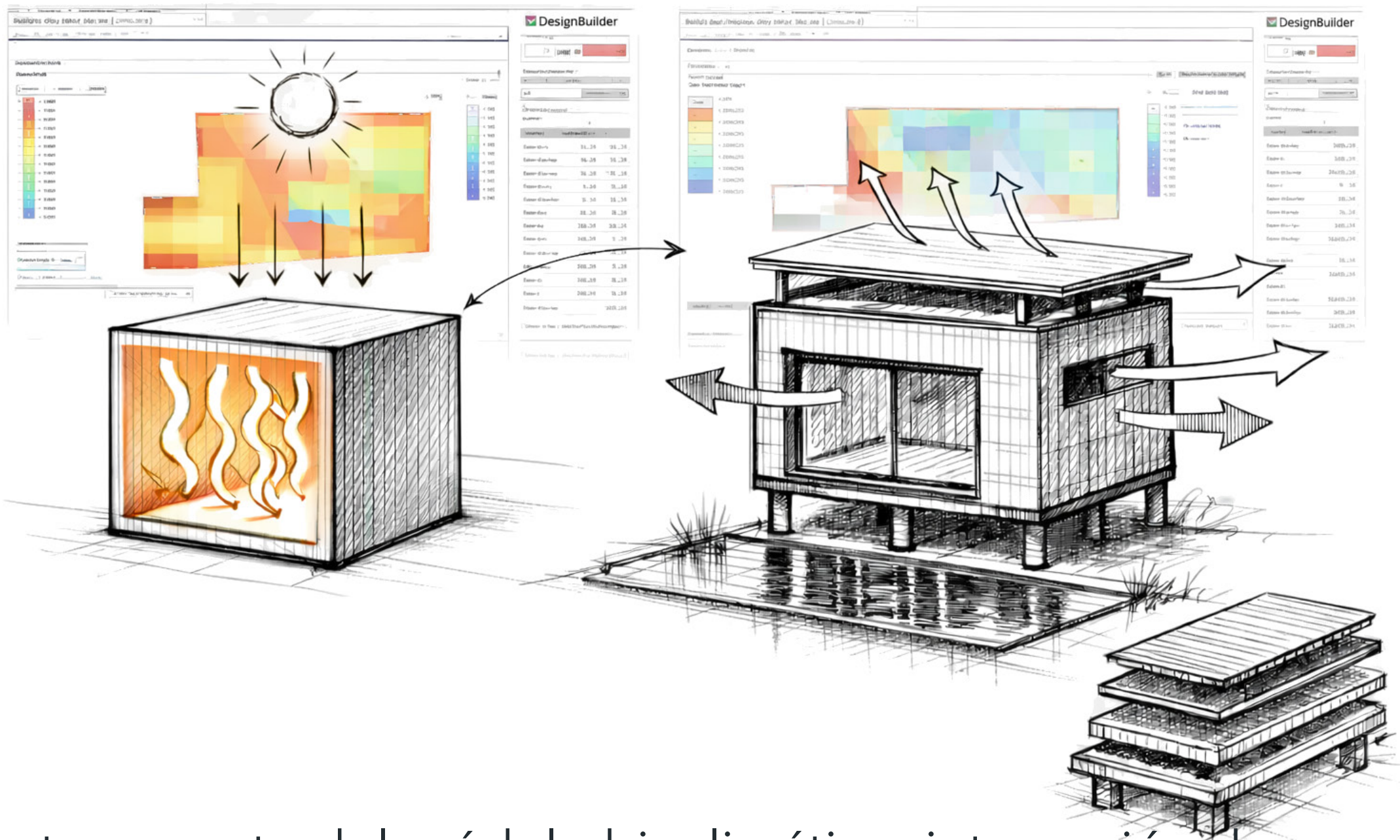


FUENTE: Elaboración propia

Configuración del sistema 4 a partir de módulo propuesto 3,5 m x 3,5 m (2 dormitorios)

# Capítulo 5

Evaluación




Anteproyecto del módulo bioclimático: integración de estrategias pasivas y validación por simulación

## 5.1 Evaluación del desempeño térmico del módulo mediante simulación en DesignBuilder

La evaluación del desempeño térmico del módulo, tiene como objetivo comprobar y comparar el efecto de las estrategias bioclimáticas pasivas previamente definidas. Por ello se definen escenarios de simulación que integran la doble cubierta ventilada, la elevación del módulo, el espejo de agua, la comparación de paquetes constructivos en muros, suelos y cubierta, y la evaluación de distintos tipos de vanos que buscan mejorar la ventilación cruzada, y finalmente consolidar un modelo optimizado que compile todas las estrategias seleccionadas y permita respaldar la toma de decisiones con resultados verificables. Para la evaluación térmica del módulo se hace uso del software de modelación y simulación DesignBuilder, ya que este permite representar claramente la geometría del módulo, asignar paquetes constructivos y analizar el comportamiento térmico al interior del módulo.

Primero se debe cargar el archivo climático EPW (EnergyPlus Weather), que es el archivo de datos meteorológicos de Machala, dentro del programa, de esta manera se registra las condiciones reales de temperatura, humedad y radiación del sitio, y se definen parámetros generales que se mantendrán constantes en todos los escenarios, como el uso del espacio, orientación entre otros, con el fin de que los cambios observados en los resultados respondan a las decisiones de diseño aplicadas.

**FIGURA 72**  
Datos climáticos en design Builder



Clima horario	
General   Estadísticas	
General	
Nombre	Machala
Fuente	SRC
País	ECUADOR
Archivo	ECU_EO_Machala-Serrano.AP.84
Detalles	
Latitud (°)	-3.27
Longitud (°)	-79.96
Identificador de estación WMO	842480
Zona climática ASHRAE	1A

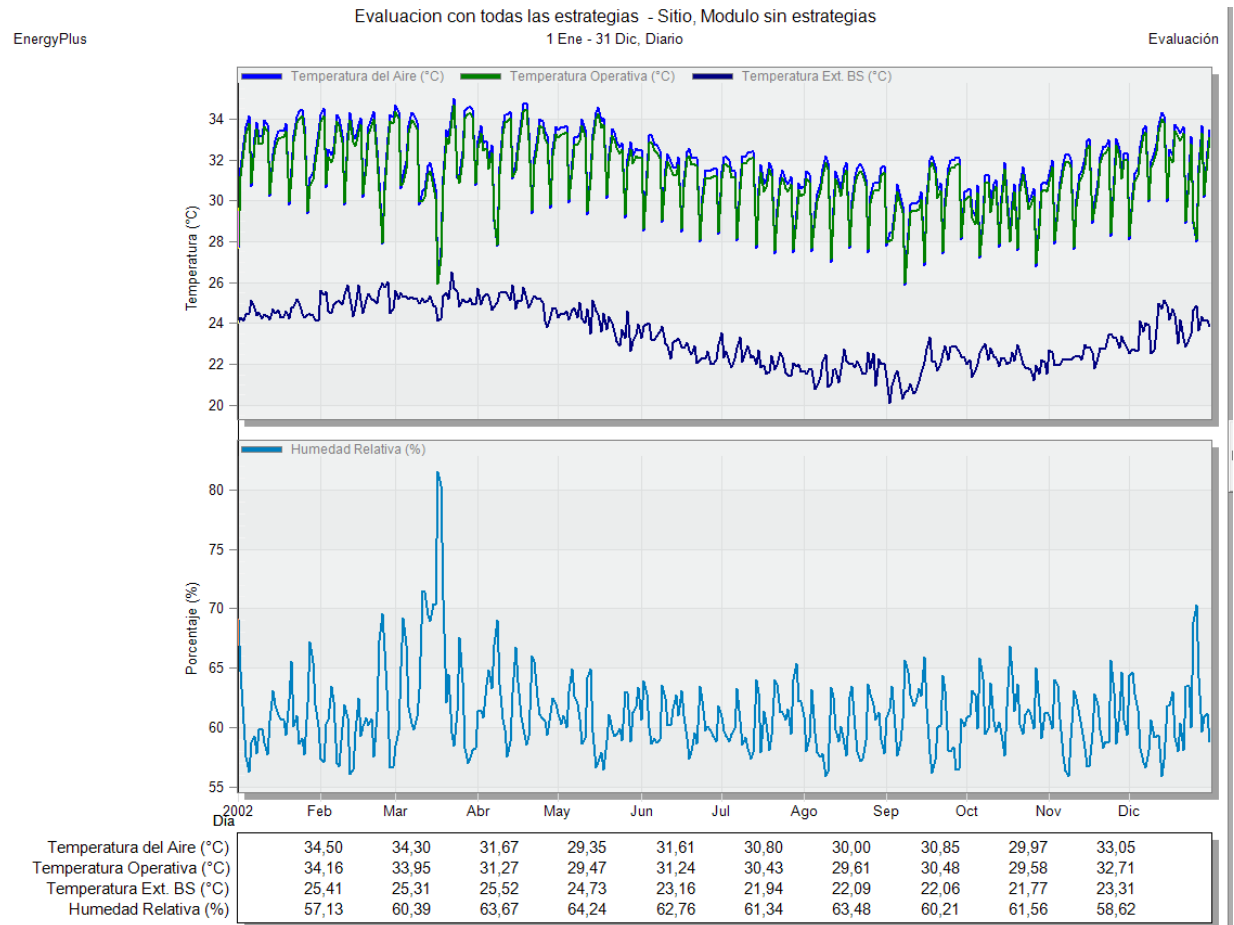
Con esta configuración, se crea un primer módulo de 3,5 m × 3,5 m, que servirá como el escenario inicial de referencia, ya que no tendrá ninguna estrategia pasiva ni optimizaciones en cubierta, elevación, materialidad o vanos, con el fin de obtener una línea de comportamiento térmico inicial que sirva como punto de comparación. Este primer módulo base permite identificar el desempeño interior del módulo en condiciones estándar y entender cuáles son los momentos de mayor carga térmica o sobrecalentamiento, de manera que, en las simulaciones posteriores se pueda valorar de forma controlada la estabilidad térmica interior, construyendo así una comparación progresiva entre alternativas hasta llegar al módulo optimizado con todas las estrategias integradas.

**FIGURA 73**  
Módulo sin estrategias

En los resultados de la simulación del módulo base sin estrategias pasivas aplicadas, se puede evidenciar un sobrecalentamiento producido en gran parte del año, donde la temperatura del aire alcanza picos cercanos a 34–35 °C, mientras que la temperatura operativa se mantiene en valores muy próximos a 33–34 °C, lo que visibiliza un bajo confort térmico. Por otro lado, la temperatura exterior de bulbo seco se mantiene más baja, con valores máximos de 25–26 °C; esta diferencia de hasta 8–10 °C entre interior y exterior, sugiere que el aumento de la temperatura interior no solo responde al clima, sino que principalmente a la acumulación de ganancia solar y a la poca disipación de calor por parte del módulo.

Además, la humedad relativa se mantiene elevada durante el año con un promedio 61%, y en otras ocasiones tambien valores cercanos al 79–80%, lo cual incrementa la sensación de bochorno y reduce la percepción de confort en el espacio interior.

FUENTE: Elaboración propia



**Promedio anual:**  
Temp. aire interior: 31,41 °C  
Temp. operativa: 31,15 °C  
Temp. exterior BS: 23,47 °C  
Humedad relativa: 61,42 %

### 5.1.2 Selección de materialidad y paquetes constructivos según criterios NEC

En un clima como el de la ciudad de Machala, que se caracteriza por temperaturas elevadas y una alta humedad relativa, la materialidad de muros, suelos y cubiertas, es clave para reducir la captación de calor y estabilizar las oscilaciones térmicas interiores sin depender de sistemas mecánicos. Por estas razones la selección de materiales no se justifica solo en su estética sino que también en distintas propiedades como: Conductividad ( $k$ ), calor específico ( $C_p$ ), densidad ( $\rho$ ) y, especialmente, por el desempeño general del paquete medido mediante la transmitancia térmica ( $U$ ) y la resistencia térmica ( $R$ ). Esto permite generar decisiones con base a parámetros cuantificables y verificables mediante simulaciones. Asimismo la estrategia más óptima para el clima húmedo muy caluroso es combinar capas exteriores ligeras para proteger de lluvia y radiación, una capa aislante que se encargue de disipar el calor, y una capa interior de acabado.

En cubiertas, la reflectancia solar se vuelve primordial, porque el techo es el plano que recibe mayor radiación directa, es así como la envolvente deja de ser un elemento sin sentido y se convierte en el principal mecanismo de control térmico de la vivienda.

**FIGURA 74**  
Diagrama de desempeño térmico en materiales



FUENTE: Elaboración propia

La Norma Ecuatoriana de la Construcción Eficiencia Energética (NEC-HS-EE) establece los valores máximos de  $U$  y mínimos de  $R$  para los distintos elementos de un proyecto, con el fin de reducir las ganancias térmicas y mejorar el desempeño energético. Para la zona climática 1A (húmeda muy calurosa), los valores de referencia para un espacio habitable son los siguientes (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI], 2018):

**Tabla 5**  
Envolventes

Elemento	U máximo (W/m <sup>2</sup> K)	R mínimo (m <sup>2</sup> K/W)	Criterio de diseño
Muros exteriores	0,857	1,0	Reducir ganancias por conducción en fachada
Pisos	1,825	1,5	Limitar intercambio térmico con exterior / piso ventilado
Techos / cubiertas	0,273	3,5	Elemento más crítico por radiación directa

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 6**  
Materiales con sus características según la NEC

Material (DesignBuilder)	k (W/m·K)	Cp (J/kg·K)	ρ (kg/m³)	Uso típico
NEC_BloqueConcreto	0,62	840	1040	Mampostería pesada
NEC_Fibro cemento	0,93	1250	2000	Capa exterior liviana, resistente a humedad
NEC_Gypsum	0,25	1000	900	Acabado interior estándar
NEC_Plywood_19mm	0,10	1880	450	Panel interior / equivalente guadua
NEC_OSB	0,13	1700	650	Panel estructural liviano
NEC_EPS	0,04	1450	15	Aislante económico (sensibilidad a humedad)
NEC_XPS	0,035	1400	40	Aislante recomendado para costa (baja absorción de agua)
NEC_Poliuretano_PIR_PUR	0,025	1400	30	Aislante de alto desempeño
NEC_LanaMineral	0,038	1030	25	Aislante pasivo, buen comportamiento acústico
NEC_Hormigon	1,40	837	2220	Masa térmica (estabiliza oscilaciones)
NEC_Adobe	0,58	850	1280	Material de alta inercia (requiere aislamiento para cumplir U)
NEC_Enlucido_Cemento	0,72	800	1860	Acabado interior tradicional (enlucido)
NEC_Corcho	0,039	1900	110	Aislante natural (panel/corcho expandido)

La selección de materiales y paquetes constructivos del módulo se definieron con base a dos objetivos:

1. Garantizar coherencia con las estrategias bioclimáticas pasivas priorizadas para el clima húmedo muy caluroso de la ciudad de Machala

2. Asegurar compatibilidad con los criterios de desempeño térmico establecidos en la normativa ecuatoriana vigente, en particular con la NEC-HS-EE (MIDUVI, 2018).

En la siguiente tabla se observan los materiales que se han elegido con sus valores respectivos según la NEC.

# 0 1

## Paquetes de muros

Los paquetes de muros se definieron para comparar dos enfoques distintos: Sistemas de bloque y adobe y sistemas livianos de varias capas.

P1 y P2 representan la mampostería con aislante, variando únicamente en el tipo (EPS/XPS).

P3, P4 y P6 tienen un sistema liviano (fibrocemento + cámara de aire + aislante + panel interior), cambiando el tipo de aislante (PIR/EPS/corcho) para medir su efecto en las evaluaciones.

P5 es un sistema masivo compuesto de adobe y un aislante.

Con el fin de seleccionar el paquete de muros más eficiente para el módulo de vivienda en un clima húmedo muy caluroso se compararon seis alternativas mediante simulaciones, donde el análisis se centra en el desempeño térmico que cada muro ofrece, buscando reducir la ganancia térmica hacia el interior y estabilizar el comportamiento térmico del espacio interior.

**Tabla 7**  
Tablas de paquetes de muros

Paquete (nombre)	Capas (Exterior → Interior)	Espesor (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)
NEC_P1_BLOQUE_EPS50	NEC_BloqueConcreto	0,150	0,594
	NEC_EPS	0,050	
	NEC_Enlucido_Cemento	0,015	
NEC_P2_BLOQUE_XPS50	NEC_BloqueConcreto	0,150	0,537
	NEC_XPS	0,050	
	NEC_Enlucido_Cemento	0,015	
NEC_P3_FIBRO_AIRE_PU30_PANEL	NEC_Fibrocemento	0,008	0,555
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_Poliuretano_PIR_PUR	0,030	
	NEC_Plywood_19mm	0,019	
	NEC_Gypsum	0,013	
NEC_P4_SANDWICH_EPS75	NEC_Fibrocemento	0,008	0,457
	NEC_EPS	0,075	
	NEC_OSB	0,011	
	NEC_Gypsum	0,013	
NEC_P5_ADOBE_XPS50_ENL	NEC_Adobe	0,300	0,468
	NEC_XPS	0,050	
	NEC_Enlucido_Cemento	0,015	
NEC_P6_FIBRO_AIRE_CORCHO60_OSB	NEC_Fibrocemento	0,008	0,492
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_Corcho	0,060	
	NEC_OSB	0,011	
	NEC_Gypsum	0,013	

FUENTE: Elaboración propia

**Tabla 8**  
Paquete 1

Temperatura Operativa (°C)	28,48	26,34	26,20	26,10	25,23	25,07	25,24	25,13	24,65	25,84
Temp. Superf. Int. (°C)	28,19	26,76	26,70	26,42	25,28	24,93	25,23	24,86	24,46	26,12
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,31	25,67	25,87	25,27	23,62	22,55	23,22	23,20	22,19	24,50
Muros (kWh)	-1,26	0,13	-0,12	-0,08	-1,15	-1,37	-1,04	-1,10	-1,49	-0,58

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P1\_BLOQUE\_EPS50 registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.83 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.81 kWh, lo que demuestra una reducción de la ganancia térmica a través del muro exterior propuesto, este análisis evidencia que la incorporación de aislamiento en el muro ayuda a controlar el sobrecalentamiento, sin embargo, su desempeño esta dentro de un rango intermedio al compararse con el resto de paquetes evaluados, por lo que tiene un efecto moderado en cuanto a la mejora del confort térmico.

