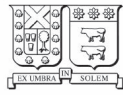


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA | DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA  
MAGISTER EN REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA SOSTENIBLE



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA



## REVISITAR LAS TECNOLOGÍAS EN TIERRA CRUDA:

ANÁLISIS Y PUESTA EN VALOR DEL DESEMPEÑO ENERGITÉRMICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO  
EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE REINTERPRETACIÓN PATRIMONIAL EN QUINCHA  
DE LA ZONA CENTRAL, CHILE.

TESIS DE MAGISTER  
CLAUDIA BUSTAMANTE Y PABLO SILLS  
2024



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA | DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA**  
**MAGISTER EN REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA SOSTENIBLE**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA**



## **REVISITAR LAS TECNOLOGÍAS EN TIERRA CRUDA:**

**ANÁLISIS Y PUESTA EN VALOR DEL DESEMPEÑO ENERGITÉRMICO Y CONFORT HIGROTÉRMICO  
EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE REINTERPRETACIÓN PATRIMONIAL EN QUINCHA  
DE LA ZONA CENTRAL, CHILE.**

**TESIS DE MAGISTER**  
**CLAUDIA BUSTAMANTE Y PABLO SILLS**  
**2024**







# AGRADECIMIENTOS

Agradezco el viaje que emprendí en el conocimiento de la tierra como material constructivo durante estos años de investigación. Los distintos territorios que visité ampliaron mi perspectiva acerca del patrimonio construido en tierra, llamando profundamente mi atención el valor tecnológico que posee el desarrollo de este tipo de construcción en distintas zonas del país.

También, agradecer a las personas, familias, comunidades, cultores, arquitectos e investigadores que pude conocer durante el desarrollo de esta investigación, quienes compartieron con mucho entusiasmo y cariño la sabiduría que hay detrás del patrimonio en tierra a lo largo del país.

*A María y Octavio.*



# MOTIVACIONES

Las motivaciones para el desarrollo de esta investigación surgen a partir de la inquietud personal en torno al ejercicio de la arquitectura en la actualidad, debido a los desafíos ambientales que enfrenta el planeta y la responsabilidad que tenemos como arquitectas/os. Los modos en que se ha ampliado el desarrollo inmobiliario en Chile muchas veces se han alejado de brindar beneficios hacia el hábitat y sus habitantes, desde el ímpetu de lograr resultados a una mayor escala con el menor costo posible. Este fenómeno si bien es mucho más complejo debido a aristas económicas, políticas y sociales que gobiernan la puesta en marcha de estas iniciativas, no está ajeno a acciones que pequeños actores podemos realizar desde un análisis crítico hacia los modos de diseñar y construir.

Esta investigación busca ser una pequeña contribución más a los estudios académicos que se están llevando a cabo en la línea de sostenibilidad desde distintas agrupaciones y profesionales, en la búsqueda de demostrar cómo se puede contribuir al desarrollo sostenible desde la valorización de aspectos materiales e inmateriales del patrimonio construido con tierra en Chile y el mundo.



## RESUMEN | ABSTRACT

El área de la construcción contribuye con el 40% de emisiones globales de CO<sub>2</sub>, impulsado por el consumo energético de edificios y el uso de materiales industrializados de alta huella de carbono como el hormigón, el vidrio y el acero. Frente a esto, en Chile y el mundo ha surgido una tendencia a la reincorporación de técnicas tradicionales de construcción con tierra a partir de su tecnificación y actualización, poniendo en valor las culturas constructivas con tierra cruda. En este sentido, reconocer las prácticas de culturas constructivas ancestrales a partir de la reinterpretación de estas puede ofrecer soluciones sostenibles y eficientes energéticamente en la construcción actual.

Este estudio investiga las ventajas de la quincha liviana en cuanto a eficiencia energitérmica y confort higrotérmico en su aplicación como envolvente de muros, evaluando su potencial de sostenibilidad en comparación con sistemas constructivos convencionales de acuerdo con estándares nacionales de edificación sustentable. Se desarrolla una metodología mixta: análisis cualitativo sobre el desarrollo histórico de la reinterpretación de la quincha liviana en el país; y el análisis cuantitativo a partir del cálculo teórico de indicadores de transmitancia, resistencia y admitancia térmica, monitoreo in situ y la simulación de su performance térmica para estimar las demandas de calefacción y refrigeración en un año típico. Para ello, se compararon 4 casos de estudio de viviendas contemporáneas construidas en quincha liviana seca, albañilería confinada, hormigón armado y tabiquería ligera en madera respectivamente.

**Palabras claves:** arquitectura con tierra, tecnologías constructivas, estándares sustentables, eficiencia energitérmica.

The construction sector contributes 40% of global CO<sub>2</sub> emissions, driven by the energy consumption of buildings and the use of industrialized materials with a high carbon footprint, such as concrete, glass, and steel. In response to this, a trend has emerged in Chile and around the world to reintegrate traditional earth construction techniques through their technification and updating, emphasizing the value of traditional raw-earth construction cultures.

This study investigates the advantages of wattle and daub regarding energy-thermal efficiency and hygrothermal comfort when applied as wall cladding, evaluating its sustainability potential compared to conventional construction systems according to national standards for sustainable edification. A mixed methodology is employed: qualitative analysis of the historical development of the reinterpretation of wattle and daub in the country; and quantitative analysis based on the theoretical calculation of indicators such as thermal transmittance, resistance, and thermal admittance, on-site monitoring, and thermal performance simulation to estimate heating and cooling demands over a typical year. For this, four case studies of contemporary homes built with lightweight wattle and daub, confined masonry, reinforced concrete, and lightweight wood framing, respectively, are compared.

**Key words:** earth architecture, constructive technology, sustainable standards, energy-thermal efficiency.

## DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. **Admitancia térmica, Y:** Capacidad de un material para intercambiar calor con el medio ambiente cuando se somete a variaciones cíclicas de temperatura, generalmente en un periodo de 24 horas (MPA The Concrete Center, 2019).
2. **Calor:** Energía transferida debido a la existencia de una diferencia de temperatura entre dos puntos. Se puede expresar en Calorías, Joules. (Bustamante, 2009)
3. **Calor específico, c:** Calor necesario para elevar en una unidad ( $1^{\circ}\text{C}$  o  $1\text{K}$ ) la temperatura de un kilogramo de material. En el Sistema Internacional de medidas (SI) se expresa en  $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{K}$  o  $\text{J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ . También se le denomina capacidad calorífica específica o calor másico. (Bustamante, 2009)
4. **Conductividad térmica, I:** Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras (NCh 853-2007).
5. **Condensación:** Paso de vapor de agua al estado líquido. Ocurre cuando para cierta humedad absoluta se alcanza la temperatura de rocío o cuando a cierta temperatura de bulbo seco se alcanza el 100% de humedad relativa (saturación). (Bustamante, 2009)
6. **Construcción sustentable:** Se refiere a aquel proceso constructivo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. La aplicación de este tipo de procesos constructivos puede implicar ahorros significativos en materia de consumo eléctrico y energético en cuanto a costos operacionales y mantenimiento a largo plazo por medio de la eficiencia en el uso de los recursos (Gerencia de Estudios CChC, 2019).
7. **Demanda de energía:** Cantidad de energía (en  $\text{kWh}/\text{m}^2\text{año}$ ) requerida para calefaccionar o refrigerar un espacio o edificio, compensando el efecto de las pérdidas y ganancias térmicas, y así mantener una condición de temperatura o confort térmico interior en base a los requerimientos individuales de cada recinto. Se diferencia del consumo energético en que este último es la energía efectiva utilizada para cubrir la demanda, incorporando el tipo de instalación, el efecto de su eficiencia y sus pérdidas por distribución, entre otros (Manual de aplicación de la Vivienda Sustentable, 2021).
8. **Eficiencia energética, EE:** Se refiere a reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios (Gerencia de Estudios CChC, 2019).
9. **Envoltente térmica de un edificio:** Serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre el ambiente interior y el ambiente exterior del edificio. Está constituido básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas (Glosario Manual de Aplicación Reglamentación Térmica)
10. **Gases de Efecto Invernadero, GEI:** Es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Los principales en la atmósfera terrestre son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, del óxido de nitrógeno y el ozono (Gerencia de Estudios CChC, 2019).
11. **Global Warming Potential, GWP:** Es la medida de cuánta energía absorberán las emisiones de 1 tonelada de un gas durante un período de tiempo determinado, en relación con las emisiones de 1 tonelada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (United States Environmental Protection Agency, 2023).

