



HABITAR LA MEMORIA:

Arquitectura Rural Campesina Como Refugio Frente al Clima

Elaborado por

Arq. Carlos Andrés Cantillo Rengifo

Arq. Laura Valentina Quiceno Piedrahita

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Creación y Hábitat
Maestría en Hábitat Sustentable
Cali 2026

Contenido

1. Abstract.....	4
2. Introducción.....	5
3. Planteamiento del problema.....	5
4. Pregunta problema y objetivos.....	6
5. Marco teórico.....	8
6. Marco referencial.....	10
7. Diagnostico bioclimático Riosucio Caldas.....	12
8. Estado del arte.....	16
9. Metodología y herramientas.....	17
10. Resultados simulación viviendas en bahareque.....	22
11. Resultados simulación viviendas en mampostería.....	24
12. Comparación de resultados.....	26
13. Propuesta de diseño.....	28
14. Discusiones.....	50
15. Bibliografía.....	51



Abstract

El presente proyecto de investigación aborda la integración de las características arquitectónicas de la vivienda rural campesina en la vereda Miraflores, municipio de Riosucio (Caldas, Colombia), en el diseño bioclimático contemporáneo. Este proyecto se centra en el análisis de los elementos tectónicos tradicionales con el propósito de mejorar las condiciones de confort térmico en el hábitat rural. A partir de una revisión en campo de las características bioclimáticas, morfológicas, espaciales y materiales de las viviendas, se estudian las soluciones arquitectónicas que tradicionalmente han respondido a las particularidades climáticas y ambientales de dicho territorio. La investigación integra criterios contemporáneos de arquitectura bioclimática y eficiencia energética para evaluar el desempeño térmico de los materiales y sistemas constructivos tradicionales, por medio de simulaciones en programas como DesignBuilder y Energyplus. Como resultado, se espera desarrollar un modelo de vivienda rural campesina que contribuya simultáneamente a satisfacer las necesidades habitacionales y agrícolas de la comunidad, para promover la recuperación de los saberes constructivos tradicionales a la par de garantizar el confort térmico de sus habitantes.

Palabras clave: vivienda rural campesina, diseño bioclimático, materiales vernáculos, confort térmico.

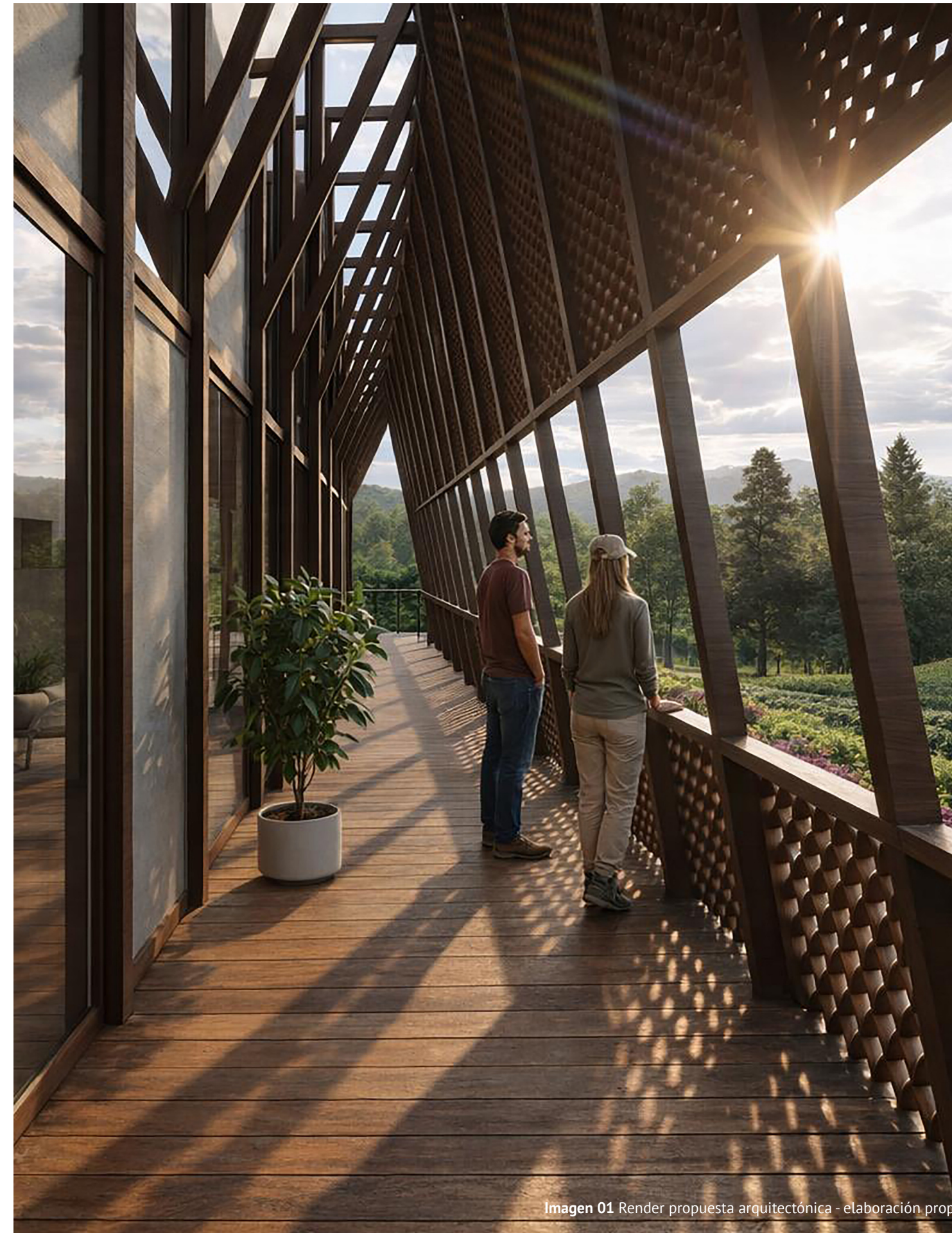


Imagen 01 Render propuesta arquitectónica - elaboración propia

Introducción

La vivienda rural campesina se entiende como un sistema integral donde convergen cultura, naturaleza y territorio. Su morfología, materiales y técnicas constructivas son resultado de un proceso histórico de adaptación a condiciones geográficas, climáticas y agrícolas. Estos saberes vernáculos, transmitidos por generaciones, constituyen patrimonio técnico-cultural y un modelo empírico de arquitectura bioclimática. En este marco, la investigación analiza y evalúa el desempeño térmico de elementos tectónicos tradicionales para adaptarlos a las exigencias contemporáneas de confort térmico y al contexto climático.

Metodológicamente, se recurre a la etnoarquitectura para estudiar el objeto construido en su contexto. El punto de partida es la selección de 12 viviendas en la vereda Miraflores (Riosucio, Caldas), caracterizadas por su relación con la práctica agrícola del café. Mediante visitas de campo se recolecta información cualitativa (observación directa y fichas técnicas) con ejes de análisis en uso, función y símbolo, claves para comprender la adaptación de la vivienda al entorno cultural y natural.

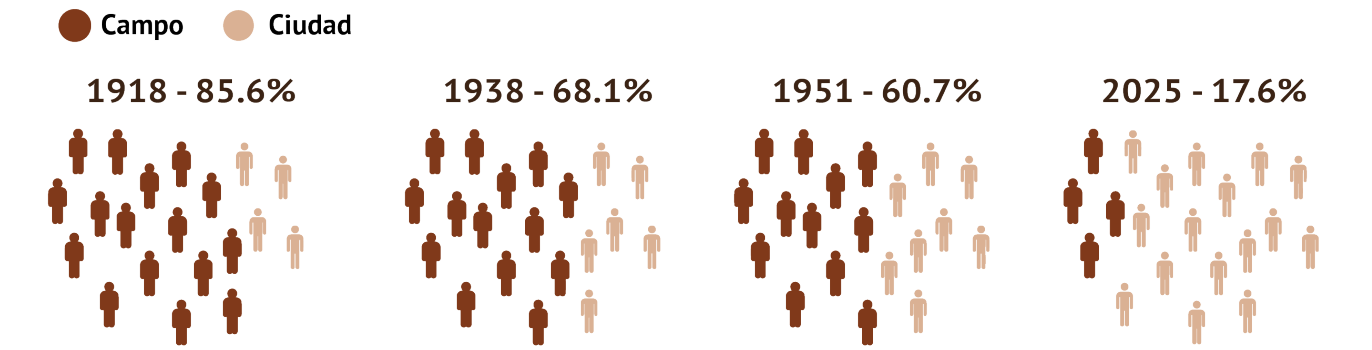
En el componente cuantitativo, se miden variables climáticas relevantes: humedad relativa, temperatura interior y temperaturas superficiales interior y exterior. Las mediciones se realizan tres veces al día durante dos semanas, con el fin de construir una base de datos sobre el comportamiento higrotérmico de las viviendas y la percepción de confort de los usuarios. La información climática se evalúa en paralelo con la percepción térmica.

Con estos insumos, se ejecutan simulaciones en DesignBuilder y EnergyPlus para caracterizar el comportamiento térmico original y las horas en confort de cada vivienda, identificando necesidades de mejoramiento. Finalmente, se propone un modelo de vivienda rural que, desde su orientación, forma y selección de materiales con desempeño térmico óptimo, responda a las necesidades de confort y habitabilidad. La investigación subraya la pertinencia de integrar el análisis de desempeño térmico en la etapa de diseño de viviendas rurales.

Planteamiento del problema

Colombia atraviesa una transición demográfica sostenida hacia la urbanización: la población rural pasó de 85,6% (1918) a 68,1% (1938) y 60,7% (1951); para 2025 se estima en 17,6% (ONU, 2022), coherente con 18% en 2023 (Banco Mundial). Este proceso—impulsado por migración interna, expansión urbana y reconfiguración productiva—ha afectado las dinámicas territoriales y las condiciones habitacionales rurales.

Porcentaje de población campesina en Colombia



Esquema 01 contraste población urbano/rural histórica en Colombia - Elaboración propia

En paralelo, el cambio climático altera profundamente el confort y la habitabilidad: aumentan las temperaturas, cambian los regímenes de humedad y la variabilidad térmica diaria. Los estándares internacionales (ASHRAE 55, ISO 7730), concebidos para climas templados y edificios con climatización mecánica, resultan insuficientes para contextos tropicales naturalmente ventilados (Triana et al., 2020). Se requiere reconfigurar los modelos de confort en el trópico, pues estrategias pasivas antes efectivas podrían perder desempeño con el calentamiento sostenido.

La vivienda rural campesina concebida desde el saber empírico y el vínculo con el territorio es simultáneamente problema y oportunidad. En Miraflores (Riosucio, Caldas), sus elementos tectónicos tradicionales (bahareque, adobe, madera/guadua, teja de barro) expresan identidad cultural y potencial bioclimático. Evaluar su desempeño con herramientas contemporáneas (DesignBuilder/ EnergyPlus) permite caracterizar condiciones de confort y orientar mejoras.

El reto actual es integrar innovación y tradición con base en evidencia. La literatura (Rojas & Altamirano, 2023; Soto-Chahua et al., 2025) revela vacíos en la comprensión integral del confort en ámbitos rurales tropicales: faltan marcos que integren dimensiones socioculturales y adaptativas (percepciones y prácticas cotidianas) con el desempeño físico de la envolvente. El confort debe entenderse también desde las formas locales de habitar.

Problema central: no existe un marco teórico metodológico que articule la tradición constructiva con criterios contemporáneos de confort adaptativo y el contexto climático. Discutir los estándares en el trópico implica proyectar viviendas que autorregulen su comportamiento térmico combinando estrategias pasivas, materiales locales y decisiones espaciales coherentes con la cultura campesina.

Necesidad: investigar cómo integrar los elementos tectónicos tradicionales al diseño espacial y bioclimático para restituir el confort térmico y fortalecer la resiliencia ante transformaciones climáticas y socioculturales.

Pregunta problema

¿Cómo integrar los elementos tectónicos tradicionales en el diseño espacial y bioclimático para mejorar el confort térmico de los habitantes en los espacios de la vivienda rural campesina en Miraflores (Riosucio, Caldas)?

Objetivo general

Diseñar un modelo de vivienda rural campesina a partir del análisis del desempeño térmico de los elementos tectónicos tradicionales para mejorar el confort térmico de sus habitantes.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la función, uso y símbolo que integran la vivienda rural campesina para diseñar un modelo de vivienda rural coherente con el contexto cultural.
2. Analizar el desempeño térmico de los elementos tectónicos y espaciales tradicionales que componen la vivienda rural campesina para mejorar el confort térmico de sus habitantes.
3. Examinar las condiciones que inciden en el confort térmico de los habitantes de la vivienda rural para determinar estrategias arquitectónicas bioclimáticas en el modelo de vivienda rural.



Imagen 02 Parque principal la candelaria Riosucio Caldas - Elaboración Propia

Marco teórico

El confort térmico se entiende como un estado de equilibrio entre las personas y su entorno, resultado simultáneo de procesos físicos (intercambio de calor), perceptuales (sensación térmica) y culturales (hábitos, simbolismos y usos del espacio). En la vivienda rural campesina, donde clima, tectónica y vida cotidiana se entrelazan de forma inseparable, este enfoque posibilita articular estrategias bioclimáticas contemporáneas con soluciones vernáculas sin sacrificar identidad cultural.

Victor Olgyay (1963) plantea una arquitectura en diálogo con el clima, integrando temperatura, humedad, radiación y viento en decisiones de forma, orientación y materialidad. Desde esta perspectiva, el edificio funciona como un organismo termodinámico que media energéticamente entre interior y exterior. En clave rural, esta idea se materializa en coherencias morfológicas y materiales, muros de tierra, teja de barro, madera y guadua, que regulan el microclima interior de manera pasiva y culturalmente pertinente.

Poul O. Fanger (1970) aporta la base científica y normativa con los índices PMV/PPD, consolidados en ASHRAE 55 e ISO 7730. Estos índices estandarizan la neutralidad térmica a partir de variables físicas y fisiológicas, útiles para comparación y control ambiental. No obstante, su aplicabilidad directa es limitada en el trópico y en edificaciones naturalmente ventiladas, por lo que, en contextos rurales, operan como referencia comparativa más que como marco absoluto.

Baruch Givoni (1969) convierte el clima en instrumento de diseño mediante la carta psicrométrica y estrategias pasivas (masa e inercia térmica, ventilación natural, protección solar, cubiertas ventiladas y patios). Estas tácticas explican la lógica de soluciones empíricas campesinas, muros pesados, corredores y aleros, como dispositivos que modulan ganancias y pérdidas de calor para estabilizar la temperatura operativa.

El enfoque adaptativo de Humphreys y Nicol (1998) introduce el papel activo de los usuarios, quienes ajustan el ambiente (apertura/cierre, vestimenta, actividad) para alcanzar confort. ASHRAE 55 incorpora este modelo para edificios naturalmente ventilados y valida la correlación empírica entre la temperatura de neutralidad y la temperatura media exterior prevalente (T_{rm}).

Desde enfoques ecológicos del hábitat, el confort se entiende también como resultado de sistemas socioecológicos donde materialidad, cultura y uso sostienen resiliencia climática. En consecuencia, mejorar el confort en vivienda rural exige integrar elementos tectónicos tradicionales con estrategias pasivas (orientación, masa/inercia térmica, ventilación, sombreado) y con la adaptabilidad del usuario, dentro de marcos metodológicos situados en el trópico.

máx. 300 m²; hasta 2 pisos + altillo 30%; aislamientos laterales 25 m), pero carece de lineamientos bioclimáticos y no promueve técnicamente materiales locales (guadua, tierra, madera) ni su desempeño térmico. A nivel nacional, persiste la aplicación de modelos urbanos al campo (Mandrini et al., 2018; El Colombiano, 2024), con desajustes climáticos y culturales. De ahí la necesidad de revalorizar la tectónica tradicional e integrarla al diseño contemporáneo para garantizar confort adaptativo y sostenibilidad cultural.

Hitos teóricos

1963

Victor Olgyay



El edificio como organismo termodinámico - Diseñar con el clima

1969

Baruch Givoni



Carta psicrométrica - Estrategias pasivas para el confort

1998

Humphreys y Nicol



Confort adaptativo - El confort cambia según el usuario

Hitos normativos

1970

Poul O. Fanger



Índices PMV/PPD - Base científica de ASHRAE 55 e ISO 7730

2005

ISO 7730



Referencia de análisis normativo del confort - estandariza PMV/PPD

2004 - 2021

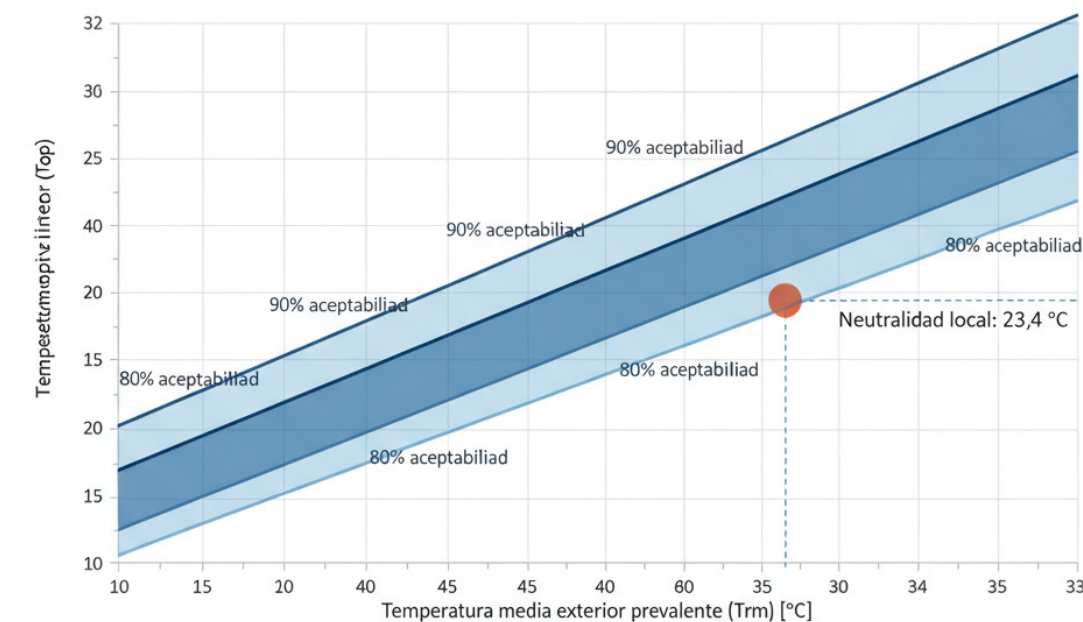
ASHRAE 55



Incorpora el modelo adaptativo para edificios naturalmente ventilados

Esquema 02 Línea de tiempo hitos teóricos y normativos del confort térmico (1963 - 2021)

Banda Adaptativa de Confort (ASHRAE 55)



Esquema 03 Gráfico confort adaptativo con temperatura de neutralidad 23,4 °C y el rango de confort del 80% de aceptabilidad es 19,9–26,9 °C (De Dear & Brager, 1998).

Finalmente, el PBOT rural de Riosucio regula parámetros generales (lote \geq 3.000 m²; ocupación

Tectónica Vernácula

Muros: Bahareque, Adobe

Envolvente: Madera, Guadua, Teja de barro

Elementos: Corredores, Aleros, Patios, Celosías, Calados

Implantación: Orientación E-O, Compasidad

Estrategias Pasivas

Masa térmica: Amortiguación y desfase, Muros pesados

Control solar: Aleros y envolventes extendidas, Colores y texturas

Ventilación natural: Cruzada con aperturas opuestas, Efecto chimenea, Renovación nocturna

Innovación: Invernadero solar para secado del café en segundo nivel, drenaje de aguas lluvias

Acciones adaptativas

Control operativo: Ventanas y lonas

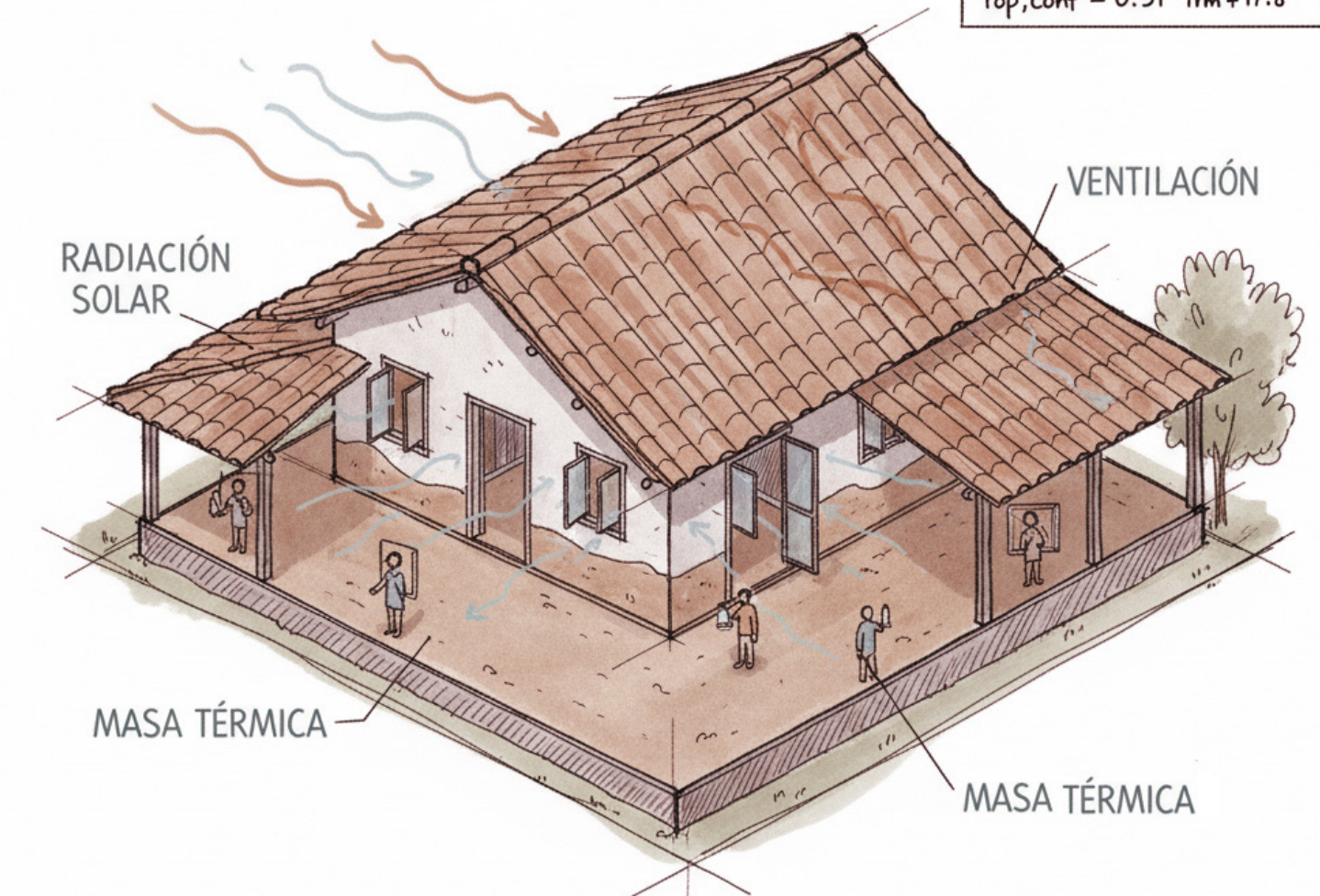
Comportamiento: Actividades relacionadas, Ropa

Gestión productiva: Secado del café

Mantenimiento: Sellado de lonas, Reparaciones locativas

Esquema 04 de la tectónica vernácula al confort adaptativo

CONFORT ADAPTATIVO
19,9 – 26,9 °C
Neutral 23,4 °C
Top, conf = 0.31 - Trm + 17.8



Esquema 05 Síntesis marco teórico, vivienda como organismo termodinámico - Elaboración propia

Marco referencial

Este marco reúne tres referentes que articulan diseño bioclimático, coherencia cultural-material y verificación con simulaciones. Su lectura comparada muestra cómo los proyectos integran datos climáticos, estrategias pasivas y criterios normativos de confort para sustentar decisiones de diseño replicables en vivienda rural naturalmente ventilada.

En la Casa Minga (Solar Decathlon LAC 2019) se evita la dicotomía “pasivo vs activo” y se adopta un enfoque híbrido: orientación de volúmenes para protección solar, ventilación cruzada por aberturas opuestas y persianas móviles (control del usuario), y una estructura-envolvente que actúa como gran cubierta sombreante. La materialidad prioriza baja energía incorporada y muros compuestos en madera con cámara de aire y barrera radiante (aluminio de Tetra Brik®) para reducir ganancia por radiación y mejorar el desempeño en recintos interiores; el proyecto se apoya en simulaciones y anticipa escenarios con mayor temperatura y humedad.



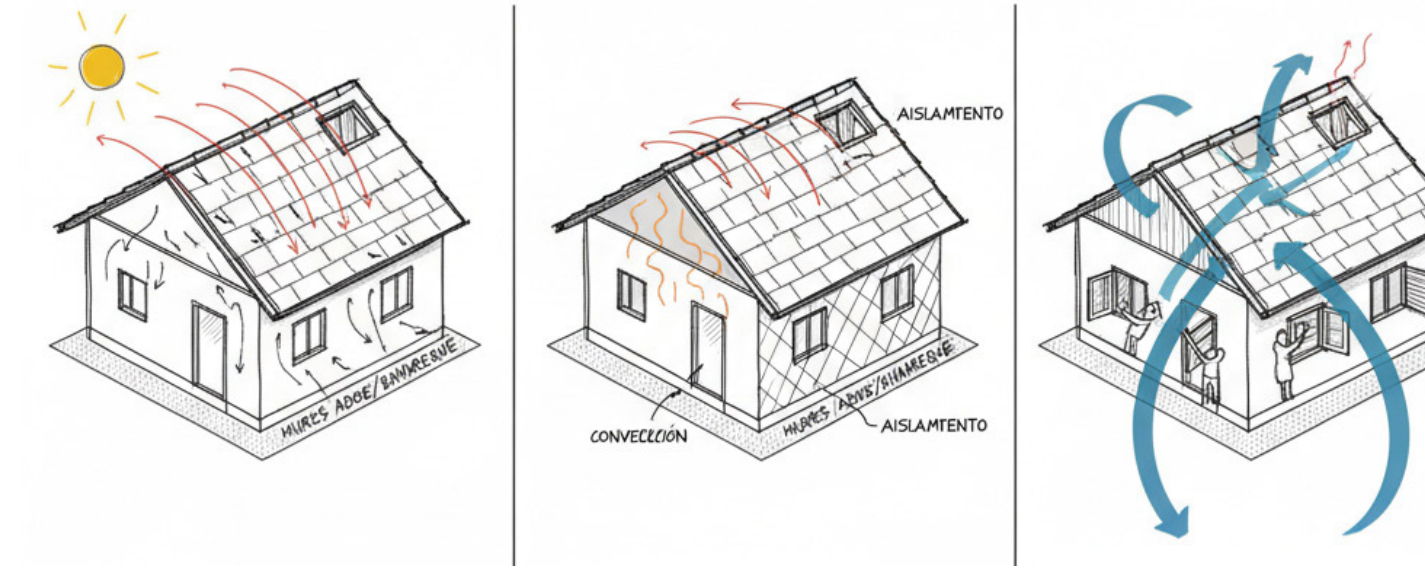
Imagen 03 Casa minga - Página web pontificia universidad javeriana Cali

La Casa en el Carrizal (Daniel Moreno + Sebastián Calero) reinterpreta saberes tradicionales mediante una estructura que integra piso-muro-cubierta con tierra en altura, logrando aislamiento térmico natural y continuidad constructiva. Reutiliza materiales (eucalipto, duelas de chanul, cajas recuperadas) y activa procesos comunitarios (mingas), reforzando economía circular y pertinencia cultural. La estrategia bioclimática se apoya en masa térmica, control solar y ventilación calibrable, demostrando que el conocimiento vernáculo puede traducirse a soluciones contemporáneas de alto desempeño.