**Tabla 9**  
Paquete 2

Temperatura Operativa (°C)	28,51	26,34	26,20	26,14	25,27	25,13	25,29	25,20	24,71	25,87
Temp. Superf. Int. (°C)	28,21	26,76	26,70	26,46	25,32	24,98	25,27	24,91	24,51	26,14
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,32	25,67	25,87	25,28	23,62	22,56	23,23	23,21	22,20	24,51
Muros (kWh)	-1,24	0,12	-0,13	-0,05	-1,08	-1,27	-0,97	-1,08	-1,37	-0,55

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P2\_BLOQUE\_XPS50 registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.87 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.76 kWh, lo cual es una reducción de la ganancia térmica, estos resultados indican que el sistema aporta al control térmico, pero es bajo frente a otras configuraciones de muros exteriores, por lo que su eficiencia es menor dentro de los conjuntos evaluado.

**Tabla 10**  
Paquete 3

Temperatura Operativa (°C)	28,27	26,09	25,87	25,92	25,19	24,82	25,06	25,39	24,52	25,56
Temp. Superf. Int. (°C)	28,02	26,60	26,47	26,32	25,28	24,76	25,12	25,07	24,38	25,93
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,25	25,63	25,79	25,24	23,64	22,49	23,19	23,25	22,17	24,45
Muros (kWh)	-1,28	0,30	-0,06	0,13	-0,84	-1,34	-0,94	-0,96	-1,54	-0,39

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P3\_FIBRO\_AIRE\_PU30\_PANEL registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.67 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.69 kWh, lo que demuestra una reducción de la ganancia térmica a través del cerramiento, a pesar de que kWh no sea el menor valor, el comportamiento térmico general de este paquete de muros es más estable, presentando una temperatura operativa más baja, lo que sugiere que es más eficiente en control del sobrecalentamiento interior.

**Tabla 11**  
Paquete 4

Temperatura Operativa (°C)	28,35	26,07	25,85	25,96	25,23	24,89	25,11	25,49	24,58	25,58
Temp. Superf. Int. (°C)	28,08	26,59	26,46	26,35	25,32	24,82	25,17	25,14	24,43	25,95
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,27	25,63	25,79	25,25	23,65	22,50	23,20	23,28	22,18	24,45
Muros (kWh)	-1,22	0,27	-0,07	0,15	-0,73	-1,18	-0,82	-0,90	-1,34	-0,35

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P4\_SANDWICH\_EPS75 registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.71 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.62 kWh, lo que demuestra una reducción moderada de la ganancia térmica a través de los muros exteriores, este análisis evidenci que, si bien el sistema tipo sándwich con EPS aporta al control del sobrecalentamiento, su desempeño térmico resulta limitado en comparación con otras configuraciones de paquetes de muros exteriores.

**Tabla 12**  
Paquete 5

Temperatura Operativa (°C)	28,19	26,09	25,95	26,07	25,16	25,11	25,11	25,08	24,65	25,65
Temp. Superf. Int. (°C)	27,95	26,53	26,48	26,39	25,21	24,95	25,12	24,83	24,44	25,94
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,24	25,61	25,81	25,27	23,59	22,56	23,19	23,19	22,17	24,45
Muros (kWh)	-1,30	0,10	-0,10	0,16	-0,78	-0,81	-0,77	-1,15	-0,90	-0,47

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P5\_ADOBE\_XPS50\_ENL registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.71 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.60 kWh, evidenciando una tendencia a reducir la ganancia térmica neta del cerramiento. En términos comparativos, este comportamiento se interpreta dentro del conjunto de alternativas como un aporte al control pasivo del sobrecalentamiento.

**Tabla 13**  
Paquete 6

Temperatura Operativa (°C)	28,32	26,19	26,00	26,05	25,31	25,00	25,22	25,46	24,68	25,72
Temp. Superf. Int. (°C)	28,07	26,67	26,56	26,41	25,37	24,89	25,24	25,12	24,50	26,04
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,27	25,65	25,82	25,27	23,65	22,53	23,22	23,27	22,20	24,48
Muros (kWh)	-1,27	0,22	-0,16	0,10	-0,83	-1,28	-0,91	-0,95	-1,43	-0,44

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia.

El paquete NEC\_P6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO60\_OSB registra una temperatura operativa promedio cercana a 25.80 °C. El indicador ‘Muros (kWh)’ se mantiene con un valor promedio aproximado de -0.70 kWh, lo que evidencia una reducción de la ganancia térmica, pero el comportamiento térmico general de este paquete muestra una menor efectividad en la reducción de la temperatura, lo que sugiere que, esta configuración no logra un control térmico tan eficiente como otras alternativas analizadas.

Para la selección de los muros se consideró como criterio principal el análisis de la temperatura operativa promedio ( $^{\circ}\text{C}$ ), además del balance energético kWh para obtener el resultado del paquete más adecuado con el desempeño térmico del módulo.

En esta caso el paquete P3 NEC\_P3\_FIBRO\_AIRE\_PU30\_PANEL se identifica como la alternativa más conveniente, debido a que registra la menor temperatura operativa promedio del conjunto de paquetes analizados ( $25.67^{\circ}\text{C}$ ), esto evidencia un mejor control de las condiciones térmicas interiores frente a un clima húmedo muy caluroso, por otro lado su balance energético en muros ( $-0.69\text{ kWh}$ ) no corresponde al valor más bajo, pero se mantiene dentro de un rango favorable. Estos resultados se explican por el uso de capas livianas y una cámara de aire, que permite reducir la acumulación de calor en el muro y retardar la transferencia e intensidad de calor hacia el interior, lo que favorece el comportamiento térmico del módulo, por lo que el paquete P3 será la base para los muros.

**Tabla 14**  
Resumen de paquete de muros

Código	Temp. operativa (prom, $^{\circ}\text{C}$ )	Muros (kWh prom)	Lectura comparativa
P1	25.83	-0.81	Favorable
P2	25.87	-0.76	Favorable
P3	25.67	-0.69	Muy favorable
P4	25.71	-0.62	Intermedio
P5	25.71	-0.60	Menos favorable
P6	25.80	-0.70	Favorable

FUENTE: Elaboración propia

# 0 2

## Paquetes de Suelos

Los paquetes de suelos se proponen con el fin de evaluar distintas alternativas variando el aislamiento y el sistema de soporte interior.

S1 y S6 se componen de fibrocemento + cámara de aire + aislante (XPS/corcho) con tablero estructural.

S2 utiliza PIR como opción con mayor aislamiento.

S3 y S4 incluyen losa de hormigón con aislamiento (EPS/XPS) para comparar el comportamiento de un sistema estructural convencional frente a los sistemas más livianos.

Para definir la configuración de suelo más óptima en el módulo, se realizó la simulación de estos paquetes, verificando su influencia en el desempeño térmico del plano inferior del módulo de vivienda.

**Tabla 15**  
Tabla de paquetes de suelos

Paquete (nombre)	Capas (Exterior → Interior)	Espesor (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)
NEC_S1_FIBRO_AIRE_XPS50_OSB	NEC_Fibrocemento	0,010	0,508
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_XPS	0,050	
	NEC_OSB	0,018	
NEC_S2_FIBRO_PIR60_PLY	NEC_Fibrocemento	0,010	0,356
	NEC_Poliuretano_PIR_PUR	0,060	
	NEC_Plywood_19mm	0,019	
NEC_S3_LOSA_EPS75	NEC_Fibrocemento	0,010	0,464
	NEC_EPS	0,075	
	NEC_Hormigon	0,080	
NEC_S4_LOSA_XPS50	NEC_Fibrocemento	0,010	0,581
	NEC_XPS	0,050	
	NEC_Hormigon	0,100	
NEC_S5_SANDWICH_EPS60_PLY	NEC_Fibrocemento	0,010	0,523
	NEC_EPS	0,060	
	NEC_Plywood_19mm	0,019	
NEC_S6_FIBRO_AIRE_CORCHO60_OSB	NEC_Fibrocemento	0,010	0,481
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_Corcho	0,060	
	NEC_OSB	0,018	

**Tabla 16**

Paquete 1

Temp. Superf. Int. (°C)	28,09	26,71	26,51	26,36	25,31	24,77	25,15	25,16	24,46	25,96
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,27	25,67	25,80	25,25	23,64	22,49	23,19	23,29	22,21	24,46
Suelos Ext. (kWh)	-0,53	-0,22	-0,17	-0,18	-0,44	-0,54	-0,48	-0,56	-0,54	-0,42

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S1\_FIBRO\_AIRE\_XPS50\_OSB registra una temperatura interior promedio cercana a 25.85 °C. El indicador Suelos Ext. kWh presenta un valor promedio aproximado de -0.41 kWh, evidenciando una reducción moderada de la transferencia de calor desde el suelo hacia el interior del módulo. Este análisis muestra que la combinación de la cámara de aire y el aislamiento pueden ayudar a disminuir las ganancias térmicas, lo que favorece a una mayor estabilidad de la temperatura al interior del módulo.

**Tabla 17**

Paquete 2

Temp. Superf. Int. (°C)	28,08	26,67	26,48	26,35	25,31	24,78	25,15	25,17	24,46	25,95
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,27	25,66	25,79	25,25	23,64	22,49	23,19	23,29	22,21	24,45
Suelos Ext. (kWh)	-0,40	-0,15	-0,12	-0,12	-0,32	-0,38	-0,34	-0,42	-0,39	-0,30

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S2\_FIBRO\_PIR60\_PLY muestra una temperatura superficial interior promedio cercana a 25.84 °C. El indicador Suelos Ext. kWh presenta un valor promedio aproximado de -0.29 kWh, lo que muestra una alta transferencia de aire caliente hacia el interior, comparado con otros sistemas de paquetes. Si bien el aislamiento PIR mejora la temperatura interior proporcionada por este paquete de suelos, el menor valor de reducción energética evidencia que su desempeño es más limitado en cuanto al control del calor.

**Tabla 18**

Paquete 3

Temp. Superf. Int. (°C)	27,82	26,78	26,59	26,42	25,40	24,97	25,29	25,16	24,60	26,09
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,21	25,68	25,83	25,27	23,64	22,55	23,23	23,29	22,25	24,49
Suelos Ext. (kWh)	-1,07	-0,19	-0,34	0,09	-0,45	-0,46	-0,46	-0,74	-0,53	-0,49

FUENTE: Resultado de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S3\_LOSA\_EPS75 registra una temperatura superficial interior promedio cercana a 25.97 °C. El indicador Suelos Ext. kWh presenta un valor promedio aproximado de -0.46 kWh, lo que evidencia una reducción de la transferencia de calor hacia el interior, sin embargo, al componerse de una losa de hormigón la masa térmica acumula más calor, lo que se refleja en una mayor temperatura por lo que puede generar una sensación de bajo confort térmico.

**Tabla 19**

Paquete 4

Temp. Superf. Int. (°C)	27,75	26,76	26,57	26,38	25,36	24,93	25,25	25,10	24,55	26,05
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,19	25,67	25,82	25,26	23,63	22,54	23,22	23,27	22,23	24,48
Suelos Ext. (kWh)	-1,19	-0,26	-0,39	0,02	-0,55	-0,55	-0,57	-0,84	-0,63	-0,58

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S4\_LOSA\_XPS50 tiene una temperatura superficial interior promedio cercana a 25.87 °C. El indicador Suelos Ext. kWh presenta un valor promedio aproximado de -0.55 kWh, este resultado muestra una alta capacidad para limitar la cantidad de flujo térmico que se trasmite desde el suelo hacia el interior. La combinación con aislamiento XPS mejora el control de la ganancia térmica, logrando un comportamiento más eficiente, sin embargo al componerse de una losa de hormigón la masa térmica tiene una mayor acumulación de calor, y una mayor temperatura por lo que su desempeño se ve afectado.

**Tabla 20**

Paquete 5

Temp. Superf. Int. (°C)	28,02	26,64	26,45	26,29	25,25	24,71	25,08	25,07	24,39	25,89
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,25	25,65	25,78	25,23	23,63	22,47	23,17	23,26	22,19	24,44
Suelos Ext. (kWh)	-0,50	-0,22	-0,16	-0,20	-0,45	-0,55	-0,49	-0,54	-0,56	-0,42

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S5\_SANDWICH\_EPS60\_PLY registra una temperatura superficial interior promedio cercana a 25.78 °C. El indicador Suelos Ext. kWh presenta un valor promedio aproximado de -0.41 kWh, evidenciando una baja transferencia del flujo térmico desde el suelo hacia el interior, estos resultados muestran que el sistema tipo sándwich logra un buen equilibrio entre aislamiento térmico y baja inercia, evitando la acumulación de calor, estas características son muy favorable para mantener temperaturas interiores más estables.

**Tabla 21**

Paquete 6

Temp. Superf. Int. (°C)	28,03	26,68	26,50	26,34	25,31	24,78	25,15	25,11	24,46	25,95
Temp. Superf. Ext. (°C)	26,26	25,66	25,80	25,24	23,64	22,49	23,19	23,27	22,21	24,45
Suelos Ext. (kWh)	-0,52	-0,20	-0,18	-0,16	-0,44	-0,51	-0,46	-0,55	-0,51	-0,40

FUENTE: Resultado de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_S6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO60\_OSB registra una temperatura superficial interior promedio cercana a 25.83 °C. El indicador 'Suelos Ext. (kWh)' presenta un valor promedio aproximado de -0.39 kWh, lo que indica un alto paso de calor desde el suelo hacia el interior. La incorporación de materiales naturales como el corcho aporta a la sostenibilidad, sin embargo este paquete no presenta ventajas significativas frente a otras alternativas.

Con el análisis previo se puede identificar que el paquete S5 es la opción más conveniente, ya que presenta la menor temperatura promedio (25.78 °C), lo que muestra un mejor control de la transferencia de calor entre el suelo y el interior. Este análisis es muy importante, ya que, en un clima húmedo muy caluroso, el desempeño del piso se relaciona directamente en la estabilidad térmica del espacio habitable, sobre todo cuando el módulo se encuentra expuesto a condiciones exteriores de alta humedad y temperatura.

Aunque el indicador kWh muestra valores cercanos entre paquetes, el paquete S5 mantiene un balance adecuado (-0.41 kWh) dentro del rango general, que mejora el confort térmico del módulo, además de presentar una temperatura más estable en comparación del resto de paquetes analizados. Estos resultados se asocian a la presencia de un sistema constructivo liviano con aislamiento de EPS, lo que limita la transferencia de calor desde el suelo y, al mismo tiempo, evita su acumulación

en comparación con otros sistemas con mayor masa, lo que hace esta paquete muy favorable en un clima húmedo muy caluroso, Por estas razones S5 se adopta para el diseño del suelo.

**Tabla 22**  
Resumen de paquetes de suelos

Código	T. sup. interior (prom, °C)	Suelos Ext. (kWh prom)	Lectura comparativa
S1	25.85	-0.41	Intermedio
S2	25.84	-0.29	Intermedio
S3	25.97	-0.46	Intermedio
S4	25.87	-0.55	Intermedio
S5	25.78	-0.41	Favorable
S6	25.83	-0.39	Intermedio

FUENTE: Elaboración propia

# 03

## Paquete de Cubierta

Los paquetes de cubierta se analizan con el fin de evaluar el comportamiento térmico de distintos sistemas constructivos ante a la exposición solar, para ello se presentan distintos tipos.

T1 y T2 cubiertas de losa de hormigón que incorporan aislamiento térmico, lo que permite comparar el desempeño de cada aislante.

T3, T4, T5, y T6 son cubiertas livianas que se componen principalmente por planchas de fibrocemento y cámara de aire, variando en su aislamiento térmico.

A partir de estas alternativas, se realizan simulaciones con el fin de identificar el paquete más óptimo de cubierta para que contribuya de manera más eficiente a la reducción de la transmisión de calor.