12. **Grados-Día de calefacción (GDC):** Se define como una sumatoria de las diferencias entre la temperatura base (temperatura a alcanzar en el interior de la vivienda, supuestamente de confort) y la temperatura media diaria del ambiente exterior, dentro de un periodo dado (mes o año, por ejemplo) (Bustamante et al., 2009).
13. **Humedad relativa, HR:** Relación expresada en % entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire a cierta temperatura y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a esa misma temperatura (D'alençon, 2008).
14. **Inercia térmica, I:** Capacidad que poseen los materiales de construcción de almacenar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Esta capacidad depende de la masa, densidad y calor específico del material (IECA, 2016 en Estándares de Construcción Sustentable tomo II)
15. **Masa térmica:** Concepto de diseño en edificios que describe la capacidad de ciertos materiales de construcción para absorber calor, proporcionando inercia frente a las fluctuaciones de temperatura (MPA The Concrete Center, 2019).
16. **Movimiento del aire:** La velocidad del movimiento de aire influye en los intercambios de calor por convección entre una persona y el ambiente e incide en la evaporación en la superficie de la piel. Se considera que la velocidad del aire interviene en las condiciones de confort cuando supera los 0,2 m/s, velocidad a partir de cual una corriente de aire es perceptible. (D'alençon, 2008)
17. **Puente térmico:** Parte de un sistema constructivo de la envolvente en que su resistencia térmica normalmente uniforme se ve significativamente disminuida por reducción en el espesor o ausencia de material aislante en el sistema constructivo. La presencia de puentes térmicos incrementa el flujo de calor provocando mayores pérdidas térmicas y disminución local de las temperaturas superficiales en períodos fríos, lo que provoca un aumento del riesgo de condensación superficial o crecimiento de hongos. (Bustamante, 2009)
18. **Resistencia térmica, R:** Representa la dificultad a la transmisión de calor que se produce en un sólido de cierto espesor o en una cámara de aire. En el caso de un sólido plano corresponde al cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material ( $R = e/\lambda$ ). (Bustamante, 2009)
19. **Resistencia térmica superficial:** Representa la dificultad a la transmisión de calor que se produce en la capa de aire contigua a la superficie sólida de un sistema constructivo, tanto en el interior como en el exterior. (Bustamante, 2009)
20. **Resistencia térmica total, Rt:** Corresponde a la suma de las resistencias térmicas de cada uno de los componentes de un sistema constructivo, tanto sólidos como cámaras de aire. Incluye las resistencias térmicas superficiales a cada lado del sistema. Indica la oposición que ofrece el sistema constructivo al paso de calor a través de él. (Bustamante, 2009)
21. **Temperatura del aire, Taº:** En términos climáticos, la temperatura de bulbo seco se refiere a la temperatura del aire exterior. Normalmente se mide en grados centígrados (ºC), sin embargo, la unidad según el SI es grados Kelvin (ºK). (D'alençon, 2008).
22. **Temperatura media radiante, Tsº:** Se define como la temperatura media de los objetos que nos rodean en función de su superficie. (D'alençon, 2008)
23. **Tiempo de retardo, Tr:** Tiempo de retraso, medido en horas, para que el calor pase a través de un material o elemento constructivo (MPA The Concrete Center, 2019).
24. **Transmitancia térmica, U:** Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento (NCh 853-2007).

# INDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos	7
Motivaciones	9
Resumen / Abstract	11
Definiciones conceptuales	12
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>16</b>
Presentación del tema	19
Marco teórico	23
Estado del Arte	26
Preguntas de investigación	30
Hipótesis	32
Objetivos	32
Contexto y alcance de estudio	34
Metodología de investigación	37
<b>II. CUERPO DE LA TESIS</b>	
<b>CAPÍTULO 1: CULTURAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA EN CHILE</b>	<b>42</b>
1.1 Consideraciones sobre el Patrimonio Vernáculo Construido con tierra	44
1.2 Evolución histórica de la construcción con tierra	48
1.3 Técnicas constructivas con tierra cruda	59
1.3.1 Técnicas amasadas	63
1.3.2 Técnicas en bloque	64
1.3.3 Técnicas mixtas	65
1.4 Contexto climático y la implementación de la tierra como material constructivo	70
1.5 Síntesis de capítulo	81
<b>CAPÍTULO 2: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE REINTERPRETACIÓN PATRIMONIAL</b>	<b>82</b>
2.1 Definiciones conceptuales sobre la reinterpretación patrimonial	84
2.2 Técnicas tradicionales y su reinterpretación actual en Chile	87
2.3 Sistema de Quincha Liviana	94
2.4 Certificación de la Quincha Liviana ante normativa vigente	100
2.5 Síntesis de capítulo	102
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS NORMATIVO Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA</b>	<b>104</b>
3.1 Reglamentación sísmica	106
3.2 Reglamentación térmica	109
3.2.1 Zonificación climática habitacional	110
3.3 Políticas de eficiencia energética	112
3.3.1 Aproximación a Estándares de Construcción Sustentable	114
3.4 Síntesis del capítulo	118

<b>CAPÍTULO 4. CASOS DE ESTUDIO IN SITU</b>	<b>122</b>
4.1 Contexto climático de la zona de estudio	124
4.2 Campaña de mediciones	129
4.3 Comportamiento higrotérmico de los casos de estudio	132
4.3.1 Vivienda Quincha Liviana Seca V01	132
4.3.2 Vivienda Albañilería Confinada V02	142
4.3.3 Vivienda Hormigón Armado V03	152
4.3.2 Vivienda Tabiquería Ligeras V04	162
4.4 Comparación entre resultados	172
4.5 Síntesis del capítulo.	176
<b>CAPÍTULO 5. CÁLCULO TEÓRICO PERFORMANCE TÉRMICA</b>	<b>178</b>
5.1 Confort ambiental	180
5.2 Variables de análisis en la performance térmica	182
5.2.1 Resistencia y transmitancia térmica	183
5.2.2 Masa térmica	185
5.2.3 Admitancia térmica	186
5.3 Método de análisis	186
5.4 Comparación entre resultados	190
5.5 Síntesis del capítulo.	197
<b>CAPÍTULO 6. SIMULACIÓN PERFORMANCE TÉRMICA</b>	<b>198</b>
6.1 Balance impacto ambiental	203
6.2 Método de análisis	206
6.3 Comparación entre resultados	208
6.4 Síntesis del capítulo	213
<b>III. CONCLUSIONES</b>	<b>214</b>
<b>IV. REFERENCIAS</b>	<b>222</b>
Referencias bibliográficas	224
Referencias de figuras	229
Referencias de tablas	237
<b>V. ANEXOS</b>	<b>240</b>



## INTRODUCCIÓN

El progresivo avance que ha tenido la tecnificación en el mundo moderno ha generado un impacto significativo en la sociedad. De la mano de la industrialización y la globalización, el progreso tecnológico ha resultado en la obtención de nuevos materiales y comodidades que facilitan la vida (Chruszczow en Piesik, 2017) con el objetivo de mejorar la eficiencia, la precisión y la productividad en la ejecución de diversas actividades. Sin embargo, si bien la automatización de los modos de producción ha resultado muchas veces beneficiosa en ámbitos económicos para diversos sectores, debido a su masificación y el fácil acceso que genera en la industria, estas han traído múltiples repercusiones en ámbitos culturales y ambientales.

El considerable incremento en las formas de producción requiere de una mayor disponibilidad de recursos, muchos de ellos limitados, que deben conciliar la creciente demanda que suponen las proyecciones del aumento de la población a nivel mundial. A su vez, la demanda de estos materiales ha dado lugar a la explotación intensiva de estos recursos, incluyendo la extracción de minerales, la tala de árboles y el consumo de energía.

En lo que refiere a la arquitectura, con la incorporación de nuevos materiales los modelos de edificación han mutado hacia nuevos estándares en la construcción, dejando a un lado los modos tradicionales de la construcción del hábitat. En Chile, el escenario constructivo no ha estado exento de estos procesos. Desde el siglo XX, con la llegada del movimiento moderno, las corrientes higienistas y las regulaciones impulsadas por los eventos sísmicos históricos del país los modelos de edificación fueron modificados en virtud de una mejora estructural, incorporando nuevos materiales como el acero y el hormigón en el diseño arquitectónico. Como resultado, se produjo un progresivo decaimiento en el uso de materiales tradicionales preindustriales y técnicas artesanales de construcción, especialmente en lo que respecta a la construcción con tierra cruda, que había sido una práctica arraigada durante siglos en el país y que aún constituye parte de su patrimonio constructivo.