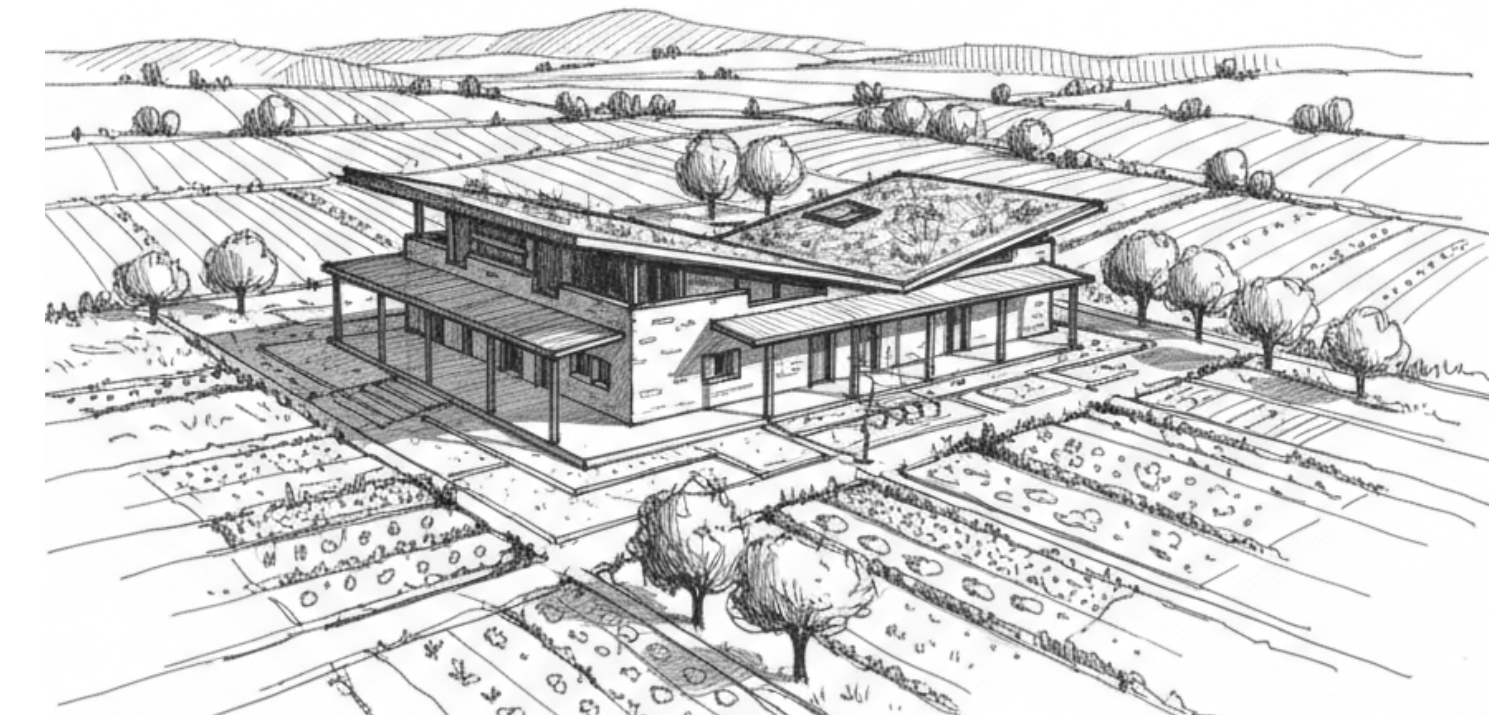
Imagen 04 La casa en el carrizal (Daniel Moreno + Sebastián Calero) - ArchDaily

El proyecto estándar de CRESOL CENTRAL, adaptado a la Zona Bioclimática 2 (NBR 15220-3) en Frei Rogério (Brasil), define tácticas por cartas bioclimáticas: ventilación cruzada, alta inercia térmica (mampostería), protecciones solares y reconocimiento del fogón a leña como carga interna en invierno. Verifica el desempeño con EnergyPlus (8.760 h), comparando escenarios de cubierta (fibrocemento vs teja de barro), con/sin aislamiento, distintos grados de apertura de ventanas y uso del fogón. Evalúa el confort por temperatura operativa (ISO 7730) y grados-hora fuera de confort, y prevé ampliaciones progresivas con bioconstrucción.



Esquema 06 escenarios modelo y KH fuera de control - Elaboración propia

En conjunto, los referentes consolidan un método operativo: clima y contexto - estrategias pasivas y materialidad local - control del usuario - verificación con simulaciones (DesignBuilder/EnergyPlus) bajo criterios de confort (ASHRAE 55, ISO 7730, NBR 15220-3). Este hilo guía el diagnóstico bioclimático y las decisiones de modelación del caso Miraflores, y enmarca la propuesta arquitectónica en un estándar de evidencia comparable.



Esquema 07 Vivienda rural bioclimática - Elaboración propia

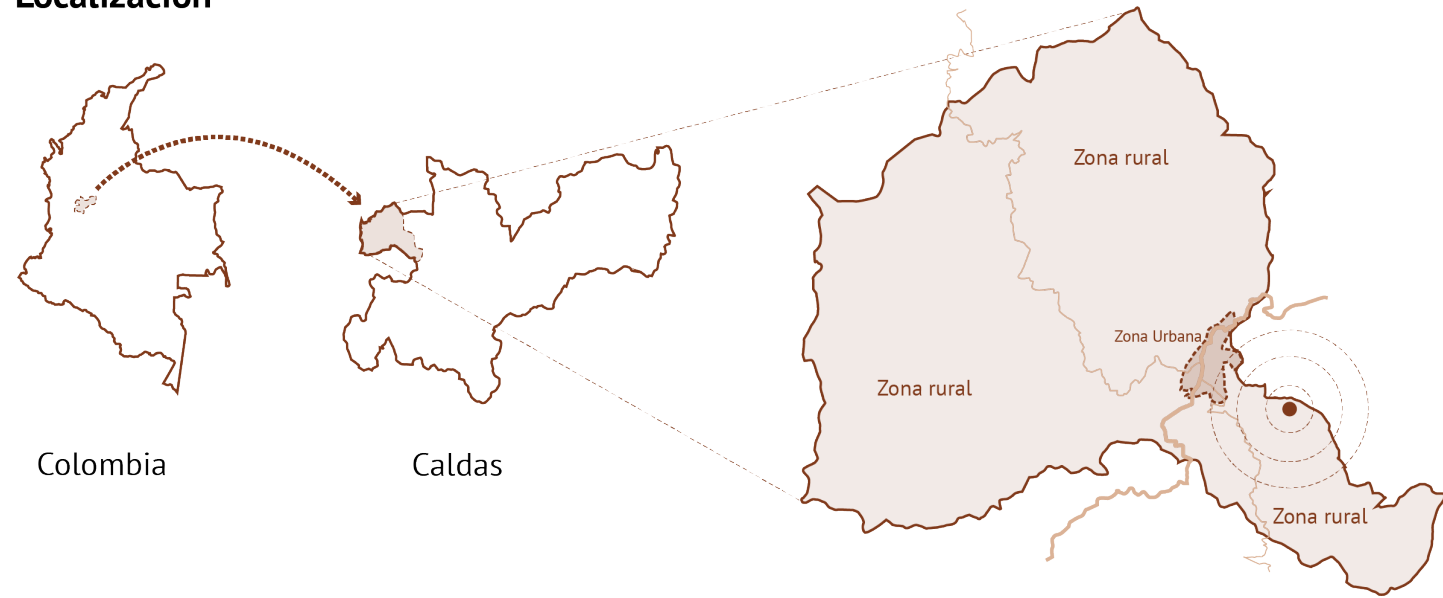


Imagen 05 La casa en el carrizal (Daniel Moreno + Sebastián Calero) - ArchDaily

Diagnóstico bioclimático Riosucio Caldas

El diagnóstico se realizó con Bioclimarq (Gómez-Azpetia, 2023), herramienta que integra variables climáticas (temperatura, humedad, radiación) y criterios de confort adaptativo (ASHRAE 55) para traducirlas en tácticas pasivas de diseño. Dado que no existe archivo EPW específico de Riosucio, se empleó el EPW de Manizales (proximidad geográfica y climática; 2.150 m s. n. m. vs. 1.800 m s. n. m. en Riosucio) como proxy climático.

Localización



Esquema 08 Esquema de localización Riosucio Caldas - Elaboración propia

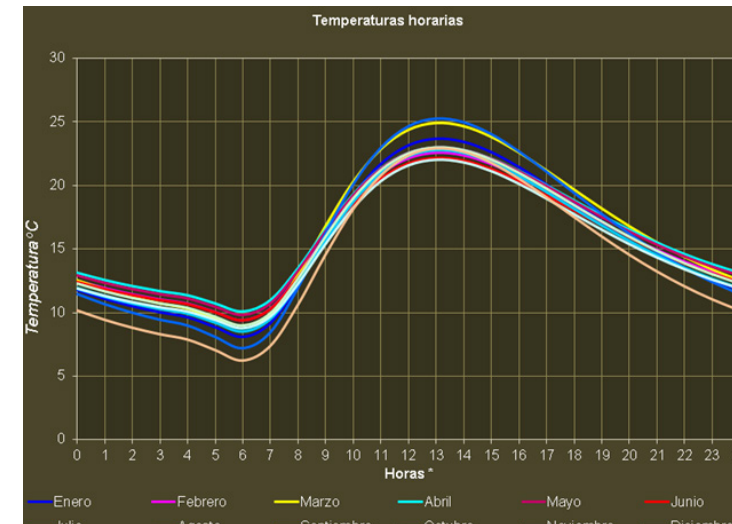
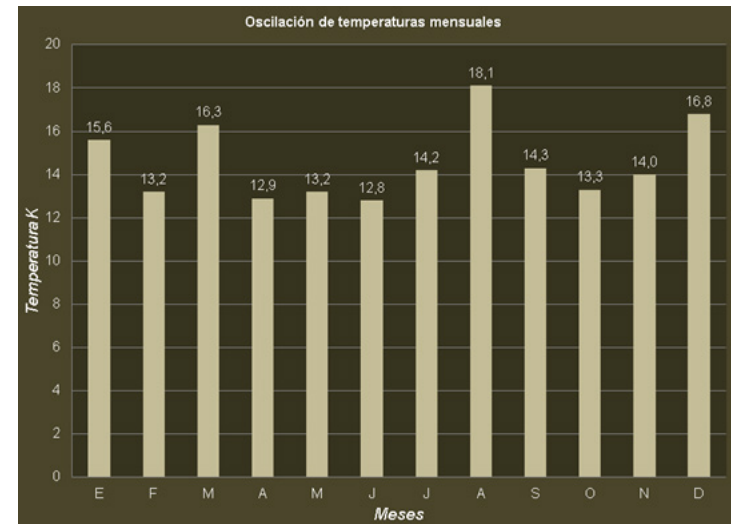
Las temperaturas muestran un régimen templado de montaña con baja amplitud anual y variación diaria moderada. Los picos máximos promedio se registran en agosto (25,3 °C) y marzo (25,0 °C), con meses cercanos a 23,0–23,7 °C (enero, abril, mayo, noviembre, diciembre), lo que sugiere estabilidad anual. Horariamente, las mínimas se concentran entre 0:00–7:00 h (con episodios <10 °C, especialmente junio–agosto), y las máximas entre 11:00–16:00 h (20–25 °C, con puntas próximas a 25–30 °C en marzo y agosto).

Localización	
Nombre del lugar	Manizales Caldas
Latitud	5 ° 3 ' 5,7 "
Longitud	75 ° 29 ' 75,5 "
Zona horaria (UTC)	Huso horario 0,0
Altitud	2160 msnm
Población de la ciudad	454 habitantes

Ubicación del lote en la ciudad		Uso de horario de verano	
En el centro de la ciudad	<input type="radio"/>	Meses con horario de verano	
Entre el centro y la periferia	<input type="radio"/>	Ene	Feb
En la periferia o localidad ruralbana	<input type="radio"/>	Mar	Abr
		May	Jun
		Jul	Ago
		Sep	Oct
		Nov	Dic

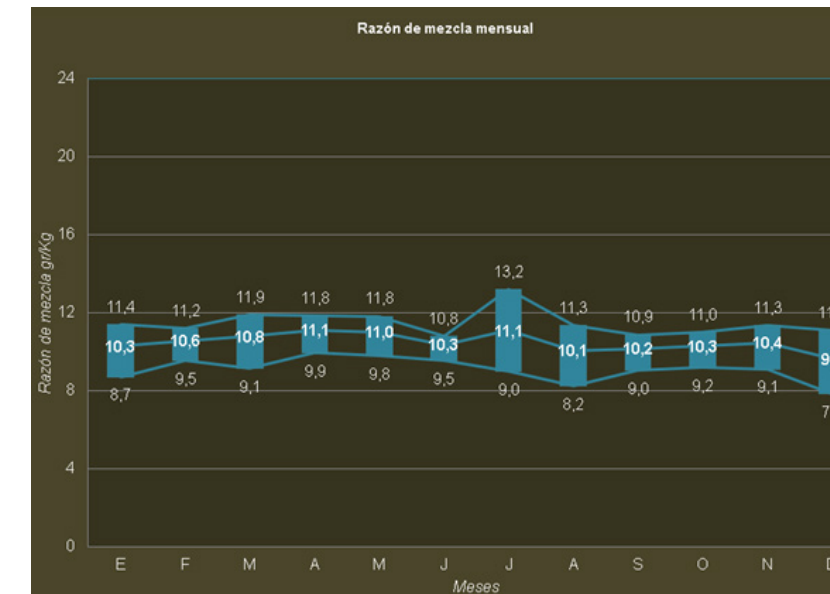
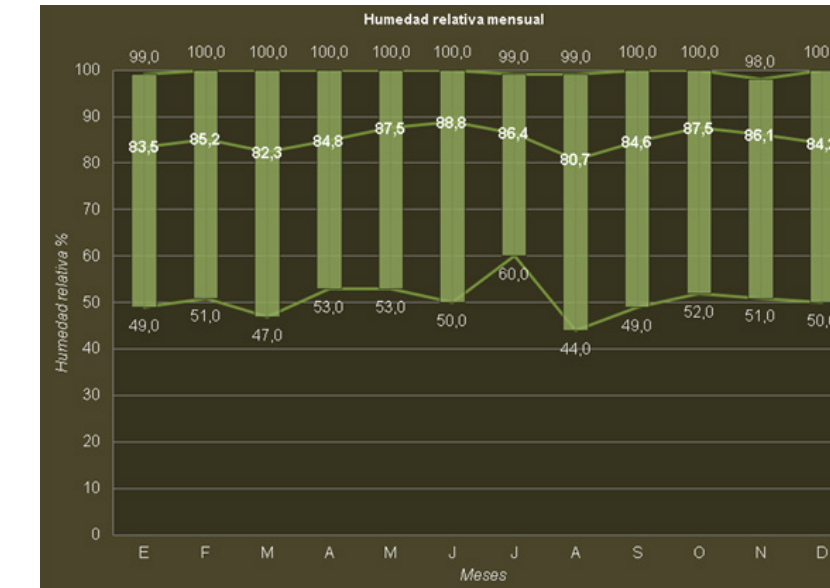
Normales Climatológicas	Meses												Anual	Unidad	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
Temperatura máxima promedio	23,7	22,6	25,0	23,0	23,0	22,2	22,8	25,3	22,8	22,1	23,0	23,0	23,2	23,2	°C
Temperatura mínima promedio	8,1	9,4	8,7	10,1	9,8	9,4	8,6	7,2	8,5	8,8	9,0	6,2	8,7	8,7	°C
Humedad relativa máxima promedio*	99	100	100	100	100	100	99	99	100	100	98	100	99,6	%	
Humedad relativa mínima promedio*	49	51	47	53	53	50	60	44	49	52	51	50	50,8	%	
Humedad relativa media*	83,5	85,2	82,3	84,8	87,5	88,8	86,4	80,7	84,6	87,5	86,1	84,2	85,1	%	
Precipitación pluvial total	128,0	142,1	162,8	232,2	234,6	191,4	161,6	172,4	209,4	247,8	238,1	172,1	2293	mm	
Radiación media s/p. horizontal*														W/m ² día	
Brillo solar efectivo*														horas-mes	
Velocidad media de viento	1,5	1,1	2,2	1,5	1,2	1,1	1,1	1,6	1,2	1,0	1,0	1,6	1,3	m/s	

Esquema 08 Datos de referencia localización - Bioclimarq

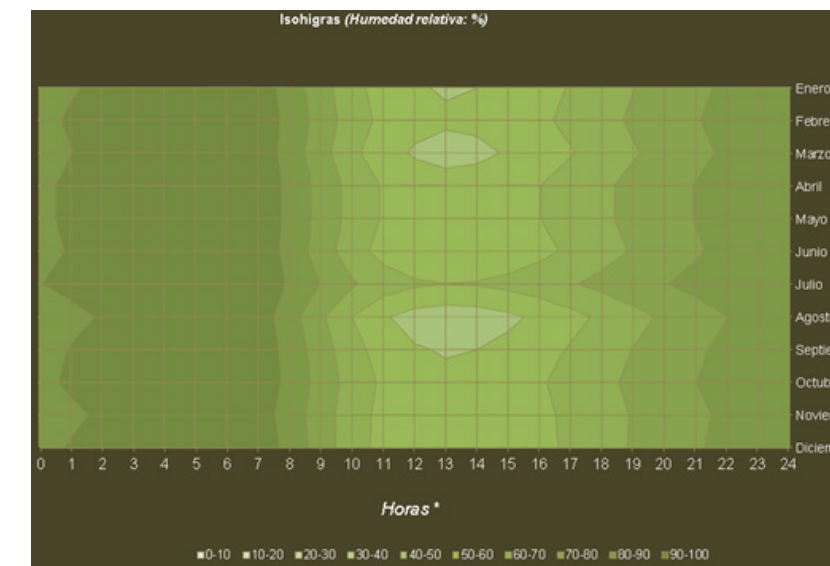


Esquema 09 Tablas oscilación de temperatura mensuales y horarias - Bioclimarq

La humedad relativa es persistentemente alta, con valores nocturnos y de madrugada cercanos a 80–100% y mínimos diurnos de 50–60% en los meses más cálidos. La razón de mezcla promedio 11,1 g/kg (abril, mayo, julio) y desciende a 9,6 g/kg en diciembre. Este patrón higrométrico condiciona el confort (evaporación limitada), por lo que la ventilación natural y la selección de materiales higroscópicos resultan decisivas.

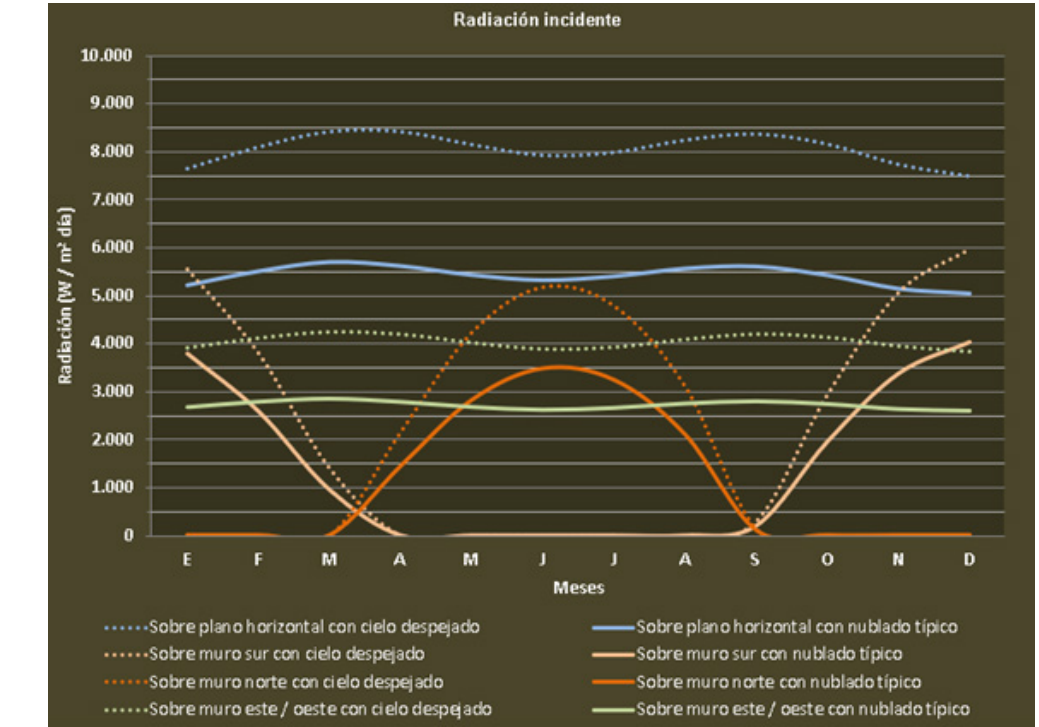


Esquema 10 Humedad relativa mensual - Bioclimarq

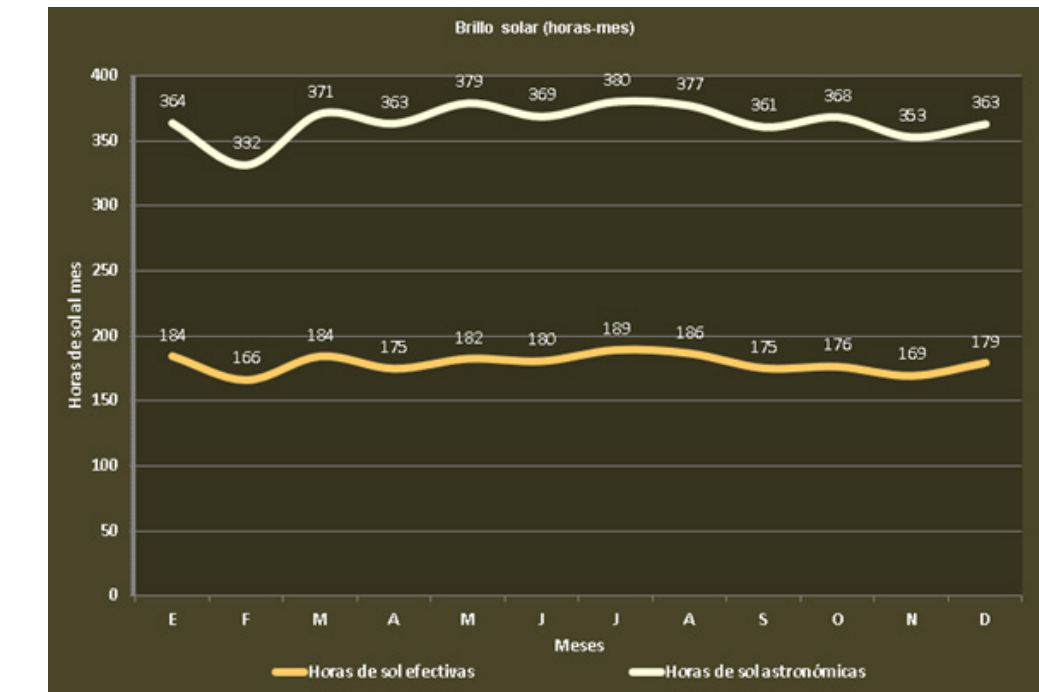


Esquema 11 Isohigras humedad relativa - Bioclimarq

En radiación, el plano horizontal a cielo despejado alcanza valores mensuales integrados más altos en febrero–abril y agosto–octubre (~8.500 W/m²) y más bajos en enero, mayo–julio y noviembre–diciembre (~7.800 W/m²). Bajo cielo nublado típico, la radiación se reduce (~5.000–5.600 W/m²). El brillo solar efectivo es menor en febrero y mayor entre mayo–agosto.

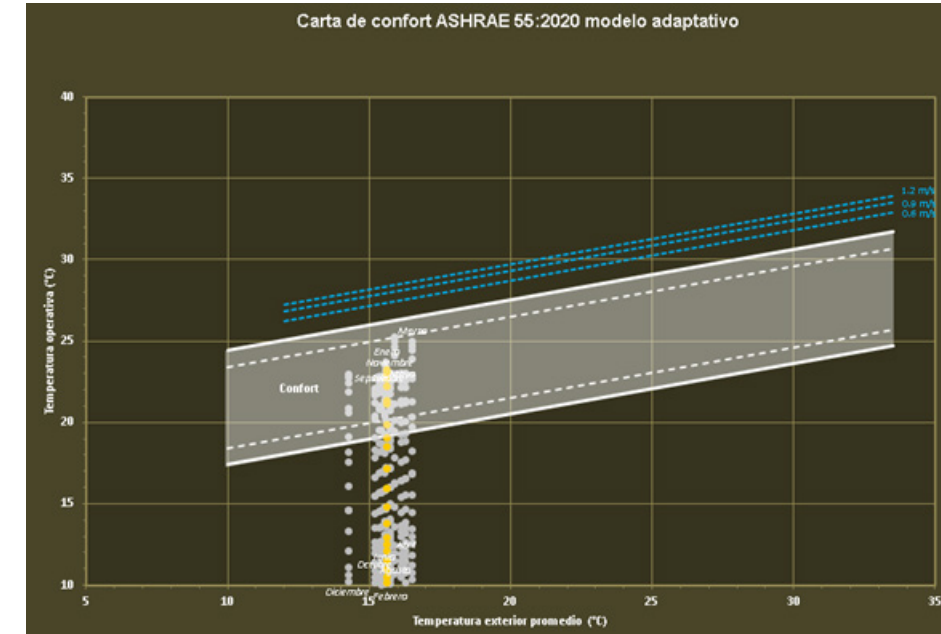


Esquema 12 Radiación incidente - Bioclimarq

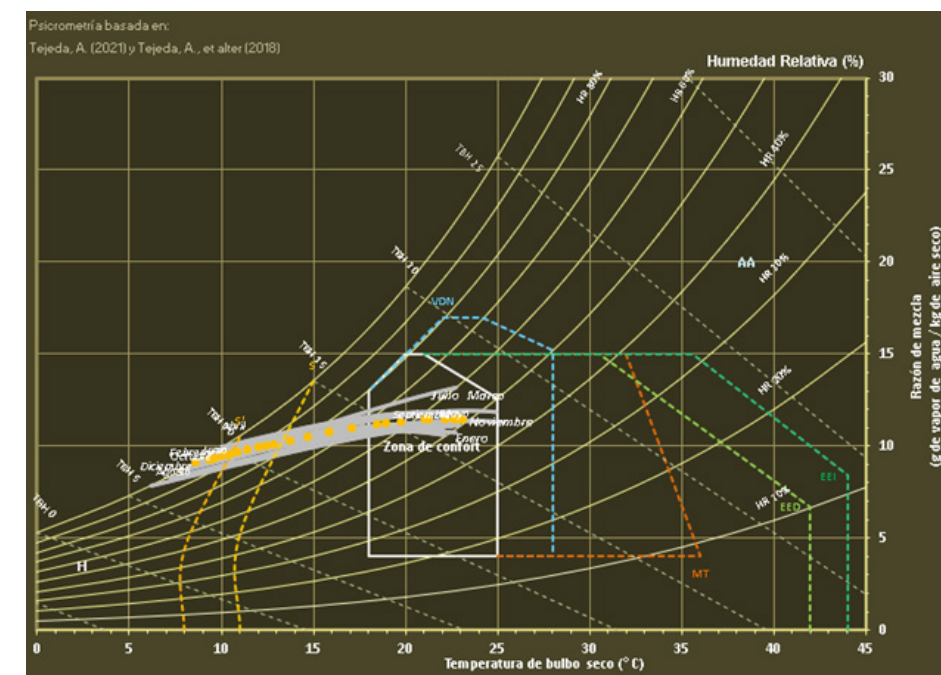


Esquema 13 Brillo solar por horas - Bioclimarq

Las cartas de confort confirman un contexto mayormente neutro a ligeramente cálido, con eventos fríos puntuales. La carta ASHRAE 55 (modo adaptativo) muestra temperaturas operativas interiores entre 18–25 °C frente a exteriores de 14–17 °C, con ligeras incursiones por debajo del límite inferior (sensación de frío) y sin evidencia de sobrecalentamiento. Las cartas de Olgyay y Givoni ubican gran parte de los puntos hacia zonas húmedas, subrayando la necesidad de ventilación natural, control solar y, en determinados periodos, masa/inercia térmica para estabilizar la temperatura operativa.



Esquema 14 Gráfica carta de confort ASHRAE modo adaptativo - Bioclimarq



Esquema 15 Carta de Givoni - Bioclimarq

Definición de confort térmico de referencia:

ASHRAE 55 (modo adaptativo, naturalmente ventiladas): neutralidad local 23,4 °C; rango 80% 19,9–26,9 °C (De Dear & Brager, 1998).

Bioclimarq (síntesis anual): neutral 23 °C; confort 18–26 °C. Nota editorial: ambos marcos se utilizaron como referencias convergentes para lectura y simulación.

Cobertura de confort y requerimientos: las condiciones dentro de confort representan ~37% del año. Para el resto, Bioclimarq recomienda:

Ganancia solar + inercia térmica 0.5: 45%
 Ganancia solar + inercia térmica 0.7: 35%
 Calefacción (H): 19%

Aunque la temperatura media anual (≈16 °C) y la oscilación diaria (~15 K) permiten que cerramientos ligeros funcionen, se recomienda proteger el acristalamiento del sol el 63% del periodo diurno y calibrar la inercia según uso y orientación.