**Tabla 23**

Paquetes de cubierta

Paquete (nombre)	Capas (Exterior → Interior)	Espesor (m)	U (W/m <sup>2</sup> K)
NEC_T1_LOSA_PIR100_ENL	NEC_Hormigon	0,100	0,236
	NEC_Poliuretano_PIR_PUR	0,100	
	NEC_Enlucido_Cemento	0,015	
NEC_T2_LOSA_XPS120_ENL	NEC_Hormigon	0,100	0,273
	NEC_XPS	0,120	
	NEC_Enlucido_Cemento	0,015	
NEC_T3_FIBRO_AIRE_EPS150_OSB	NEC_Fibrocemento	0,008	0,237
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_EPS	0,150	
	NEC_OSB	0,011	
	NEC_Gypsum	0,013	
NEC_T4_FIBRO_AIRE_PIR80_PLY	NEC_Fibrocemento	0,008	0,265
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_Poliuretano_PIR_PUR	0,080	
	NEC_Plywood_19mm	0,019	
	NEC_Gypsum	0,013	
NEC_T5_FIBRO_AIRE_LANA140_PLY	NEC_Fibrocemento	0,008	0,235
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_LanaMineral	0,140	
	NEC_Plywood_19mm	0,019	
	NEC_Gypsum	0,013	
NEC_T6_FIBRO_AIRE_CORCHO120_OSB	NEC_Fibrocemento	0,008	0,282
	NEC_CamaraAire_R018	0,050	
	NEC_Corcho	0,120	
	NEC_OSB	0,011	
	NEC_Gypsum	0,013	

**Tabla 24**

Paquete 1

Temp. Superf. Int. (°C)	28,22	26,80	26,54	26,60	25,63	25,27	25,55	25,32	24,94	26,16
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,70	24,77	25,79	24,61	22,40	21,79	22,23	21,71	21,49	23,24
Cubiertas (kWh)	-0,37	-0,12	-0,12	-0,05	-0,27	-0,24	-0,24	-0,38	-0,23	-0,24
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T1\_LOSA\_PIR100\_ENL presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.10 °C, con máximos de 28.22 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.23 kWh en promedio, lo que muestra una alta ganancia térmica desde el exterior. La incorporación de aislamiento PIR contribuye a atenuar esta transferencia de calor; sin embargo, la masa térmica de la losa de hormigón favorece la acumulación de calor en el interior del módulo, lo que limita el confort térmico de este paquete.

**Tabla 25**

Paquete 2

Temp. Superf. Int. (°C)	28,19	26,79	26,54	26,58	25,60	25,24	25,52	25,27	24,91	26,13
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,71	24,78	25,80	24,62	22,40	21,80	22,24	21,72	21,50	23,25
Cubiertas (kWh)	-0,40	-0,14	-0,13	-0,07	-0,31	-0,28	-0,27	-0,43	-0,26	-0,27
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T2\_LOSA\_XPS120\_ENL presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.08 °C, con máximos de 28.19 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.26 kWh en promedio, lo que evidencia una reducción de la ganancia térmica desde el exterior, aunque más baja en comparación con el paquete T1, por eso se determina que el aislamiento XPS mejora el control del flujo térmico; sin embargo al tratarse de una cubierta de losa de hormigón, el sistema mantiene una respuesta térmica más lenta, asociada a la inercia de esta misma losa.

**Tabla 26**

Paquete 3

Temp. Superf. Int. (°C)	28,20	26,81	26,52	26,60	25,65	25,26	25,54	25,35	24,93	26,15
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,49	25,07	25,57	24,69	22,87	21,74	22,17	22,05	21,38	23,32
Cubiertas (kWh)	-0,38	-0,10	-0,12	-0,04	-0,23	-0,25	-0,24	-0,36	-0,24	-0,23
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T3\_FIBRO\_AIRE\_EPS150\_OSB presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.10 °C, con máximos de 28.20 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.22 kWh en promedio, a pesar de su configuración liviana y la combinación entre la cámara de aire y aislamiento EPS, no se reduce eficientemente la transferencia de calor, ni baja la temperatura al interior del módulo, por lo que no es una opción viable para su desarrollo.

Tabla 27

Paquete 4

Temp. Superf. Int. (°C)	28,15	26,81	26,52	26,60	25,64	25,24	25,52	25,31	24,92	26,14
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,50	25,07	25,57	24,70	22,87	21,75	22,18	22,06	21,39	23,33
Cubiertas (kWh)	-0,43	-0,12	-0,14	-0,04	-0,26	-0,28	-0,27	-0,40	-0,27	-0,26
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T4\_FIBRO\_AIRE\_PIR80\_PLY presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.09 °C, con máximos de 28.15 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.25 kWh en promedio, evidenciando la baja reducción de la transferencia de ganancia térmica desde el exterior, su desempeño térmico resulta similar al de otras cubiertas evaluadas, y no representa una buena opción frente a otras alternativas ya que poseen comportamientos energéticos similares.

Tabla 28

Paquete 5

Temp. Superf. Int. (°C)	28,18	26,82	26,53	26,62	25,66	25,27	25,55	25,35	24,95	26,16
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,49	25,07	25,57	24,69	22,87	21,74	22,17	22,05	21,38	23,32
Cubiertas (kWh)	-0,41	-0,10	-0,13	-0,02	-0,23	-0,25	-0,24	-0,37	-0,24	-0,23
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T5\_FIBRO\_AIRE\_LANA140\_PLY presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.16 °C, con máximos de 28.18 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.23 kWh en promedio, lo que muestra que el aislamiento térmico de lana mineral es el menos favorable en comparación con otras cubiertas analizadas, reflejándose en la temperaturas interior que es ligeramente más elevadas a comparación del resto de paquetes.

Tabla 29

Paquete 6

Temp. Superf. Int. (°C)	28,13	26,81	26,52	26,60	25,63	25,24	25,52	25,28	24,92	26,14
Temp. Superf. Ext. (°C)	25,51	25,07	25,59	24,71	22,85	21,76	22,19	22,04	21,40	23,33
Cubiertas (kWh)	-0,47	-0,12	-0,16	-0,04	-0,28	-0,29	-0,28	-0,44	-0,27	-0,28
Solar Incidente (kWh)	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

FUENTE: Resultados de simulación. Elaboración propia

El paquete NEC\_T6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO120\_OSB presenta una temperatura superficial interior promedio cercana a 26.08 °C, con máximos de 28.13 °C. El balance energético asociado a la cubierta tiene un valor de -0.26 kWh en promedio, que es uno de los valores más favorables entre las alternativas analizadas. La incorporación de una cámara de aire y el aislamiento de corcho, ayudan control del flujo térmico, manteniendo una temperatura interior estable, este resultado es muy favorable para el tipo de clima húmedo muy caluroso y además promueve el enfoque bioclimático al usar un material natural como el corcho.

Los paquetes que presentaron un mejor desempeño térmico fueron NEC\_T2\_LOSA\_XPS120\_ENL y NEC\_T6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO120\_OSB, presentando resultados muy similares tanto en la temperatura interior promedio (26,08 °C) como en el balance energético de la cubierta (-0,26 kWh). Lo que confirma que ambas soluciones pueden reducir de manera efectiva la transferencia térmica en la envolvente superior, limitando el sobrecalentamiento por radiación solar y a su vez mejorando el confort térmico del módulo.

Sin embargo, para el desarrollo del módulo, se usará el paquete NEC\_T6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO120\_OSB, debido a que mantiene temperaturas interiores estables, y además aporta al enfoque bioclimático del proyecto, ya que incorpora un aislante natural que es renovable y puede reducir el impacto ambiental en la construcción, el corcho es una alternativa viable de aislamiento que refuerza la eficiencia pasiva del módulo, no solo por su función como barrera

térmica, sino también por su compatibilidad con soluciones más livianas y ventiladas, favoreciendo una propuesta más sostenible.

**Tabla 30**  
Resumen de paquete de cubierta

Código	T. Sup. Int (prom)	Cubiertas (kWh prom)	Lectura comparativa
T1	26.10	-0.23	Intermedio
T2	26.08	-0.26	Muy favorable
T3	26.10	-0.22	Intermedio
T4	26.09	-0.25	Favorable
T5	26.16	-0.23	Menos favorable
T6	26.08	-0.26	Muy favorable

FUENTE: Elaboración propia

Con base a los resultados de cada simulación se adopta como configuración definitiva de la envolvente del módulo los siguientes paquetes.

NEC\_T6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO120\_OSB para la cubierta.

NEC\_P3\_FIBRO\_AIRE\_PU30\_PANEL para muros .

NEC\_S5\_SANDWICH\_EPS60\_PLY para el suelo.

Esta combinación integra soluciones livianas con disitintoss aislamientos, materiales y cámaras de aire, que favorecen a la reducción de las ganancias térmicas y además controlan del intercambio energético desde el exterior, estos paquetes serán implementados en el diseño final del módulo, para optimizar el desempeño térmico en un clima húmedo muy caluroso, manteniendo criterios de eficiencia pasiva y sostenibilidad.

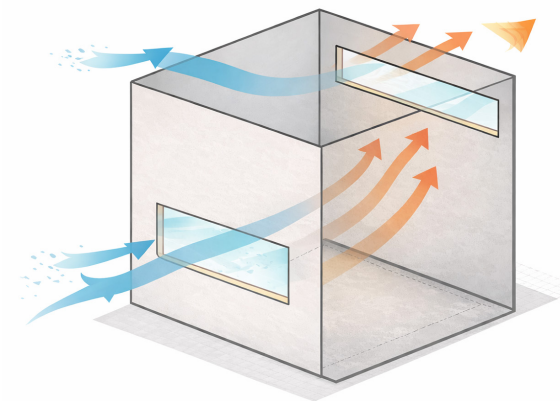
### 5.1.3 Simulación de tipologías de ventanas para ventilación cruzada

En esta sección se visualiza el efecto de distintos tipos de vanos sobre el comportamiento térmico del módulo, tomando en cuenta que la ventilación natural es una estrategia pasiva determinante para mejorar el confort interior. Por esta razón se comparan cuatro tipologías de ventanas, manteniendo las medidas del módulo y los parámetros generales de la simulación, por lo que los resultados observados en los resultados responden al tipo de apertura, el área efectiva de ventilación y la capacidad de generar flujo transversal de aire.

La evaluación ayudará a determina que alternativa favorece de mejor manera a la ventilación cruzada, observando principalmente la temperatura interior y la temperatura operativa, así como la reducción de picos de sobrecalentamiento en periodos críticos, cada una de las simulaciones permitirá seleccionar la tipología con mejor desempeño para el módulo,

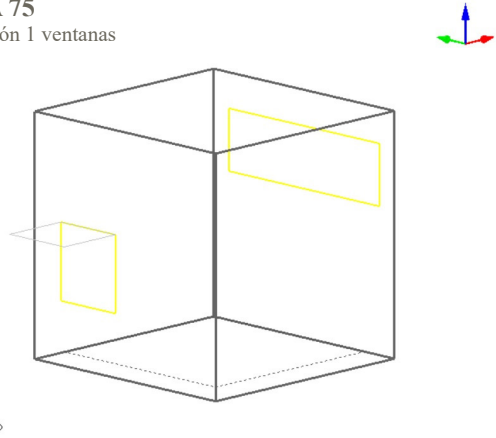
priorizando aquella que facilite una mayor renovación de aire y apoye la disipación del calor acumulado, la tipología seleccionada se integrará posteriormente al escenario final optimizado junto con la materialidad previamente seleccionada y el resto de estrategias pasivas propuestas.

**FIGURA 74**  
Ventilación cruzada



FUENTE: Elaboración propia

**FIGURA 75**  
Configuración 1 ventanas



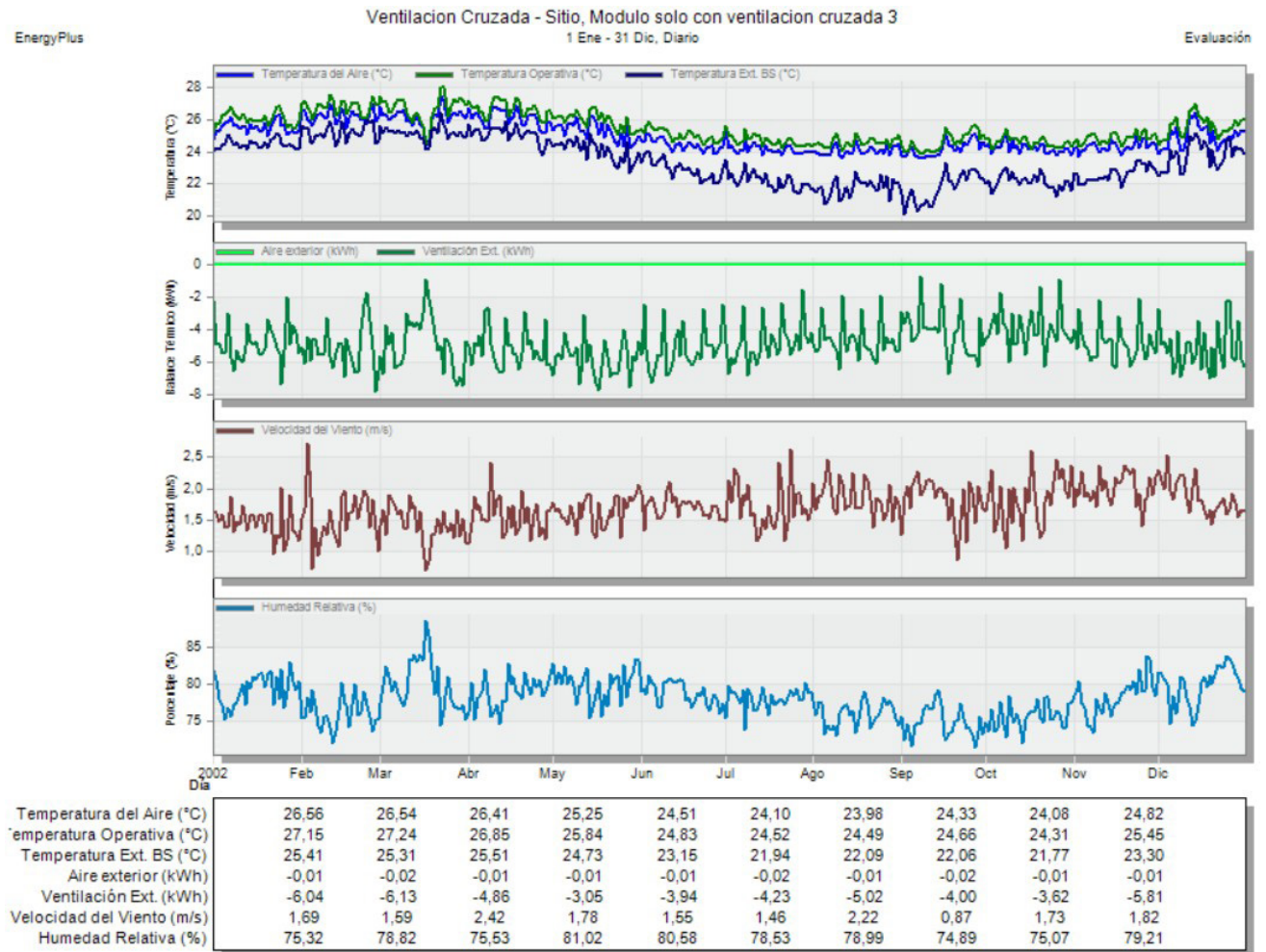
FUENTE: Elaboración propia

**Configuración de ventanas 1**

En la configuración 1 se aplica ventilación cruzada mediante dos vanos que están ubicados en fachadas opuestas y a distinta altura entre sí, incorporando una ventana baja y pequeña como entrada de aire, de 1,00 m × 1,10 m con antepecho de 0,90 m, y una ventana horizontal alta como salida, de 0,80 m × 2,90 m con antepecho de 2,00 m, lo que favorece la renovación del aire interior y la evacuación del calor acumulado en teoría.

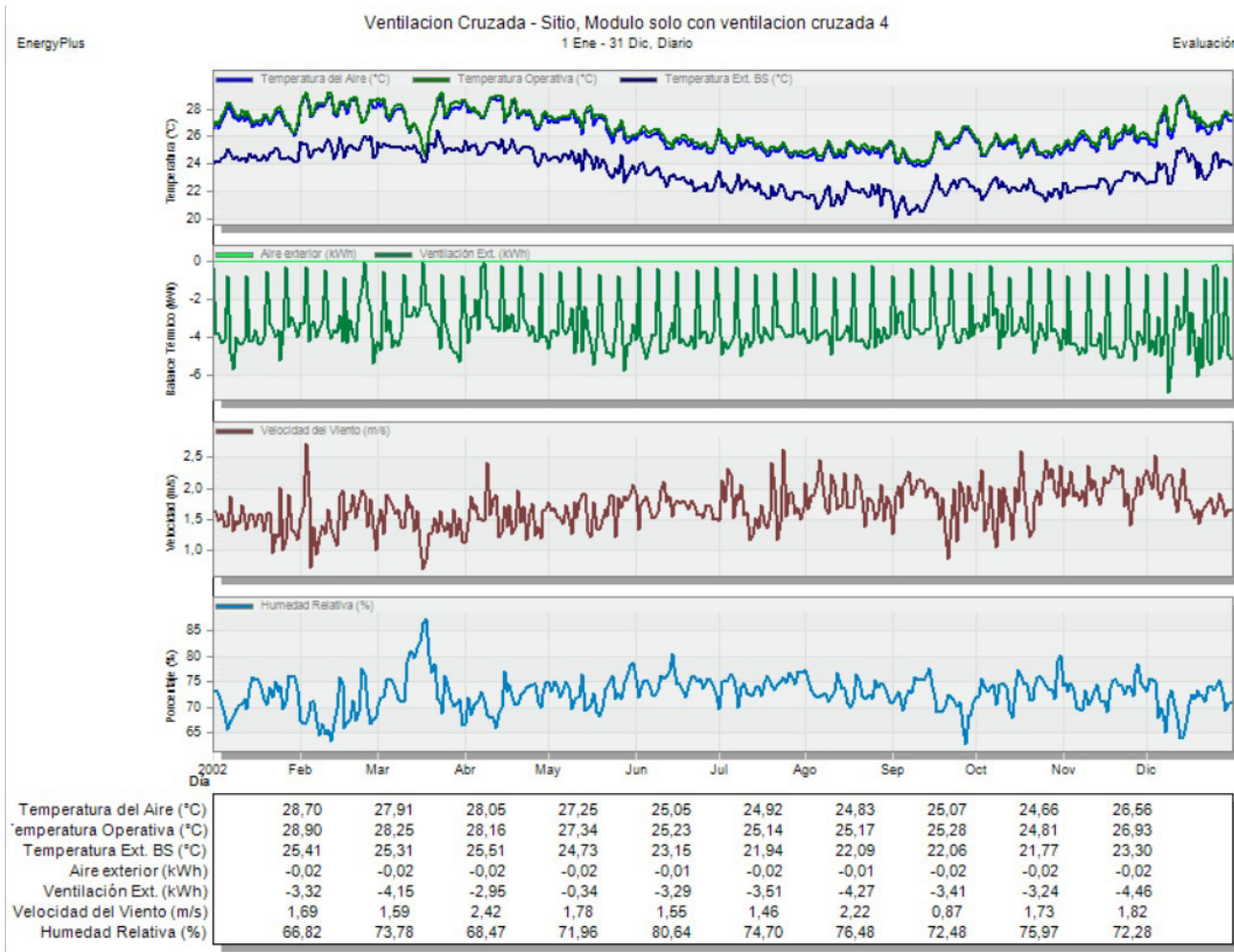
Los resultados de la simulación muestran que la temperatura promedio del aire interior es de 25,27 °C y la temperatura operativa promedio de 25,78 °C, mientras que la ventilación exterior promedio alcanza -4,60 kWh, indicando que sí extracción de carga térmica por el intercambio de aire producido a través de los vanos, por lo que esta configuración funciona como una base comparativa frente a las demás tipologías de ventana.