Fig. 1  
Recuperación de adobes. ©Claudia  
Bustamante

El uso de materiales tradicionales como la tierra, la madera y las fibras vegetales fueron parte de un patrimonio constructivo forjado durante años por diversas comunidades a lo largo del país, cuyas técnicas atendían a la disponibilidad de los recursos de su entorno y se desarrollaban en post de responder de manera eficiente ante las inclemencias del clima. Actualmente, dichas técnicas constructivas vernáculas constituyen un ejemplo de arquitectura sostenible, que, a partir del entendimiento del territorio y el clima, así como la gestión sostenible de los recursos locales, entregan una respuesta arquitectónica contextualizada y de pertinencia cultural. Por este motivo diversos autores plantean el retorno de la construcción con tierra cruda, dado que la tierra continúa siendo el material constructivo más abundante y barato del planeta, con una baja huella ecológica incorporada.

El interés de este estudio se fundamenta en la búsqueda de soluciones constructivas más sostenibles en el diseño arquitectónico, tanto ambiental como culturalmente, mediante la reinterpretación de prácticas constructivas tradicionales. Este enfoque se desprende de la necesidad de otorgar mayor reconocimiento a los valores tecnológicos de sistemas constructivos que forman parte del patrimonio en tierra, y que, como indica Jorquera (2022), suelen presentar un “escaso reconocimiento generalizado” (p.9), dada la percepción errónea que se tiene producto de estigmas sociales asociados a su comportamiento estructural.

La siguiente investigación se enmarca en la búsqueda de ventajas comparativas que pueden alcanzar algunos sistemas constructivos en tierra cruda y su reinterpretación frente a otros sistemas constructivos convencionales de uso contemporáneo, con relación a indicadores de confort higrotérmico y desempeño energético aplicadas a las soluciones de muro de las viviendas.

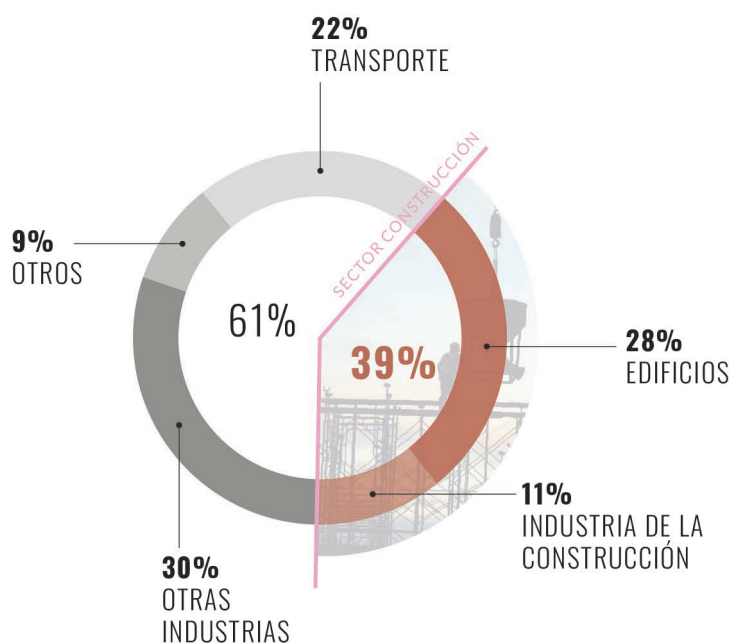
Fig. 2  
Registro participación de taller de bioconstrucción en Limache, año 2021.  
©Sebastián Astroza.



## PRESENTACIÓN DEL TEMA

La crisis climática actual, manifestada en el aumento de los desastres naturales en los sistemas climáticos, tiene como precedente los altos niveles de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) -especialmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)- que se han liberado a la atmósfera (Gerencia de Estudios CChC, 2019). Esta problemática, plantea una creciente preocupación en torno a las lógicas extractivistas y productivas que representa la industria, dónde minimizar el consumo de energía, la extracción de recursos locales y el uso de combustibles fósiles -muchos de ellos limitados- (Piesik, 2017) se convierte en un importante desafío para fomentar el desarrollo sostenible en las futuras generaciones.

La industria de la construcción y los edificios representan parte importante de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> a nivel global (Figura 3), dado que las formas actuales de producción y el uso de la edificación aún se traducen en grandes cantidades de energía incorporada a lo largo del ciclo de vida de los edificios. En este ámbito, aún persiste por parte de algunas empresas el resolver problemáticas del ambiente interior a través de grandes cifras de consumo energético durante el ciclo de vida de la edificación (D'alencón, 2008), consumo que generalmente está orientado solucionar los bajos niveles de confort térmico que se alcanzan al interior del edificio. Esta necesidad finalmente se ve muchas veces cubierta a partir del uso de sistemas activos de calefacción y refrigeración como estrategias de climatización.



**Fig. 3**  
Participación de energía a nivel mundial relacionada con emisiones de CO<sub>2</sub> según sector (2015).

Según indica el Informe sobre la Situación Mundial de los Edificios y la Construcción en 2022, durante la pandemia de COVID-19 se registró “la mayor reducción<sup>1</sup> de emisiones de CO<sub>2</sub> de la última década” (traducido de United Nations Environment Programme, 2022, p. 4), producida en su mayoría por las medidas de confinamiento ejercidas durante este periodo. Pese a ello, para el año 2021 este sector alcanzó cerca de un 37 por ciento de las emisiones globales del planeta, cuyas emisiones totales de CO<sub>2</sub> proceden principalmente del gasto operacional de los edificios (10 GtCO<sub>2</sub><sup>2</sup>) y de la industria manufacturera de materiales para la construcción (3,6 GtCO<sub>2</sub>) como el hormigón, acero, aluminio, vidrio y ladrillos. Es por estos motivos que la transición hacia una edificación sostenible con bajos niveles de emisiones exige incorporar estrategias de eficiencia respecto al uso de los materiales, las cua-

1. Dicha disminución se debe principalmente a la reducción de la demanda de construcción en las principales economías, el cierre de lugares de trabajo debido a medidas de confinamiento, la falta de mano de obra y materiales, el cambio de las pautas laborales y los desafíos asociados al aumento de los costes energéticos (United Nations Environment Programme, 2022)

2. Gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente. Representa la medida en toneladas de la huella de carbono.

les “aporten beneficios múltiples, tengan en cuenta el ciclo de vida completo del edificio e incorporen un pensamiento sistémico” (Traducido de United Nations Environment Programme, 2022, p. 10) en relación con el diseño de construcciones más energéticamente sostenibles a largo plazo.

En el caso particular de Chile, si bien aún no se cuenta con cifras oficiales<sup>3</sup> de emisiones de GEI en el sector de la construcción, esta puede ser estimada a partir de las emisiones totales en la producción y transporte de materiales e insumos, y en el uso de energía durante el ciclo de vida útil de la edificación del sector comercial, público y residencial (Gerencia de Estudios CChC, 2019). Estas cifras representan una participación cercana al 23 por ciento<sup>4</sup> del total de emisiones GEI del país para el año 2019, cuyas principales fuentes de emisión de CO2 derivan mayoritariamente de la producción industrial nacional de materiales.

El panorama actual de la construcción en Chile revela una tendencia marcada hacia el uso intensivo de materiales industriales, principalmente cemento, hierro, acero, vidrio y alquitrán (y por ende asfalto), que según la Gerencia de Estudios de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2019) contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero del país, representando 8,7% sumándole las variables de exportación de dichos materiales, como es el caso del cemento. Este énfasis en la producción industrial derivada de la extracción de recursos no renovables, además se enmarca en una situación de alta demanda debido al crecimiento sostenido de la población, que se espera supere los 21 millones de habitantes para el año 2025 (Gerencia de Estudios CChC, 2019). Por tanto, dicho aumento demográfico tendría directa relación con la cantidad de superficie total construida para el desarrollo habitacional en el país, es decir, una mayor necesidad de viviendas.

3. Aún no se cuenta con registros oficiales que permitan cuantificar el impacto ambiental total del sector. Pese a ello, este puede ser estimado según las fuentes principales de CO2 del país y su relación con la industria constructiva.

4. Teniendo en cuenta los procesos del ciclo de vida de la edificación, desde la producción industrial de insumos y su exportación (8,7%), el transporte de insumos y maquinaria especializada (8,7%) y el uso energético por parte del sector comercial, público y residencial (5,8%).

Fig. 4-5  
Uso de materiales de envoltura para muros exteriores en viviendas particulares a nivel nacional según Censo 2002-2017.