LOCALIZACIÓN		CLIMA	
LUGAR	Manizales Caldas	Presenta condiciones principalmente frías (62% año), y en segundo término neutras (38%).	
LATITUD	5,1 ° Norte		
LONGITUD	75,5 ° Este		
ALTITUD	2.160 msnm		
REQUERIMIENTOS DE CLIMATIZACIÓN		ESTRATEGIAS DE CLIMATIZACIÓN	
Calefacción		Ganancia solar + inercia térmica (0.5)	45
		Ganancia solar + inercia térmica (0.7)	35
		Calefacción*	19

* Estrategia no pasiva. Requiere de energía activa.

Esquema 16 Resumen Serra & Coch- Bioclimarq

Tácticas bioclimáticas orientativas (síntesis de Mahoney y Serra & Coch):

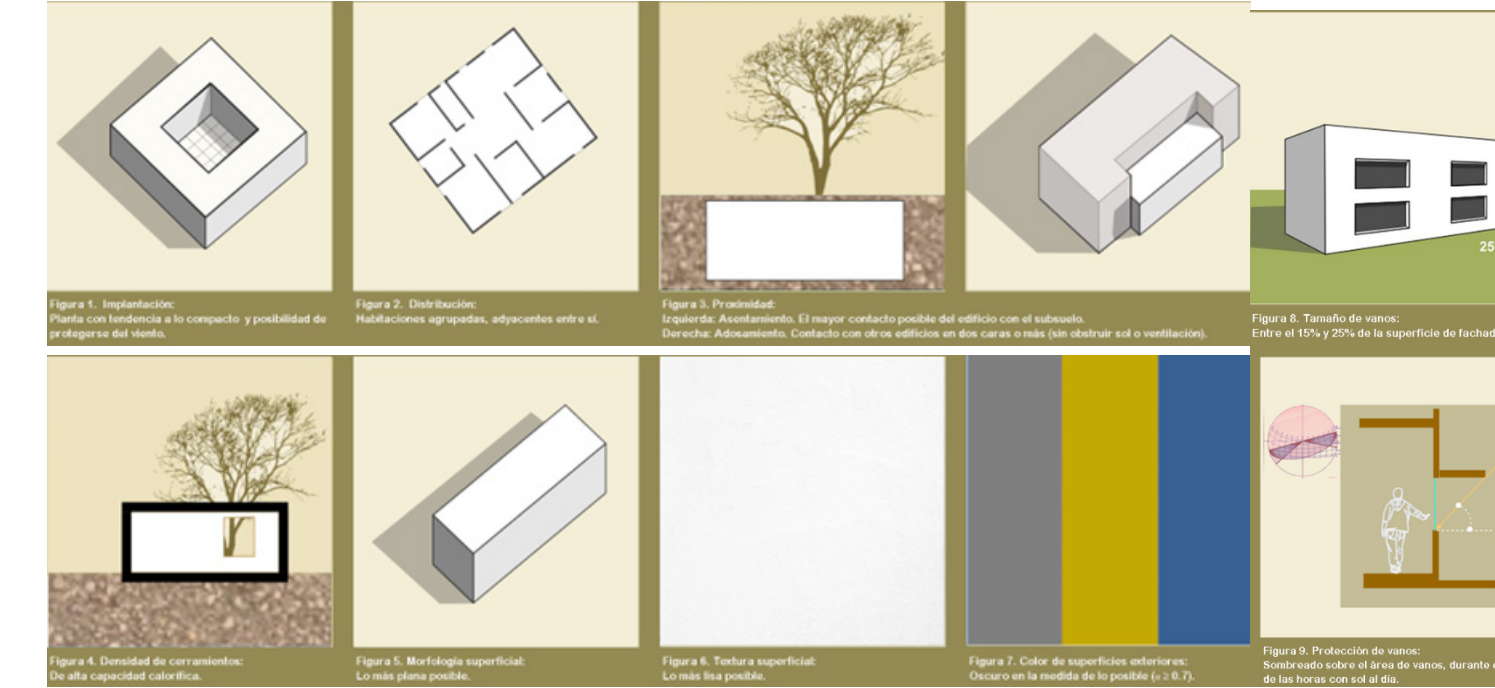
Implantación y forma: orientación N–S con eje largo E–O; planta compacta; habitaciones agrupadas/adyacentes; alta compacidad y adosamiento; asentamiento con máximo contacto con subsuelo cuando sea viable.

Envolvente y vanos: cerramientos masivos con retraso térmico ≥8 h; perforación baja (10–20%) o media (25–40% según Mahoney), con sombreados que bloqueen radiación directa durante el 63% de las horas de sol; control de infiltraciones y protección a lluvia; alta transparencia efectiva en el vano (cuando exista) con buen control solar.

Fachadas: superficies lisas (baja convección), colores de alta absortividad (≥ 0,7) y textura baja para favorecer ganancias solares controladas.

Ventilación natural: no siempre se requiere ventilación cruzada para enfriamiento (Mahoney), pero sí renovación de aire y extracción térmica (lucernas/entretecho) para gestionar HR alta y carga diurna.

Gestión de agua: drenaje exterior eficiente y captación/conducción de lluvias.



Esquema 17 Resumen de recomendaciones de climatización - Bioclimarq

Escenarios de cambio climático: hacia 2050 se prevé +1% de condiciones frías (y –1% neutras); a fin de siglo, +2% neutras y –2% frías. Disminuyen los grados-hora de calefacción (–1% a 2050; –4% a fin de siglo), por lo que conviene prever una reducción paulatina de ganancias solares para evitar sobrecalentamientos futuros. Sugerencia visual: mini–tendencias (líneas) de % condiciones y KH (calefacción).

Horas-Grado Kelvin-Mes (Kh). Escenarios de cambio climático.		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACTUAL
Enfriamiento	Calefacción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 Kh mes
		588	517	540	540	563	556	584	563	568	585		655	6.261 Kh mes
2050														
Enfriamiento	Calefacción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 Kh mes
		569	513	535	531	556	583	585	489	538	618	556	702	6.854 Kh mes
2100														
Enfriamiento	Calefacción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 Kh mes
		582	507	541	532	555	544	574	418	557	571	550	638	6.569 Kh mes

Esquema 18 Resumen de recomendaciones de climatización - Bioclimarq

En síntesis, el clima templado–húmedo de montaña con HR elevada, radiación significativa en equinoccios y noches frías intermitentes demanda una combinación fina de: orientación y compacidad, control solar estacional, ventilación natural regulada y masa/inercia calibradas. Estos insumos alimentan el modelado y la propuesta de diseño bioclimático para Miraflores.



Imagen 06 Vivienda campesina Colombiana - Fuente propia

Estado del arte

La arquitectura rural campesina emerge como un campo clave para la bioclimática contemporánea: sus técnicas vernáculas, lejos de ser “residuales”, constituyen reservorios de innovación sostenible frente a modelos constructivos estandarizados que suelen fallar en contextos rurales y de montaña (Rojas & Altamirano, 2023). En este marco, el estado del arte explora cómo integrar elementos tectónicos tradicionales a diseños contemporáneos que garanticen confort térmico, eficiencia energética y coherencia cultural (función–uso–símbolo).

Dos referencias recientes orientan el horizonte metodológico aplicable a Miraflores (Riosucio, Caldas): Rojas & Altamirano (2023) y Soto-Chahua et al. (2025). Ambos vinculan confort térmico, materialidad y estrategias pasivas en ámbitos rurales latinoamericanos, y validan hipótesis con mediciones y simulaciones, construyendo un puente entre saberes empíricos y conocimiento técnico.



Esquema 19 Comparación esquemática, arquitectura tradicional y vivienda estandarizada - Elaboración propia

Un primer eje es la revalorización de sistemas constructivos tradicionales de tierra, madera y piedra, con alta inercia térmica y baja huella ambiental, capaces de estabilizar microclimas interiores. En Cotopaxi (Ecuador), Rojas & Altamirano muestran que la disposición espacial, el espesor de muros y el uso de adobe/piedra elevan la temperatura operativa interior entre 14% y 23% respecto de edificaciones sin aislamiento. Sin embargo, advierten que la mera materialidad no garantiza confort: la

envolvente debe gestionarse con orientación adecuada, control solar y ventilación natural.

Soto-Chahua et al. (Perú) evidencian que combinar masa térmica con ventilación cruzada reduce significativamente horas de disconfort; integran techos ventilados, patios y cerramientos mixtos (tierra, madera y fibras), equilibrando aislamiento y transpirabilidad. Una constante metodológica es la validación cruzada entre tradición y tecnología: uso de DesignBuilder/Ecotect y cartas de Givoni para contrastar desempeño y decisiones.

Ambos estudios se alinean con ASHRAE 55 e ISO 7730 al entender el confort como respuesta adaptativa: en el ámbito rural, prácticas como el uso del fogón, los ritmos de ocupación y las tareas agrícolas modulan la percepción térmica. La arquitectura se interpreta como sistema abierto donde la tectónica no solo estructura y representa, sino que regula el microclima interior.

Principios bioclimáticos aplicables:

- Orientación y control solar (aleros profundos; jerarquía de fachadas).
- Ventilación natural efectiva (aberturas opuestas; extracción térmica en cubierta).
- Optimización de masa/inercia térmica (amortiguar oscilación diurna).
- Aislamientos naturales compatibles con disponibilidad local.
- Configuración espacial con espacios intermedios (corredores, patios, culatas protegidas).

La literatura también reconoce limitaciones: eficiencia y durabilidad dependen del mantenimiento (adobe/teja) y del perfeccionamiento técnico de la envolvente. Se proponen híbridos compatibles (revoques estabilizados, paneles aislantes naturales) que mejoren el desempeño sin alterar la identidad constructiva.

Desde una lectura hermenéutica, el saber campesino es el “pretexto” que da sentido; los estudios son el “texto” que demuestra materialidad, método y resultados; el “horizonte” es un diseño bioclimático que relea la tectónica tradicional como componente activo del confort.

Persisten vacíos: falta profundizar en percepción térmica y confort adaptativo en comunidades rurales colombianas; integrar dimensiones socioculturales en simulaciones; e instrumentar microclimas de montaña (Miraflores) para calibrar modelos normativos (ASHRAE, NTC 5316) con el desempeño real.

En suma, el estado del arte respalda una vía de acción para Miraflores: integrar bahareque, adobe, madera/guadua, teja, patios y corredores con estrategias de radiación controlada, ventilación natural e inercia térmica; y verificarlo mediante simulación (DesignBuilder/EnergyPlus), observación empírica y participación comunitaria, en coherencia con ASHRAE 55 e ISO 7730. Innovar aquí no es sustituir la tradición, sino leerla técnicamente para responder a clima, cultura y sostenibilidad.

Metodología y herramientas

La investigación adopta un enfoque etnoarquitectónico y bioclimático para desarrollar un modelo hipotético de vivienda rural en la vereda Miraflores (Riosucio, Caldas). Desde la etnoarquitectura (Arboleda, 2018), la arquitectura vernácula se aborda como manifestación viva de adaptación ambiental y cultural; desde la bioclimática (Olgay, 1963; Givoni, 1969), el edificio se asume como organismo termodinámico que media entre clima y habitar. Este encuadre se implementa mediante un enfoque mixto, descriptivo, cuasiexperimental, para comparar el desempeño térmico de viviendas tradicionales y convencionales y derivar estrategias pasivas y decisiones tectónicas pertinentes.

Se seleccionaron 12 viviendas por muestreo intencional: 6 tradicionales (bahareque, guadua, madera) y 6 convencionales (bloque de concreto/ladrillo y cubierta de fibrocemento), todas vinculadas a la práctica del café, con criterios de accesibilidad y conservación.

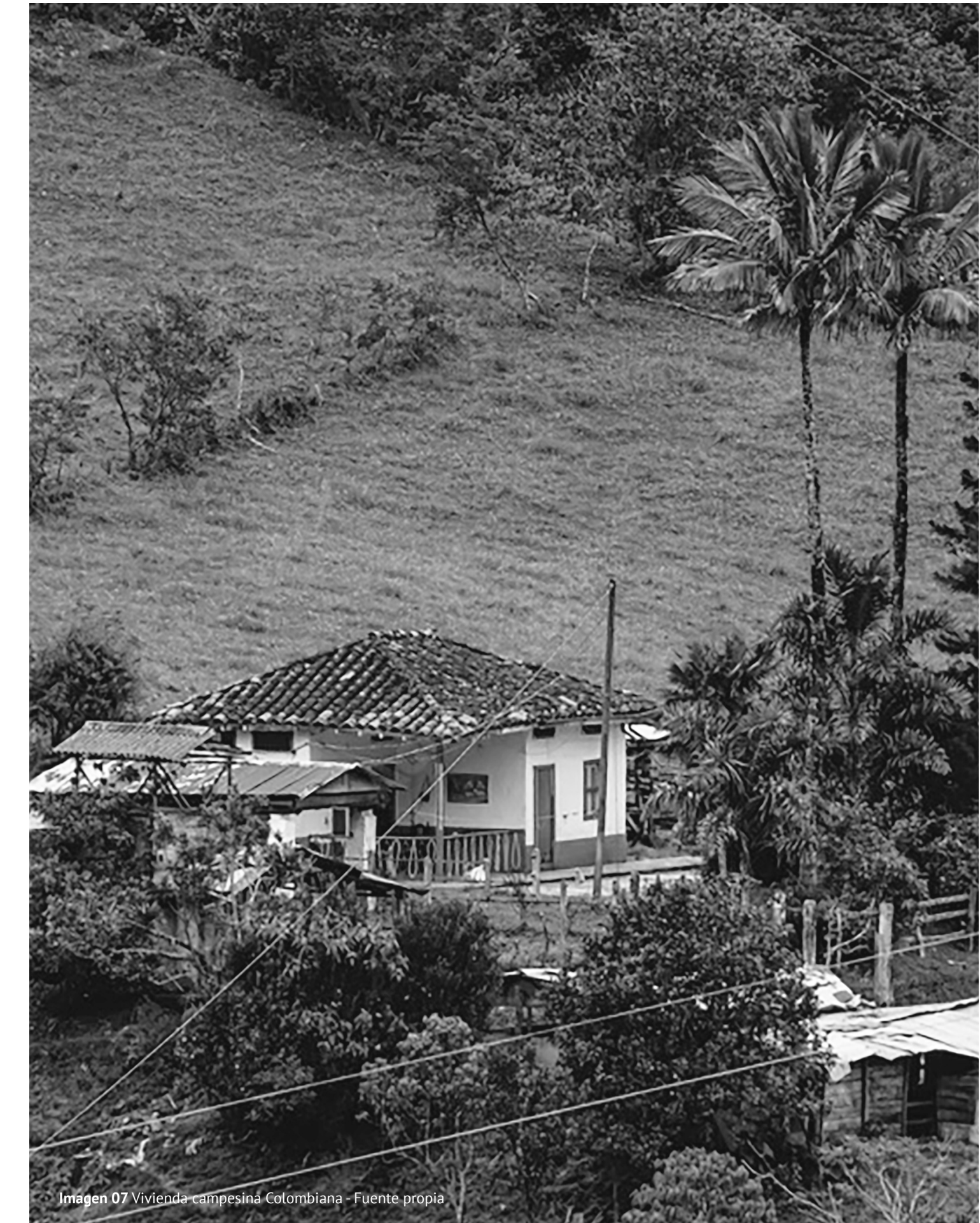


Imagen 07 Vivienda campesina Colombiana - Fuente propia



Imagen 08 Casa de estudio Bahareque 01
Fuente propia



Imagen 11 Casa de estudio Bahareque 04
Fuente propia



Imagen 14 Casa de estudio mampostería 07
Fuente propia



Imagen 17 Casa de estudio mampostería 10
Fuente propia

Imagen 09 Casa de estudio Bahareque 02
Fuente propia



Imagen 12 Casa de estudio Bahareque 05
Fuente propia



Imagen 15 Casa de estudio mampostería 08
Fuente propia



Imagen 18 Casa de estudio mampostería 11
Fuente propia



Imagen 10 Casa de estudio Bahareque 03
Fuente propia

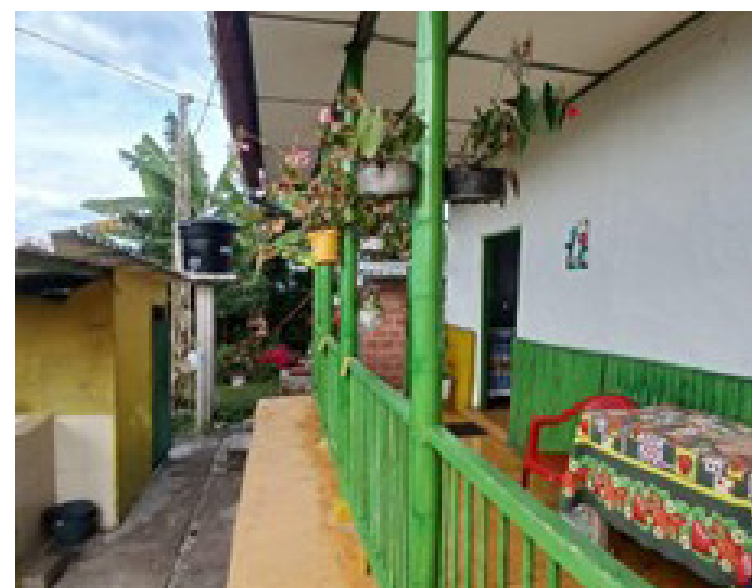


Imagen 13 Casa de estudio Bahareque 06
Fuente propia

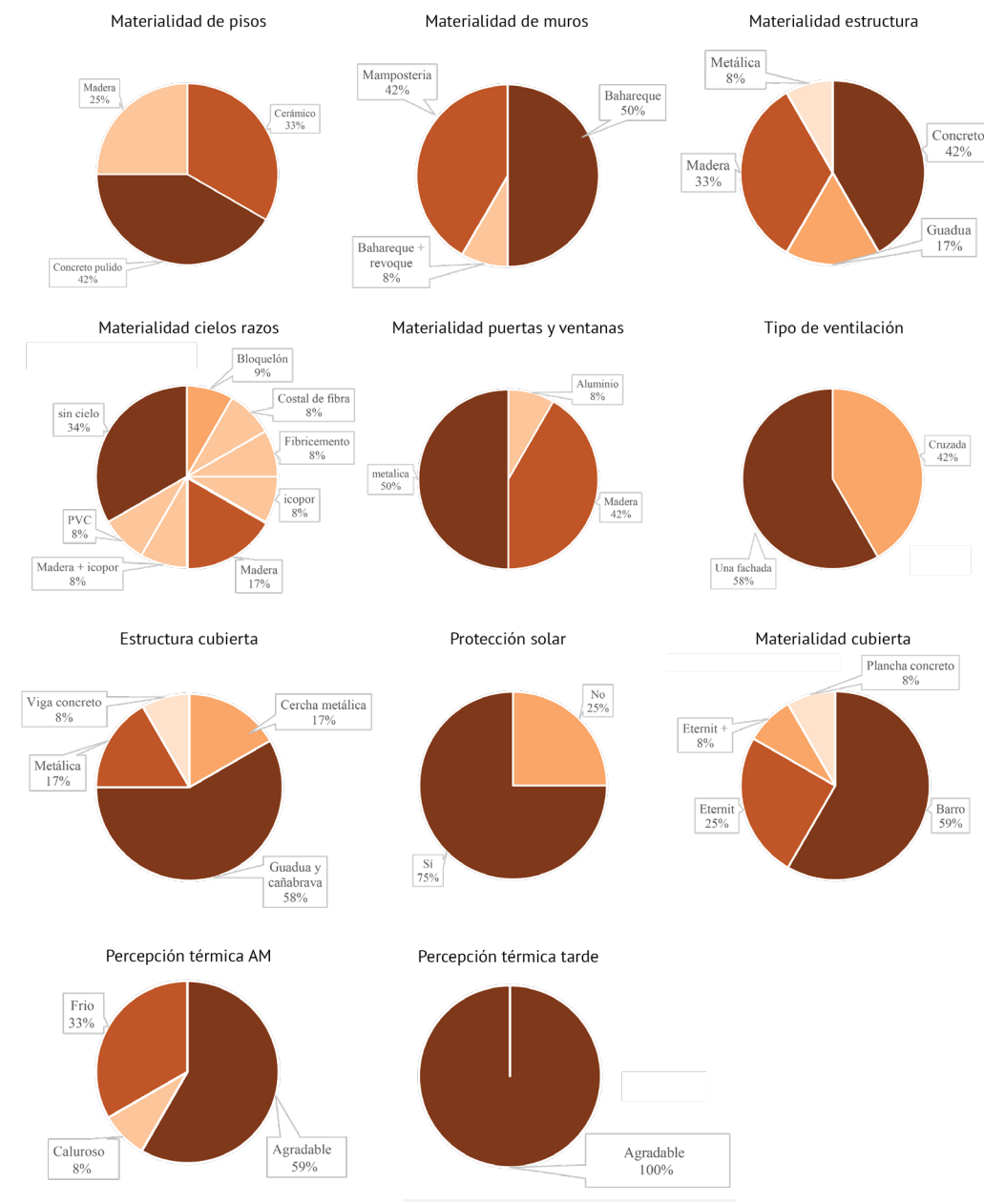


Imagen 16 Casa de estudio mampostería 09
Fuente propia



Imagen 19 Casa de estudio mampostería 12
Fuente propia

Fase I. Observación etnoarquitectónica y levantamiento Se realizaron levantamientos planimétricos, fotográficos y descriptivos; entrevistas semiestructuradas sobre percepción de confort, hábitos de uso y simbolismo; y registro de vestimenta (CLO) según ASHRAE 55:2017. Se aplicó una ficha de observación integral para: información general (antigüedad, habitantes, ocupación), emplazamiento (orientación, topografía, patio, vegetación), elementos tectónicos (cimentación, estructura, envolvente, cubierta, pisos, aberturas), y evaluación del confort (T° y HR medidas + percepción). Se identificaron tipos de ventilación (cruzada, unilateral, por calados), se documentaron elementos tradicionales y aspectos socioculturales (vivienda como espacio productivo y social), transformaciones (cambios de materiales, ampliaciones), y se sistematizó con levantamiento gráfico y registro fotográfico, incorporando observaciones holísticas del sistema vivienda-clima-habitante.

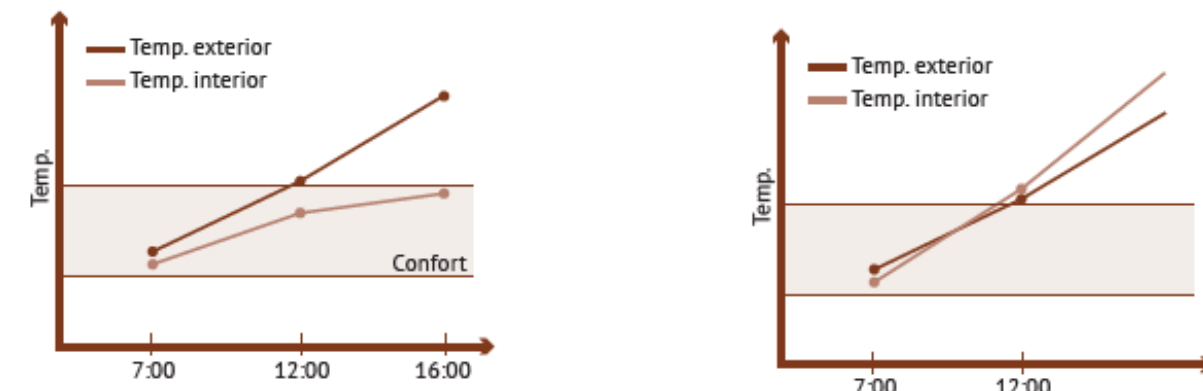


Esquema 20 Análisis de resultados encuestas realizadas in situ - Elaboración propia

Fase II. Medición in situ de variables microclimáticas Se midieron temperatura del aire y humedad relativa con termohigrómetro digital con sonda HTC-2. Antes de cada registro, se calibró y estabilizó 5 minutos para adaptar el equipo al entorno. Se tomaron datos tres veces al día (7:00, 12:00, 16:00), dos días por semana, conforme a NTC 4595 e ISO 7726:1998. En cada vivienda: un punto interior (sala o habitación de mayor permanencia) y un punto de transición exterior (pasillo perimetral en tradicionales; puerta de acceso en convencionales). Los puntos quedaron georreferenciados sobre planta y los datos se sistematizaron en hojas de cálculo para análisis estadístico y correlación con percepción térmica. Hallazgo general: las casas en bahareque presentan menor amplitud térmica diaria y mayor estabilidad higrotérmica; las convencionales exhiben incrementos más pronunciados al mediodía y tarde, y mayor variación de HR.

Casos de estudio		7:00 am			12:00 pm			4:00 pm								
Materialidad	#Casa	Temp interior	HR	Temp exterior	HR	CLQ	Temp interior	HR	Temp exterior	HR	CLQ	Temp interior	HR	Temp exterior	HR	CLQ
Casas de bahareque	Casa 1	21,8°	70%	21,9°	75%	M	24,7°	71%	26°	70%	B	25,2°	55%	28,6°	54%	B
	Casa 2	21,6°	75%	21,7°	75%	M	25°	76%	27°	70%	B	26,1°	59%	29,8°	59%	B
	Casa 3	21,3°	70%	21,9°	67%	M	24,5°	69%	25,7°	67%	B	26°	69%	27,6°	65%	B
	Casa 4	21,7°	70%	21,9°	75%	M	24,8°	70%	25,9°	70%	B	25,5°	55%	28,4°	54%	B
	Casa 5	21,5°	74%	21,7°	75%	M	25°	75%	27,1°	70%	B	26,1°	65%	29,2°	58%	B
	Casa 6	21,6°	75%	21,8°	70%	B	24,7°	70%	26°	65%	B	25,5°	54%	28,7°	59%	B
Casa materiales convencionales	Casa 7	22,3°	67%	23°	68%	M	26,3°	59%	27,3°	65%	B	26,6°	61%	27,9°	63%	B
	Casa 8	21,4°	68%	22,2°	69%	M	25°	66%	28,7°	63%	B	29,3°	64%	26,6°	59%	B
	Casa 9	21,5°	71%	20,5°	69%	B	28°	60%	30°	60%	B	23,7°	61%	26,8°	56%	B
	Casa 10	22°	68%	22,8°	65%	B	26,5°	59%	27°	65%	B	26,2°	62%	27,5°	64%	B
	Casa 11	21,9°	68%	21,7°	69%	M	26,3°	58%	28,5°	64%	B	29,7°	64%	26,4°	59%	B
	Casa 12	21°	65%	20,6°	68%	M	28,5°	60%	29,9°	60%	B	28,1°	65%	27,1°	57%	B

Esquema 21 Tabla de resultados, mediciones microclimáticas - Elaboración propia



Esquema 22 Variación temp. interna y externa en viviendas de bahareque vs viviendas de ladrillo - Elaboración propia

Fase III. Simulación y análisis Se evaluó el desempeño térmico y energético con DesignBuilder v7 (motor EnergyPlus), integrando propiedades termo-físicas, clima local y patrones de ocupación. Se priorizó ventilación natural (sin sistemas mecánicos), activando el Natural Ventilation Model con 6 cálculos por hora (transitorio). Aberturas se configuraron según WWR observado y rosa de vientos; escenarios: (1) ventanas cerradas, (2) 100% abiertas, (3) ventilación cruzada completa. Se modelaron protecciones solares reales (aleros, voladizos, cortasoles) y vegetación inmediata.

Fase IV. Modelado geométrico y definición del entorno climático Las 12 viviendas se modelaron a partir de levantamientos in situ, reproduciendo geometrías, orientación, vanos y dispositivos de sombreado (aleros/persianas), así como arborización próxima. El clima se definió con EPW de la estación más cercana (Manizales) por similitud orográfica, integrando radiación, T°, HR, viento (IDEAM; ASHRAE Fundamentals, 2017). Sugerencia visual: mapa de localización + ficha climática de referencia (EPW Manizales).