**FIGURA 76**  
Simulación de ventanas configuración 1



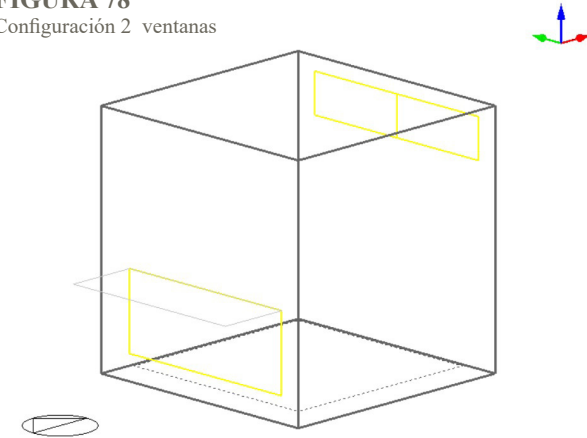
FUENTE: Resultados de simulación de ventanas, Elaboración propia

**FIGURA 77**  
Simulación de ventanas configuración 2



FUENTE: Resultados de simulación de ventanas, Elaboración propia

**FIGURA 78**  
Configuración 2 ventanas



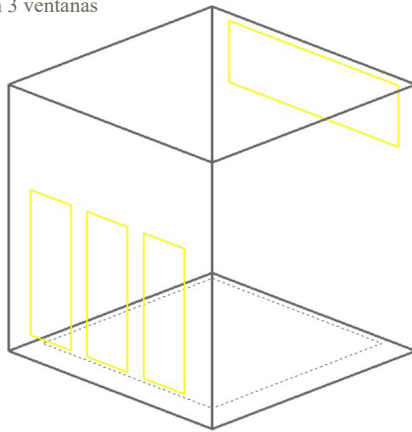
FUENTE: Elaboración propia

### Configuración 2

En la configuración 2 se aplica ventilación cruzada mediante dos vanos ubicados en fachadas opuestas y a distinta altura, incorporando una ventana baja horizontal como entrada de aire, de 2,70 m × 1,10 m con antepecho de 0,35 m, y una ventana doble en la parte superior como salida, que se conforma por 2 vanos de 1,45 m × 0,60 m (total 2,90 m) con antepecho de 2,60 m.

La simulación da como resultado que la temperatura promedio del aire interior es de 26,30 °C y la temperatura operativa promedio de 26,52 °C, mientras que la ventilación exterior promedio alcanza -3,29 kWh, lo que muestra que existe ventilación natural ayudando a reducir el calor interior, sin embargo, su efectividad es menor, ya que existe un ligero incremento de las temperaturas interiores, esta configuración tiene un comportamiento funcional, pero menos eficiente como estrategia pasiva para el confort térmico.

**FIGURA 79**  
Configuración 3 ventanas



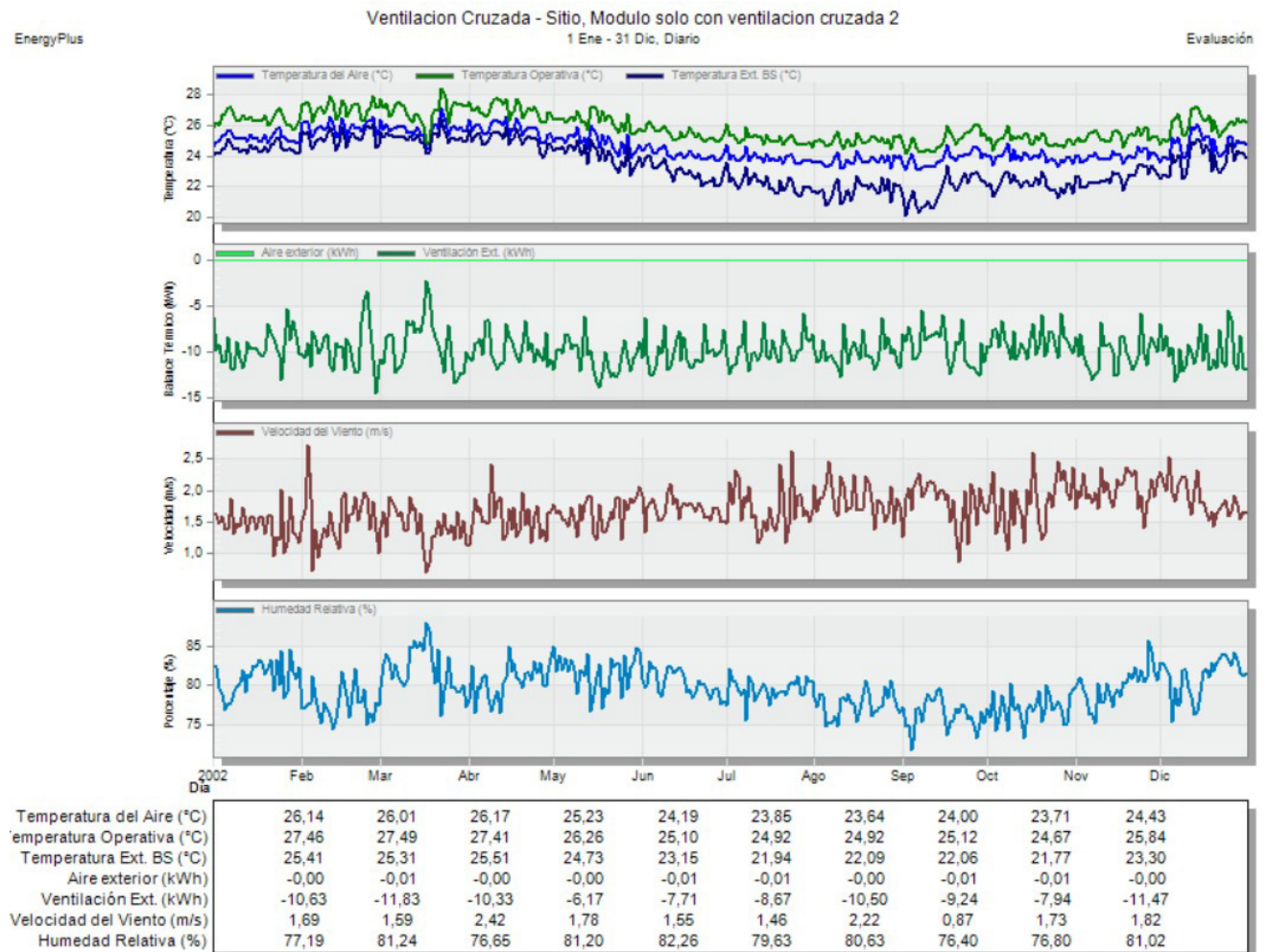
FUENTE: Elaboración propia

**Configuración 3**

En la configuración 3 se hace uso de la ventilación cruzada incorporando tres ventanas verticales que funcionarán como entradas de aire, cada una de 0,70 m × 1,90 m con antepecho de 0,30 m, y una ventana horizontal alta como salida del aire, de 2,90 m × 0,80 m con antepecho de 2,50 m, lo que incrementa el área efectiva de apertura y favorece una renovación de aire más constante dentro del módulo.

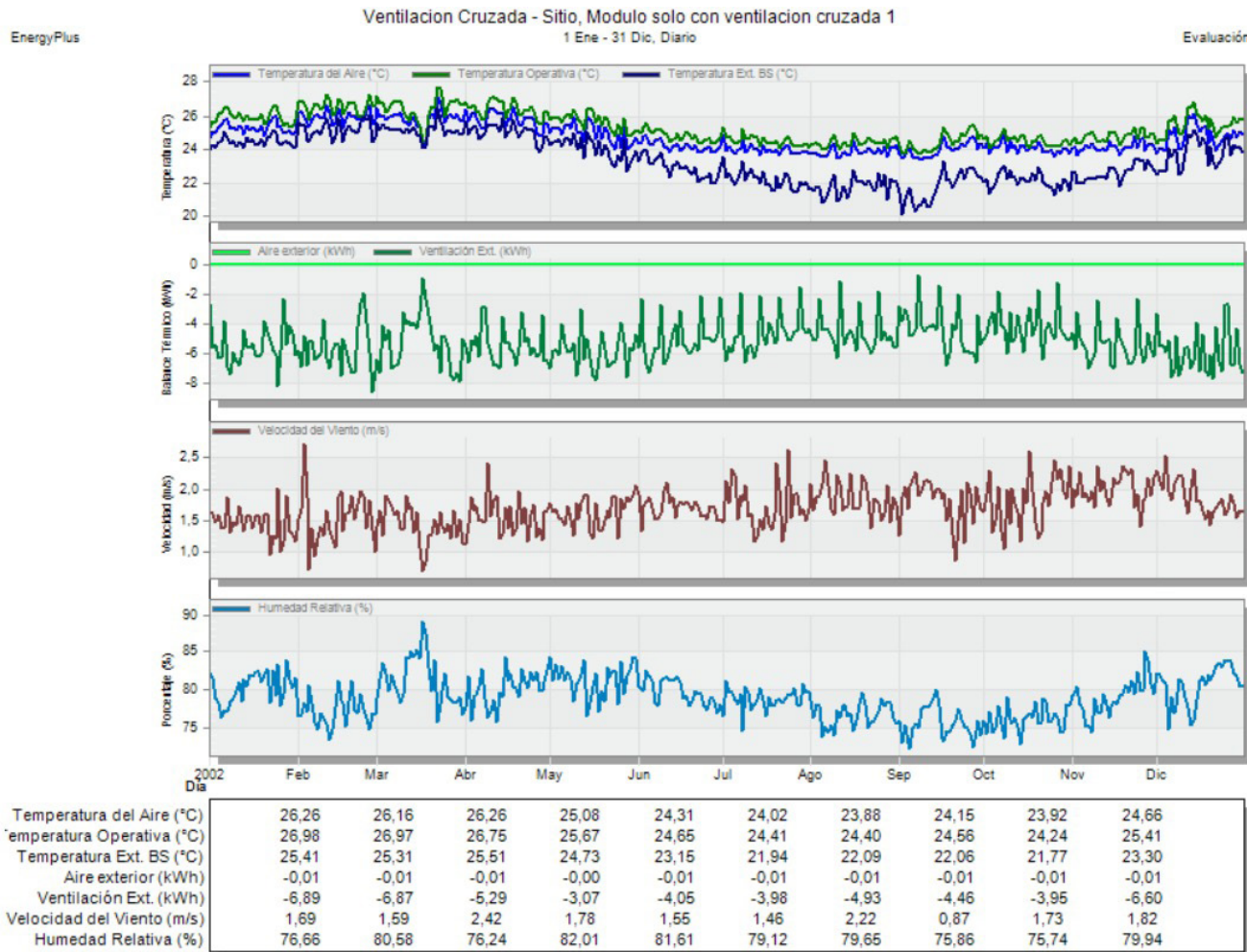
Los resultados de la simulación muestran que la temperatura promedio del aire interior es 24,74 °C y temperatura operativa promedio 25,92 °C, mientras que la ventilación exterior promedio alcanza -9,45 kWh, lo que evidencia una mayor extracción de carga térmica comparado con las configuraciones anteriores, al existir un mayor intercambio de aire, reduciendo de manera significativa la temperatura interior, esta configuración se considera competitiva frente a las demás tipologías evaluadas.

**FIGURA 80**  
Simulación de ventanas configuración 3



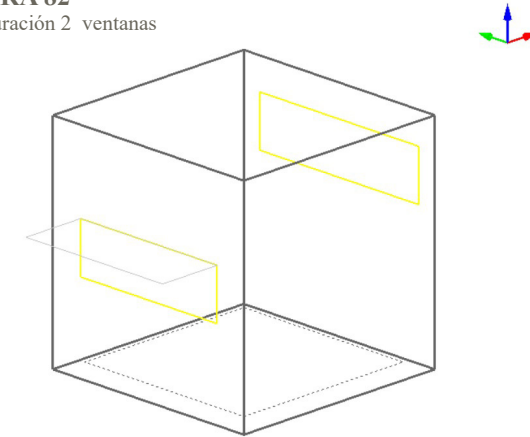
FUENTE: Resultados de simulación de ventanas, Elaboración propia

**FIGURA 81**  
Simulación de ventanas configuración 2



FUENTE: Resultados de simulación de ventanas, Elaboración propia

**FIGURA 82**  
Configuración 2 ventanas



FUENTE: Elaboración propia

**Configuración 4**

En la configuración 4 se usa ventilación cruzada mediante dos vanos horizontales que se ubican en fachadas opuestas y a distinta altura, incorporando una ventana baja como entrada de aire, de 2,50 m × 0,80 m con antepecho de 1,30 m, y una ventana alta como salida de aire, de 2,90 m × 0,80 m con antepecho de 2,00 m, lo que ayuda a favorecer una renovación continua del aire interior y la evacuación del calor acumulado.

Con base a la simulación, la temperatura promedio del aire interior es de 24,87 °C y la temperatura operativa promedio de 25,40 °C, mientras que la ventilación exterior promedio alcanza -5,01 kWh, existe una buena capacidad de extracción de calor del interior, lo que ayuda a reducir la carga térmica, haciendo la temperatura mucho más estable y confortable. Esta configuración es la opción más eficiente desde el punto de vista del confort térmico.

Con el objetivo de optimizar la ventilación natural del módulo, se compararon cuatro tipos de configuraciones de vanos, cuyos resultados muestran variaciones tanto en la temperatura interior como en la capacidad de extracción de carga térmica por intercambio de aire (ventilación exterior). Con base a estas simulaciones la configuración 4 es la que registra la menor temperatura operativa promedio (25,40 °C) junto con una extracción térmica constante (-5,01 kWh), que comparándose con los otros tipos de configuraciones, muestra los resultados más favorables en cuando a confort térmico, es por llo que la configuración 4 se adopta como la alternativa a usarse en el anteproyecto por su desempeño equilibrado y su facilidad de integración al sistema constructivo del módulo.

Sin embargo, para el desarrollo del módulo también se puede considerar la incorporación de la Configuración 3 en zonas específicas del proyecto, debido a que su disposición de vanos permite fortalecer el ritmo, la continuidad y la composición de fachada, aportando una mayor calidad visual sin comprometer el funcionamiento general. Por eso, se plantea un criterio de aplicación combinado, donde la Configuración 4 se mantiene como solución principal por su respuesta térmica más favorable, y la Configuración 3 se puede utiliza como recurso complementario en función de requerimientos formales, aprovechando que ambas se ajustan adecuadamente a la modulación del sistema, y que el desempeño térmico se encuentra respaldado por la integración de las estrategias bioclimáticas pasivas planteadas en el módulo.