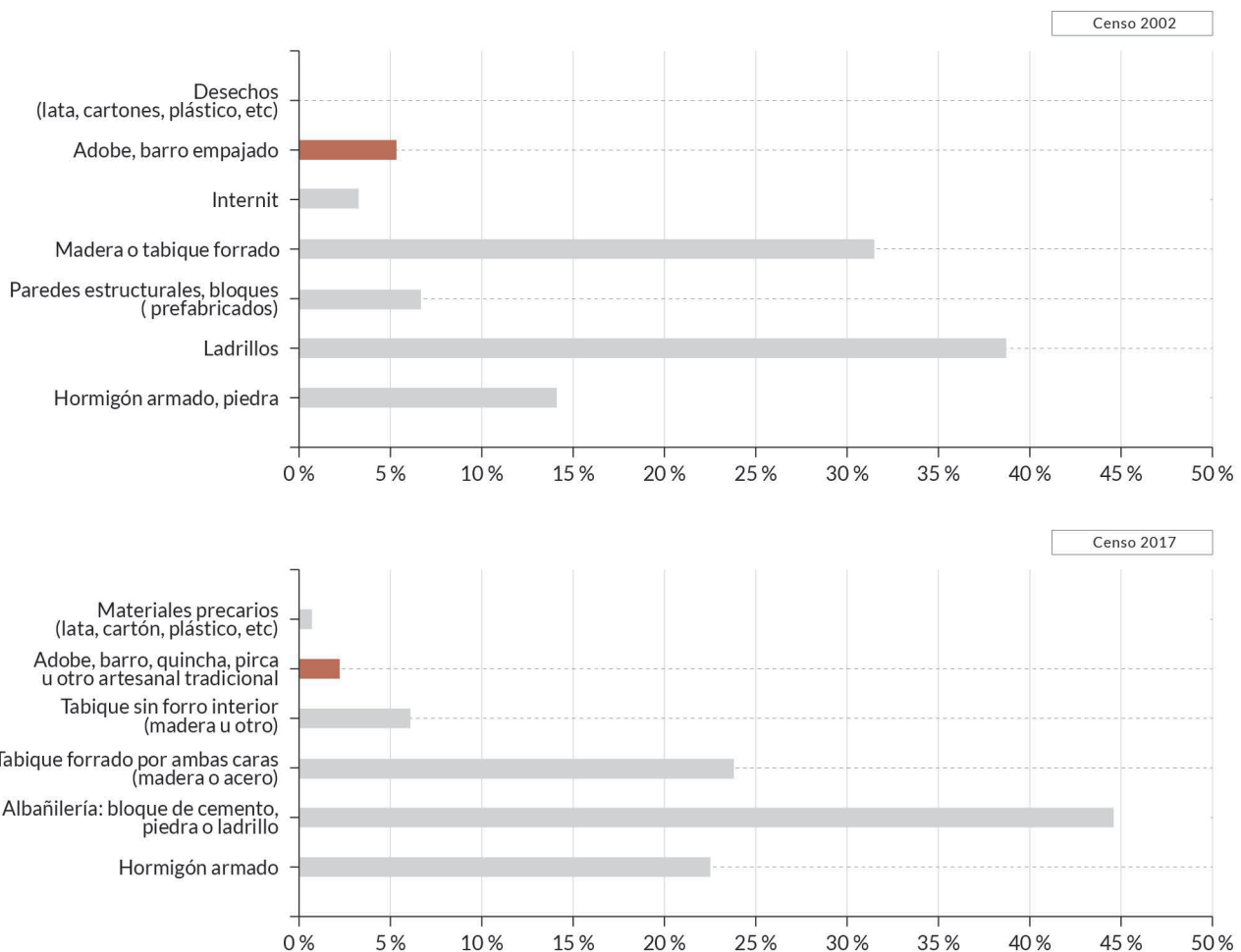
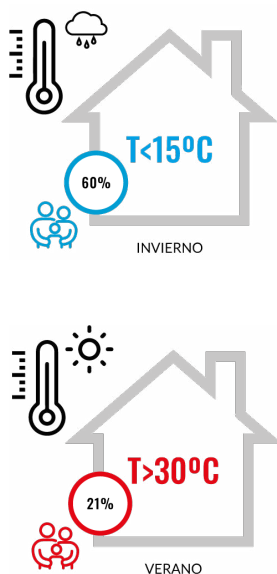


Fig. 5-6  
Temperaturas promedio soportadas por la población en Chile.

El 60% de la población puede llegar a soportar temperaturas inferiores a los 15°C, mientras que el 21% puede pasar el verano a más de 30°C producto de la configuración de la envolvente térmica.



Esta demanda se ha abordado tradicionalmente con soluciones de construcción rápida y económica, reflejados en el aumento de construcciones a partir de materiales convencionales según los últimos Censos (Figura 4-5), si bien resultan ser eficientes respecto a la reducción en los tiempos de construcción y bajos costes que facilitan el desarrollo habitacional a gran escala, presentan una gran cantidad de repercusiones en el ámbito ambiental considerando la energía requerida para la fabricación de este tipo de materiales. Estas prácticas constructivas a menudo resultan inadecuadas para mantener óptimos niveles de confort higrotérmico en la vivienda, que se traduce en un mayor consumo energético en calefacción y refrigeración anual por parte de sus habitantes.

Como describe (Contreras, 2008, citado en Whitman et al., 2016) en Chile existen alrededor de tres millones 600 mil viviendas con deficiencias térmicas, muchas de las cuales dependen del uso de sistemas de calefacción a leña de mala calidad en la combustión u otros sistemas ineficientes y contaminantes, cuyo resultado equivale a que un 60% de la población que soporta temperaturas invernales inferiores a los 15°C (con un promedio nacional al año 2006 de 13,8°C); mientras que el 21% pasa el verano a más de 30°C producto de la configuración de la envolvente térmica, lo cual afecta a todas las clases sociales según el CNE/GTZ (2006). Estos indicadores influyen directamente en una alta demanda energotérmica para calefacción residencial para las zonas centro-sur y sur del país, la cual afecta al menos en un 50% del ingreso total de los hogares de la población (Whitman et al., 2016).

En términos ambientales, la contaminación causada por los sistemas y materiales constructivos (como el hormigón, las estructuras metálicas o el poliestireno expandido) durante su ciclo de vida, junto con la escasa gestión de sus respectivos residuos producidos durante el periodo de ejecución de obra y/o posterior demolición, son consecuencias directas del ejercicio de la arquitectura y la construcción que inciden de manera negativa en la crisis medioambiental (Colectivo RE, 2020). Por otro lado, en el ámbito sociocultural la introducción de la automatización en las formas de producción de materiales constructivos resulta en la desvalorización de oficios tradicionales, llevándolos eventualmente a su desaparición (ibid.). Su aplicación en las nuevas edificaciones, muchas veces descontextualizadas y ajenas al territorio, han relegado la originalidad, el uso de materiales naturales locales y la aplicación de estrategias de diseño pertinentes al clima y el lugar (Piesik, 2017), situación que finalmente pone en crisis la identidad arquitectónica y el patrimonio intangible ligado a las prácticas constructivas de algunas culturas.

En el marco de una constante inclinación hacia la homogeneización cultural y arquitectónica producida por la influencia de la globalización socioeconómica en el mundo, la identidad arquitectónica de algunas culturas se ha visto fuertemente amenazada. Las nuevas vertientes arquitectónicas, promovidas por la instalación de la arquitectura moderna durante el siglo XX, la industrialización y la llegada de materiales industrializados, instalaron nuevas estrategias en las formas de construir (Jorquera, 2022). Efectos como el crecimiento exponencial de las ciudades, los efectos migratorios y la falta de estímulo tecnológico en las zonas de mayor ruralidad ha guiado la pérdida de conocimientos locales y la merma de las identidades culturales regionales (Piesik, 2017). Por este motivo, visitar las tecnologías constructivas vernáculas que adoptaron nuestros antepasados se vuelve una oportunidad para dar respuestas efectivas a la crisis climática desde el diseño de la edificación, donde una nueva perspectiva que combine soluciones de culturas constructivas ancestrales y actuales podrían proporcionar un enfoque sostenible en la producción del hábitat en el futuro de la arquitectura (Piesik, 2017).

En lo que respecta al territorio chileno, el adobe, el tapial, la mampostería en piedra con aglomerado de tierra y la quincha corresponden a sistemas constructivos ancestrales que continúan en uso en diferentes regiones del país (Aninat, 2020). En particular, actualmente la quincha se posiciona como una alternativa viable para atender a la creciente demanda de viviendas y otros usos, donde la crisis climática actual y el agotamiento de recursos obliga a proponer nuevas soluciones más sostenibles que contribuyan a mejorar la calidad de vida, la identidad cultural y el desarrollo de sus usuarios y comunidades (ibid.).