Configuración de materiales y sistemas constructivos (U-values) Se calculó la transmitancia térmica según ISO 6946 ($U = 1/R_{total}$), definiendo capas con espesor, conductividad, densidad y calor específico (C_p), para una simulación dinámica:

SISTEMA CONSTRUCTIVO EN BAHAREQUE				
Capa N°	Material	Espesor (m)	λ (W/m-K)	R (m²K/W)
1	Pintura + estuco	0,005	0,87	0,006
2	Repello cemento	0,01	1,4	0,007
3	Barro + cañabrava	0,025	0,35	0,071
4	Cámara de aire (no ventilada, vertical)	0,10-0,12	—	0,18
5	Barro + cañabrava	0,025	0,35	0,071
6	Repello cemento	0,01	1,4	0,007
7	Pintura + estuco	0,005	0,87	0,006

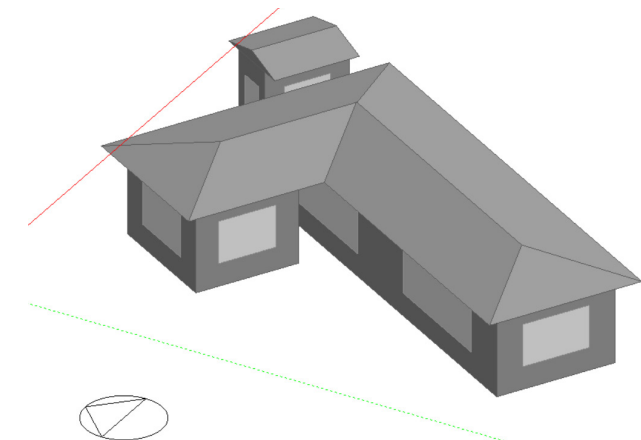
SISTEMA CONSTRUCTIVO BLOQUE DE ARCILLA				
N°	Material	Espesor (m)	λ (W/m-K)	R (m²K/W)
1	Pintura + estuco	0,005	0,87	0,006
2	Repello cemento	0,01	1,4	0,007
3	Bloque arcilla macizo	0,1	0,72	0,139
4	Repello cemento	0,01	1,4	0,007
5	Pintura + estuco	0,005	0,87	0,006

Cubiertas: teja de barro (estructura de madera) en tradicionales y cubierta metálica liviana o fibrocemento en convencionales, con efectos diferenciados en U e inercia.

Sistema	R_{total} (m²K/W)	$U = K$ (W/m²K)
Bahareque	0,52	1,92
Bloque arcilla	0,34	2,94

Esquema 23 Tablas de conductividad térmica y comparación de sistemas constructivos evaluados - Elaboración propia

Actividad interna y cargas internas Se estimó densidad de potencia (W/m²) como sumatoria de equipos/área construida; para viviendas ~70 m², valor representativo 3.5-4.0 W/m² (Lechner, 2015). Rutinas de ocupación según etnografía: días laborales con desocupación diurna parcial y retorno vespertino; fines de semana con mayor ocupación (adultos mayores permanentes y presencia intermitente del resto de la familia). Esta configuración permite modelar interacción entre metabolismo humano (ganancias sensible/latente), ventilación natural y respuesta material.



Esquema 24 Modelo 3D casa de estudio 02 / bahareque en DesignBuilding - Elaboración propia

Resultados

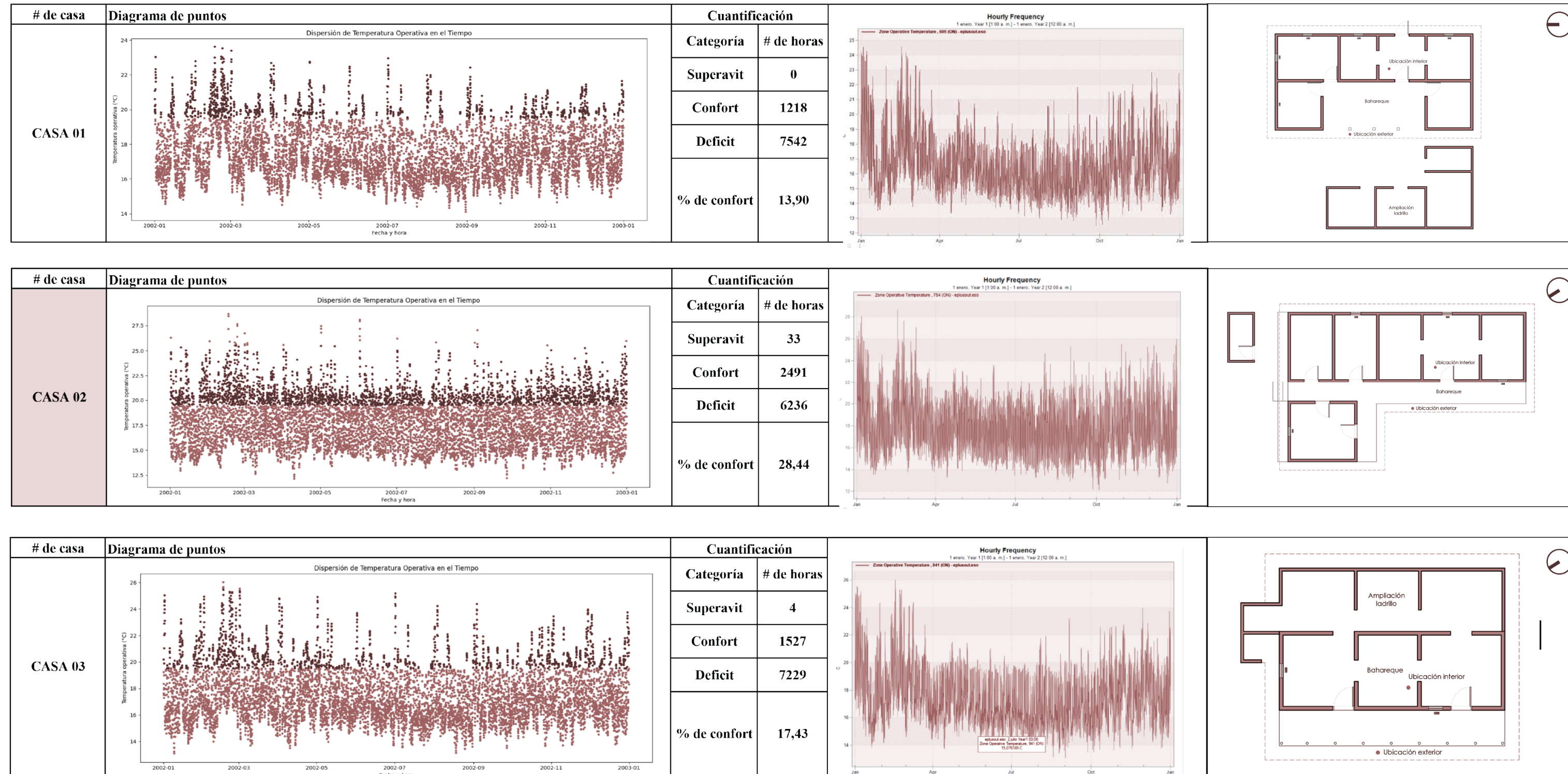
Indicador y criterio de confort: se trabajó con temperatura operativa (TO) por hora del año y se clasificaron las 8.760 horas respecto al rango adaptativo ASHRAE 55 (edificios naturalmente ventilados): 80% aceptabilidad entre 19,9-26,9 °C; neutralidad local 23,4 °C (De Dear & Brager, 1998). Cada hora se codificó como:

Déficit (Rosa oscuro): por debajo de 19,9 °C

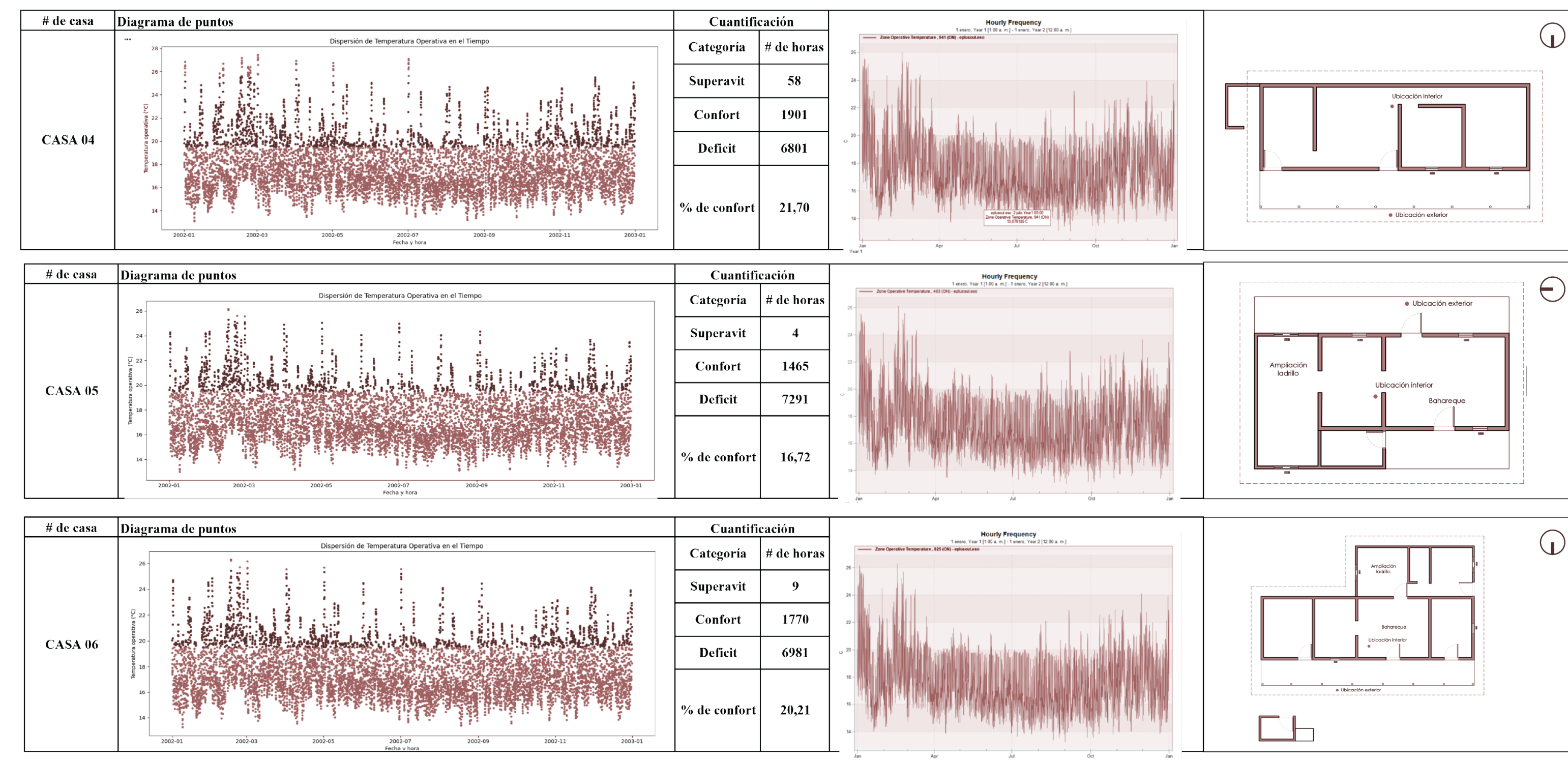
Confort (Rojo): dentro de 19,9-26,9 °C

Superávit (Rosa claro): por encima de 26,9 °C Los datos se exportaron a Excel para graficar la nube de puntos (TO vs. hora anual) y contabilizar horas en cada categoría.

Resultados simulación viviendas en Bahareque

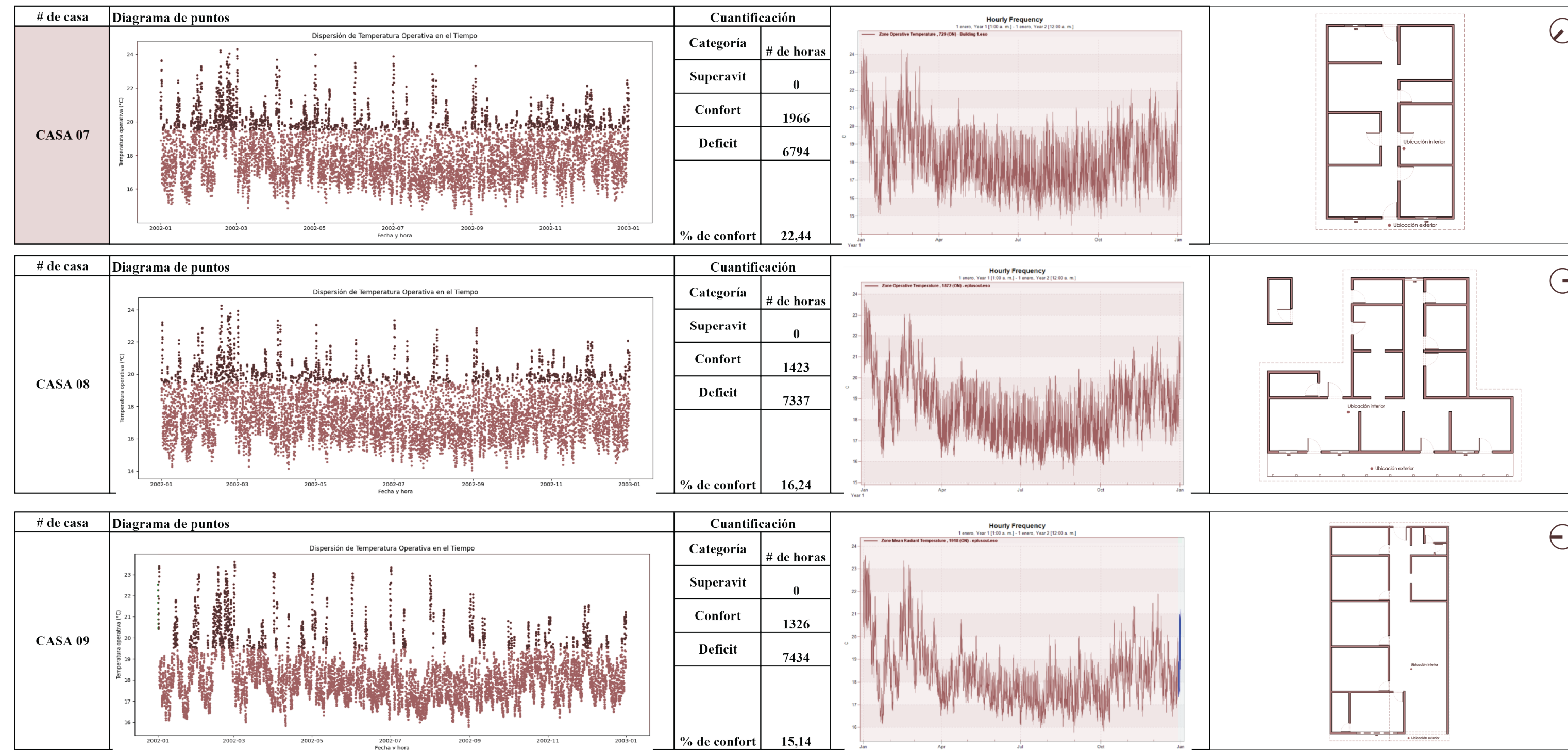


Esquema 25 Análisis de resultados casas 1-3 bahareque - Elaboración propia

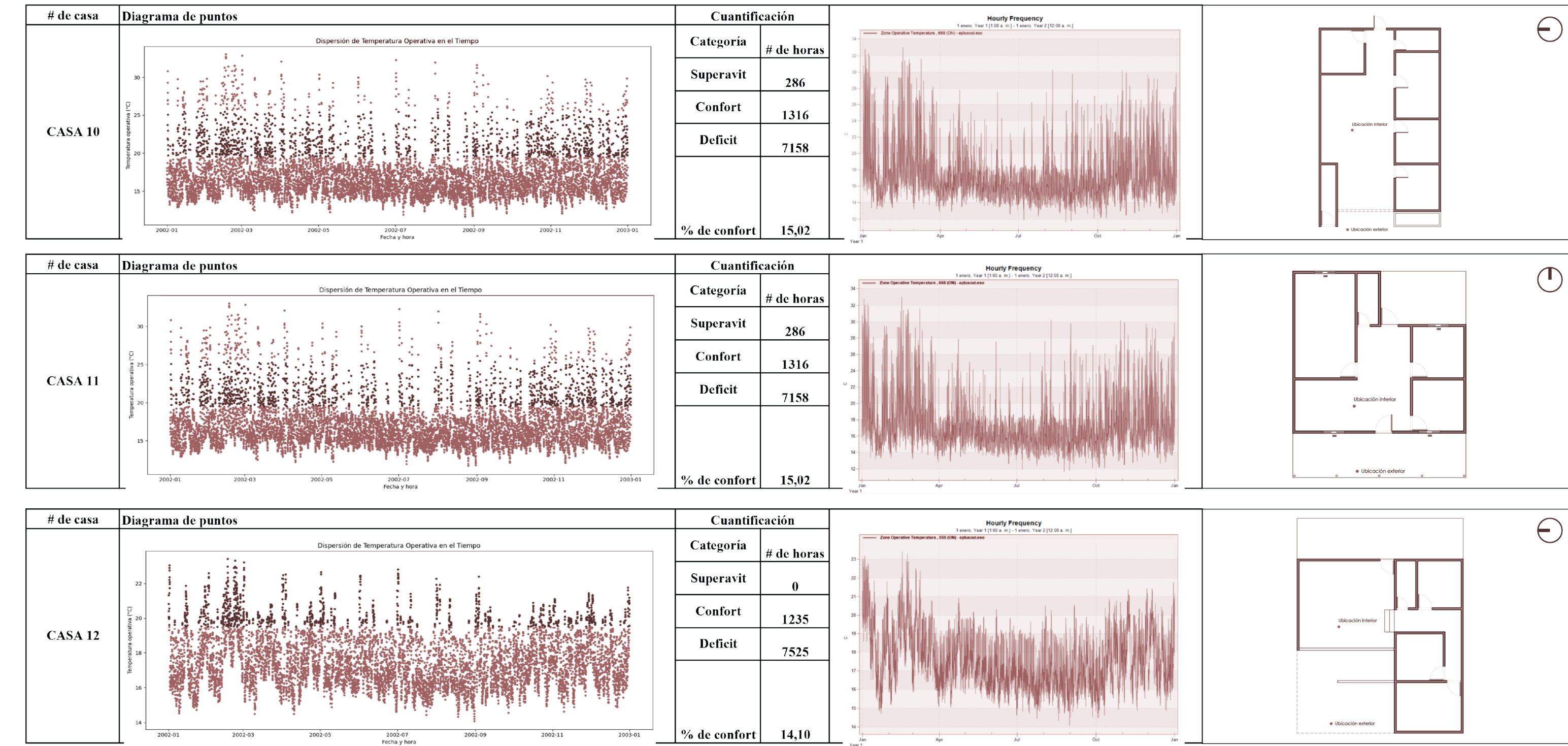


Esquema 26 Análisis de resultados casas 4 - 6 bahareque - Elaboración propia

Resultados simulación viviendas en Mampostería

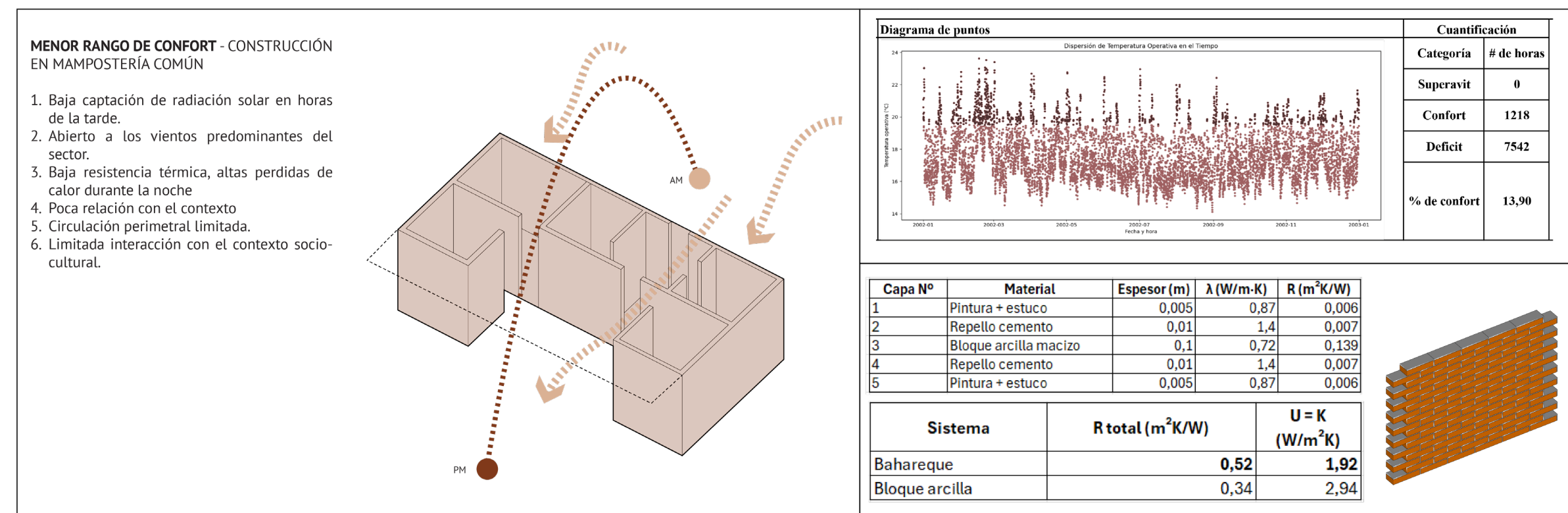
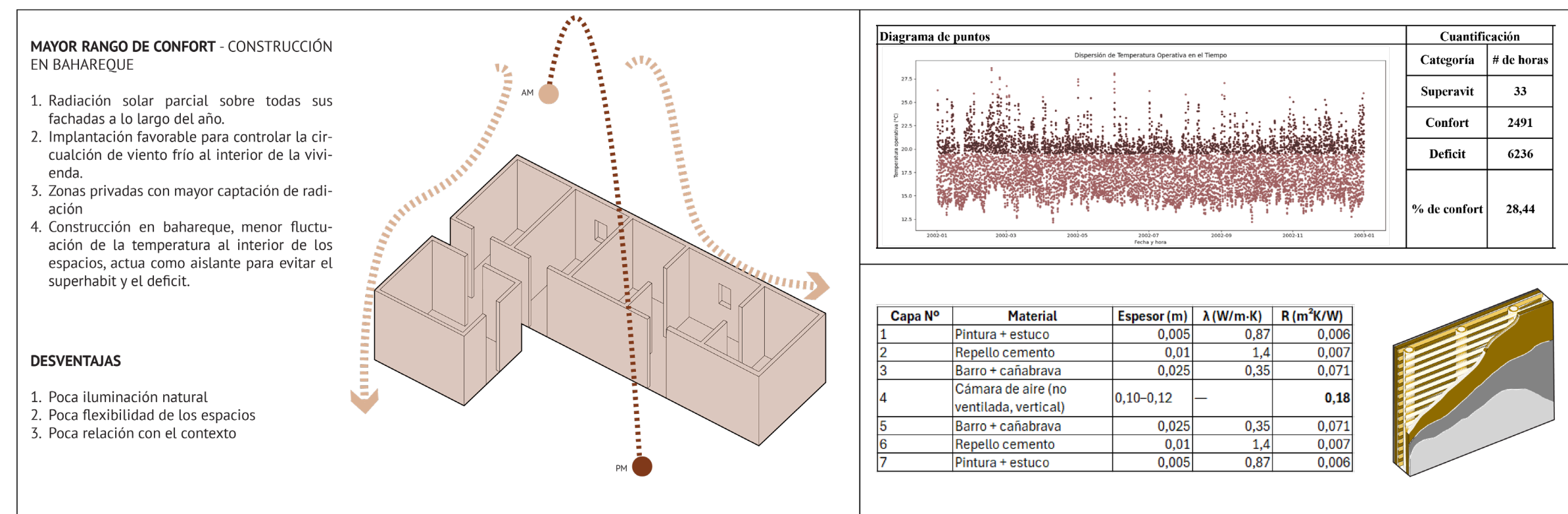


Esquema 27 Análisis de resultados casas 1-3 mampostería - Elaboración propia



Esquema 28 Análisis de resultados casas 4 - 6 mampostería - Elaboración propia

Comparación de resultados



Esquema 29 Esquema comparativo de simulación de viviendas, mejor vs peor desempeño - Elaboración propia

Caso de alto desempeño: **CASA 02**
Horas en confort: 2.491 h/año (28,44% del total).

Rasgos morfológicos y pasivos asociados al buen resultado:

Planta longitudinal con organización lineal y pasillo interior que favorece recorridos de aire y control del asoleamiento. Orientación longitudinal oriente-occidente (eje principal), con el volumen dispuesto aproximadamente a 45° respecto al Norte, lo que reduce exposición crítica en fachadas extensas y facilita el control de ganancias solares en mañana/tarde. Relación superficie envolvente/volumen interior contenida (menores pérdidas por conducción) y dispositivos de sombreado efectivos (aleros/voladizos).

Efecto global: mayor estabilidad higrotérmica y reducción de déficit nocturno.

La vivienda tradicional en bahareque, cuando mantiene organización longitudinal, sombreados adecuados y ventilación cruzada, muestra mejor amortiguación térmica diaria (mayor número relativo de horas en confort) frente a convencionales con envolventes de mayor U y menor control solar. No obstante, los resultados también evidencian que la tipología por sí sola **no garantiza confort**: la orientación, compacidad, jerarquía de vanos y dispositivos de sombreado determinan gran parte del desempeño.

La nube de puntos (TO anual) se consolidó como métrica central para decidir orientación, control de vanos/sombreado y nivel de inercia térmica requerido por recinto, preparando la transición hacia la Propuesta (sección 12) y la verificación de su mejora en horas de confort.

Hallazgos:

- Las casas tradicionales amortiguan mejor la oscilación térmica diaria; las convencionales exhiben picos térmicos y mayor HR variable.

- La orientación longitudinal E-O, la compacidad y los sombreados calibrados son decisivos para aumentar horas en confort.

- La ventilación cruzada efectiva (con reglas de apertura) reduce el tiempo en superávit y mejora el secado higrotérmico.

- La evaluación con banda adaptativa (19,9–26,9 °C; neutral 23,4 °C) permite una lectura consistente del desempeño y sus márgenes de mejora.

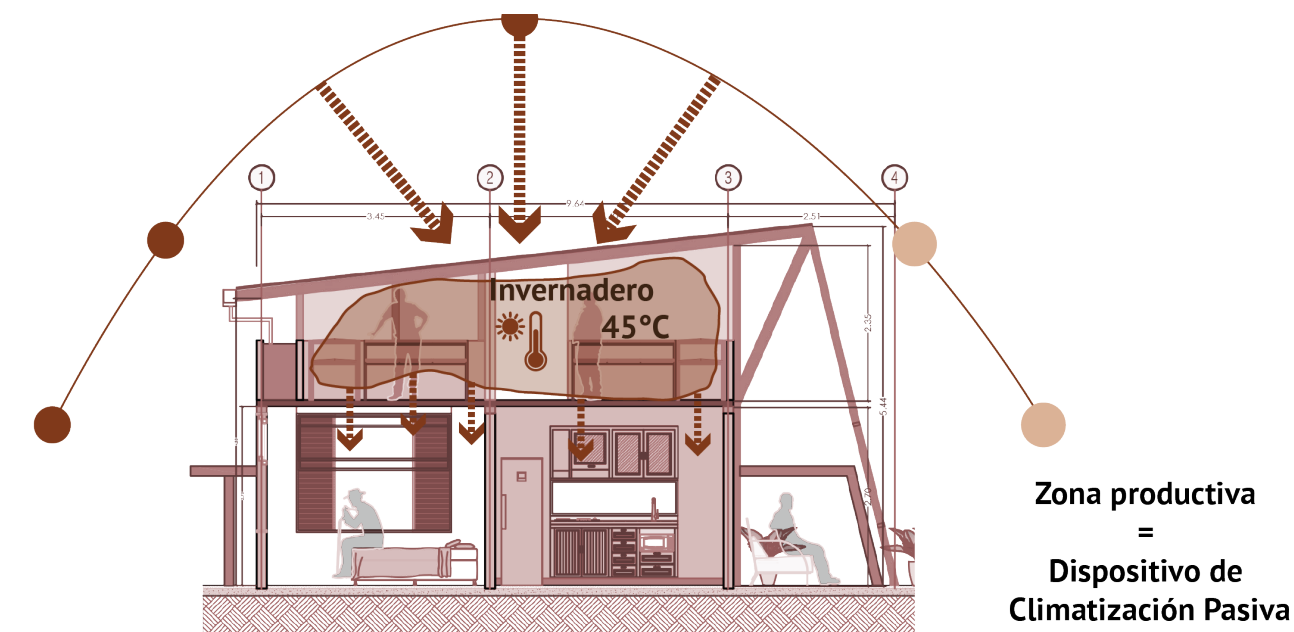


Imagen 20 Casa de estudio 02 en bahareque - Fuente propia

Propuesta de diseño

Enfoque general y principios La propuesta surge de integrar tres insumos: 1) las mediciones y observaciones etnoarquitectónicas en Miraflores, 2) el diagnóstico y las cartas bioclimáticas (ASHRAE 55 adaptativo; Olgyay; Givoni) y 3) simulaciones con DesignBuilder/EnergyPlus. La vivienda se concibe como un sistema climático pasivo que articula orientación, morfología y materialidad vernácula con el proceso productivo del café, para maximizar horas en confort bajo el modelo adaptativo.