**Tabla 31**

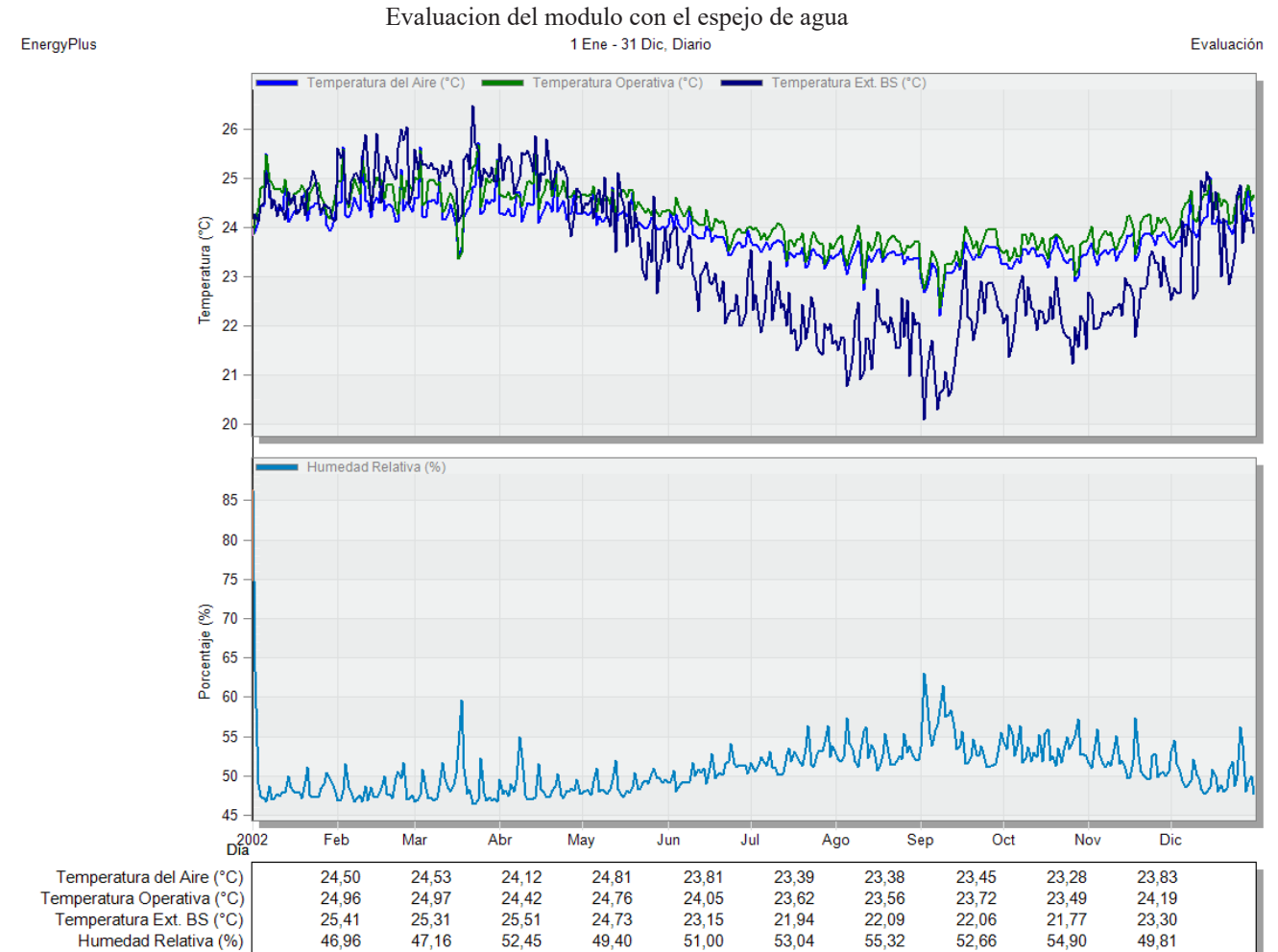
Resumen configuración y simulación de ventanas

Config.	Vano de entrada	Vano de salida	T° aire prom. (°C)	T° operativa prom. (°C)	Vent. ext. prom. (kWh)
Conf. 1	V1: 1,00×1,10 m (AP 0,90 m)	V2: 2,90×0,80 m (AP 2,00 m)	25,06	25,54	-4,68
Conf. 2	V1: 2,70×1,10 m (AP 0,35 m)	V2: 2×(1,45×0,60 m) (AP 2,60 m)	26,30	26,52	-3,29
Conf. 3	3×V: 0,70×1,90 m (AP 0,30 m)	V: 2,90×0,80 m (AP 2,50 m)	24,74	25,92	-9,45
Conf. 4	V1: 2,50×0,80 m (AP 1,30 m)	V2: 2,90×0,80 m (AP 2,00 m)	24,87	25,40	-5,01

### 5.1.4 Simulación de espejo de agua

Para evaluar el efecto del espejo de agua, se tomó como escenario base el módulo con la configuración N.º 4 de ventilación cruzada, de modo que la comparación se realice bajo las mismas condiciones de ventilación; en este caso, sin espejo de agua base la temperatura interior promedio fue de 24,87 °C, mientras que con espejo de agua disminuyó a 23,91 °C (0,96 °C menos), evidenciando que la lámina de agua contribuye a enfriar el aire que ingresa al módulo y reduce el sobrecalentamiento interior, mejorando el confort térmico.

**FIGURA 83**  
Módulo base sin estrategias bioclimáticas



FUENTE: Resultados de simulación final de todas las estrategias con espejo de agua, Elaboración

## 5.2 Consolidación del diseño pasivo optimizado y análisis comparativo frente al escenario base

Al evaluarse las principales variables del desempeño del módulo, se puede generar el modelo optimizado final mediante la integración de cada una de las estrategias bioclimáticas pasivas seleccionadas, para verificar su funcionamiento en conjunto y cuantificar cuál es su aporte real al confort térmico interior. Se trabaja sobre el módulo base de 3,50 m × 3,50 m y se crea un escenario optimizado que incorpora las estrategias pasivas con mejor desempeño, para luego poder compararlo con el escenario inicial que es aquel en el que no se aplican estrategias pasivas. Aquí se recopilan cada una de las estrategias previamente mencionadas en las que destacan; (1) la doble cubierta ventilada que reduce de ganancia térmica por radiación, (2) la elevación del módulo para mejorar salubridad y favorecer la ventilación del piso, y (3) el espejo de agua como recurso de apoyo que ayuda a mejorar el confort térmico mediante el enfriamiento evaporativo, la

configuración 4 de vanos, gracias a su desempeño térmico equilibrado.

La diferencia entre el módulo base y el módulo optimizado permite visualizar, el impacto acumulado de las estrategias pasivas sobre parámetros como la temperatura operativa interior y el comportamiento térmico general, lo que ayuda a tener una base clara para tomar decisiones de diseño en un clima húmedo muy caluroso. Además, este escenario optimizado se considera como una solución constructiva integral, en la cual la geometría modular y las estrategias pasivas se complementan con una envolvente liviana de varias capas, que fueron seleccionadas por su capacidad de reducir la transmisión de calor hacia el interior del módulo.

### Los paquetes finales de las envolventes del módulo son:

EC\_T6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO120\_OSB para cubierta ( $U = 0,282 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

NEC\_P3\_FIBRO\_AIRE\_PU30\_PANEL para muros ( $U = 0,555 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

NEC\_S5\_SANDWICH\_EPS60\_PLY para suelo ( $U = 0,523 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

De esta manera se configura un módulo con mayor control de ganancia térmica y con un mejor desempeño frente a las condiciones climáticas del sitio. En consecuencia el diseño final no es únicamente la aplicación aislada de soluciones, sino la integración de cada solución propuesta, donde la envolvente, la ventilación, la protección solar y los recursos microclimáticos actúan de forma conjunta, esta configuración optimizada es la que se usará para realizar una simulación comparativa final permitiendo validar con evidencia cuantitativa la mejora del comportamiento térmico del módulo optimizado respecto al escenario base.

**FIGURA 85**  
Módulo base sin estrategias bioclimáticas

**Temperaturas (°C)**

Temperatura del aire interior:

Promedio: 31,61 °C  
Máx: ≈ 35,0 °C  
Mín: ≈ 25,9 °C

Temperatura operativa:

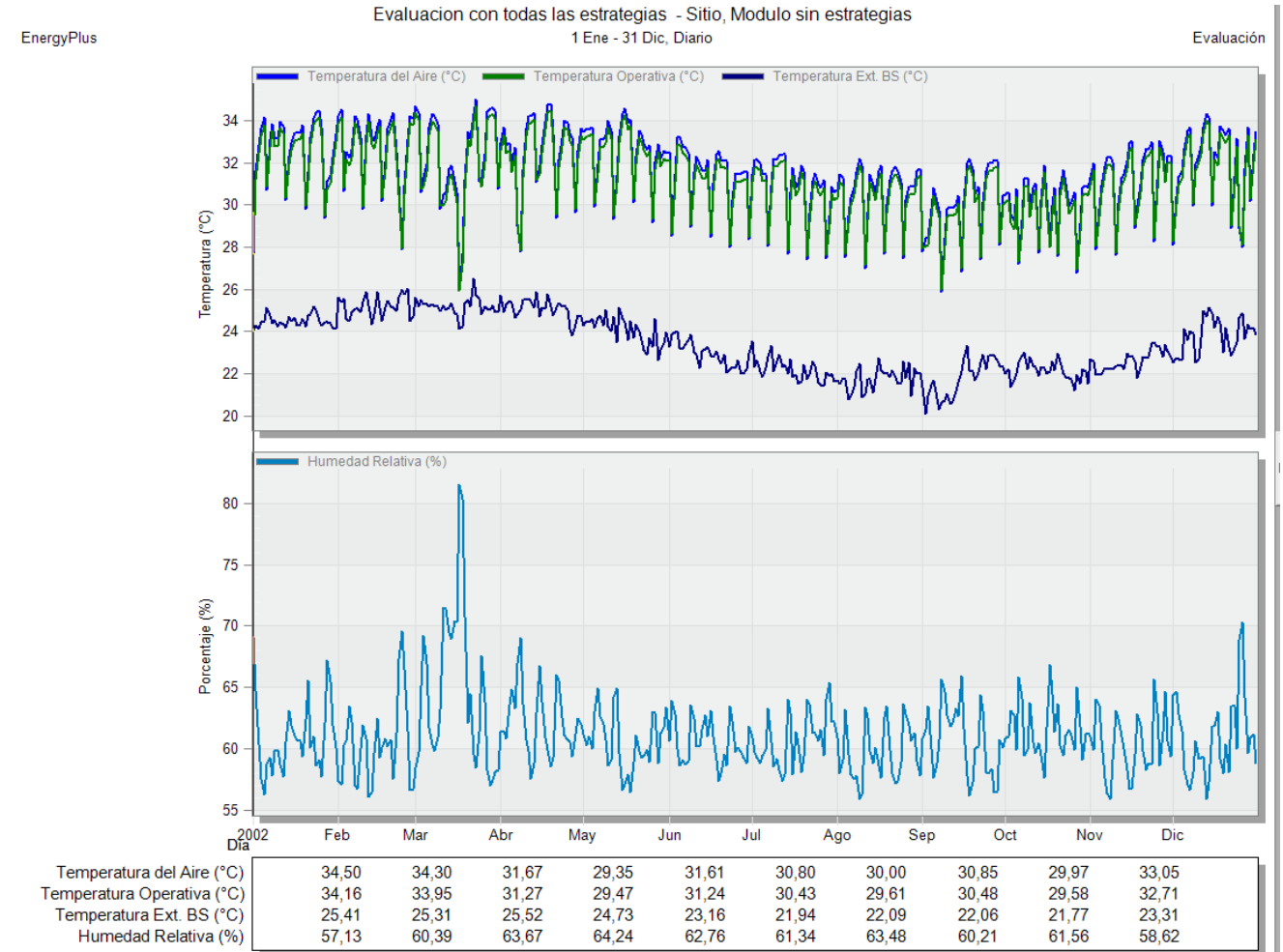
Promedio: 31,29 °C  
Máx: ≈ 34,7 °C  
Mín: ≈ 25,9 °C

Temperatura exterior (bulbo seco):

Promedio: 23,53 °C  
Máx: ≈ 26,5 °C  
Mín: ≈ 19,8 °C

**Humedad relativa (%)**

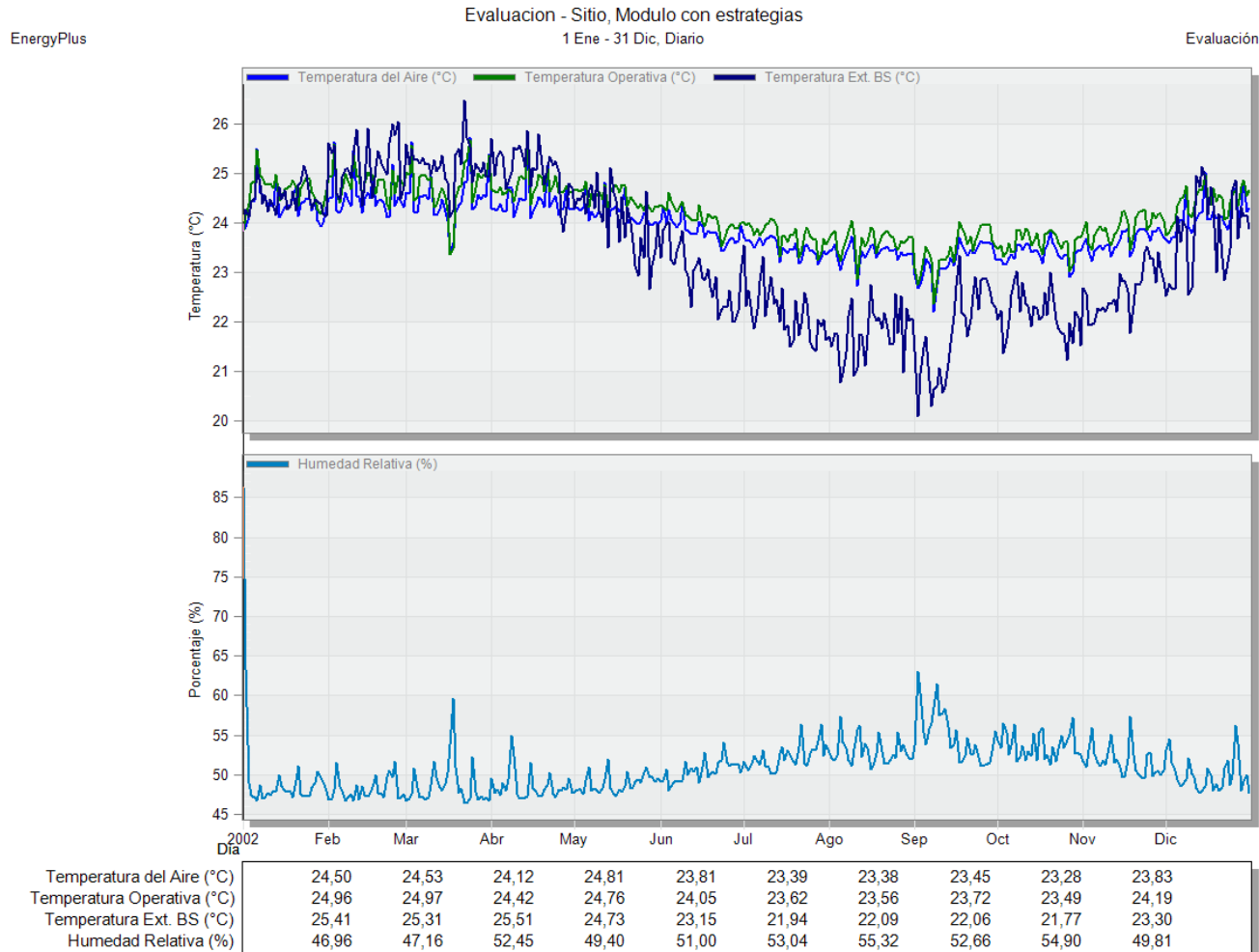
Promedio: 61,34 %  
Máx: ≈ 81,6 %  
Mín: ≈ 55,9 %



FUENTE: Resultados de simulación sin estrategias, Elaboración propia

**FIGURA 86**

Módulo base con estrategias bioclimáticas



**Temperaturas (°C)**

Temperatura del aire interior:

Promedio: 23,91 °C  
Máx: 26,6 °C  
Mín: 22,9 °C

Temperatura operativa:

Promedio: 24,17 °C  
Máx: 25,6 °C  
Mín: 22,6 °C

Temperatura exterior (bulbo seco):

Promedio: 23,53 °C  
Máx: 25,5 °C  
Mín: 20,1 °C

Humedad relativa (%)

Promedio: 51,27 %  
Máx: 55,32 %  
Mín: 46,96 %

FUENTE: Resultados de simulación con todas las estrategias, Elaboración propia

En el escenario base, el módulo muestra un un sobrecalentamiento durante gran parte del año, registrando una temperatura del aire interior promedio de 31,61 °C y picos aproximados de 35,0 °C, la temperatura operativa alcanza un promedio de 31,29 °C y máximos cercanos a 34,7 °C, lo que refleja un bajo confort térmico. Estos datos son relevantes al compararse con la temperatura exterior de bulbo seco (promedio 23,53 °C), pues la diferencia promedio entre el interior y el exterior supera los 7 °C, indicando una gran acumulación de calor en el interior del módulo base y una disipación insuficiente a través de la envolvente y la ventilación natural.

En comparación con el escenario optimizado, este presenta una mejora significativa de la temperatura del aire interior, la cual desciende a un promedio de 23,91 °C (máx: 26,6 °C) y la temperatura operativa alcanza un promedio de 24,17 °C (máx: 25,6 °C). Analizando estos datos, se puede determinar una reducción aproximada de 7,70 °C en el promedio

de temperatura interior del aire y de 7,12 °C en el promedio de temperatura operativa, además de una disminución de hasta 9,10 °C en el pico máximo de temperatura operativa. Como resultado, la diferencia promedio entre la temperatura operativa interior y el ambiente exterior se reduce a alrededor de 0,6 °C, aproximando el comportamiento del módulo a un equilibrio térmico pasivo y evitando el que el módulo se convierta en una caja caliente como se observa en el caso base.

Este desempeño se fundamenta en la acción integrada de las estrategias pasivas incorporadas en el módulo que son: control solar, optimización de la ventilación cruzada mediante los configuraciones de ventanas propuestas, la elevación del volumen sobre el terreno a 0,60 m para mejorar la ventilación inferior, el espejo de agua que actúa enfriando el aire antes de ingresar al módulo, los distintos paquetes de envolventes de muros, suelos y cubierta, y la doble cubierta ventilada que actúa como barrera a la radiación y facilita la evacuación

del calor acumulado en una cámara de aire. Estos principios se alinean con los criterios propuestos por la NEC-HS-EE, que para climas cálidos y húmedos se prioriza la reducción de ganancias térmicas, la protección solar y el aprovechamiento de la ventilación natural como estrategia primaria de acondicionamiento (MIDUVI, 2023). Desde el enfoque de confort adaptativo para edificaciones naturalmente ventiladas, los valores alcanzados por el módulo optimizado son técnicamente coherentes con rangos aceptables de confort en climas cálidos, siempre que exista control del usuario sobre la ventilación y condiciones de adaptación por vestimenta y actividad (de Dear & Brager, 2002). Considerando una temperatura exterior media cercana a 23,5 °C, la temperatura operativa promedio obtenida (24,17 °C) se ubica próxima a la temperatura neutral estimada por el modelo adaptativo y dentro de los rangos de aceptabilidad habitualmente empleados por ASHRAE 55 para espacios naturalmente ventilados (ASHRAE, 2023).