Fig. 7  
Vivienda construida en adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Santiago.



## MARCO TEÓRICO

La presente investigación tiene como base el reconocimiento de la cultura y el patrimonio como agentes claves para fomentar el desarrollo sostenible<sup>5</sup>, cuya aseveración se sustenta bajo la declaración del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS en sus siglas en inglés) que indica que el patrimonio natural y cultural, tangible e intangible, es fundamental para abordar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (Labadi et al., 2021) que componen la Agenda 2030<sup>6</sup> de las Naciones Unidas (ONU), desarrollada en el marco del Acuerdo de París<sup>7</sup> el año 2015.

Esta afirmación nace a propósito de la escasa vinculación del valor de la cultura y el patrimonio dentro de la redacción de los ODS, dónde se hacen sólo cinco referencias directas dentro del documento al término “cultura” o “cultural”, limitando las oportunidades que puede ofrecer el patrimonio al desarrollo sostenible. En este contexto y con relación a la integración del rol de la cultura y el patrimonio en los ODS, el Grupo de Trabajo de ODS de ICOMOS el 2021 desarrolló un documento<sup>8</sup> (Anexo 4) el cual incluye políticas de orientación específicas para guiar diversas formas en que la cultura en general, y el patrimonio en particular, pueden contribuir e impulsar el desarrollo sostenible a través de cada uno de los 17 ODS incluidos en la Agenda 2030 reconociendo las potencialidades de la relación entre el patrimonio y la sostenibilidad.

El documento, además de reconocer las potencialidades que representa la cultura en los procesos de desarrollo sostenible, propone un rol activo del patrimonio en los ejes de acción universal de cada uno de los 17 ODS incluidos en la Agenda 2030, la cual está orientada a poner fin a la pobreza, proteger el planeta del cambio climático y mejorar la calidad de vida y perspectivas de la población a nivel mundial (Naciones Unidas, s. f.). Estas políticas de orientación introducen una guía de acción en torno a la práctica del patrimonio –tanto cultural, natural, tangible e intangible- en materias de sostenibilidad social, económica y ambiental para impulsar el logro de los ODS, reforzando su valorización, protección y gestión.

El escrito hace alusión al reconocimiento del conocimiento indígena en relación con las prácticas constructivas y su contribución a la sostenibilidad ambiental.

5. El Desarrollo Sostenible es definido como el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (Naciones Unidas, s. f.).

6. Resolución aprobada el 25 de septiembre del año 2015 por parte de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015).

7. El Acuerdo de París tuvo lugar el 12 de diciembre del año 2015, en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21). Este tiene como objetivo fundamental el reforzar la respuesta mundial a las amenazas que representa el cambio climático a largo plazo. (Naciones Unidas (ONU), 2015)

8. El documento de orientación de políticas se basa en la experiencia científica del Grupo de Trabajo sobre los ODS de ICOMOS y los comités científicos de ICOMOS a nivel nacional e internacional. Se basa en los textos doctrinales creados por los miembros globales de ICOMOS, que han dado forma a la literatura sobre conservación del patrimonio en todo el mundo (Labadi et al., 2021).

Fig. 8  
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU. Se destacan con color cuyos objetivos hacen alusión a las oportunidades del conocimiento tradicional en la arista de sostenibilidad ambiental.



La intersección entre el conocimiento indígena y los objetivos del desarrollo sostenible resalta como las prácticas constructivas tradicionales pueden plantear estrategias para abordar múltiples dimensiones de la sostenibilidad ambiental, como la innovación tecnológica, la mitigación del cambio climático y la creación de comunidades más resilientes.

En el Objetivo 7, “Energía asequible y limpia”, se reconoce el potencial del patrimonio en la integración de modelos de desarrollo energéticamente eficientes. Se subraya la oportunidad de que el patrimonio promueva la conservación, rehabilitación y mejora de la eficiencia energética en edificios preexistentes, en línea con los principios de construcción sostenible.

En el Objetivo 9, “Industria, innovación e infraestructura”, se reconoce la oportunidad en la que las artes y los oficios tradicionales pueden proporcionar inspiración y nuevas ideas para adaptar de manera creativa sistemas tradicionales en el diseño de tecnologías contemporáneas. Además, se resalta que la herencia constructiva representada por el patrimonio construido lleva consigo siglos de experimentación, creatividad, innovación e ingenio en relación con las prácticas patrimoniales, cualidades que han perdurado a lo largo de la historia y que pueden ser revitalizadas.

El Objetivo 11, “Ciudades Sostenibles y comunidades”, vincula la preservación y promoción del conocimiento indígena en prácticas constructivas ya que este conocimiento puede contribuir a la planificación y desarrollo de comunidades sostenibles, respetando los valores culturales y ambientales.

El Objetivo 12, “Producción y consumo responsables”, reconoce que la promoción del uso de técnicas y conocimientos tradicionales que se desarrollan en torno a la producción del hábitat pueden contribuir a lograr índices de eficiencia energética, prácticas de consumo y producción culturalmente más apropiadas y sostenibles.

En el Objetivo 13, “Acción por el clima”, se hace hincapié en la importancia de identificar y promover el uso de recursos locales, técnicas y conocimientos resilientes basados en el patrimonio construido. Estos enfoques pueden lograr una mayor eficiencia energética, reducir las emisiones de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero, y demostrar la capacidad de adaptación de diversas tipologías patrimoniales a las acciones climáticas actuales.

Los objetivos declarados identifican las oportunidades en que las artes y los oficios tradicionales pueden brindar inspiración y nuevas ideas para adoptar creativamente los sistemas tradicionales en el diseño de nuevas tecnologías contemporáneas. Del mismo modo, se describe la importancia que posee la identificación y promoción del uso de recursos, técnicas y conocimientos locales basados en la capacidad de adaptación ante la acción climática que pueden presentar diversas tipologías patrimoniales para lograr la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y GEI; así como también la importancia del desarrollo de la investigación de diseños y técnicas de construcción indígenas y tradicionales en las que se haya demostrado una mejor adaptación a las situaciones climáticas locales con el fin de garantizar el acceso a energía asequible, fiable y sostenible para toda la población.

El dominio del conocimiento empírico de la arquitectura vernácula abre el camino al reconocimiento de su valor y su sistematización, lo que finalmente conduce a la elaboración de estándares, leyes y reglas que son fundamentales para que estas técnicas tengan la oportunidad de ser difundidas e implementadas en el mundo contemporáneo (Correia et al., 2014). Su reconocimiento y protección desde el conocimiento a plenitud de este tipo de pa-