El proceso del café como rector del diseño. La cadena postcosecha, en particular el secado, exige descender la humedad del grano de ~50–55% a 10–12% en condiciones térmicas controladas (~40–45 °C) y ventilación moderada. Por ello, la vivienda integra explícitamente el secado del café en su segundo nivel, que opera como invernadero solar. Así, el “hacer productivo” y el “habitar” se entrelazan térmica y espacialmente: el nivel superior capta y eleva la temperatura (~45 °C), mientras transfiere calor gradualmente al nivel habitable inferior.



Zona productiva =
Dispositivo de Climatización Pasiva

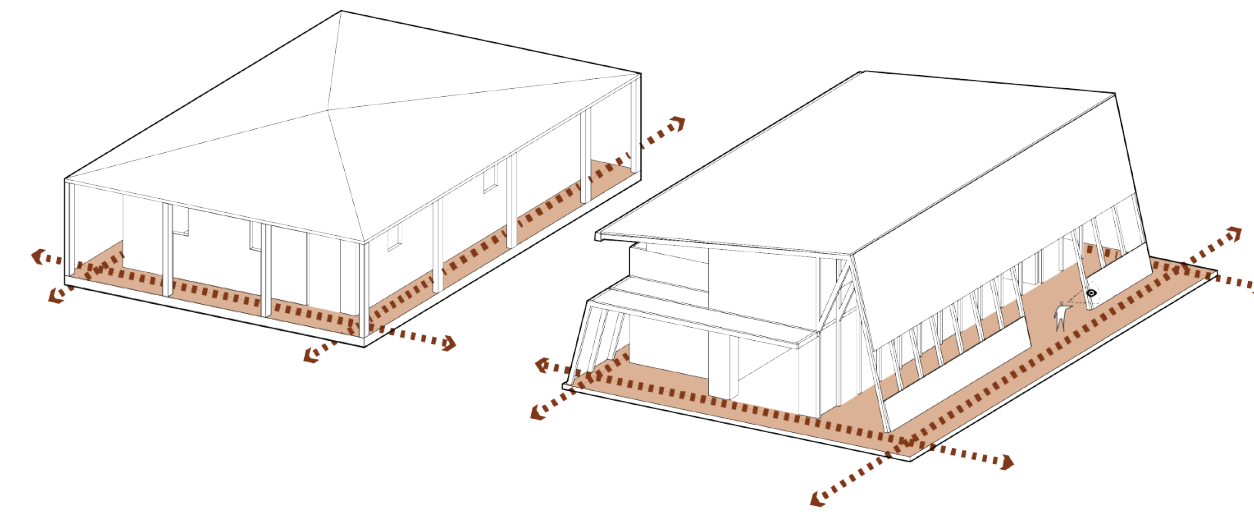
Masa Térmica - Calentar los espacios interiores durante la noche



Esquema 30 Incorporación del proceso productivo del café como un dispositivo de climatización pasiva - Elaboración propia

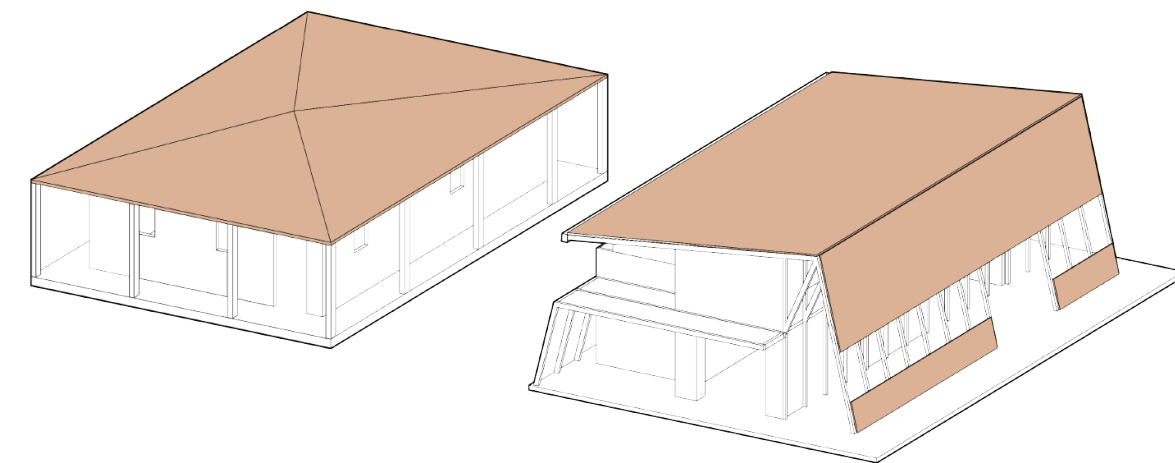
Criterio de confort adaptativo (marco de evaluación) Bajo ASHRAE 55 (modo adaptativo para edificios naturalmente ventilados), se asume una neutralidad local de 23,4 °C y un rango de aceptabilidad del 80% entre 19,9–26,9 °C (De Dear & Brager, 1998). Estos valores se usan como referencia flexible para el diseño y para validar la propuesta en simulación. Fórmula en arte: $Tem.conf = 0.31 \cdot Trm + 17.8$.

Implantación y orientación Se modelaron orientaciones comparadas tomando como guía la Casa 02 (mejor desempeño del muestreo). La orientación longitudinal oriente–occidente, con eje principal E–O y fachadas largas hacia N–S, minimiza la exposición crítica a radiación de baja altura en mañana/tarde, facilita el control solar con aleros y reduce pérdidas por conducción al jerarquizar superficies.



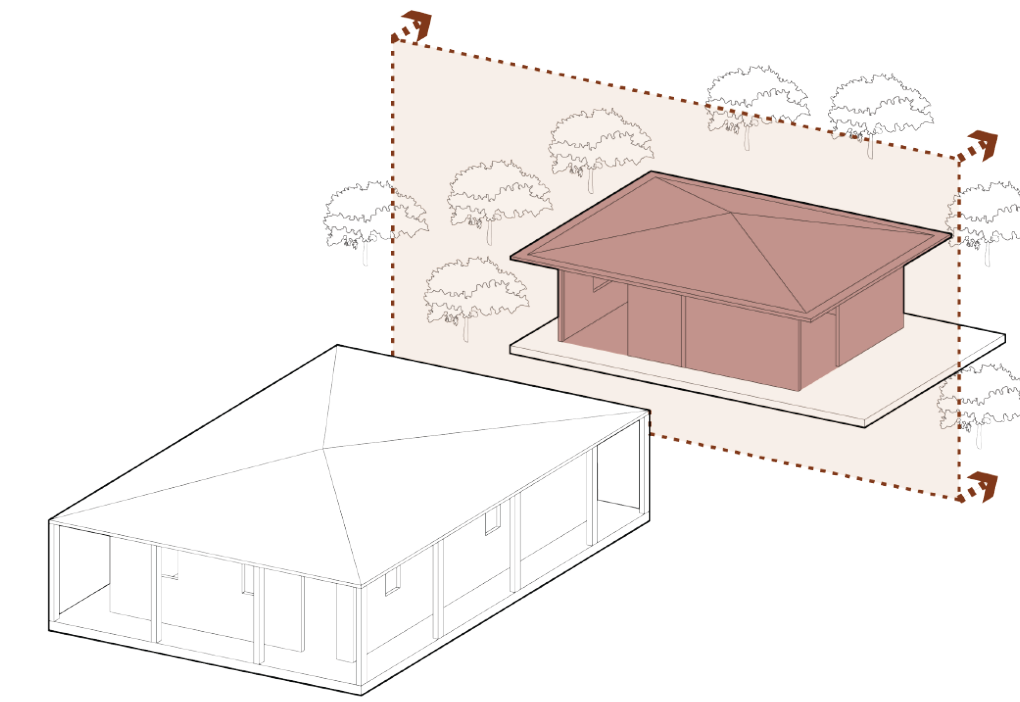
Pasillos perimetrales - Zaguán

Pasillos perimetrales como elemento estructurador del proyecto, del recorrido a la permanencia y la producción.



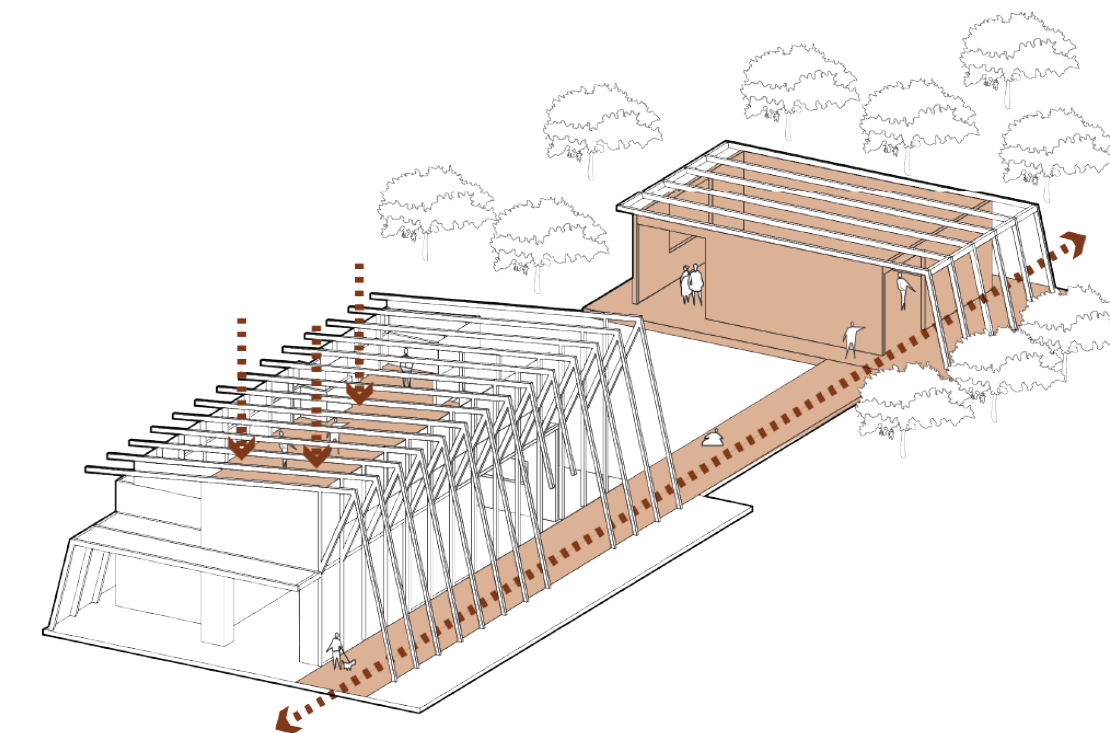
Cubierta

La cubierta como envolvente de la fachada, se integra para reforzar los espacios de transición entre la vivienda y el exterior.



Producción agrícola (Actual)

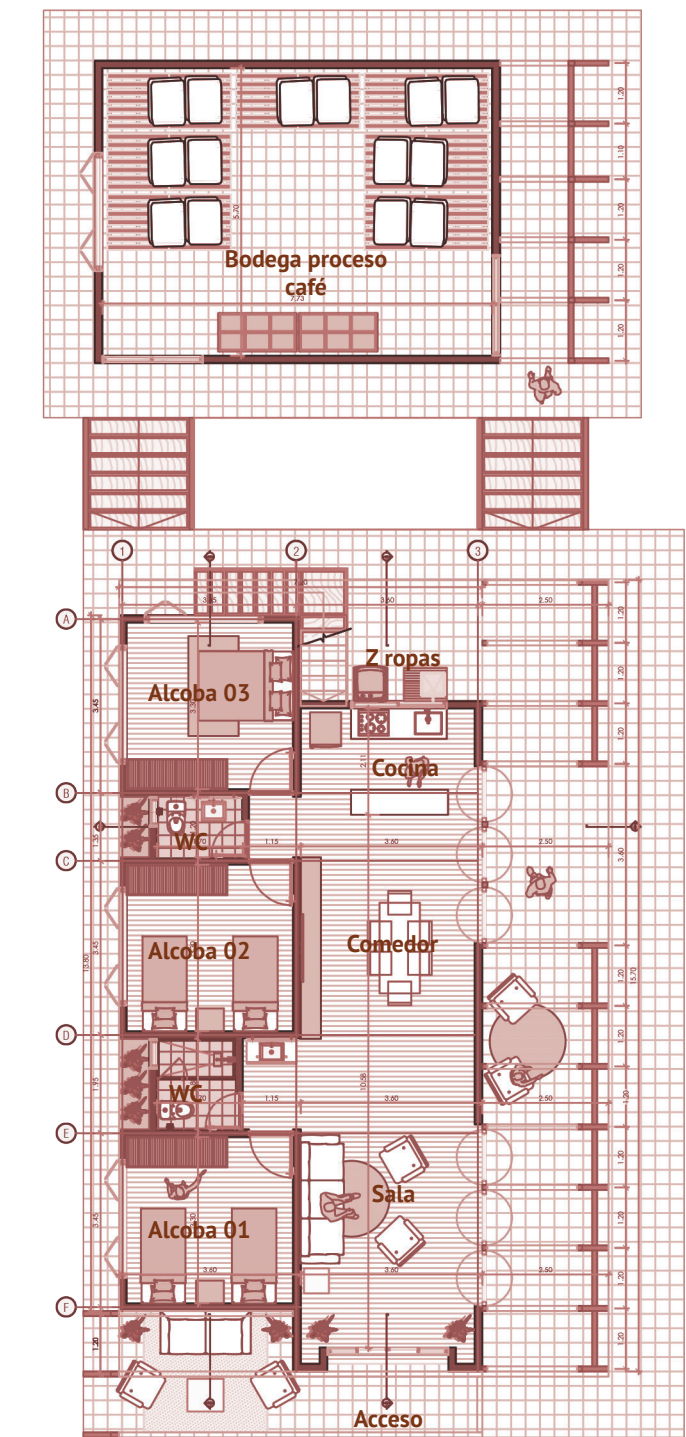
Espacios de producción agrícola separada de espacios habitables, menor capacidad de almacenamiento.



Producción agrícola (propuesta)

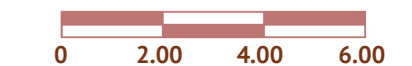
Integrar el proceso agrícola a la vivienda - aprovechamiento de 2do piso para secado de café y acumulación de calor para la noche.

Organización espacial piso 01: Los espacios de mayor uso diario (estar/comedor) se disponen al oriente para captar sol de mañana. Los espacios de uso vespertino/nocturno (dormitorios) se ubican hacia occidente, aprovechando la liberación térmica retardada de la masa durante la noche. Pasillos de permanencia y corredores como amortiguadores térmicos.

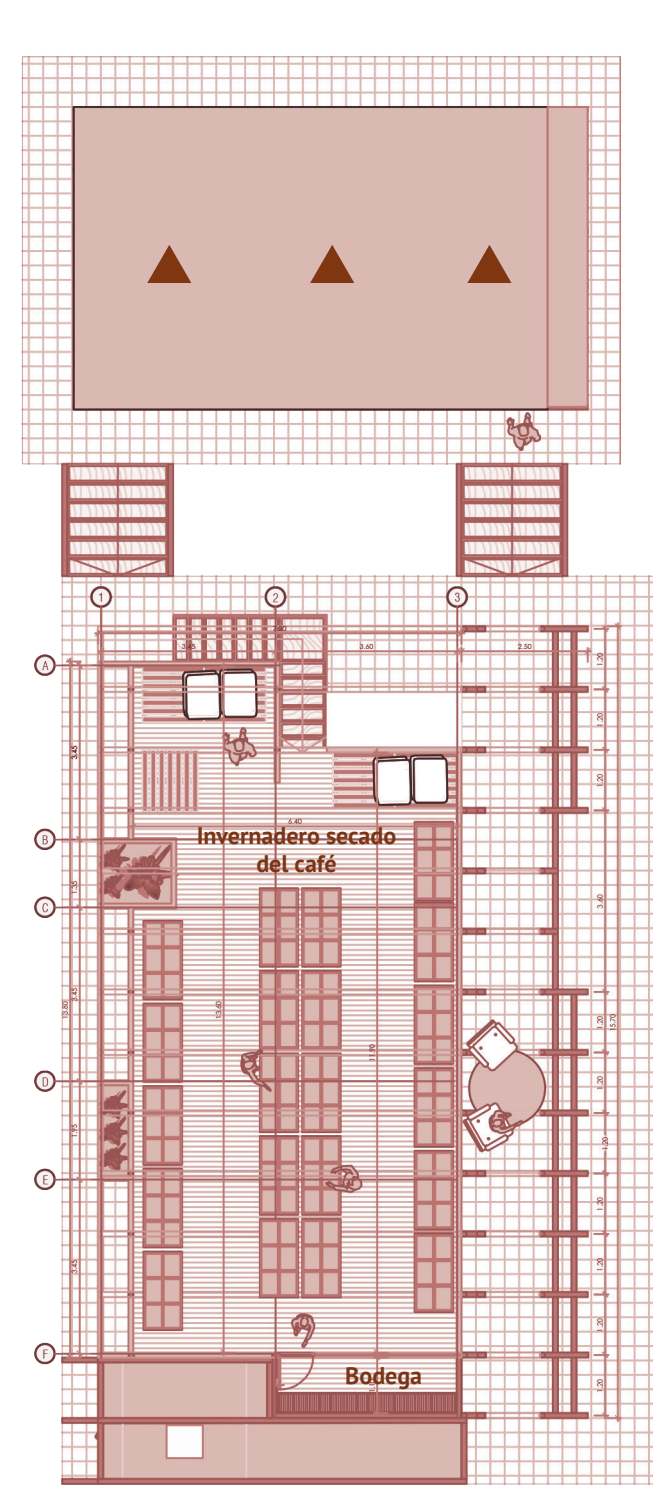


Planta arquitectónica piso 01

Esc 1:150

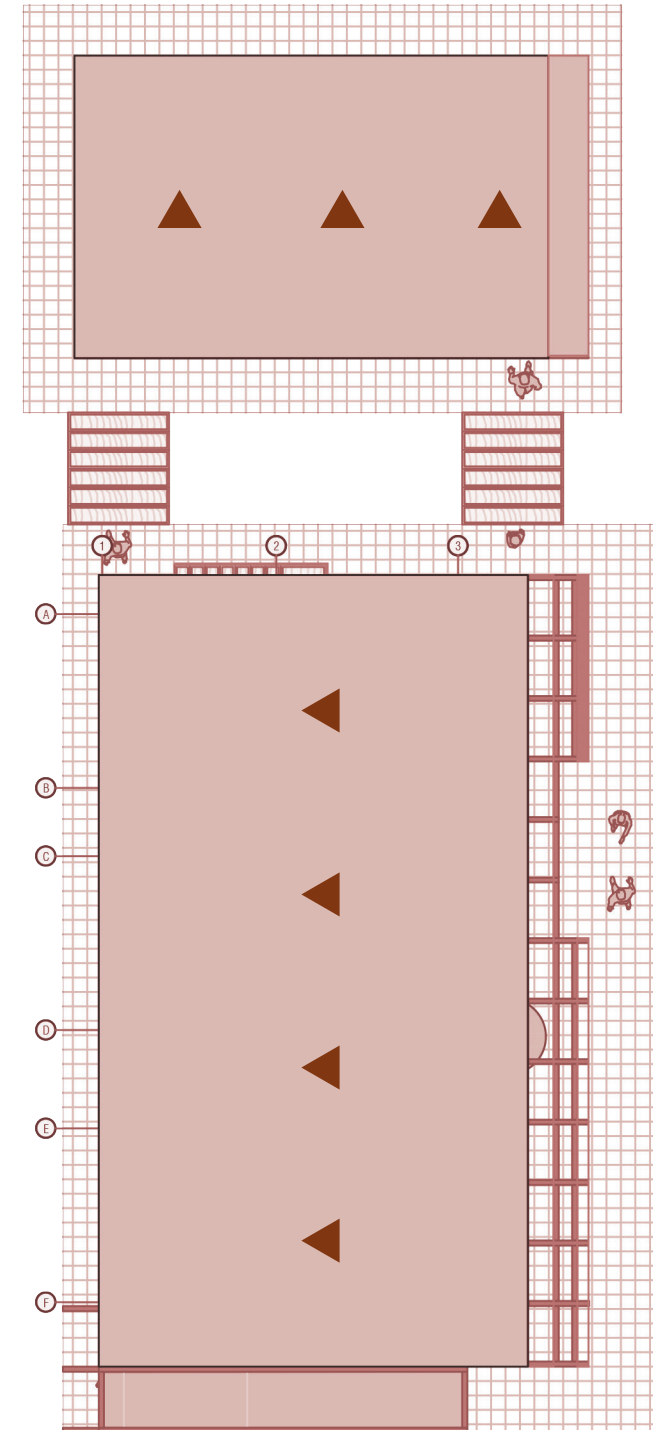


Organización espacial piso 02: Mesas de secado, área de almacenamiento y bodega de herramientas. Funcionamiento como invernadero solar: capta, eleva y mantiene ~45 °C, y transfiere calor hacia el primer nivel (convección y radiación difusa) para estabilizar la temperatura nocturna.



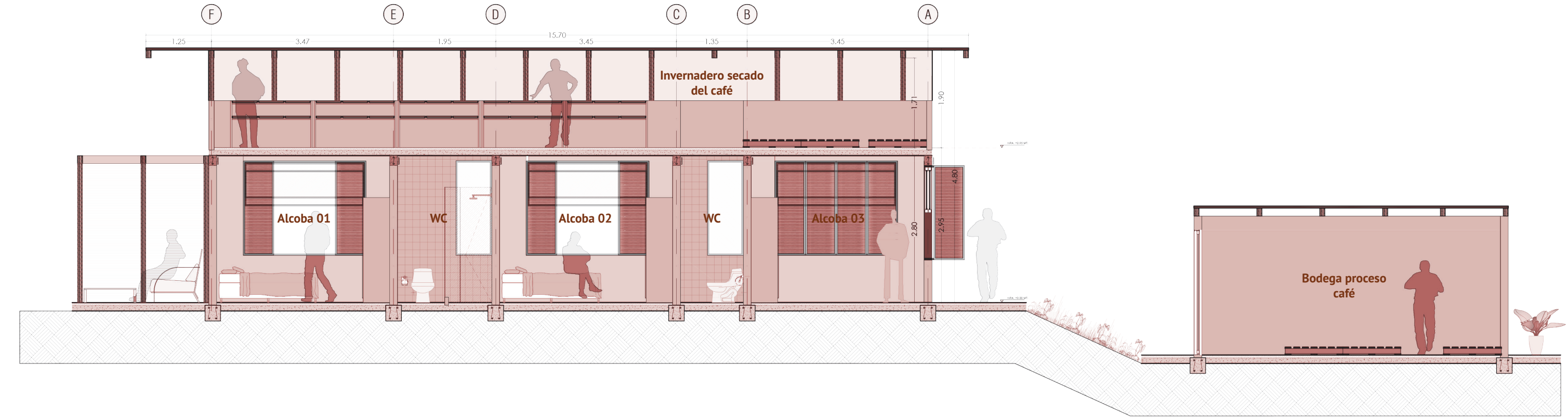
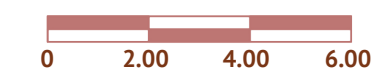
Planta arquitectónica piso 02