Asimismo el uso de cubiertas ventiladas ayudan a favorecer la extracción del calor y disminuir la carga térmica anual asociada a la cubierta (Lima-Téllez et al., 2022). De manera complementaria, revisiones sobre diseño pasivo en climas cálidos y húmedos señalan que el control solar y la ventilación natural son primordiales para minimizar requerimientos de enfriamiento y mejorar la percepción de confort térmico, especialmente cuando la humedad limita el potencial de enfriamiento evaporativo (Chenvidyakarn, 2007).

En relación con la humedad relativa, el escenario base mantiene valores elevados (promedio 61,34%), incrementando la sensación de bochorno y reduciendo la eficiencia de la disipación del calor, en cambio en el escenario optimizado, se observa una disminución hacia un promedio de 51,27%, lo cual contribuye a mejorar la habitabilidad interior; sin embargo, la humedad continúa condicionada por el carácter húmedo del sitio, por lo que el confort debe apoyarse principalmente en el movimiento de

aire, la sombra y la reducción de cargas térmicas, más que en un descenso sustancial de la humedad.

La comparación final confirma que la integración temprana de estrategias bioclimáticas en el diseño del módulo constituye un resultado exitoso, ya que se logra controlar el sobrecalentamiento, estabilizar el comportamiento térmico interior y reducir de forma significativa las temperaturas operativas  $-7$  a  $-9$  °C respecto al módulo base, alcanzando valores compatibles con criterios de confort adaptativo. Este desempeño refuerza la validez técnica del anteproyecto y su potencial de replicabilidad en contextos de clima húmedo muy caluroso, donde las soluciones pasivas representan un componente clave para la eficiencia energética y la habitabilidad.

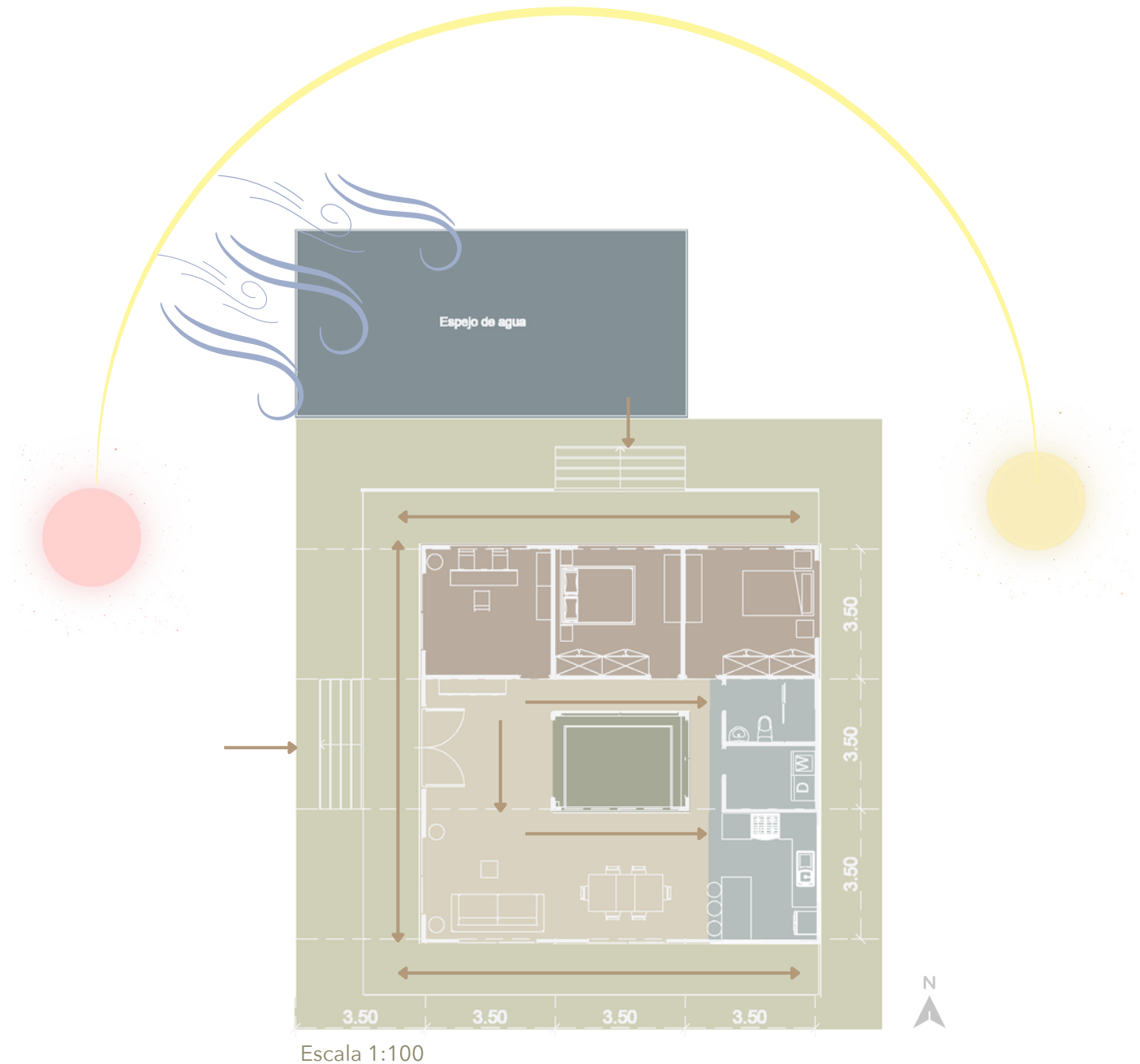
### **5.3 Consolidación del Anteproyecto: Vivienda Bioclimática**

Para cerrar este apartado, se presentan las plantas, elevaciones, cortes y perspectivas que representan al sistema número 4 del módulo, en los cuales se observa de manera integral cómo se organiza y articula la composición de los módulos de  $3,50 \times 3,50$  m dentro del anteproyecto. Estas visualizaciones permiten comprender con mayor claridad la implantación, la volumetría y la relación espacial entre los módulos, así como la incorporación de las estrategias pasivas definidas, como la orientación, el control de asoleamiento y la ventilación. Además, se integran las estrategias con mejor desempeño según las simulaciones para el clima del caso de estudio. En conjunto, los gráficos sintetizan el diseño al traducir el análisis climático en una solución arquitectónica y mostrar su resultado espacial y formal.

La vivienda se organiza a partir de un patio central que funciona como un eje, por el cual se distribuyen las zonas públicas y privadas, generando circulaciones directas, que permiten recorridos más fluidos entre los espacios. Las áreas sociales se ubican hacia el frente, mientras que los dormitorios se concentran en el área más reservada, las áreas húmedas se agrupan en un sola zona para optimizar instalaciones. Se coloca un espejo de agua en dirección a los vientos predominantes, lo que favorece el enfriamiento del aire antes de ingresar a la vivienda para mejorar el confort térmico interior. La vivienda se eleva sobre pilotes y se protege mediante amplios aleros que controlan la incidencia solar y mejoran el comportamiento térmico interior.

### Leyenda:

- Áreas públicas: Sala Comedor
- Áreas húmedas: Cocina Lavandería SSHH
- Áreas privadas: Estudio Dormitorios
- Patio Central
- Circulaciones



**FIGURA 87**

Planta Zonificación del sistema 4 del anteproyecto de vivienda con todas las estrategias

**FUENTE:** Elaboración propia

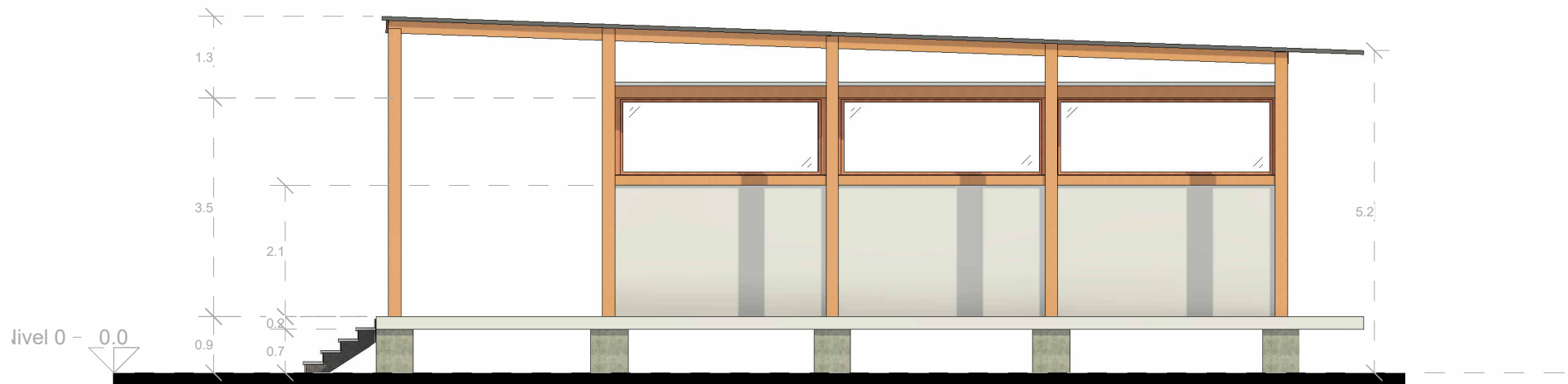


**Elevacion Lateral Izquierda**

Escala 1:100

**Elevacion Lateral Derecha**

Escala 1:100

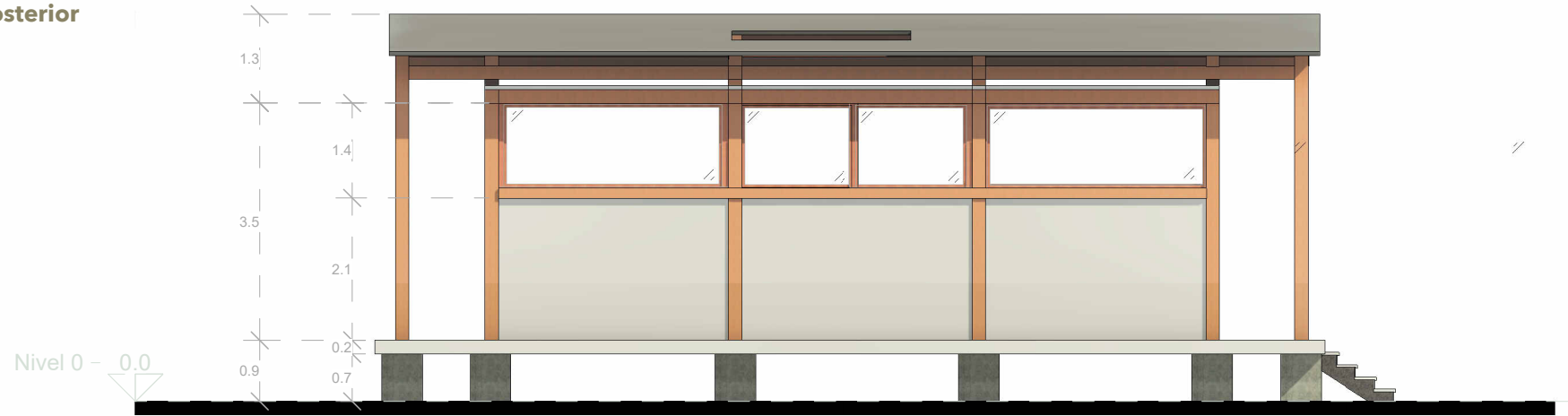
**FIGURA 89**

Elevaciones laterales del sistema 4 del anteproyecto de vivienda con todas las estrategias

FUENTE: Elaboracion propia

**Elevacion Posterior**

Escala 1:100

**Elevacion Frontal**

Escala 1:100

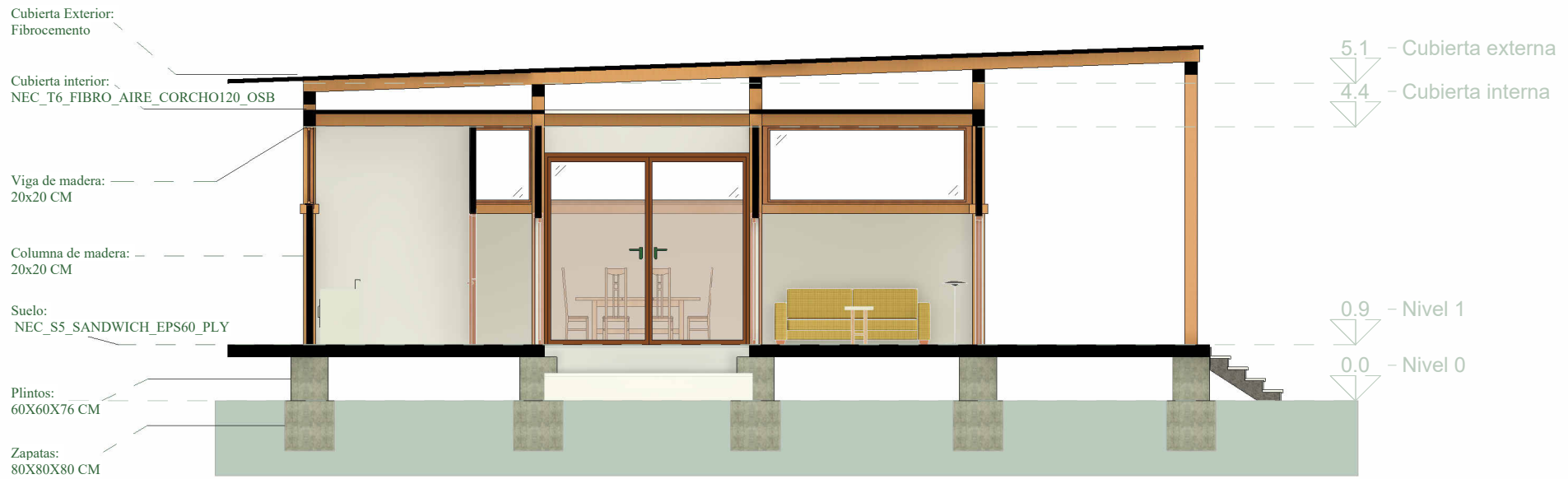
**FIGURA 90**

Elevacion Posterior y Frontal del sistema 4 del anteproyecto de vivienda con todas las estrategias

FUENTE: Elaboracion propia

**Seccion A-A**

Escala 1:100

**FIGURA 91**

Seccion A-A del sistema 4 del anteproyecto de vivienda con todas las estrategias

**FUENTE:** Elaboracion propia

**FIGURA 92**

Render exterior del anteproyecto de vivienda 1

**FUENTE:** Elaboracion propia

**FIGURA 93**

Render exterior del anteproyecto de vivienda 2

**FUENTE:** Elaboracion propia



**FIGURA 94**

Render exterior del anteproyecto de vivienda 3

**FUENTE:** Elaboracion propia

**FIGURA 95**

Render exterior del anteproyecto de vivienda 4

**FUENTE:** Elaboracion propia



**FIGURA 96**

Render interior del anteproyecto de vivienda 1

**FUENTE:** Elaboracion propia

**FIGURA 97**

Render interior del anteproyecto de vivienda 2

**FUENTE:** Elaboracion propia



**FIGURA 98**

Render del anteproyecto de vivienda 3

**FUENTE:** Elaboracion propia

**FIGURA 99**

Render interior del anteproyecto de vivienda 4

**FUENTE:** Elaboracion propia

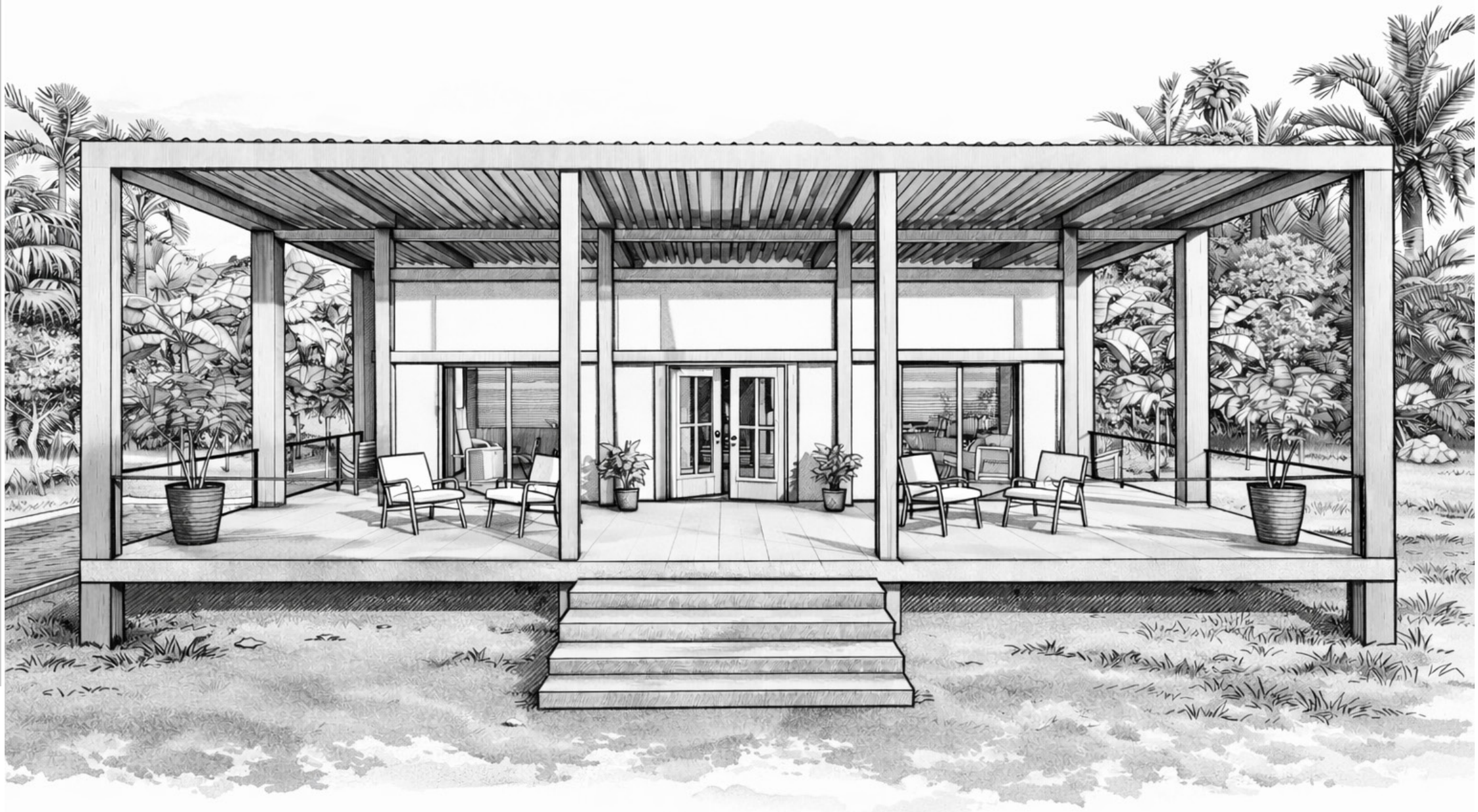
**FIGURA 100**

Render del anteproyecto de vivienda 5

**FUENTE:** Elaboracion propia

# Conclusión

Conclusiones y  
recomendaciones



## Conclusiones

La presente investigación comprueba la importancia de desarrollar un análisis acerca del comportamiento térmico de la vivienda en climas húmedos muy calurosos, ya que el bajo confort térmico no se debe únicamente por las condiciones ambientales del lugar, sino también por el modo en que la arquitectura responde a ellas. Este análisis comparativo se realizó entre un escenario base, que no incorporaba ninguna estrategia bioclimática, y el módulo optimizado, lo que evidenció reducciones significativas de temperatura, de 7 °C en promedio y hasta 9 °C en los periodos más calurosos, demostrando que el sobrecalentamiento puede mitigarse mediante el análisis y la comprensión de las características climáticas de un sitio y la posterior toma de decisiones con base a este entendimiento.