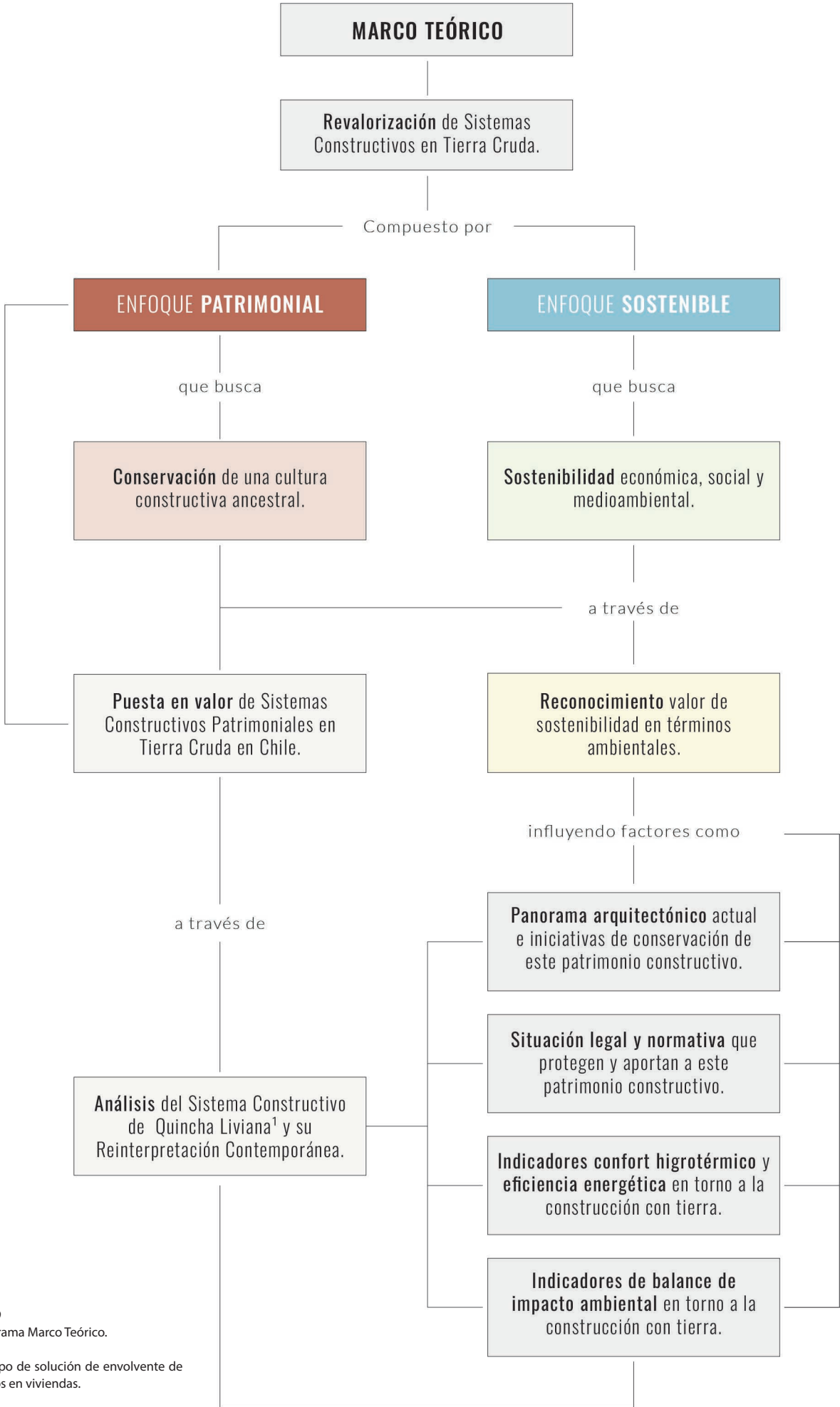


Fig. 9 Diagrama Marco Teórico.

(1) Tipo de solución de envoltente de muros en viviendas.

trimonio puede fortalecer los procesos de conservación, la rehabilitación y el diseño de una nueva arquitectura contemporánea sostenible (ICOMOS CIAV, 2022), dado que el conocimiento al detalle del patrimonio construido, incluyendo todos sus componentes, las interrelaciones entre ellos, las culturas locales adyacentes, así como los materiales y atributos específicos, establece el fundamento de cualquier iniciativa de conservación (Prólogo de Magdalena Achenza en Jorquera, 2022).

Este marco avala en gran parte el estudio de técnicas constructivas vernáculas como motor de desarrollo sostenible en el ámbito de la arquitectura y el patrimonio, identificando las maneras en que la recuperación del patrimonio vernáculo constructivo puede fomentar la innovación en el desarrollo de una nueva arquitectura, al mismo tiempo que este ejercicio puede dar pie a la salvaguarda de este tipo de patrimonio constructivo y las tradiciones u oficios que lo conforman.

Estos antecedentes abren el debate del resurgimiento paulatino de este tipo de construcción, el que, como se verá más adelante, corresponde a un patrimonio constructivo vernáculo presente en la identidad cultural de Chile. A partir de ellos, se desglosan dos enfoques (Figura 9) para el desarrollo de la investigación: (1) enfoque patrimonial, el cual reconoce la importancia en la conservación de una cultura constructiva ancestral para su preservación en el tiempo; y (2) enfoque sostenible, el cual reconoce el valor medioambiental presente en dicha cultura constructiva en cuanto a material y técnica. Ambos enfoques de la investigación buscan contribuir al fortalecimiento de su valorización y posterior uso futuro.

## ESTADO DEL ARTE

Durante las últimas décadas del siglo XX han surgido diversas iniciativas para la protección y reintegración de la arquitectura con tierra en el mundo, a partir del reconocimiento del valor tecnológico y ambiental de estas culturas constructivas. En este ámbito, se ha ido consolidando la investigación, divulgación e intercambio de conocimientos respecto a las propiedades físico-mecánicas, estructurales y biológicas de la tierra como material constructivo, con la finalidad de establecer nuevos parámetros de análisis para mejorar sus estándares constructivos.

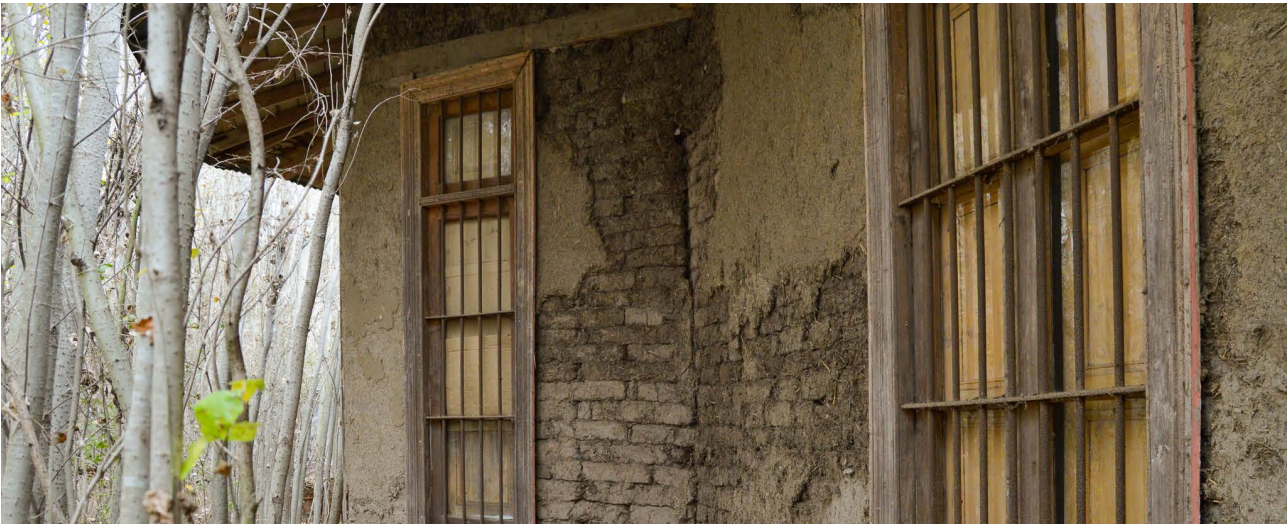
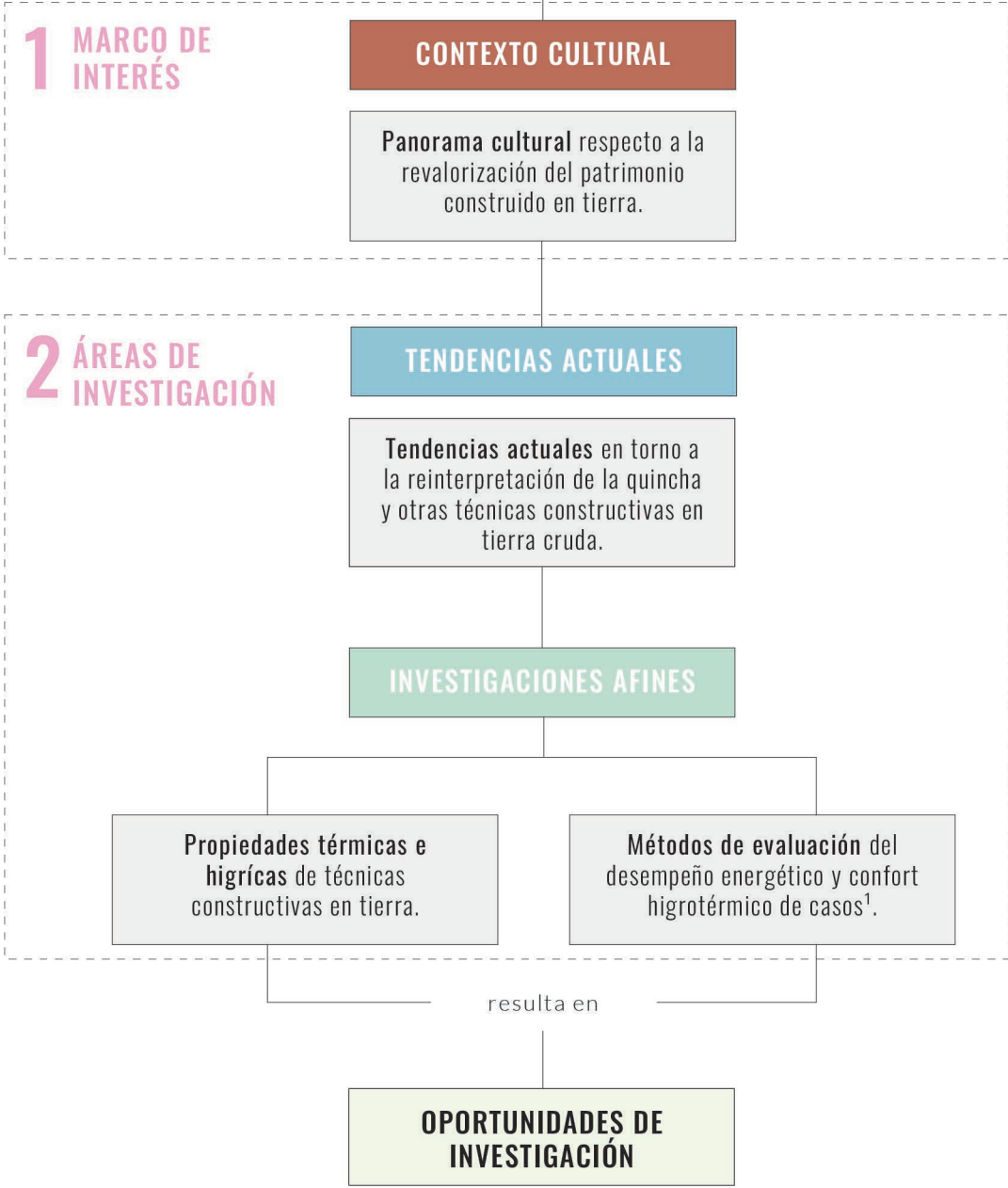
Desde la década de 1970 aproximadamente, el Comité Científico Internacional del Patrimonio Arquitectónico de Tierra (ICOMOS-ISCEAH en sus siglas en inglés) se ha encargado de promover la difusión del valor presente en este patrimonio vernáculo, instando a la participación en materias de investigación por medio del desarrollo una serie de conferencias internacionales, en el marco de la conservación de técnicas constructivas en tierra y su aplicación en la arquitectura (ICOMOS-ICSEAH, n.d). En este contexto, países como Egipto, Francia e India han sido pioneros en el resurgimiento de la construcción con tierra en la nueva era contemporánea (Gattupalli, 2022). Centros de investigación como el “Centro Internacional para la Construcción con Tierra” (CRATerre) en Francia en 1979, o la organización “Auroville Earth Institute” (AVEI) en India en 1990, han promovido el desarrollo científico y tecnológico de estas técnicas constructivas vernáculas en gran parte del mundo, fomentando la investigación y el estudio sobre la tecnificación de la tierra como material constructivo.