Esc 1:150



Planta arquitectónica cubierta

Esc 1:150



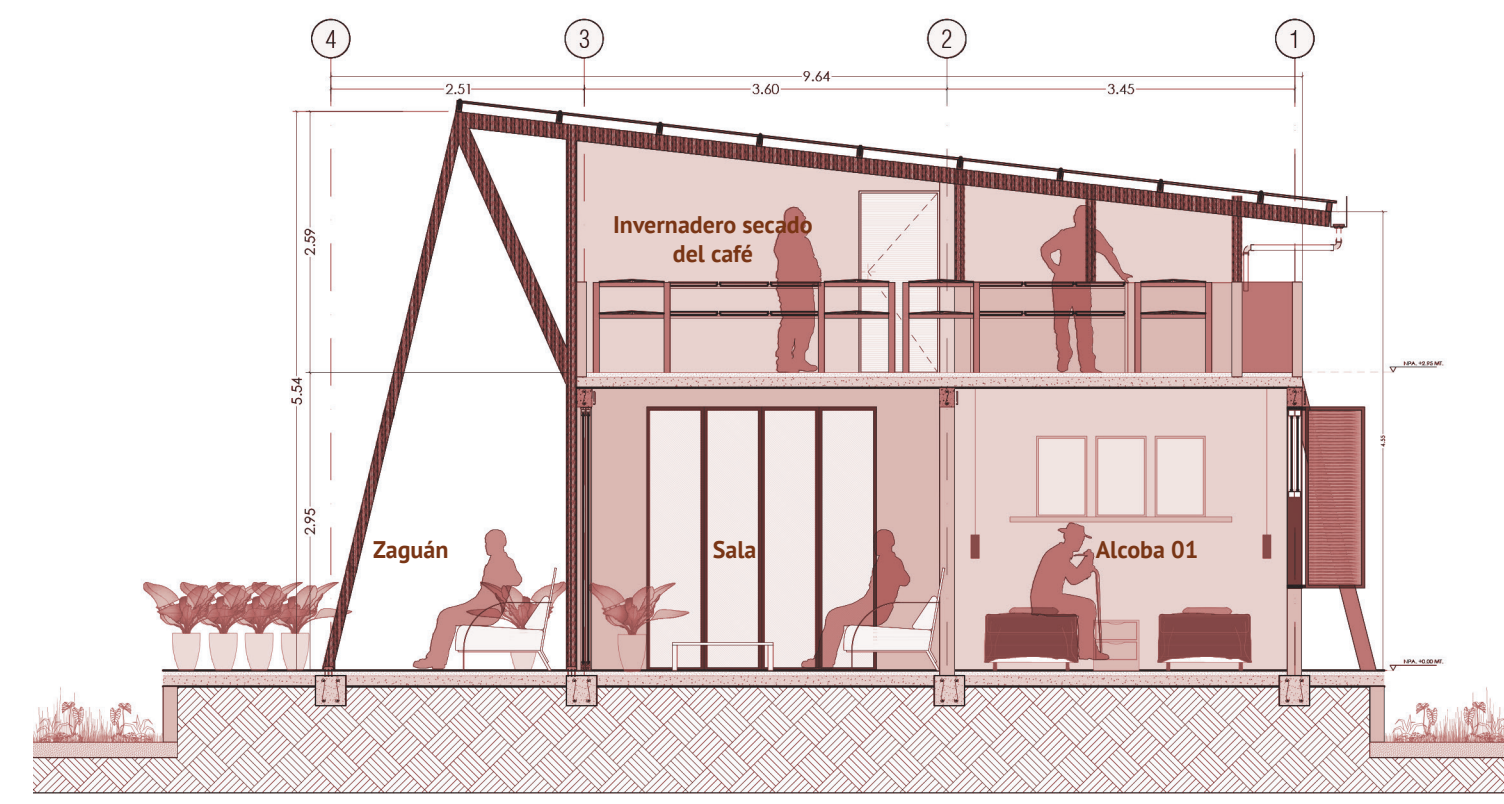
Sección longitudinal A-A

Esc 1:75

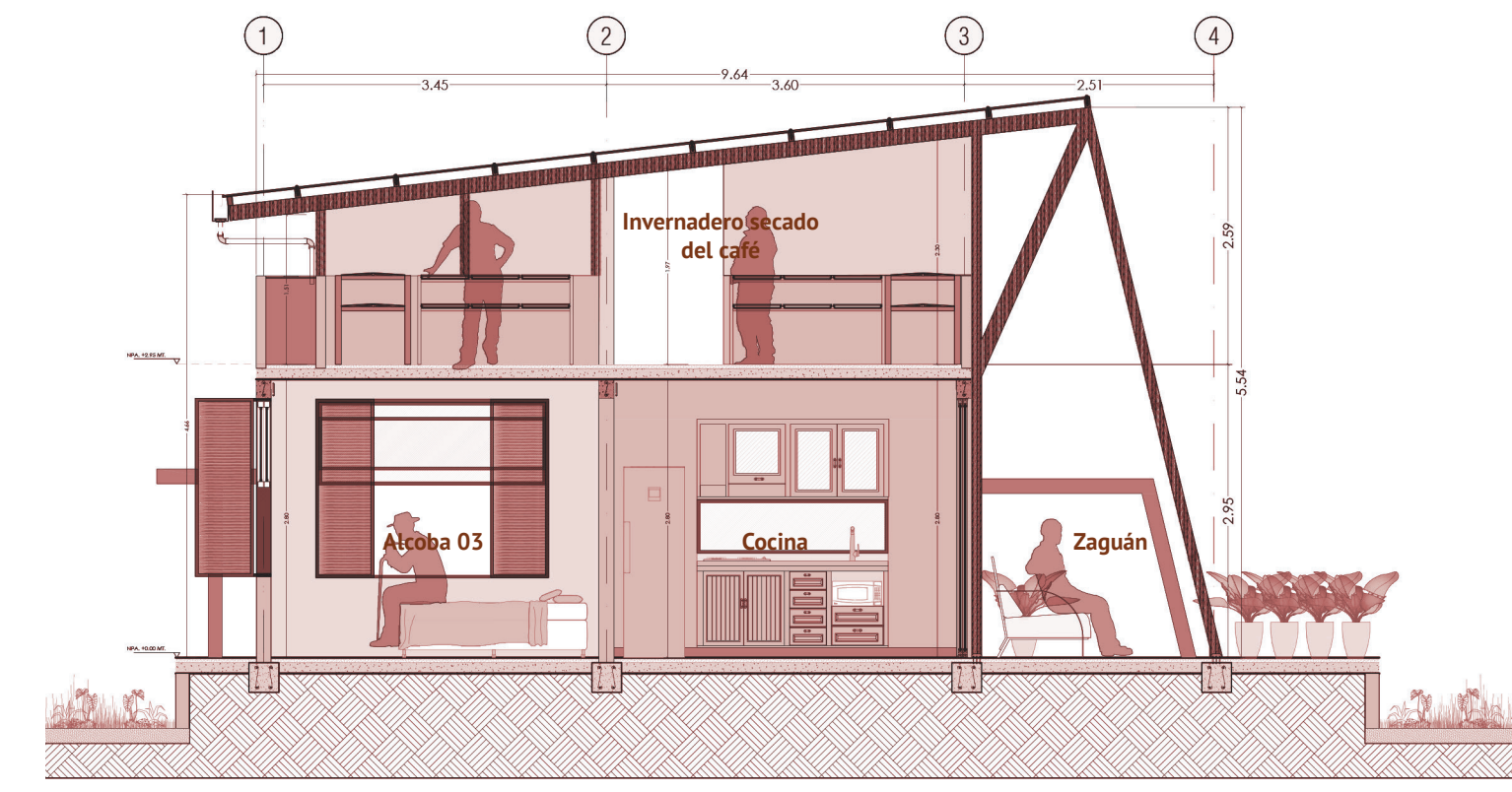




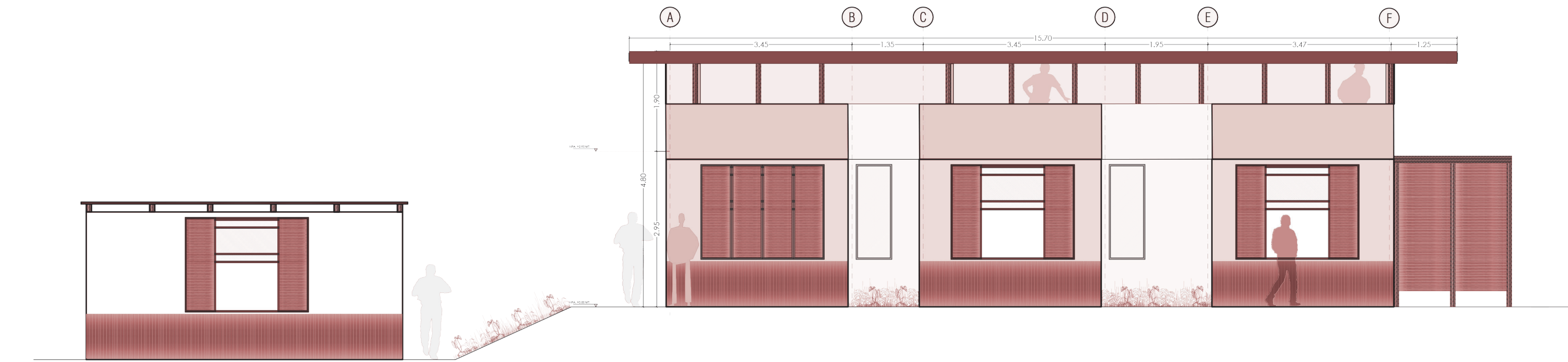
Sección longitudinal B - B
Esc 1:75



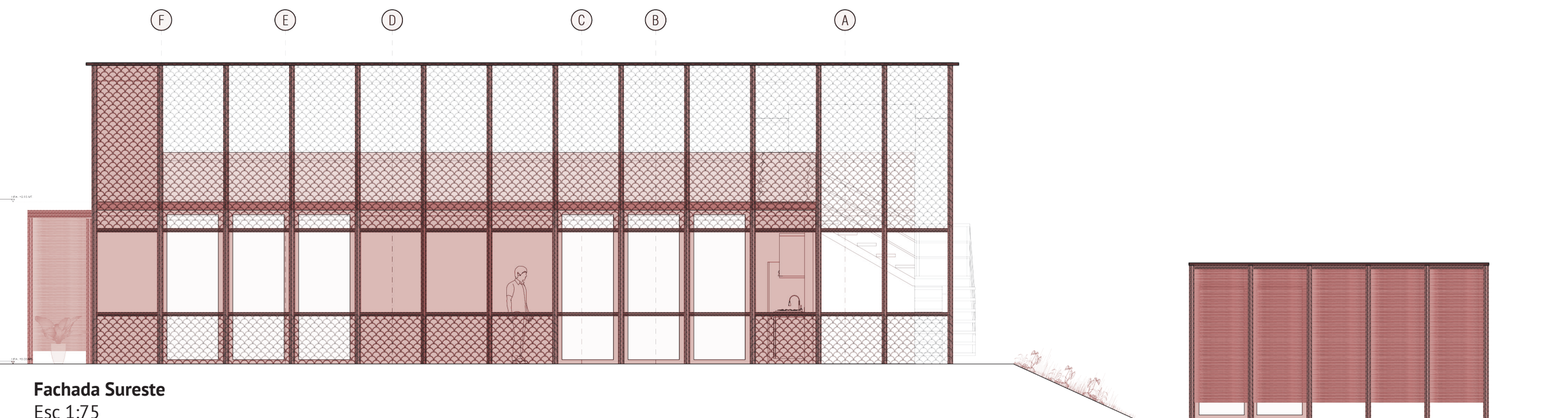
Sección transversal C - C
Esc 1:75



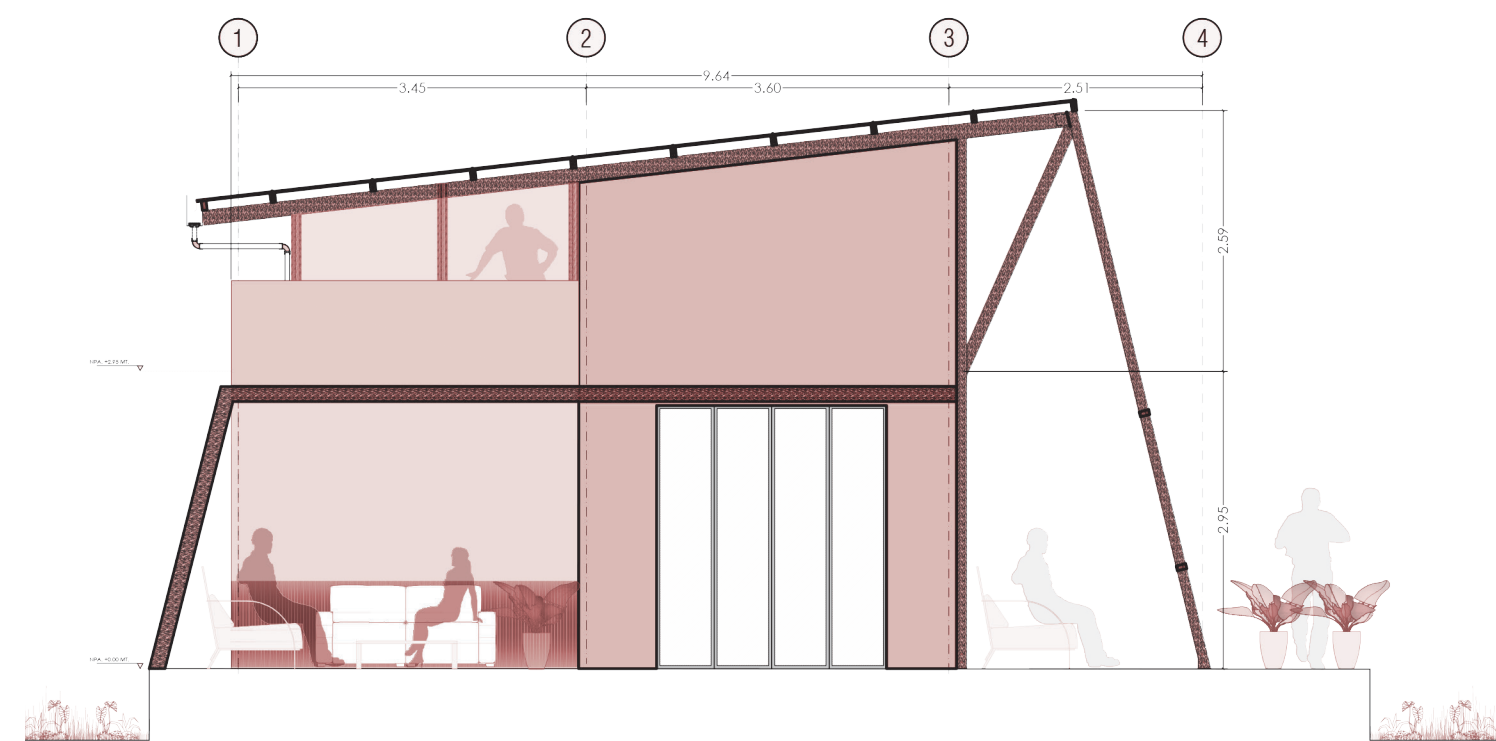
Sección longitudinal D - D
Esc 1:75



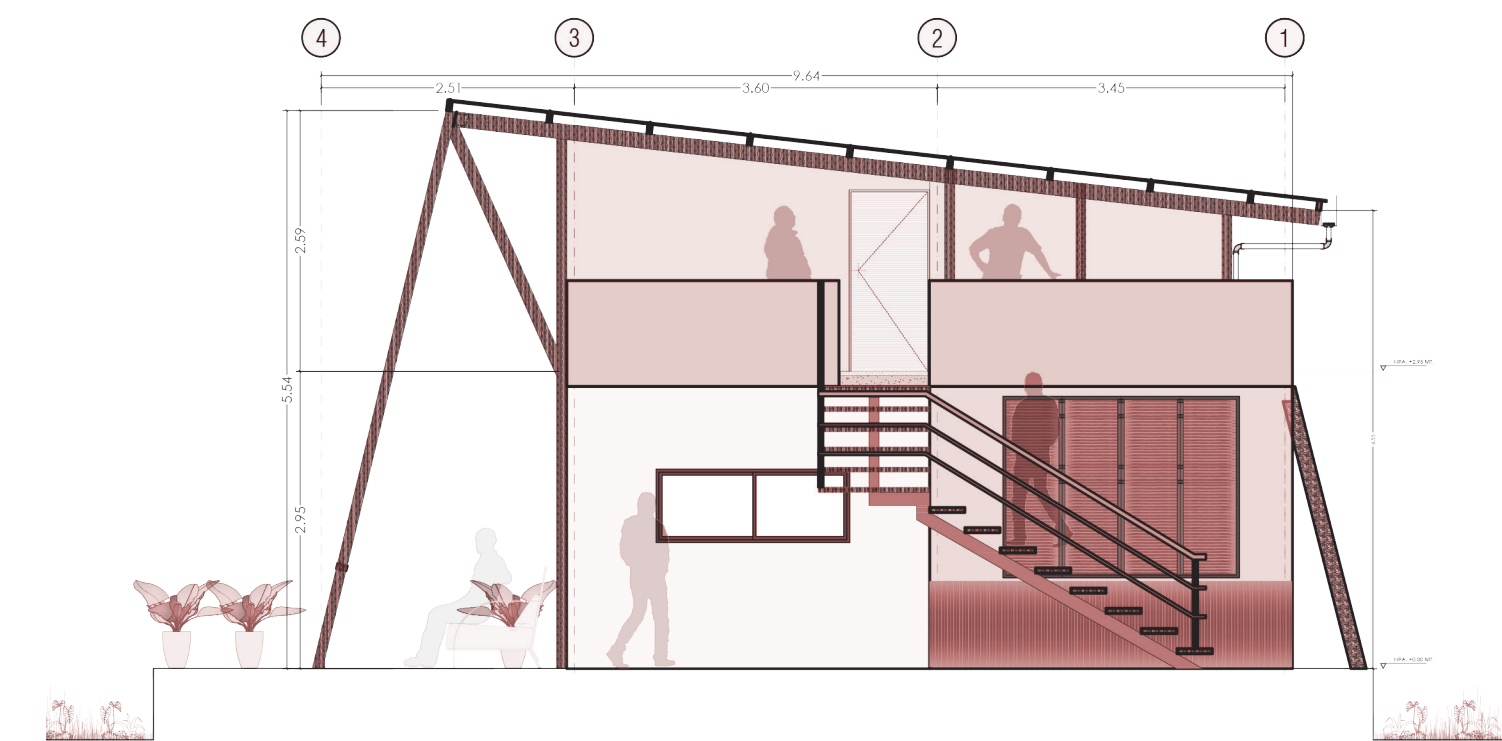
Fachada Noroeste
Esc 1:75



Fachada Sureste
Esc 1:75



Fachada Suroeste
Esc 1:75

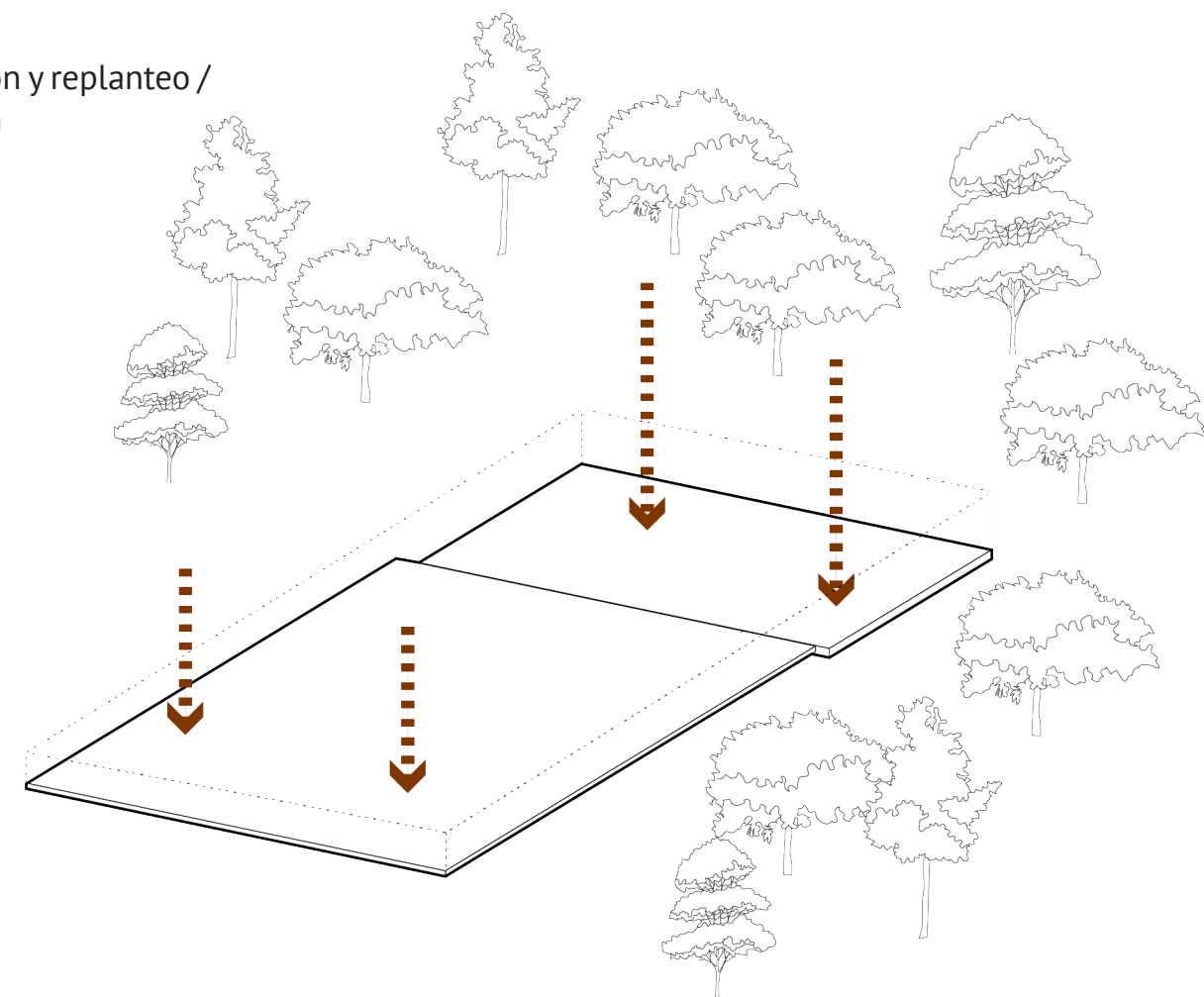


Fachada Noreste
Esc 1:75

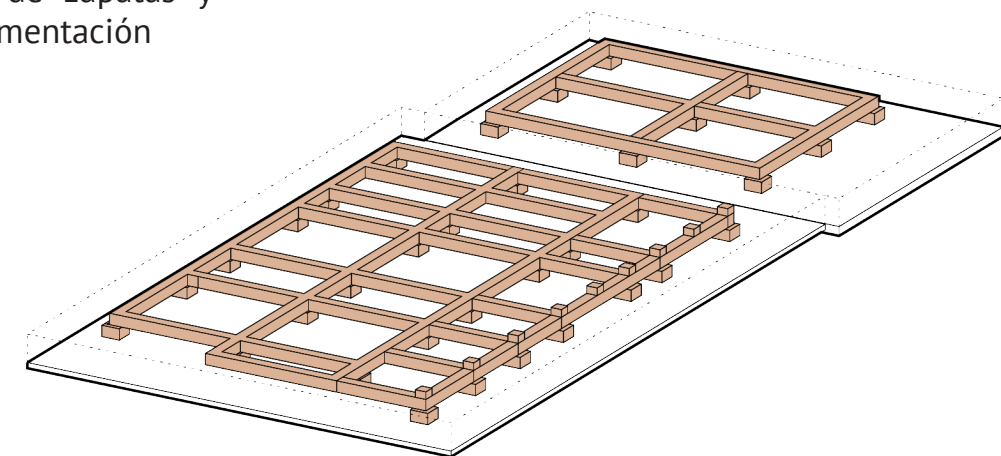


Sistema constructivo: Se eligen sistemas tradicionales por su bajo valor U y alta inercia térmica, coherentes con el clima templado-húmedo de montaña. Se subraya que no hay jerarquía excluyente entre adobe y bahareque: se emplean de forma complementaria según función, orientación y requerimiento de inercia.

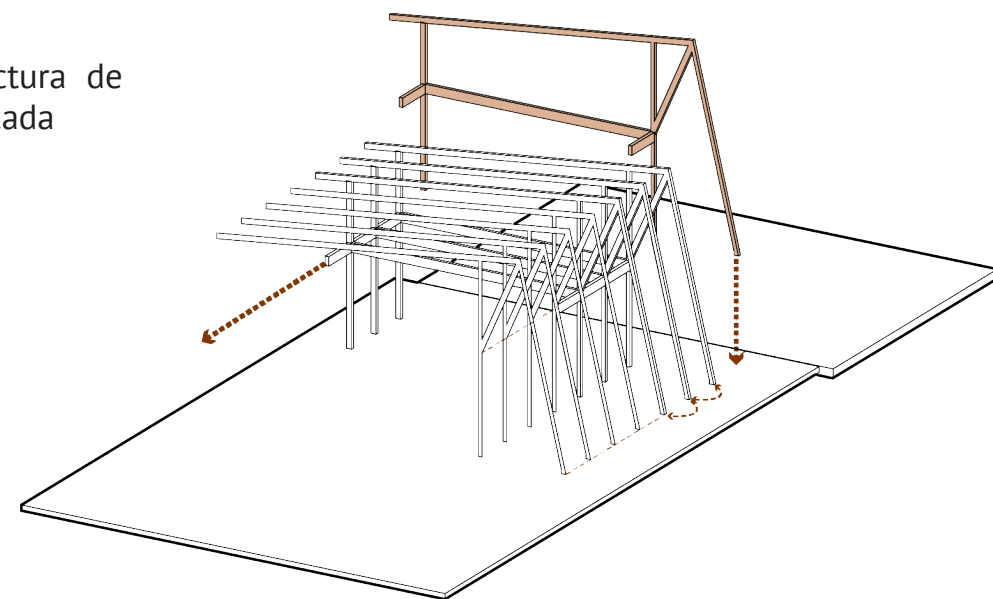
Etapa 01
Localización y replanteo / excavación



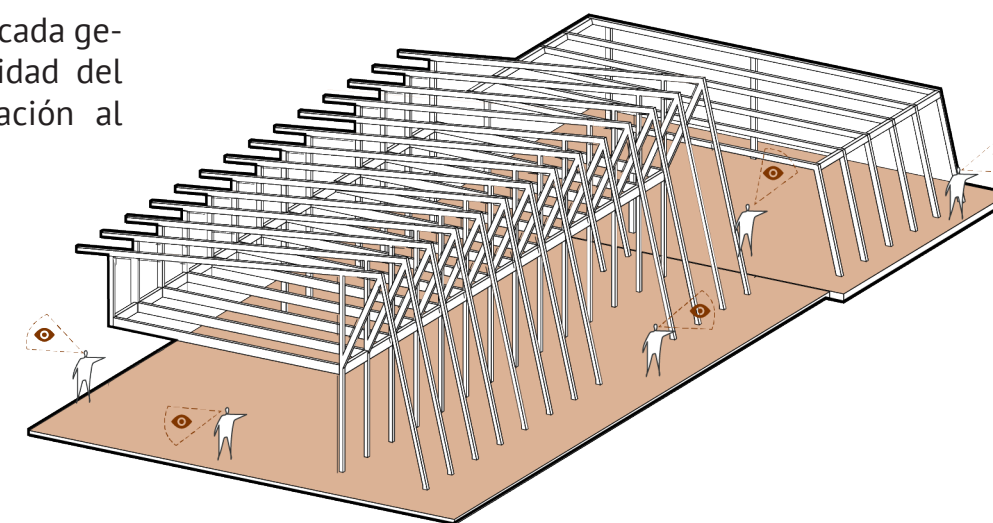
Etapa 02
Fundición de zapatas y vigas de cimentación



Etapa 03
Instalación estructura de madera prefabricada

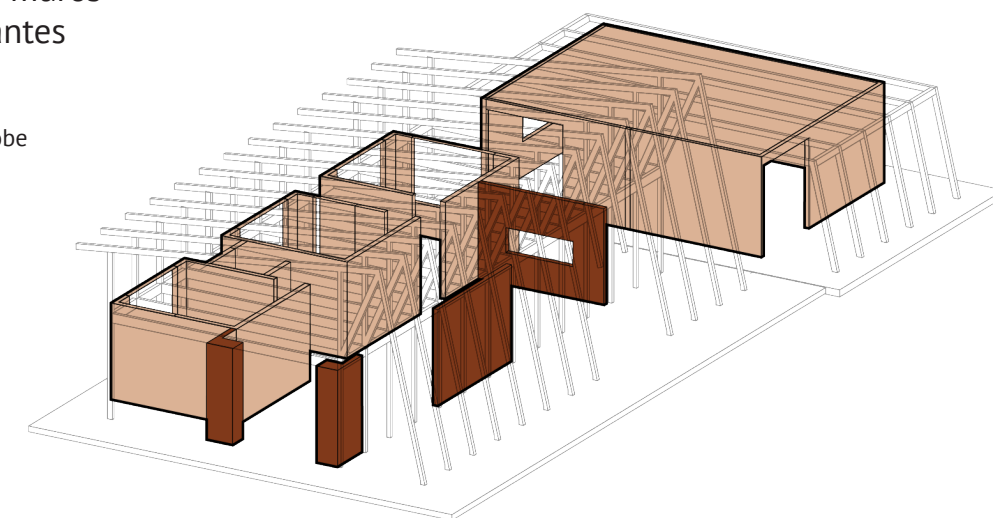


Etapa 04
Estructura aporticada genera la espacialidad del proyecto en relación al exterior

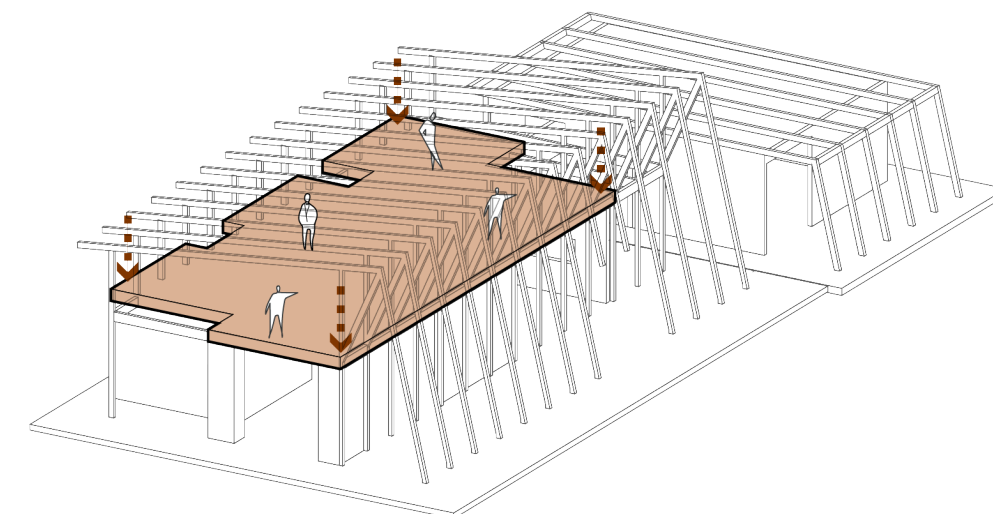


Etapa 05
Instalación de muros divisorios y portantes

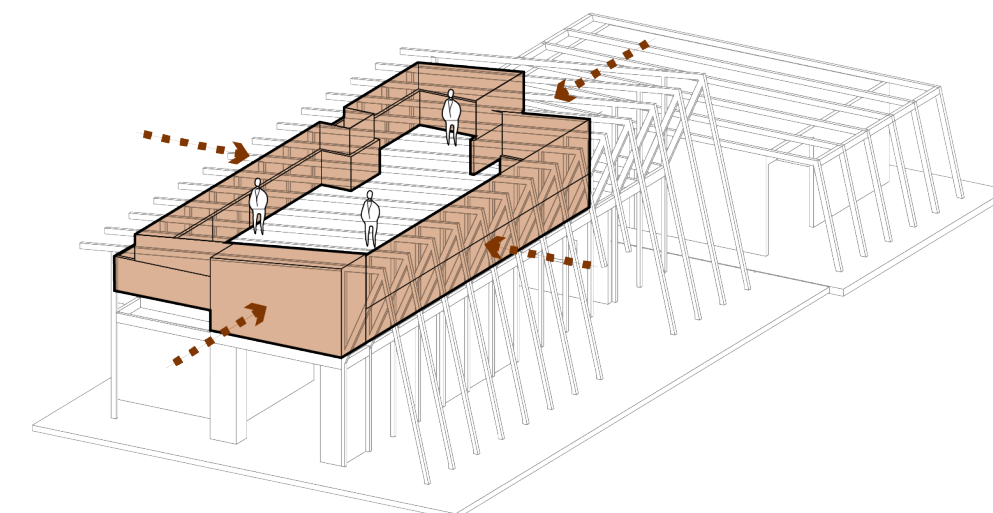
■ Muros en bahareque
■ Muros en bloque adobe