Con estos resultados también se puede entender que el confort térmico no depende solo de la incorporación aislada de una estrategia bioclimática pasiva, sino de la integración de todos los elementos

que intervienen en el diseño arquitectónico, como la orientación, la configuración volumétrica, el control solar, la ventilación natural, la distribución de vanos, la selección de materiales, donde cada decisión influye en el desempeño térmico de la vivienda, por ello es importante que al momento de diseñar se considera las estrategias bioclimáticas como un sistema integral, caso contrario se necesitará de compensación mecánica para mejorar el confort térmico.

Asimismo, es importante comprender las características del sitio como el clima, la radiación solar, los vientos dominantes y la humedad como parámetros que determinan el punto de partida del diseño, es fundamental entender la materialidad como un aspecto crítico del comportamiento térmico, ya que sus propiedades influyen en la transmisión, acumulación o disipación del calor, por lo que su elección no puede responder únicamente a criterios estéticos o económicos, sino a su impacto a largo plazo. La falta del entendimiento de cada parámetro del

diseño conlleva a edificaciones que acumulan calor y dependen de sistemas activos, por eso es importante entender que la aplicación de la arquitectura bioclimática tiene como objetivo solucionar estas problemáticas desde el propio diseño, evitando que el usuario adquiera costos energéticos permanentes, lo que también ayuda a reducir la huella de carbono creciente. En una realidad donde la demanda eléctrica sigue en aumento integrar principios bioclimáticos no es una opción complementaria, sino un requisito indispensable para garantizar edificaciones eficientes y responsables con el medioambiente.

El análisis también permite entender que la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas incide directamente en las condiciones de habitabilidad del usuario. En climas húmedos muy calurosos, depender únicamente de sistemas activos para alcanzar confort significa asumir costos permanentes que no siempre están al alcance de todos, por eso la arquitectura bioclimática también adquiere un enfoque social, al reducir la vulnerabilidad y contribuir a mejorar las condiciones de habitabilidad, ya que brinda parámetros que demuestran que es posible mejorar el desempeño térmico mediante recursos pasivos que se integran al propio diseño. El confort térmico no debe asociarse a un privilegio proporcionado por sistemas mecánicos, sino al resultado del análisis de un entorno y de decisiones de diseño conscientes y adaptadas a este contexto.

La incorporación de estrategias bioclimáticas desde etapas tempranas permite que el espacio construido se convierte en un mediador entre el entorno y

el usuario, donde las condiciones interiores son mucho más estables y aptas para el usuario.

Así, el diseño bioclimático se consolida no solo como una estrategia, sino como un enfoque integral que vincula el desempeño térmico, habitabilidad con condiciones más accesibles y responsabilidad ambiental, estos principios ayudan a concebir un acceso más equitativo a viviendas con adecuado confort térmico, reduciendo su carga energética para que puedan desarrollarse de una manera más consciente a los desafíos ambientales de la actualidad.

## Recomendaciones

A partir de los resultados que se obtuvieron en la investigación, se posibilitan nuevas indagaciones donde se evalúe el desempeño de estrategias bioclimáticas pasivas en otras zonas climáticas del país, analizando la temperatura, humedad y radiación permitirá comprender su grado de adaptabilidad y establecer criterios comparativos para su aplicación en diversos escenarios.

Asimismo, el entorno natural y el contexto circundante son aspectos importantes en el comportamiento térmico de la vivienda, por ello el estudio detallado de la vegetación inmediata, podría ampliar el alcance de futuras investigaciones, permitiendo integrar de manera más profunda los recursos naturales.

De igual manera, en futuras investigaciones se podría incorporar variables como el comportamiento y actividades humanas como el nivel de vestimenta

y la tasa metabólica, de manera que al analizar las dinámicas de uso, vestimenta, y el tipo de actividades se pueda desarrollar modelos de confort más precisos y acorde al usuario.

Para finalizar, se recomienda que las estrategias bioclimáticas pasivas desarrolladas en este trabajo se consideren como criterios de diseño desde las etapas iniciales de futuros proyectos, y que se promuevan con mayor énfasis en climas cálidos, ya que el uso excesivo de sistemas de climatización artificial genera una alta demanda energética, lo que eleva los costos de la vivienda, y es perjudicial para el medio ambiente.

Con la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas adaptadas al clima se puede reducir la dependencia energética, mejorar las condiciones de confort térmico y contribuir a una arquitectura más responsable con el entorno ambiental.

# Bibliografía

- Aghimien, E. I., Li, D. H. W., & Tsang, E. K. W. (2022). Bioclimatic architecture and its energy-saving potentials: A review and future directions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(2), 961–988. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2020-0928>
- Alchapar, N. L., & Correa, E. N. (2016). Aging of roof coatings: Solar reflectance stability according to their morphological characteristics. *Construction and Building Materials*, 102, 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.11.005>
- Amelar, S. (2019, 5 de septiembre). No Footprint House by A-01. *Architectural Record*.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2020). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. ASHRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2022: Energy standard for sites and buildings except low-rise residential buildings. ASHRAE.
- Angulo Rodrigo, T. (2023, 30 de marzo). *Arquitectura bioclimática: Pasiva VS activa*. BiReCo.
- Araujo Jaramillo, D. C., & Salazar Aguilar, G. M. (2024). Manual de estrategias bioclimáticas para edificios de oficinas y consultorios, en zonas cálido-húmedas basado en el caso de estudio del Edificio Medicenter en Machala [Trabajo de titulación, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/43871>
- Arkiplus. (s. f.). Islas de calor. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://www.arkiplus.com/islas-de-calor>
- ArchDaily. (2019, 27 de agosto). No Footprint House / A-01.
- ArchDaily. (2021, 22 de julio). Sand House / studio mk27.
- ArchDaily. (2022, 15 de abril). Tropical Shed / Laurent Troost Architectures.
- ArchDaily. (2024, 25 de octubre). Sinfonia Verde Home / Studio Saxe.
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador [Constitución]. Registro Oficial Suplemento No. 449 (20 de octubre de 2008).
- Baquero Larriva, M. T. (2013). Diseño bioclimático de viviendas multifamiliares en la ciudad de Cuenca [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4539>
- Bock, M. S. (1992). Estudio macro-espacial de la arquitectura y de la sociedad guayaquileñas (1900–1940). En Guayaquil: Arquitectura, espacio y sociedad, 1900–1940 (pp. 21–58). Institut français d'études andines; Corporación Editora Nacional. <https://doi.org/10.4000/books.ifea.2005>
- Brown, R. D., & Gillespie, T. J. (1995). Microclimatic landscape design: Creating thermal comfort and energy efficiency. John Wiley & Sons.
- Burgo Bencomo, O. B. (2022). Planificación del desarrollo en el cantón Machala, provincia de El Oro. *Conrado*, 18(83), 147–156.
- Chatellier-Lorentzen, D., Díaz-González, A., McNeil, M., & de la Rue du Can, S. (2024). Nueva norma de eficiencia energética mínima para aparatos de aire acondicionado en el Ecuador. Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://eta-publications.lbl.gov/publications/nueva-norma-de-eficiencia-energet-0>

- Cherrez Quezada, A., Herrera Morocho, P., & Rivadeneira Segovia, P. (2009). Plan de marketing turístico para la ciudad de Machala, provincia de El Oro, Ecuador [Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja]. Repositorio UTPL.
- Climate-Data.org. (s. f.). Machala climate (Ecuador): Weather Machala & temperature by month. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://en.climate-data.org/south-america/ecuador/provincia-el-oro/machala-5533/>
- Climate.OneBuilding.Org. (2004). Machala-Serrano.AP (WMO 842480) [Archivo climático EPW; conjunto TMYx]. Recuperado el 27 de enero de 2026, de [https://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/ECU\\_Ecuador/ECU\\_El.Oro/Machala-Serrano.AP.842480\\_TMYx.2004-2023.zip](https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/ECU_Ecuador/ECU_El.Oro/Machala-Serrano.AP.842480_TMYx.2004-2023.zip)
- Comisión Nacional de Vivienda. (2022). Diseño bioclimático: Cálido húmedo [PDF]. <https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/disen/Dise%C3%B1o%20C%C3%A1lido%20H%C3%BAmedo.pdf>
- Compte Guerrero, F. (2020). Tesis recomendada para su publicación. Modernos sin modernidad. Arquitectura de Guayaquil 1930–1948. Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación, (81). <https://doi.org/10.18682/cdc.vi81.3709>
- DesignBuilder Software Ltd. (2009). DesignBuilder 2.1: User's manual. [https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder\\_2.1\\_Users-Manual\\_Ltr.pdf](https://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf)
- Fuentes Freixanet, V. A., & Rodríguez Viqueira, M. (2004). Ventilación natural: Cálculos básicos para arquitectura. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.
- Gamero-Salinas, J., Loonen, R. C. G. M., Castilla, M., & Ruiz, D. P. (2021). Passive cooling design strategies as adaptation measures to reduce overheating risk in the dwellings of a warm tropical climate. *Energy and Buildings*, 251, 111359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111359>
- Gamero-Salinas, J., Monge-Barrio, A., Kishnani, N., López-Fidalgo, J., & Sánchez-Ostiz, A. (2021). Passive cooling design strategies as adaptation measures for lowering the indoor overheating risk in tropical climates. *Energy and Buildings*, 252, 111417. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111417>
- Gifreu i Font, J. (2018). Ciudades adaptativas y resilientes ante el cambio climático: Estrategias locales para contribuir a la sostenibilidad urbana. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, (52), 102–158. <https://doi.org/10.71296/raap.129>
- Giraldo Castañeda, W., & Herrera, C. A. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y Desarrollo*, 35(1), 77–101.
- Givoni, B. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. John Wiley & Sons.
- Gobatti, A. H., Kenta, T., Asaeda, T., & Banzhaf, E. (2025). Evaluating the cooling effects of permeable pavements, soils, and plants across different climatic zones: Insights from controlled laboratory experiments. *Urban Climate*, 64, 102513. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102513>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Machala. (2022). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Machala (PDOT) [PDF]. (2022).
- Hidalgo Villacís, C. E. (2018). *Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: Mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social* [Tesis de maestría, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30663>

- Hu, M., Zhang, K., Nguyen, Q., & Tasdizen, T. (2023). The effects of passive design on indoor thermal comfort and energy savings for residential buildings in hot climates: A systematic review. *Urban Climate*, 49, 101466. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101466>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2008). Boletín meteorológico mensual: Febrero del 2008 (Año XXXIII, N.º 02): Análisis climatológico. INAMHI. <https://wamis.org/wamis/wp-content/uploads/2023/05/ecu200802.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- International Energy Agency. (2023, 21 de julio). Keeping cool in a hotter world is using more energy, making efficiency more important than ever.
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730:2005 Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. ISO.
- Intriago Mairongo, H. A., Gonzales Vega, A. A., Rosero Obando, E. M., & Plaza Hernández, F. N. (2021). Estudio térmico en una vivienda situada en la ciudad de Guayaquil. *AlfaPublicaciones*, 3(4.1), 53–69. <https://doi.org/10.33262/ap.v3i4.1.124>
- Jiménez, N. (2025, 7 de marzo). Los principios de la arquitectura bioclimática: Guía esencial. El Arquí MX.
- Lozano Ramón, C. P. (2010). *Aplicación de sistemas de ventilación natural para el confort térmico de las habitaciones en un conjunto de viviendas multifamiliares – Distrito de Pichanaki [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional UNCP.
- Milne, M., Liggett, R., Benson, A., & Bhattacharya, Y. (2009). Climate consultant 4.0 develops design guidelines for each unique climate. En *SOLAR 2009: Proceedings of the 38th ASES National Solar Conference* (pp. 4559–4593). American Solar Energy Society.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11): Capítulo 13. Eficiencia energética en la construcción en Ecuador [PDF]*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2018). *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC): NEC-HS-EE: Eficiencia energética en edificaciones residenciales*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Balance energético nacional 2023*. [https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN\\_2023-0.pdf](https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2024/08/BEN_2023-0.pdf)
- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). *Principles of environmental physics: Plants, animals, and the atmosphere* (4th ed.). Academic Press.
- Muentes Rivera, W. L., Cedeño Zambrano, H. G., Cedeño Delgado, T. G., Salvatierra Tumbaco, G. G., & Melgar Véliz, C. J. (2023). Análisis de la vivienda vernácula de caña guadúa manabita del Ecuador y puesta en valor de su sistema constructivo en la vivienda contemporánea. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(2), 8291–8309. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i2.5956](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5956)
- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge.
- Olgay, V. (2015). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism* (New and expanded ed.). Princeton University Press.

- Peralta González, C., & Donoso Mogollón, T. (2024). Arquitectura doméstica tradicional de Guayaquil 1896–1920. *Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria y Arquitectura*, 7(13), 7–15. <https://doi.org/10.56124/finibus.v7i13.002>
- Pérez-Carramiñana, C., González-Avilés, Á. B., Castilla, N., & Galiano-Garrigós, A. (2024). Influence of sun shading devices on energy efficiency, thermal comfort and lighting comfort in a warm semi-arid dry Mediterranean climate. *Buildings*, 14(2), 556. <https://doi.org/10.3390/buildings14020556>
- Portilla Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. Editorial Abya-Yala. <https://doi.org/10.7476/9789978104927>
- Prieto, E. (2019). *Historia medioambiental de la arquitectura*. Ediciones Cátedra.
- Roux-Gutiérrez, R. S., Alfaro de la Torre, L. E., & Henao, P. A. (2018). Bahareque y su inercia térmica para muros de viviendas de interés social. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 13(23), 25–32.
- Ruiz-Larrea y Asociados. (s. f.). *Vivienda bioclimática en Tenerife (La Geria)*. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://ruizlarrea.com/vivienda-bioclimatica-tenerife/>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Santín Galarza, J. S. (2023). *Diseño de un modelo arquitectónico de vivienda social para la ciudad de Machala a partir del estudio de sus zonas rurales* [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca.
- Serrano Vincenti, S., Reisancho Puetate, A., Borbor-Córdova, M. J., & Stewart-Ibarra, A. M. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 24(2). <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>
- Shu, Q., Qu, H., Luo, Y., Liu, H., & Chen, M. (2025). Research on thermal environment simulation improvement and thermal comfort enhancement in urban open spaces. *All Earth*, 37(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/27669645.2025.2554113>
- Simon Architecture Prize. (2022, 20 de octubre). *Tropical Shed*.
- Souza, E. (2023, 27 de marzo). *Un proyecto flexible y sostenible de construcción modular en madera (Modular 5.5)*. ArchDaily.
- Stanford University. (2025). *Energy efficiency*. Understand Energy Learning Hub.
- Studio MK27. (s. f.). *Sand*. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://mk27.com/sand-2/>
- Studio Saxe. (2024, 27 de septiembre). *Sinfonía Verde | Península de Osa, Costa Rica*.
- U.S. Department of Energy. (2023). *EnergyPlus™ (v. 23.2.0)* [Software de computadora]. <https://doi.org/10.11578/dc.20240605.1>
- U.S. Department of Energy. (2025). *EnergyPlus™ (Version 25.1.0)* [Software de computadora]. <https://energyplus.net/>
- U.S. Environmental Protection Agency. (s. f.). *Heat island effect*. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://www.epa.gov/heatislands>
- UNA BV. (s. f.). *Modular 5.5*. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://unabv.com.br/en/residential/modular5-5-en/>