En el ámbito Iberoamericano, el año 2006 se estableció una de las principales redes internacionales dedicadas a la investigación y divulgación sobre la arquitectura y construcción con tierra (PROTERRA) (Red PROTERRA, n.d).. Esta red reúne a expertos de diversos países de las regiones de Latinoamérica

**Fig. 10**  
Diagrama Estado del Arte.

(1) Viviendas construidas a partir de sistemas constructivos en tierra cruda y/o sus versiones reinterpretadas.

**Fig. 11**  
Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación, comuna de Paine, Región Metropolitana. En la fotografía se muestra la fachada que aún se encuentra deteriorada. ©Claudia Bustamante



y Europa que llevan a cabo diversas iniciativas de carácter académico para promover el desarrollo de la investigación en la arquitectura y construcción con tierra basados en aspectos de patrimonio y desarrollo sostenible.

En lo que respecta a Chile, desde la década de 1980, diversos grupos de habitantes, arquitectos y bioconstructores han liderado la investigación y experimentación en la arquitectura a partir de técnicas constructivas con tierra (Acevedo et al., 2022; Jorquera, 2022), incorporando nuevos conocimientos constructivos a los métodos tradicionales de ejecutar este tipo de arquitectura vernácula. En este sentido, se han consagrado diversas organizaciones sin fines de lucro motivadas por el reconocimiento de técnicas constructivas con tierra, como es el caso de Fundación Jofré®, ProTerra Chile® o la red AR-COT®, entre otras, quienes se han encargado de relevar la importancia que posee este patrimonio constructivo y motivar su proyección a nivel normativo para impulsar nuevos procesos de salvaguarda. Gracias a ello, a partir del año 2005 se comenzaron a implementar cambios normativos en el ámbito de la construcción con tierra en respuesta a los eventos sísmicos históricos que han afectado al país (Jorquera, 2022), principalmente a gran parte de la zona centro y centro sur. Estos hitos en el marco regulatorio marcan un antes y un después en la valorización del patrimonio construido con tierra en el país (ibid.), dado que promueven el reconocimiento de inmuebles que incluyen sistemas constructivos de carácter patrimonial -como el adobe, la quincha o el tapial- a partir de estrategias de capacitación e innovación en materias que se estimaban obsoletas para la reconstrucción o restauración de edificaciones (CDT, 2013). Hasta la fecha diversos autores se han encargado de relevar los aspectos materiales e inmateriales que constituyen el patrimonio arquitectónico con tierra en distintos territorios, desde cascos históricos hasta localidades remotas a lo largo del país. Entre ellos se reconoce el trabajo de (Alfaro et al., 2022; Blaitt & Bonczos, 2003; Corporación Memoria Austral, 2020; Cortez, 2014; Jorquera, 2022; Pérez & Castillo, 2020; Rivera Vidal & Giribas Contreras, 2019; Yuste et al., 2019; Dávila & Contreras, 2022), entre otros, quienes han relevado los aspectos técnicos, ambientales y/o culturales en torno a este patrimonio.

Actualmente, la investigación acerca del rendimiento higratérmico de la tierra y las fibras vegetales ha sido un campo cada vez más estudiado por diversos autores (Lawrence en Piesik, 2017), motivando el avance tecnológico de estos materiales para su aplicación y resguardo en el contexto contemporáneo. En la región de Latinoamérica, se han desarrollado investigaciones respecto al comportamiento térmico que poseen algunos sistemas constructivos específicos en base a tierra y fibras vegetales, con objeto de demostrar su buen desempeño respecto a materiales convencionales de uso industrial y lograr validarlos ante las respectivas reglamentaciones térmicas vigentes según cada país. En este ámbito, existe una extensa bibliografía respecto a las propiedades térmicas que posee la tierra comprimida o alivianada como material constructivo, en las cuales destacan los trabajos recopilatorios realizados por el arquitecto alemán Gernot Minke en (Minke, 2010) y Mike Lawrence en (Piesik, 2017), entre otros. Pese a ello, la base de datos de materiales en tierra no posee una mayor precisión dada la complejidad de las variables que influyen en su composición, pero distintos autores coinciden con que esta condición se encuentra determinada por la técnica constructiva empleada y la densidad aparente del material (Lawrence en Piesik, 2017; Minke, 2005; Cabrera et al., 2023; Wieser et al., 2018). Esta condición es una de las principales dificultades que poseen materiales naturales como la tierra o las fibras al momento de ser validado frente a normativas térmicas.

En relación con el estudio del desempeño térmico para cerramientos de muros perimetrales construido con sistemas constructivos con tierra y fibras,

Fig. 12-14  
Imágenes investigación de Wieser et al. 2018, acerca de la conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha.



Fig. 15-17

Probetas realizadas en la investigación de Cabrera et al. 2023, para evaluar los valores de conductividad y transmitancia térmica en sistemas constructivos de tierra.