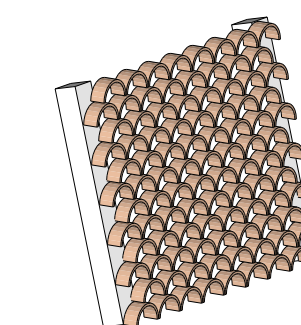
Etapa 06
Fundición de losa maciza en concreto - Masa térmica



Etapa 07
Cerramiento 2do nivel en lona plastica (invernadero)



Etapa 08
Instalación de cubierta y membrana en fachada (elementos culturales de la zona)



Membrana en guadua traslapada realizada por los habitantes del sector

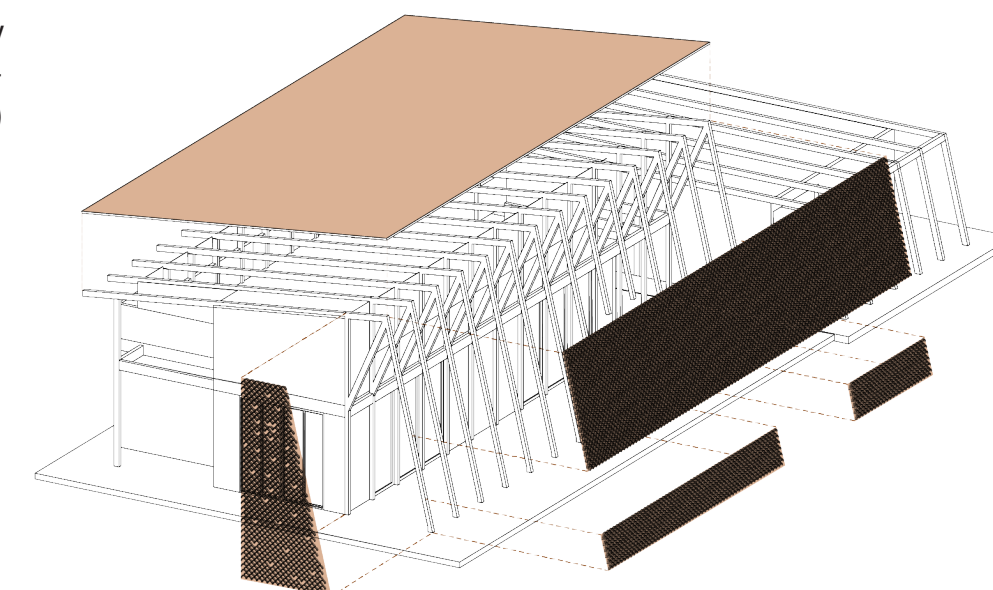
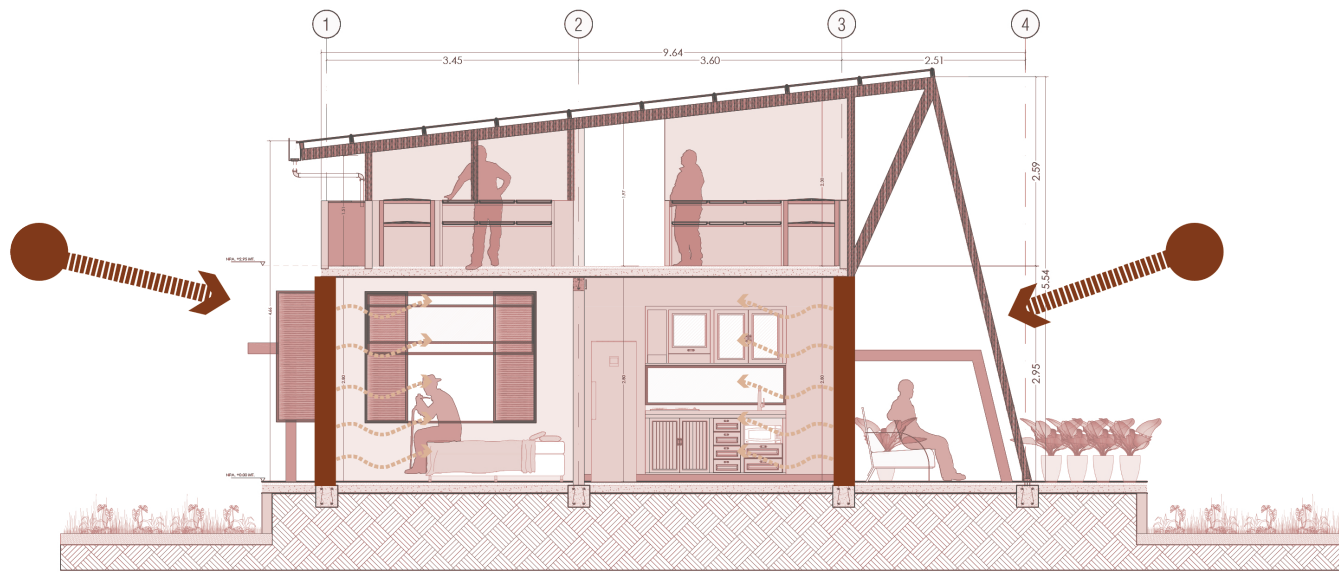


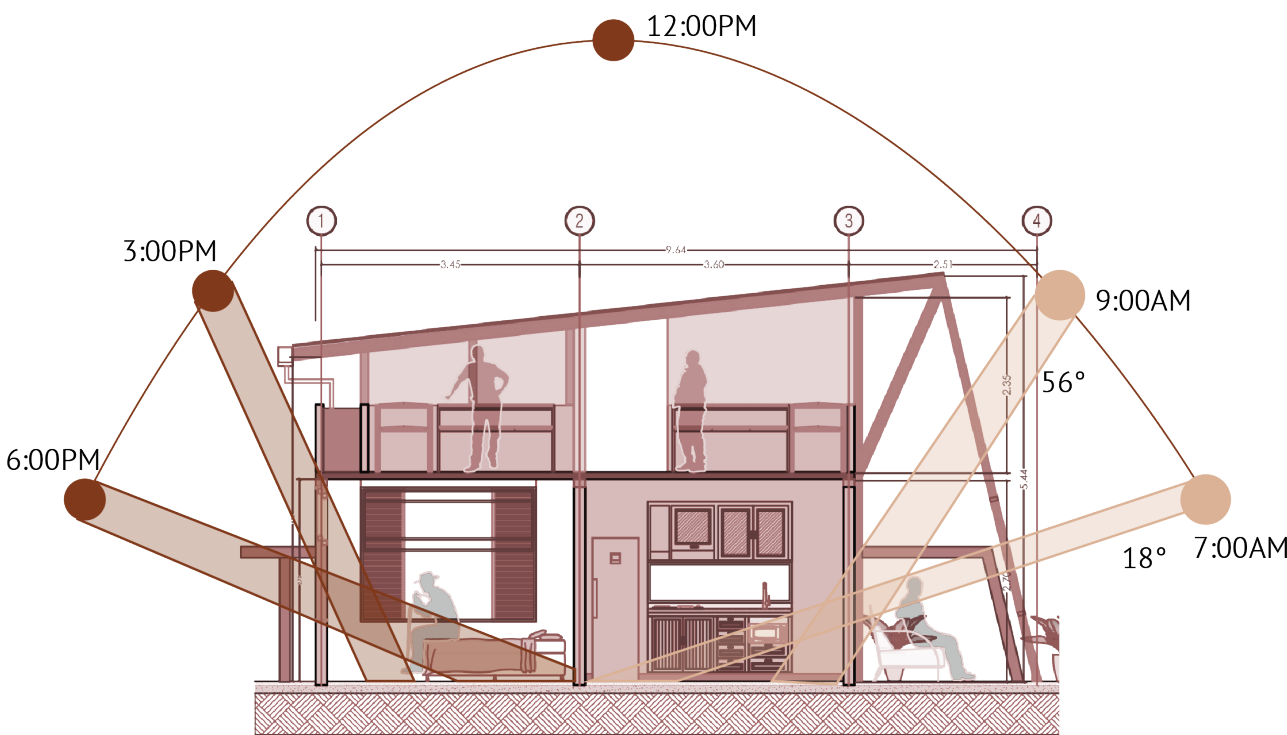
Imagen 21 Render proyecto propuesto - Elaboración propia

Estrategias de climatización pasiva:

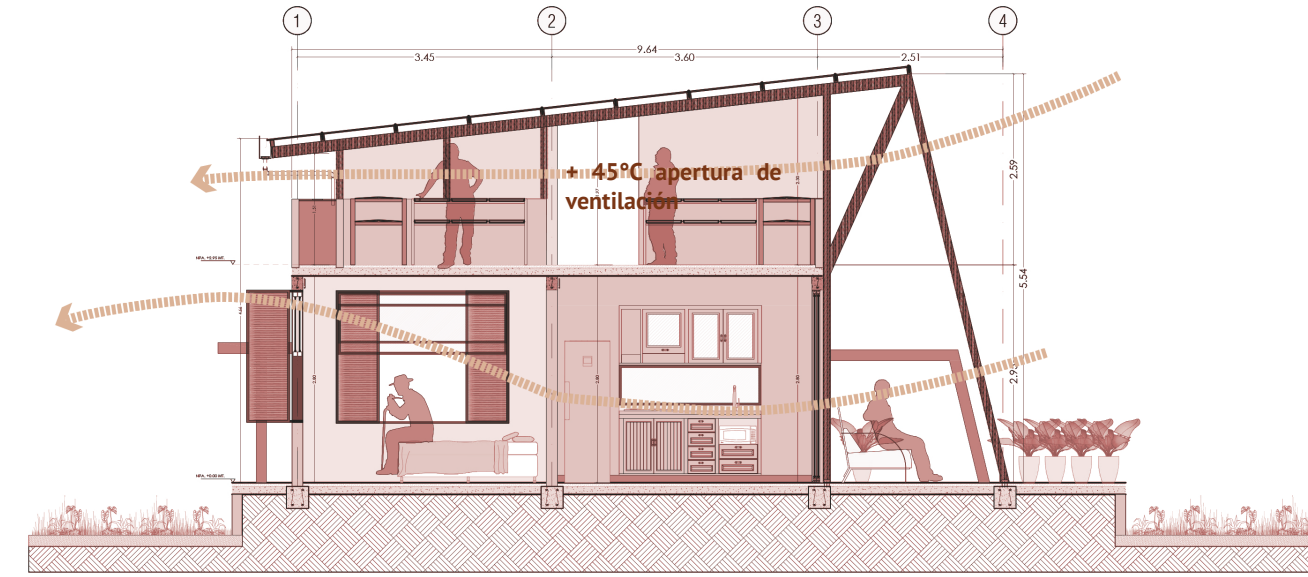
cerramientos con baja U en adobe y bahareque con cámara de aire para reducir pérdidas nocturnas de temperatura y aumentar la ganancia térmica durante el día.



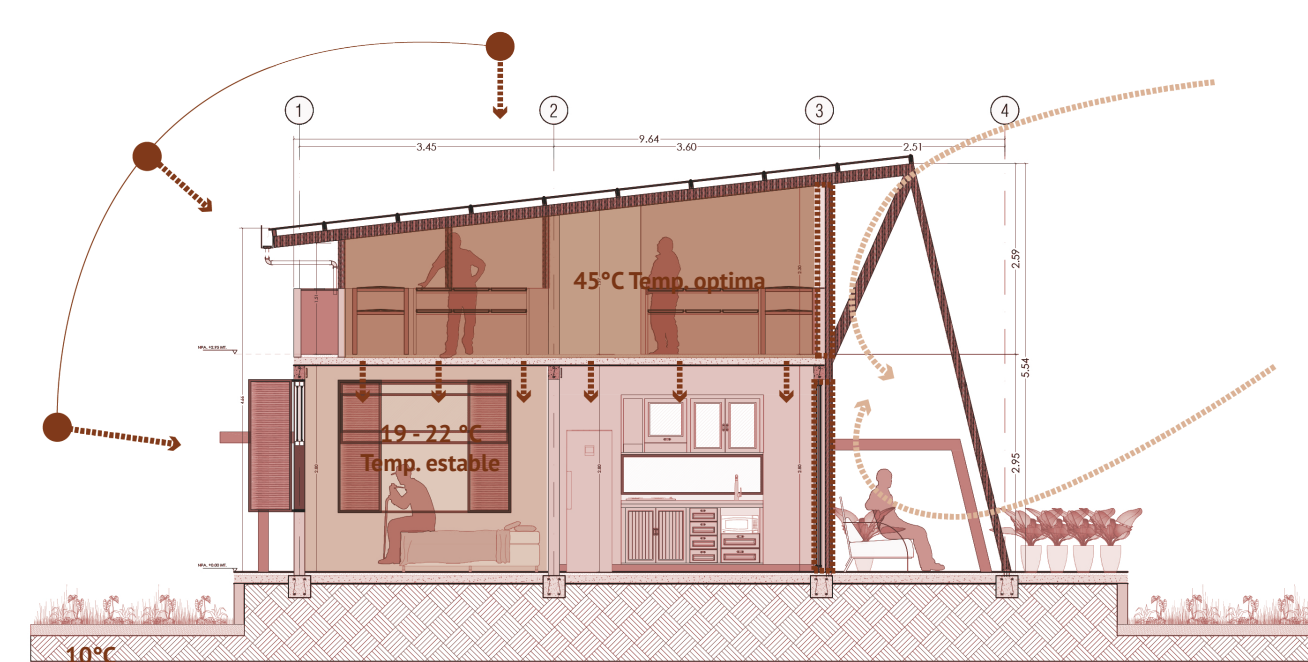
Control solar: aleros y pieles en guadua/esterilla que permiten mantener un control óptimo de las ganancias internas por radiación.



Ventilación natural regulada: ventilación cruzada en todas las escalas del proyecto, permitiendo al usuario regular la temperatura interna de acuerdo a la percepción de confort. Permite o restringe la circulación de vientos predominantes en el sector.



Masa térmica: al cerrar las ventanas aumenta la ganancia térmica interna, la losa del segundo nivel funciona como una masa térmica que transfiere calor al interior durante la noche.



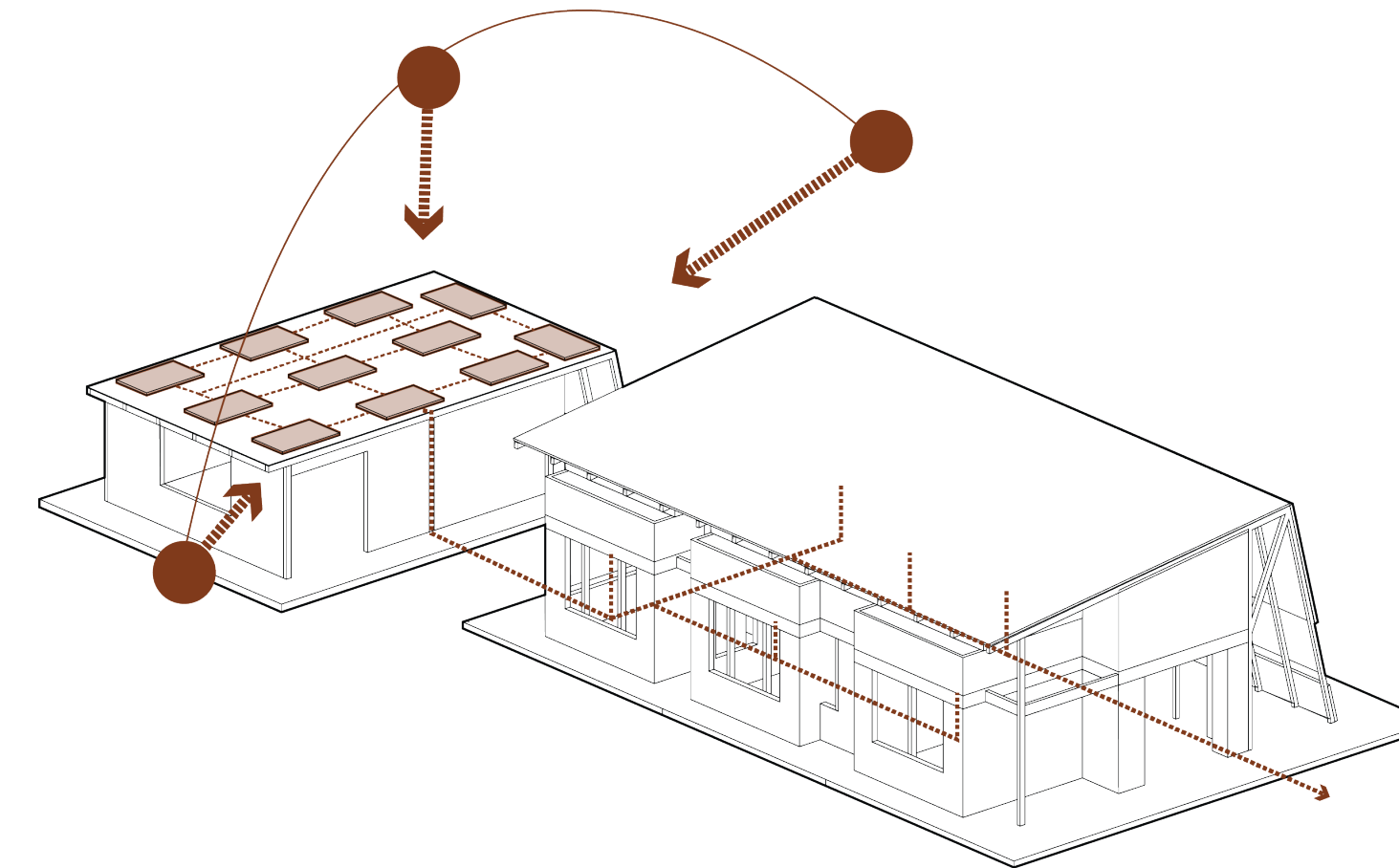
Nota: Se evaluó térmicamente la lona plástica perimetral frente al vidrio. Los resultados indicaron desempeños comparables en el régimen objetivo de secado; la decisión final privilegia lona plástica por criterios económicos y de viabilidad local, manteniendo aperturas para ventilación de alivio térmico y control de humedad.

Generación de energía fotovoltaica

Modelo: Trina Solar TSM-300DD14A(II)
Tipo de panel: Monocristalino
Potencia nominal: 300 W
Tensión de circuito abierto (Voc): 45.5 V
Corriente de cortocircuito (Isc): 9.05 A
Tensión máxima del sistema: 1000 V DC
Eficiencia del panel: 18.5%

Dimensiones del panel: 1650 mm x 992 mm x 35 mm
Peso: 19.5 kg

Rendimiento
Coefficiente de temperatura (Pmax): -0.39 %/°C
Coefficiente de temperatura (Voc): -0.31 %/°C
Coefficiente de temperatura (Isc): 0.05 %/°C



Consumo promedio: 15 kWh/día para una vivienda de 4 personas.

Producción diaria de un panel: Panel de 300W y un promedio de 5 horas de sol al día = 300W * 5h = 1.5 kWh/panel/día.

Total de paneles = Consumo diario / Producción diaria por panel
Total de paneles = 15 kWh / 1.5 kWh/panel = **10 paneles.**

Recolección de agua lluvia

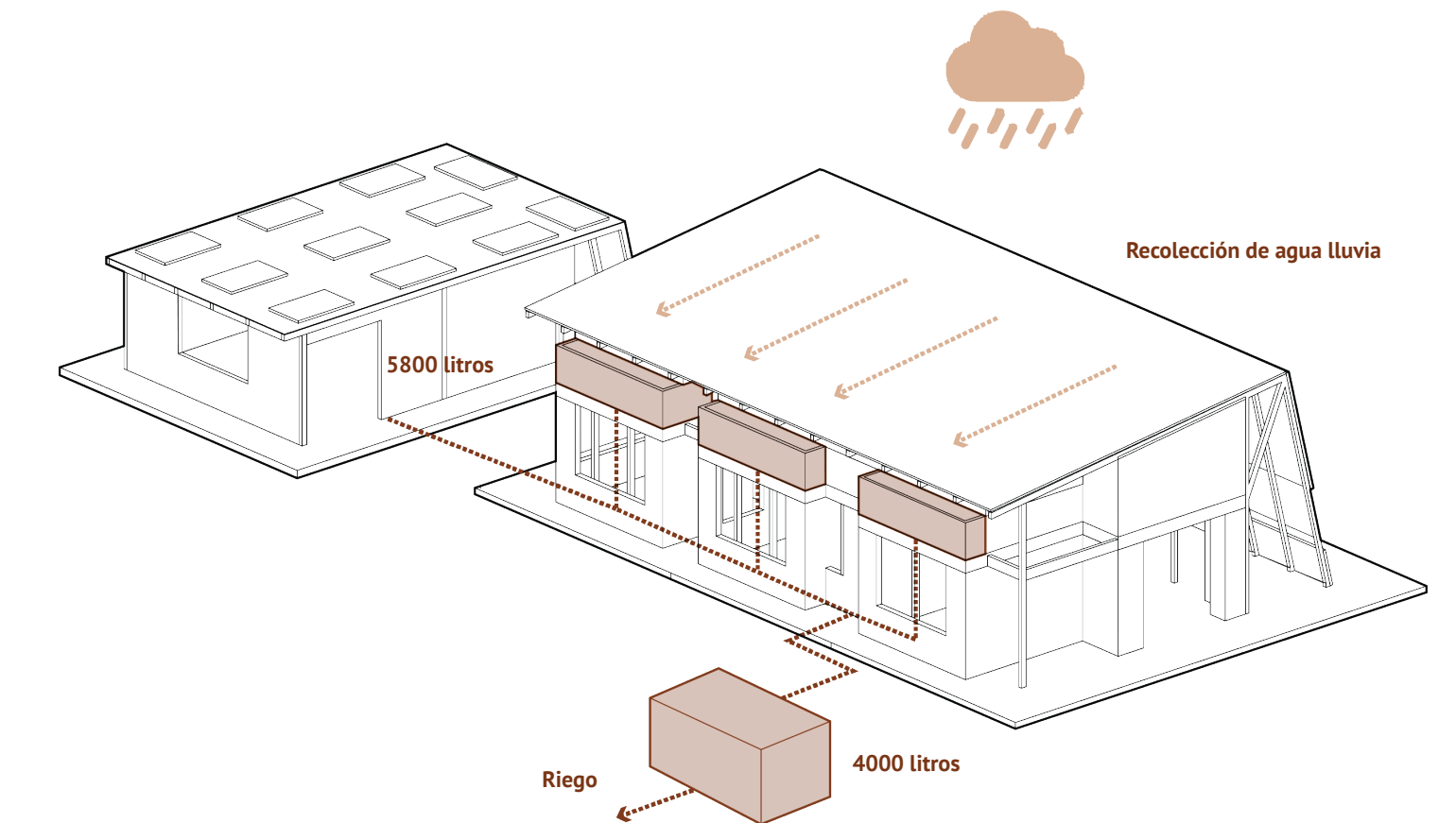
Tanque de almacenamiento 01:
3 tanques de 1933 litros = 5800 litros

capacidad de almacenamiento máxima: 9800 litros

Consumo promedio/día= 800 litros/día

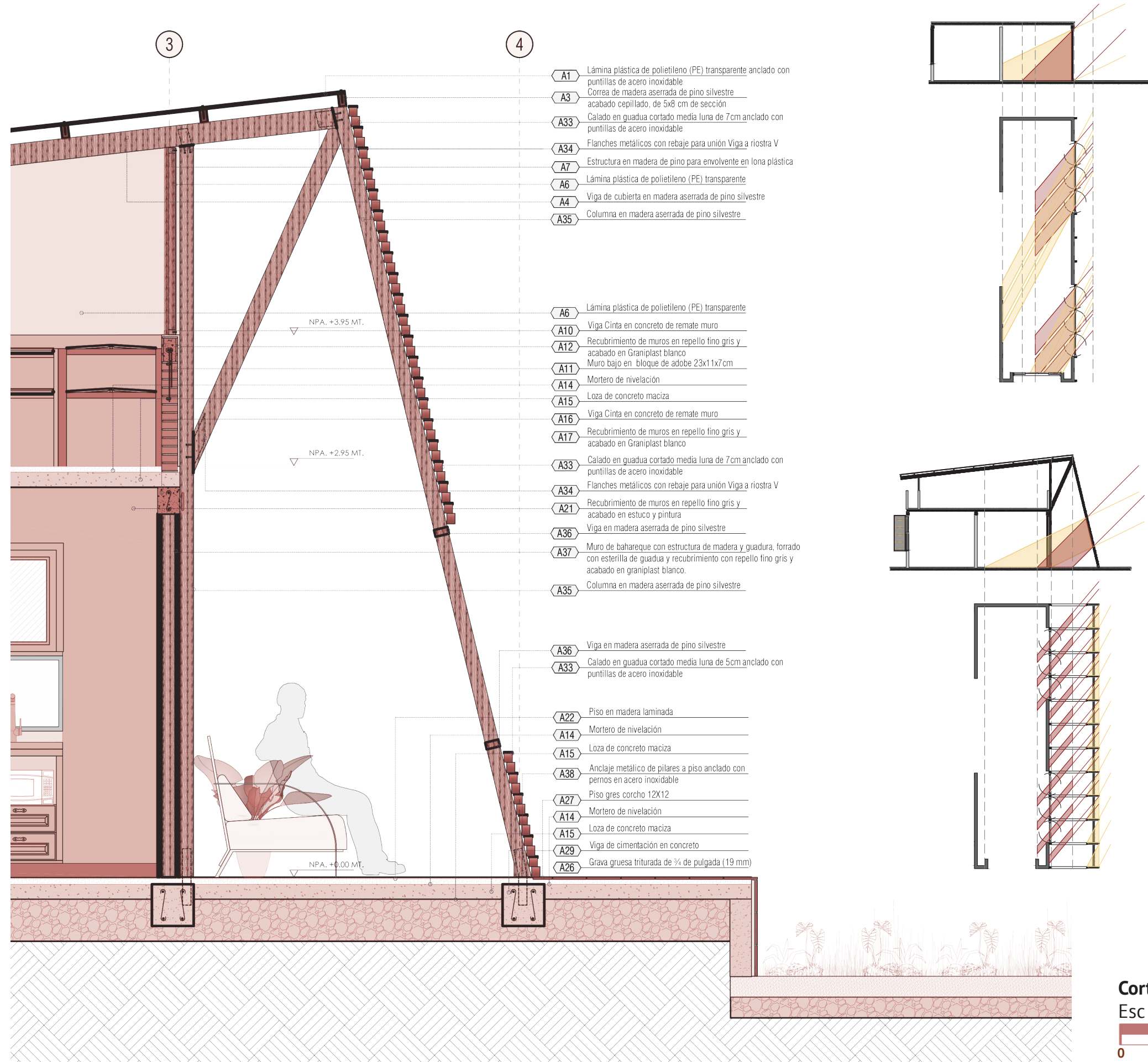
Tanque 02: subterráneo
1 tanque de 4000 litros