- United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2025). Not just another brick in the wall: The solutions exist – Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global status report for buildings and construction 2024/2025. United Nations Environment Programme.
- Varini, C. (2022). El diseño sostenible de la envolvente tropical en los tiempos del cambio climático. Universidad Católica de Colombia. <https://doi.org/10.14718/9786287554030.2022>
- Villaseñor, E., Chabla, J., & Luna, M. (2015). Análisis de suelos en la producción agrícola de la zona baja de la provincia de El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28–34.
- Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban heat island: Causes, consequences, and mitigation measures with emphasis on reflective and permeable pavements. *CivilEng*, 2(2), 459–484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>
- Weather & Climate. (2025). Average humidity in Machala (El Oro Province), Ecuador. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Humidity-perc%2Cmachala-ec%2CEcuador>
- WeatherSpark. (2025). Climate and average weather year round in Machala, Ecuador. Recuperado el 27 de enero de 2026, de <https://weatherspark.com/y/19338/Average-Weather-in-Machala-Ecuador-Year-Round>
- Wilcox, S., & Marion, W. (2008). Users manual for TMY3 data sets (NREL/TP-581-43156). National Renewable Energy Laboratory.
- World Health Organization. (2018). WHO housing and health guidelines. World Health Organization.
- World Meteorological Organization. (2017). WMO guidelines on the calculation of climate normals (WMO-No. 1203). World Meteorological Organization.
- Wu, Y., Lee, K., Lai, A., Yuan, D., & Ng, E. (2025). Effective street tree and grass designs to cool European urban areas. *Urban Climate*, 61, 102384. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102384>
- Xu, Z., & Rui, J. (2024). The mitigating effect of green space's spatial and temporal patterns on the urban heat island in the context of urban densification: A case study of Xi'an. *Sustainable Cities and Society*, 117, 105974. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105974>
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.
- Zhou, W., Yu, W., Zhang, Z., Cao, W., & Wu, T. (2023). How can urban green spaces be planned to mitigate urban heat island effect under different climatic backgrounds? A threshold-based perspective. *Science of the Total Environment*, 890, 164422. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164422>

# Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																		
OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Establecer los requerimientos iniciales bioclimáticos para el diseño de un módulo de vivienda a partir del análisis de las condiciones climáticas del entorno.	Revisar bibliografía, y analizar las condiciones climáticas			X	X													30
	Investigar la normativa existente del lugar que se relacione con el ámbito bioclimático.					X												30
	Investigar y analizar las técnicas constructivas y materiales locales que pueden ser usados en el diseño bioclimático.				X	X												40
	Investigar estrategias pasivas y elementos naturales que generen confort térmico, y reduzcan el consumo energético en clima húmedo muy caluroso.					X	X											40
Proponer el diseño de un módulo de vivienda que con base a los requerimientos iniciales, responda eficientemente a las condiciones climáticas mediante el uso de estrategias bioclimáticas pasivas.	Definir las estrategias bioclimáticas						X	X										30
	Desarrollar el modulo habitable (plantas, secciones, detalles, diagramas)							X	X	X								70
	Aprendizaje de software								X	X								50
Evaluar la efectividad de las estrategias bioclimáticas pasivas implantadas en el módulo de vivienda adaptado a las condiciones climáticas de un clima húmedo muy caluroso.	Simulación y evaluación térmica y energética										X	X						40
	Análisis y ajustes del módulo habitable											X	X					30
	Desarrollo de conclusiones y ajustes del documento final													X	X			20
	Diagramación de láminas y pruebas de impresión															X	X	20
																	<b>400</b>	

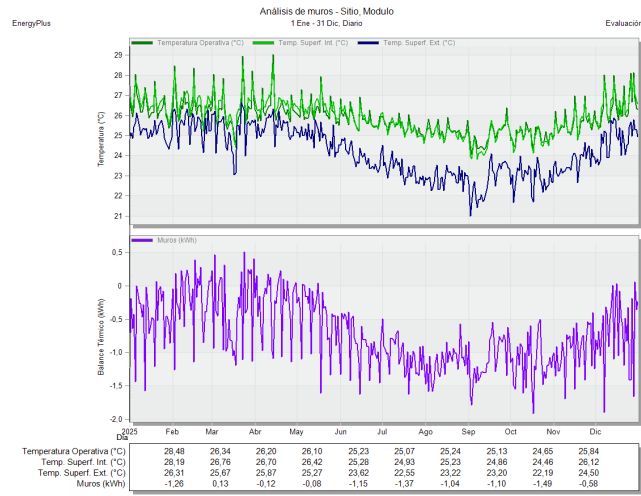
# Presupuesto

Denominación	Cantidad	Costo	
		Unitario	Costo total
Impresiones	100	0.50	50\$
Adquisición de bibliografía	2	30	60\$
Movilización	2	30	60 \$
Hospedaje	2	70	140 \$
Alquiler de instrumentos	2	25	50 \$
Alimentación	2	50	100 \$
Láminas	6	7	42 \$
Alquiler Software de simulación	2	1300	2600 \$

**Anexos**

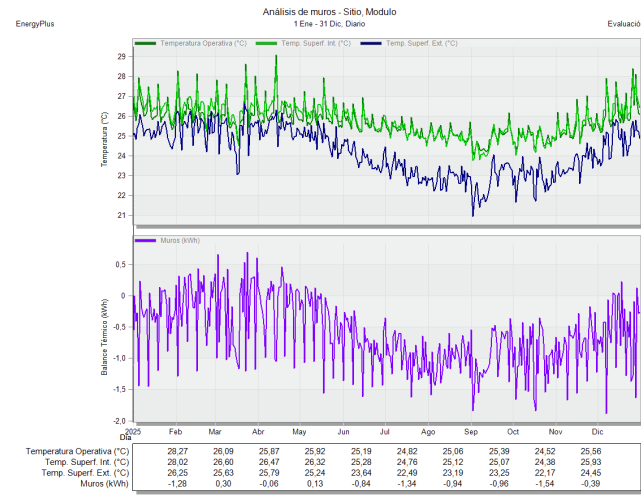
### Anexo 01

Pared: NEC\_P1\_BLOQUE\_EPS50



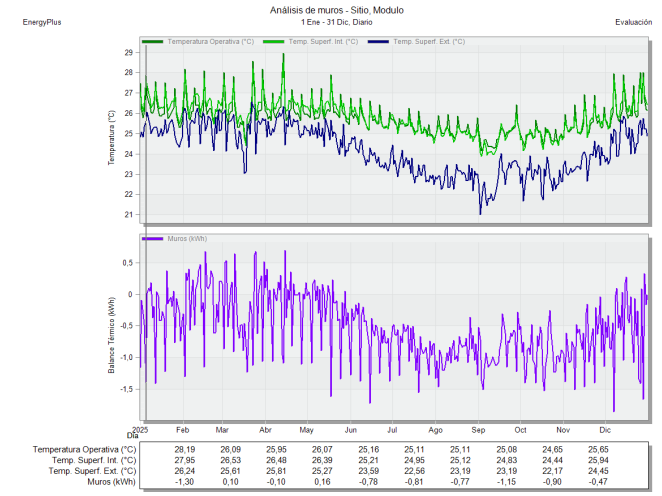
### Anexo 03

Pared: NEC\_P3\_FIBRO\_AIRE\_PU30\_PANEL



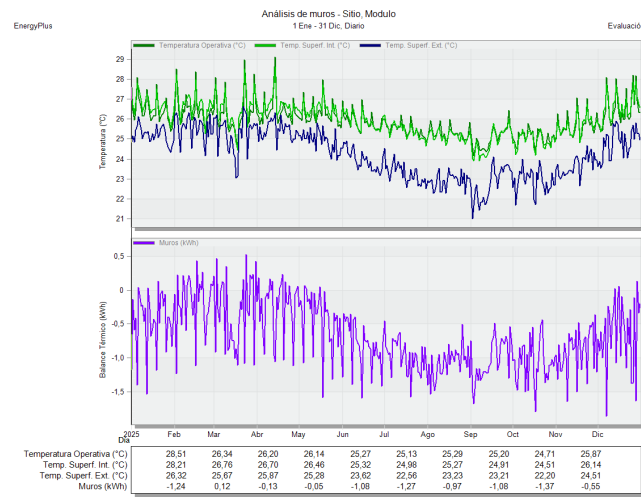
### Anexo 05

Pared: NEC\_P5\_ADOBE\_XPS50\_ENL



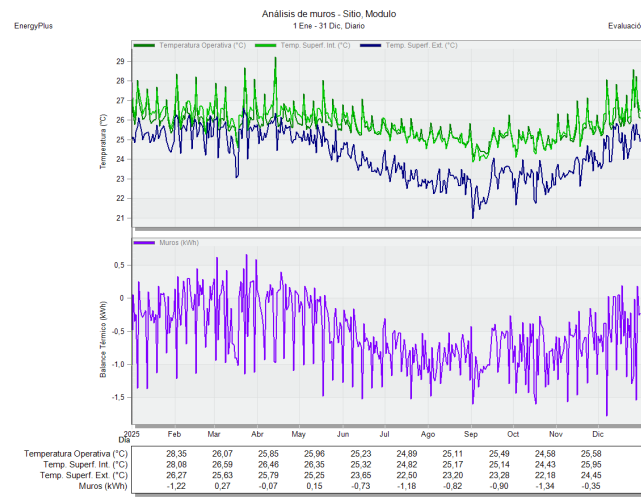
### Anexo 02

Pared: NEC\_P2\_BLOQUE\_XPS50



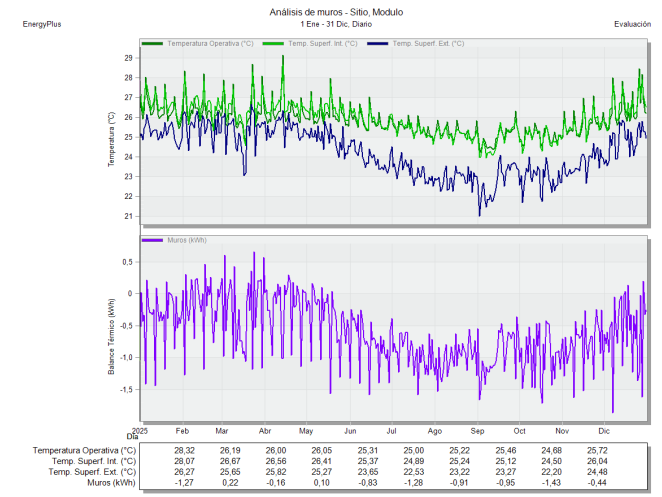
### Anexo 04

Pared: NEC\_P4\_SANDWICH\_EPS75



### Anexo 06

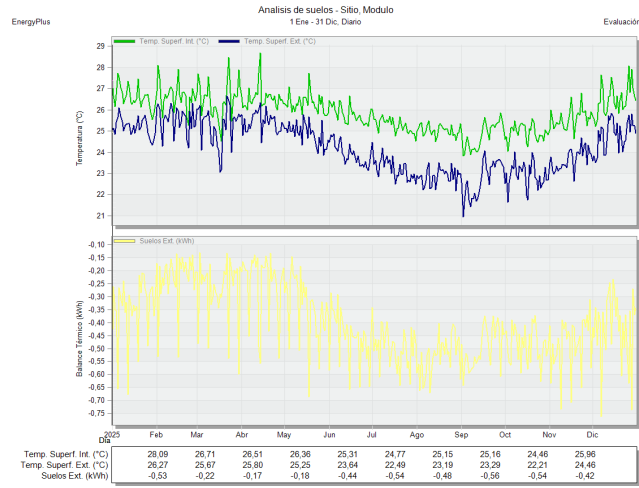
Pared: NEC\_P6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO60





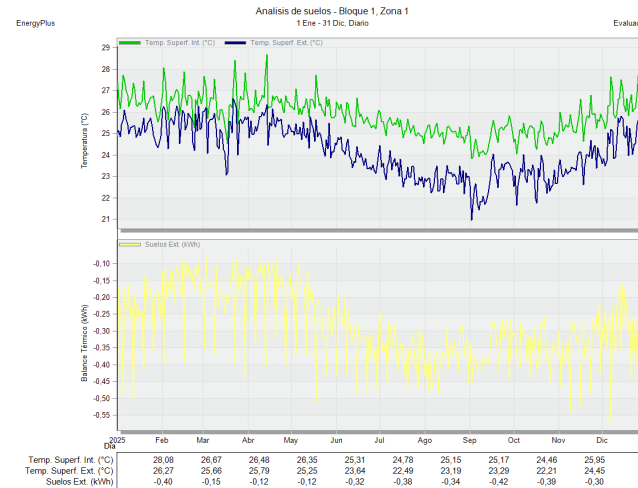
### Anexo 13

Suelo: NEC\_S1\_FIBRO\_AIRE\_XPS50\_OSB



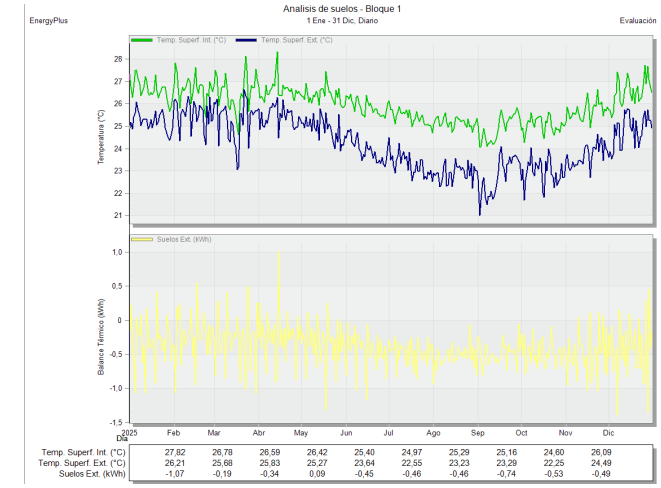
### Anexo 15

Suelo: NEC\_S3\_LOSA\_EPS75



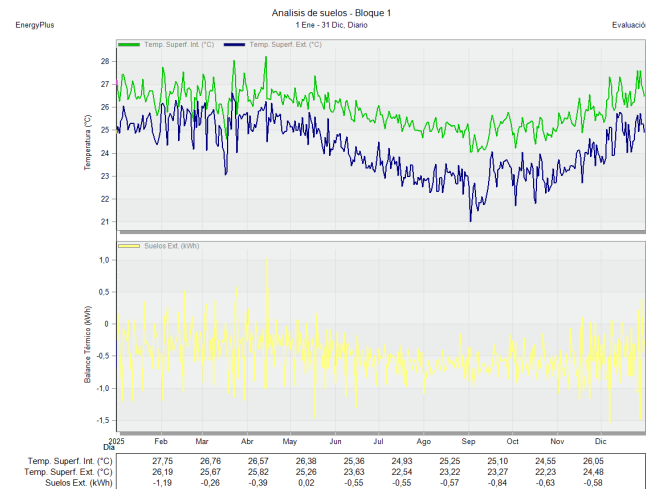
### Anexo 17

Suelo: NEC\_S5\_SANDWICH\_EPS60\_PLY



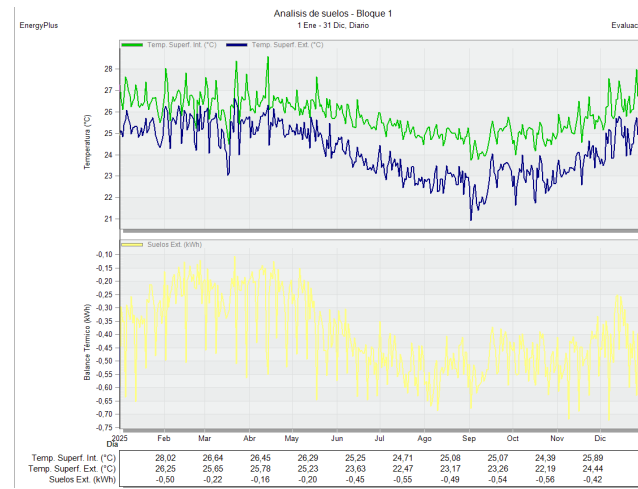
### Anexo 14

Suelo: NEC\_S2\_FIBRO\_PIR60\_PLY



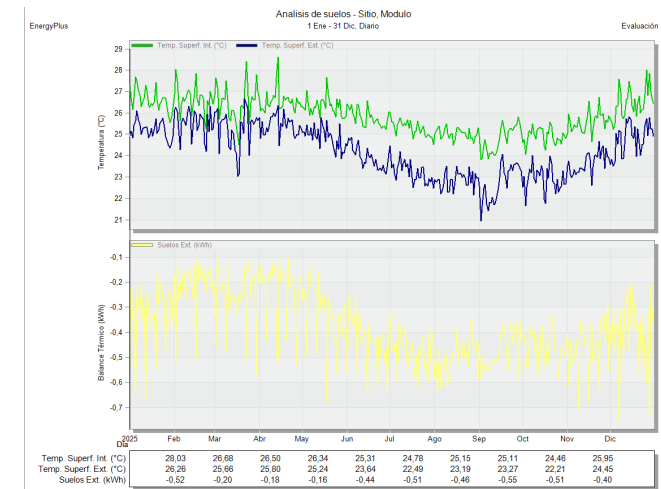
### Anexo 16

Suelo: NEC\_S4\_LOSA\_XPS50



### Anexo 18

Suelo: NEC\_S6\_FIBRO\_AIRE\_CORCHO60\_





**Universidad Politécnica Salesiana**

Sede Cuenca

Carrera de Arquitectura

Cuenca, Ecuador.

2025