Autonomía: 9800 litros / 800 litros/día
12 días de autonomía en verano

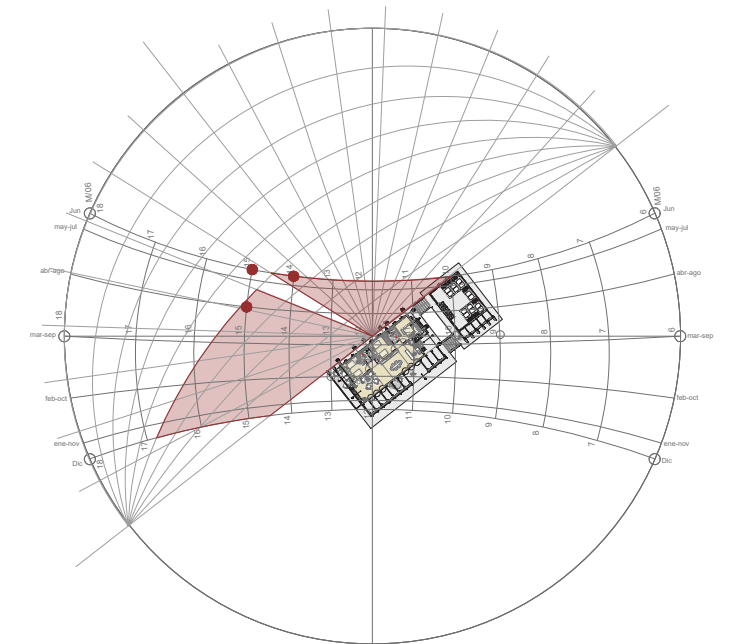
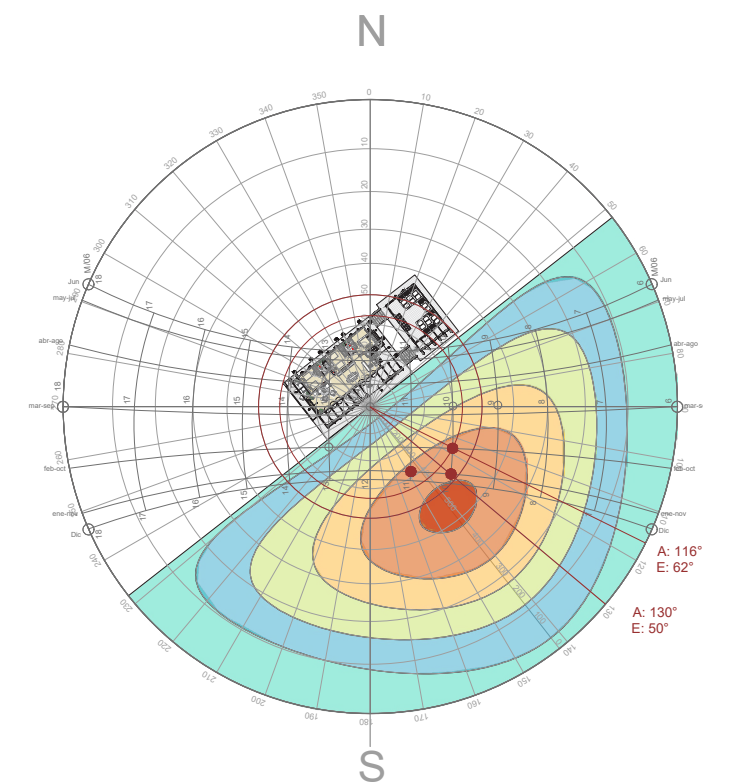
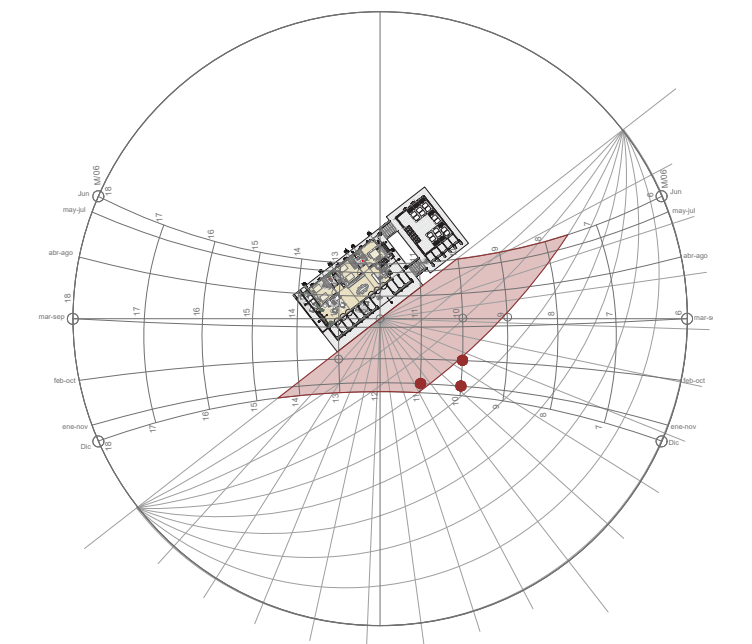
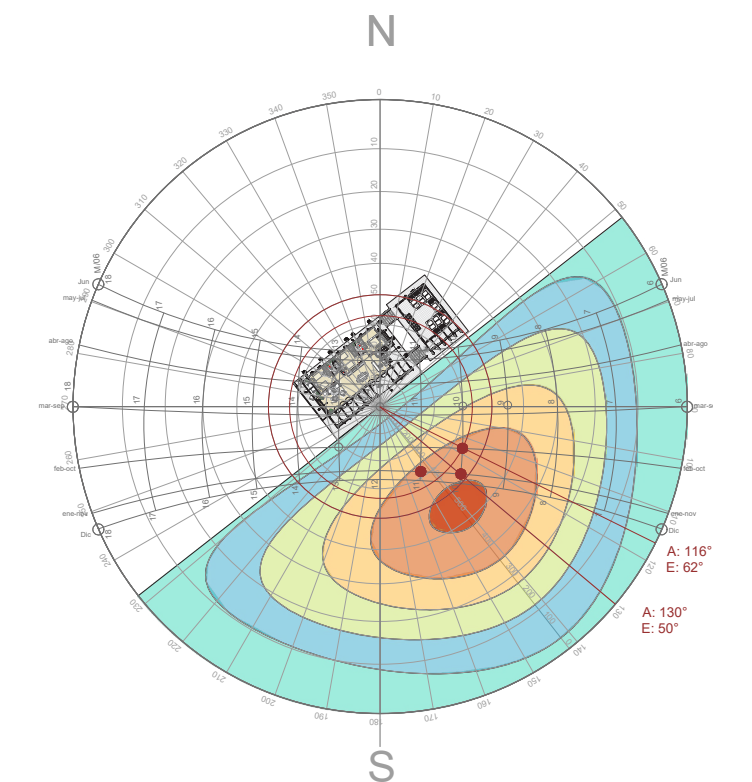


Precipitación anual: 3000mm
Área de cubierta: 137 m²
Coefficiente de escorrentía: 0.8
V= 137 m² x 3m x 0.8
V= 328.8m³

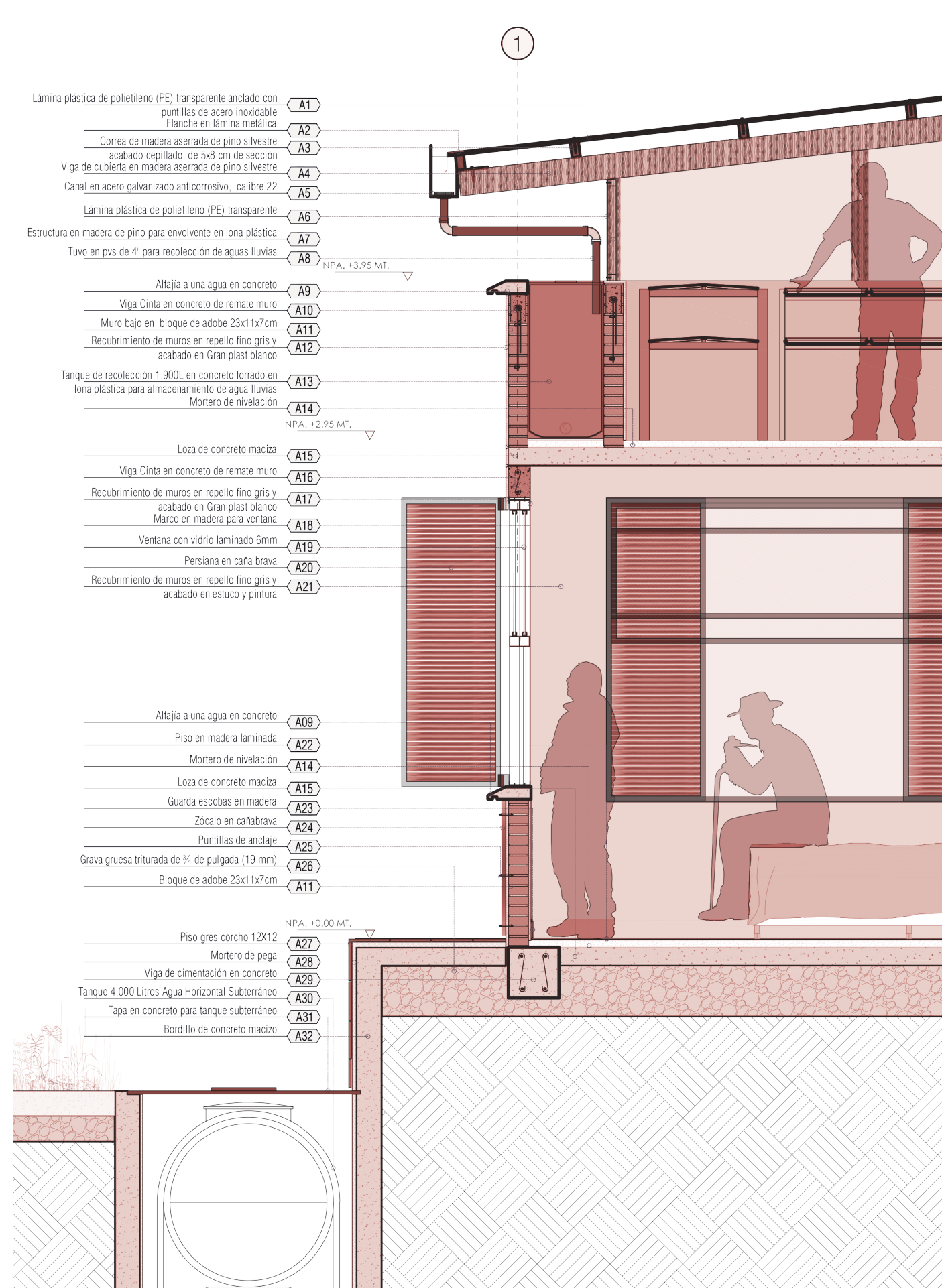
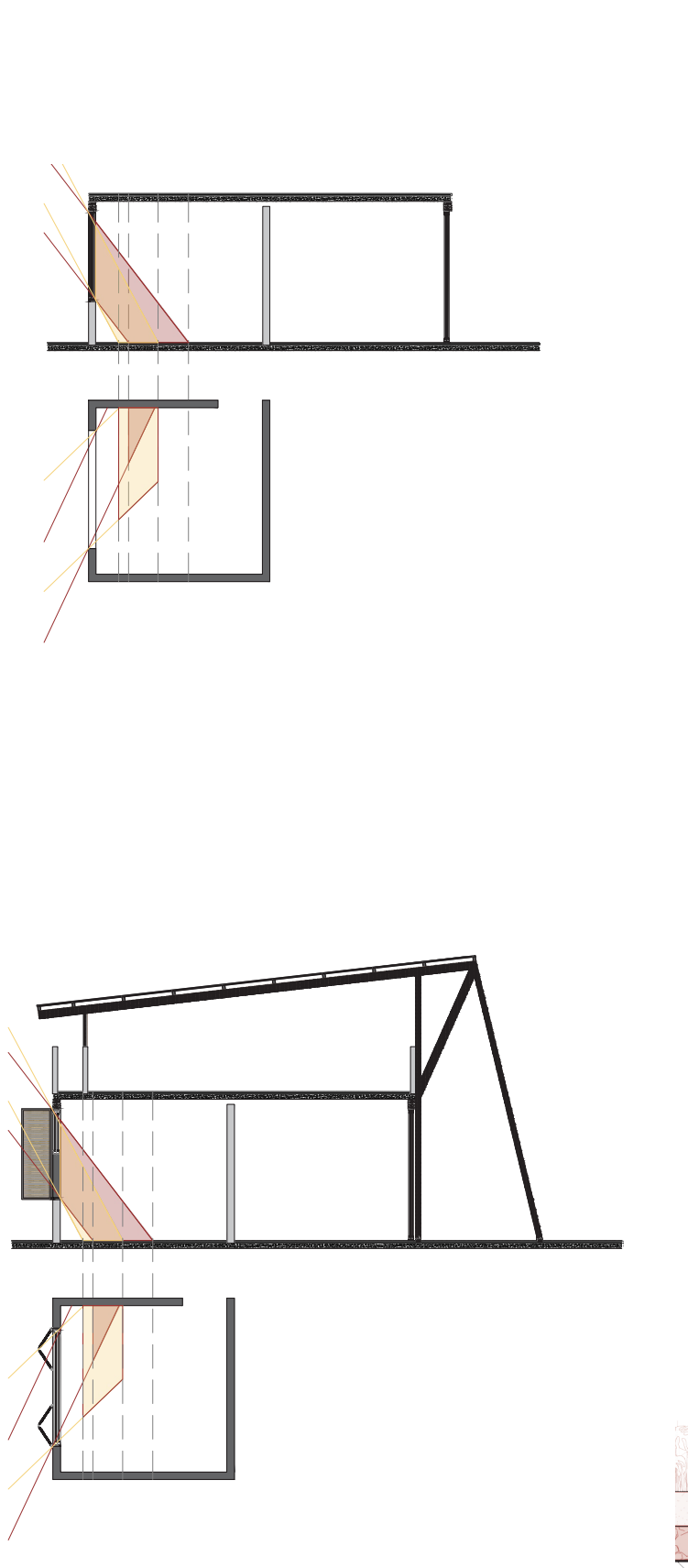
Recolección anual proyectada: 328.800 litros
Consumo de 800lt/día
Autonomía= 328.800 lt / 800lt/día = **410 días**



Corte por fachada - Fachada SurEste
Esc 1:30



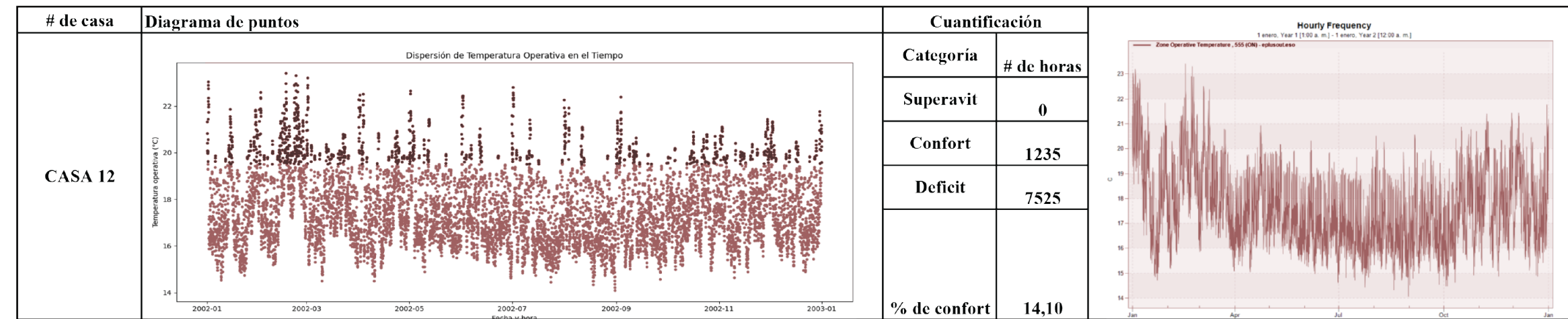
Corte por fachada - Fachada NorOeste
Esc 1:30



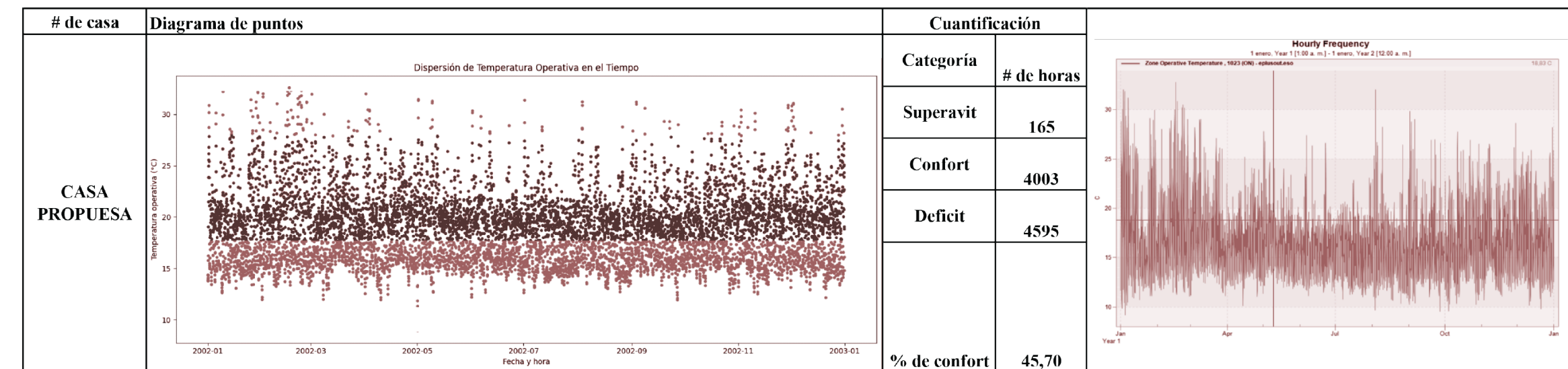
Resultados simulación de la propuesta arquitectónica

Verificación por simulación (DesignBuilder/EnergyPlus)

La propuesta se modeló con el perfil climático de referencia y las reglas de ventilación natural descritas. Métrica principal: temperatura operativa (TO) por hora del año, clasificada contra el rango adaptativo 80% (19,9–26,9 °C) y neutral de 23,4 °C.



Vivienda de estudio 12: 1.235 h/año en confort (14,10%); 7.525 h en disconfort.



Vivienda propuesta: 4.003 h/año en confort (45,70% del total anual); 4.595 h en disconfort.

Resultado propuesta vs vivienda de estudio:

+2.768 h en confort
-2.930 h de disconfort

Mejora **+31,6** puntos porcentuales

Vivienda propuesta es **≈ +224%** mas eficiente y confortable que las viviendas estudiadas, todo esto por medio de estrategias pasivas

Mecanismo térmico sinérgico (efecto y resultado)

El invernadero solar (captación ≈45 °C) y la masa térmica (adobe/bahareque) actúan de forma complementaria: se concentra energía térmica durante el día y se libera de modo retardado hacia el nivel habitable en la noche/madrugada, reduciendo la amplitud térmica diaria interior y el déficit nocturno. En coherencia con Olgay y Givoni (captación, masa, control) y con ASHRAE 55 adaptativo (ajuste usuario–ambiente), el conjunto reduce la dependencia de sistemas activos de calefacción y aumenta sustancialmente las horas en confort.

Conclusión operativa de la propuesta

La vivienda propuesta al integrar la unidad productiva del café como invernadero solar, una envolvente de baja transmitancia con alta inercia, estrategias de ventilación y sombreado calibradas, y espacios de transición, aumenta de manera sustancial las horas anuales dentro del rango de confort adaptativo (45,70%), ofrece estabilidad térmica nocturna, reduce la demanda potencial de calefacción y articula coherencia cultural y climática. El diseño valida que “**tradición + bioclimática contemporánea + habitante**” pueden sostener confort medible en vivienda rural naturalmente ventilada.



Imagen 22 Render RELACIÓN INTERIOR/EXTERIOR - Elaboración propia



Imagen 23 Render FACHADA SURESTE - Elaboración propia



Imagen 24 Render SEGUNDO PISO, SECADO DEL CAFÉ - Elaboración propia



Imagen 25 Render FACHADA NOROESTE - Elaboración propia



Imagen 26 Render BODEGA ALMACENAJE Y PROCESO PRODUCTIVO DEL CAFÉ - Elaboración propia



Imagen 27 Render FACHADA SUROESTE ACCESO PRINCIPAL - Elaboración propia



Imagen 28 Render ZONA SOCIAL VIVIENDA - Elaboración propia

Discusiones

Los resultados de esta investigación se alinean con los hallazgos de Rojas y Altamirano (2023) en contextos de trópico de montaña, donde las noches frías, la alta humedad relativa y la amplitud térmica diaria moderada condicionan la habitabilidad. Al igual que en su estudio, aquí se constata que la optimización de la materialidad y de la envolvente, mediante orientación, control solar, ventilación natural y masa/inercia térmica, eleva la temperatura operativa interior y reduce las horas de desconfort en edificaciones naturalmente ventiladas. La lectura común es clara: la tectónica vernácula, revisitada con rigor técnico, constituye un medio eficaz para alcanzar confort térmico sin recurrir a sistemas activos de climatización.

En términos metodológicos, Rojas y Altamirano emplean un enfoque mixto que integra mediciones in situ, simulación y encuestas, incorporando explícitamente la dimensión perceptual del confort. Esta investigación, aunque se apoya principalmente en simulaciones (DesignBuilder/EnergyPlus) y en indicadores adaptativos (ASHRAE 55), converge con el enfoque de Humphreys y Nicol y de De Dear y Brager al reconocer el papel del usuario en el ajuste operativo del ambiente, apertura de vanos, uso de espacios intermedios, variación de vestimenta y actividad. En consecuencia, el confort se entiende aquí como un proceso dinámico co-producido por clima, edificio y habitante, y no como un estado fijo determinado únicamente por la física de la envolvente.

El aporte específico de este trabajo radica en integrar la unidad productiva del café como dispositivo bioclimático. El invernadero solar del segundo nivel, diseñado para el secado a aproximadamente 45 °C, capta, concentra y transfiere calor hacia el nivel habitable, incrementando significativamente las horas anuales dentro del rango de confort adaptativo. Con ello, la vivienda deja de ser solo un refugio térmico para convertirse en una infraestructura climática y productiva coherente con el habitar campesino, articulando función agrícola, estabilidad térmica nocturna y reducción de la dependencia de sistemas activos.

Existen, no obstante, limitaciones que matizan el alcance de los resultados. La ausencia de un archivo climático EPW específico para Riosucio obligó a utilizar el de Manizales por proximidad geográfica y altitud, lo cual puede introducir desviaciones en variables como radiación, viento, temperatura y humedad. Metodológicamente, esta aproximación es válida como proxy regional y permite establecer tendencias comparativas robustas, pero los valores deben interpretarse con cautela y no como absolutos. Una futura calibración con un EPW local mejoraría la precisión respecto a los umbrales de ASHRAE 55.

De estas consideraciones se desprenden varias implicaciones. En primer lugar, es prioritario fortalecer la instrumentación microclimática local en territorios de montaña y ajustar las herramientas de simulación a contextos rurales naturalmente ventilados. En segundo lugar, resulta necesario integrar de manera sistemática la percepción térmica del habitante y sus prácticas adaptativas a los modelos de evaluación. Finalmente, conviene explorar la replicabilidad territorial de la propuesta en otros paisajes rurales tropicales con variaciones de humedad, radiación y régimen de vientos. En síntesis, esta investigación confirma que la combinación entre tradición constructiva, estrategias pasivas y confort adaptativo mejora de forma consistente el desempeño térmico en vivienda rural; y demuestra que la integración del proceso productivo del café como invernadero solar constituye una vía de innovación situada, culturalmente pertinente y térmicamente eficaz.

Conclusiones

La investigación cumplió el objetivo general al diseñar un modelo de vivienda rural campesina fundamentado en el análisis del desempeño térmico de elementos tectónicos tradicionales, demostrando que la arquitectura vernácula, reinterpretada desde criterios bioclimáticos y de confort adaptativo (ASHRAE 55), posee un alto potencial para mejorar la habitabilidad sin recurrir a sistemas activos. La propuesta integra estratégicamente adobe, bahareque y madera con un invernadero solar en el segundo nivel para el secado del café. Este dispositivo capta y acumula calor durante el día y lo libera de forma gradual hacia el nivel habitable en la noche/madrugada, incrementando de manera significativa las horas anuales dentro del rango de confort y reduciendo la demanda de calefacción.

Respecto al primer objetivo específico, se confirma que la vivienda rural campesina es una estructura cultural compleja, no un mero objeto físico, donde confluyen funciones habitacionales y productivas, usos cotidianos y significados simbólicos arraigados al territorio. Esta comprensión permitió formular un modelo arquitectónico coherente con el habitar rural, respetando lógicas espaciales, materialidad local y técnicas constructivas tradicionales, reforzando su pertinencia social y cultural.

En relación con el segundo objetivo, el análisis del desempeño térmico evidenció que sistemas como el adobe y el bahareque presentan condiciones favorables de inercia/masa térmica, capaces de amortiguar las oscilaciones diarias propias del clima frío-húmedo de montaña. Las simulaciones y evaluaciones demuestran que la adecuada disposición, espesor y articulación de estos sistemas incide en la reducción de pérdidas térmicas y en la mejora del confort interior.

Para el tercer objetivo, el examen de las condiciones que inciden en el confort térmico permitió priorizar estrategias arquitectónicas pasivas, aprovechamiento de radiación mediante invernadero, incorporación de masa térmica, ventilación natural regulada y espacios de transición, e integrarlas en el modelo propuesto. El resultado es un desempeño térmico sustancialmente mejor sin sistemas activos, validando la arquitectura como dispositivo climático pasivo en coherencia con el confort adaptativo (ASHRAE 55).

En diálogo con los debates contemporáneos, el estudio demuestra que el mejoramiento del confort no puede limitarse a optimizar la envolvente, sino que requiere integrar innovación y tradición. La reinterpretación técnica de sistemas vernáculos, articulada con estrategias pasivas contemporáneas, responde simultáneamente a clima y prácticas agrícolas, mejorando cuantitativamente las horas de confort y reconociendo formas de uso, percepción y apropiación del espacio propias del contexto rural. Al integrar la unidad productiva (secado del café) con el sistema habitacional, la vivienda se convierte en una arquitectura territorial activa que mejora el confort, la eficiencia y la productividad campesina. Esta articulación refuerza la permanencia en el territorio y ofrece, desde el diseño, una vía para contrarrestar las dinámicas de migración rural-urbana.

Bibliografía

ASHRAE. (2021). Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Brager, G. S., & De Dear, R. J. (1998). Thermal adaptation in the built environment: A literature review. *Energy and Buildings*, 27(1), 83–96. https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4

Casas Rodríguez, D., & Matíz Vega, L. L. (2018). Prototipo de vivienda social bioclimática y sostenible en el municipio de Quibdó [Trabajo de grado]. Universidad La Gran Colombia.

De Dear, R. J., & Brager, G. S. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 145–167.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s. f.). Censos históricos de población (1918, 1938, 1951): Cabecera y resto.

Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering. Danish Technical Press.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002

Frampton, K. (1995). Studies in tectonic culture: The poetics of construction in nineteenth and twentieth century architecture. MIT Press.

Givoni, B. (1969). Man, climate, and architecture. Elsevier.

Gómez-Azpetia, G. (DR). (2023). Bioclimarq. [Archivo de Excel].

Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *ASHRAE Transactions*, 104(1), 991–1004.

ISO. (2005). 7730: Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD. International Organization for Standardization.

Mandrini, M. R., Cejas, N., & Bazán, A. (2018). Erradicación de ranchos ¿Erradicación de saberes? Reflexiones sobre políticas habitacionales para sectores subalternos en Argentina. *Estudios del Hábitat*, 16(2), 45–62.

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to cradle: Remaking the way we make things. North Point Press.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). Política de vivienda rural.

Municipio de Riosucio. (2009). Documento técnico de soporte del Plan Básico de Ordenamiento Territorial – PBOT – Municipio de Riosucio, Caldas. Alcaldía de Riosucio.

Oliver, P. (2006). Built to meet needs: Cultural issues in vernacular architecture. Architectural Press.

Olguyay, V. (1963). Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press.

Rojas, M. A., & Altamirano, R. (2023). Thermal comfort in two housing typologies in the Andean Region of Ecuador: Cotopaxi Province. *IJASEIT*, 13(5).

Rudofsky, B. (1964). Architecture without architects: A short introduction to non-pedigreed architecture. Museum of Modern Art.

Ruiz Torres, R. P., & Castañeda Nolasco, G. (2013). Comportamiento y confort térmico de vivienda en la ciudad rural sustentable Nuevo Juan del Grijalva, Chiapas, México. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 2(2), 134–148. https://doi.org/10.31644/IMASD.2.2013.a07

Sánchez Amaya, C. A., & García Cardona, A. A. (2021). Diseño de vivienda rural bioclimática para clima frío-húmedo andino: Caso de estudio Facatativá-Colombia. *Arquitek*, 18, 81–103. https://doi.org/10.47796/ra.2020i18.440

Semper, G. (2004). Style in the technical and tectonic arts, or, Practical aesthetics. Getty Research Institute. (Obra original publicada en 1851)

Serra, R., & Coch, H. (1995). Arquitectura y energía natural. Edicions UPC.

Soto-Chahua, J., Acuña-Portocarrero, G., & Otárola-Santiváñez, J. E. (2025). Evaluation of building materials and proposal to improve thermal comfort in rural housing. *Civil Engineering and Architecture*, 13(1), 118–143.

Szokolay, S. V. (2004). Introduction to architectural science: The basis of sustainable design. Architectural Press.

Triana, M. A., De Vecchi, R., & Lamberts, R. (2020). Building design for hot and humid climate in a changing world. En N. Enteria, H. Awbi & M. Santamouris (Eds.), *Building in hot and humid regions*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7519-4_3

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2022). World Urbanization Prospects 2022 (Online Edition). ttps://population.un.org/wup/

World Bank. (n. d.). Rural population (% of total) – Colombia (SPRUR.TOTL.ZS).



HABITAR LA MEMORIA:

Arquitectura Rural Campesina Como Refugio Frente al Clima

Elaborado por

Arq. Carlos Andrés Cantillo Rengifo

Arq. Laura Valentina Quiceno Piedrahita