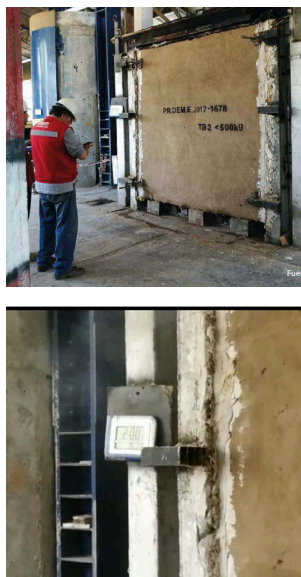
(Velásquez & Torres, 2017) se refieren al comportamiento térmico de diferentes rellenos para el alma del sistema constructivo de quincha, evaluando la conductividad térmica de diferentes mezclas para el relleno aislante. Los autores concluyen que para el relleno de un muro de quincha, mientras mayor cantidad de volumen de paja de trigo tenga, mayor será su resistencia térmica, permitiendo acceder a la construcción de muros de menor espesor con una alta capacidad aislante. También, (Wieser et al., 2018) en su investigación acerca de los valores de conductividad térmica de la tierra alivianada en paneles de Quincha en Perú, evidencian el buen desempeño térmico que posee el sistema constructivo y sus versiones mejoradas con materiales aislantes frente a otras soluciones industriales, las cuales logran cumplir con las exigencias térmicas dispuestas según la reglamentación térmica peruana, chilena y española de manera mucho más eficiente. Del mismo modo, (Cabrera et al., 2023) en su reciente investigación sobre el coeficientes de transmitancia y conductividad térmica en elementos constructivos en tierra empleados para la construcción de muros en Argentina, reafirmaron la correlación entre los coeficientes de conductividad térmica y la densidad aparente de los elementos constructivos confeccionados con tierra, arena y fibra vegetal, siendo la mezcla de relleno para la quincha la que posee un mayor nivel de aislación térmica. Su investigación, al igual que en (Wieser et al., 2018), demostró que todos los materiales de tierra poseen un mejor desempeño térmico respecto a materiales industriales, como es el ladrillo cerámico macizo o bloques de hormigón, cumpliendo con los requerimientos estipulados en este caso por la reglamentación térmica argentina. También, desde el esfuerzo de realizar análisis comparativos entre materiales y sus respectivos cumplimientos a nivel normativo, (Cuitiño et al., 2015) en el marco de su tesis doctoral, presenta valores de transmitancia térmica de la quincha prefabricada con y sin mejoras térmicas, destacando que la tecnología del sistema de quincha es competente para ser empleada en los muros de cerramiento de una vivienda en la zona de Mendoza, Argentina, y ser térmicamente confortable al interior de la vivienda para la época de invierno.

En cuanto a la certificación de sistemas constructivos que incluyen técnicas con tierra, en el caso de Chile la Corporación Protierra Chile© llevó a cabo ensayos de validación sobre el comportamiento térmico, acústico y la resistencia al fuego de dos de los sistemas constructivos de reinterpretación patrimonial que se venían estudiando en el país: quincha liviana seca y quincha liviana húmeda (Acevedo et al., 2019). Estos estudios fueron realizados con el objetivo de validar algunos de los sistemas constructivos reinterpretativos de las culturas constructivas patrimoniales de Chile para que fueran incorporados en el Listado Oficial de Sistemas Constructivos del MINVU, entregando nuevas opciones más sostenibles basadas en el patrimonio constructivo del país. A partir de estos estudios, el año 2018, el sistema constructivo de reinterpretación patrimonial “Quincha Liviana” (en sus versiones con relleno seco y relleno húmedo) fue validado respecto a su desempeño frente al fuego, su comportamiento térmico y su comportamiento acústico según la normativa vigente, por demostrar óptimos indicadores comparables con otros sistemas constructivos. Su validación facilitó el ingreso de nuevos proyectos de arquitectura a las direcciones de obras municipales y otros organismos públicos, así como también permitió posicionar la construcción con fibras naturales y tierra como una alternativa sustentable y de pertinencia cultural dentro de los estándares de construcción en Chile (Acevedo et al., 2019).

En la actualidad se están realizando esfuerzos para también validar térmicamente otros sistemas de carácter patrimonial o reinterpretativos ante la normativa chilena, como es el caso del “Adobillo” en la región de Valparaíso, o el sistema modular “Terrapanel®” en Santiago, con motivo de obtener una validación oficial según indicadores térmicos (Gómez et al., 2023).

Fig. 18-19

Muro de ensayo de quincha liviana durante el estudio de Comportamiento al Fuego en Laboratorio IDIEM.



Considerando que las bases académicas respaldan en gran mayoría los beneficios en ámbitos ambientales de la construcción con tierra cruda en su amplio espectro, surge la oportunidad de evaluar en términos cuantitativos el ahorro energético que supone una mejora en el desempeño higrotérmico de la envolvente a partir del uso de sistemas constructivos de reinterpretación patrimonial (como es el caso de la Quincha Liviana) en viviendas actuales respecto a otros sistemas más convencionales. Los resultados del monitoreo in situ en contraste con las simulaciones térmicas revisadas en el estado del arte de la investigación plantean la oportunidad de evaluar como estas variables pueden incidir en el desempeño energotérmico real en la edificación y su alcance en cuanto a estándares sustentables de construcción, considerando la reducción de demanda energética de calefacción y refrigeración y sus costes implicados en el contexto de una vivienda.

Además, las evidencias recopiladas plantean interrogantes acerca del equilibrio adecuado entre la capacidad aislante y la inercia térmica necesarios para lograr condiciones ideales de confort higrotérmico en un muro construido en base a sistemas constructivos en tierra cruda durante un año típico, especialmente en el contexto nacional, para respaldar su funcionamiento a nivel normativo y su posible aplicación en las diversas zonas climáticas que se definen en el territorio chileno. En este sentido, la investigación abre la posibilidad de continuar el reconocimiento e innovación de estas técnicas a partir de la reinterpretación, al mismo tiempo que su puesta en valor motiva la preservación de edificaciones patrimoniales preexistentes que siguen estas lógicas constructivas.

Fig. 20 Preguntas de investigación.

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

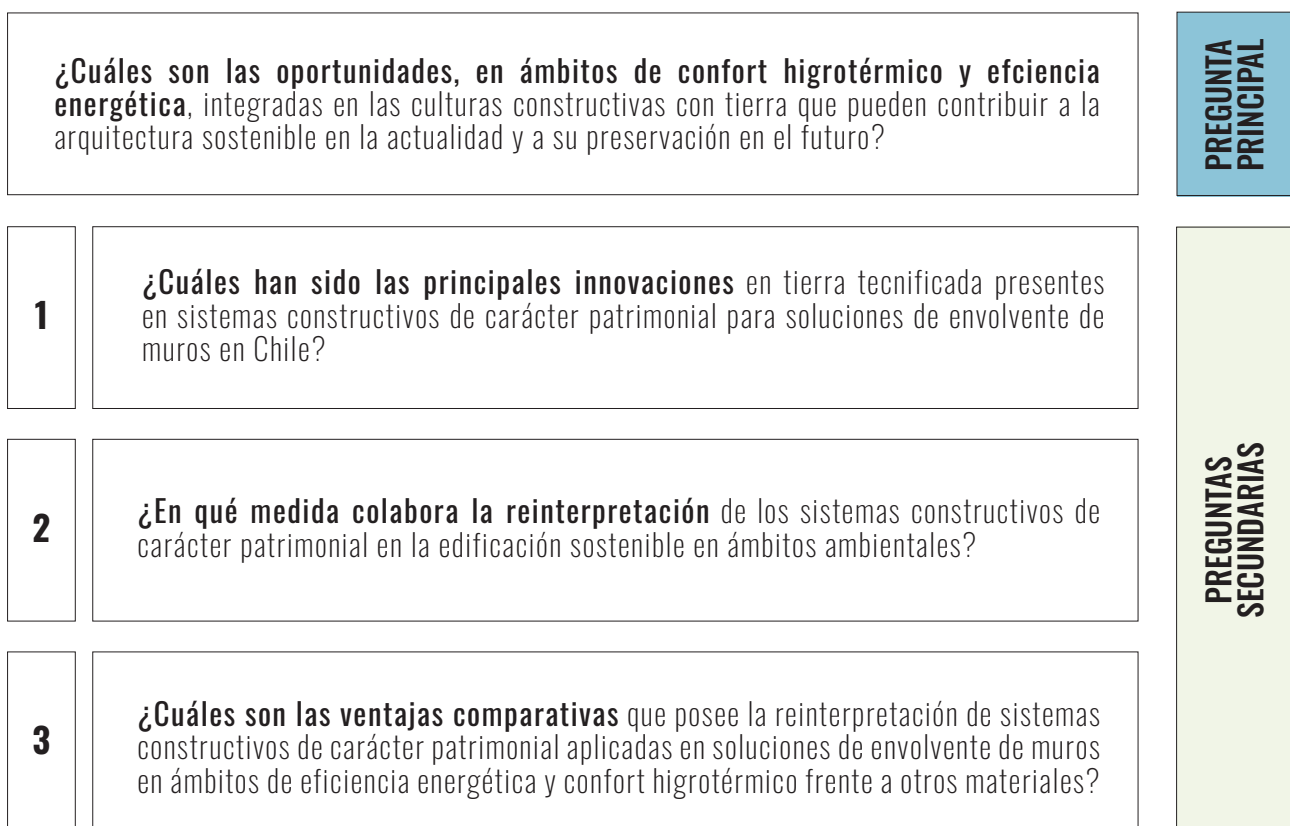


Fig. 21 Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Región Metropolitana. ©Claudia Bustamante.



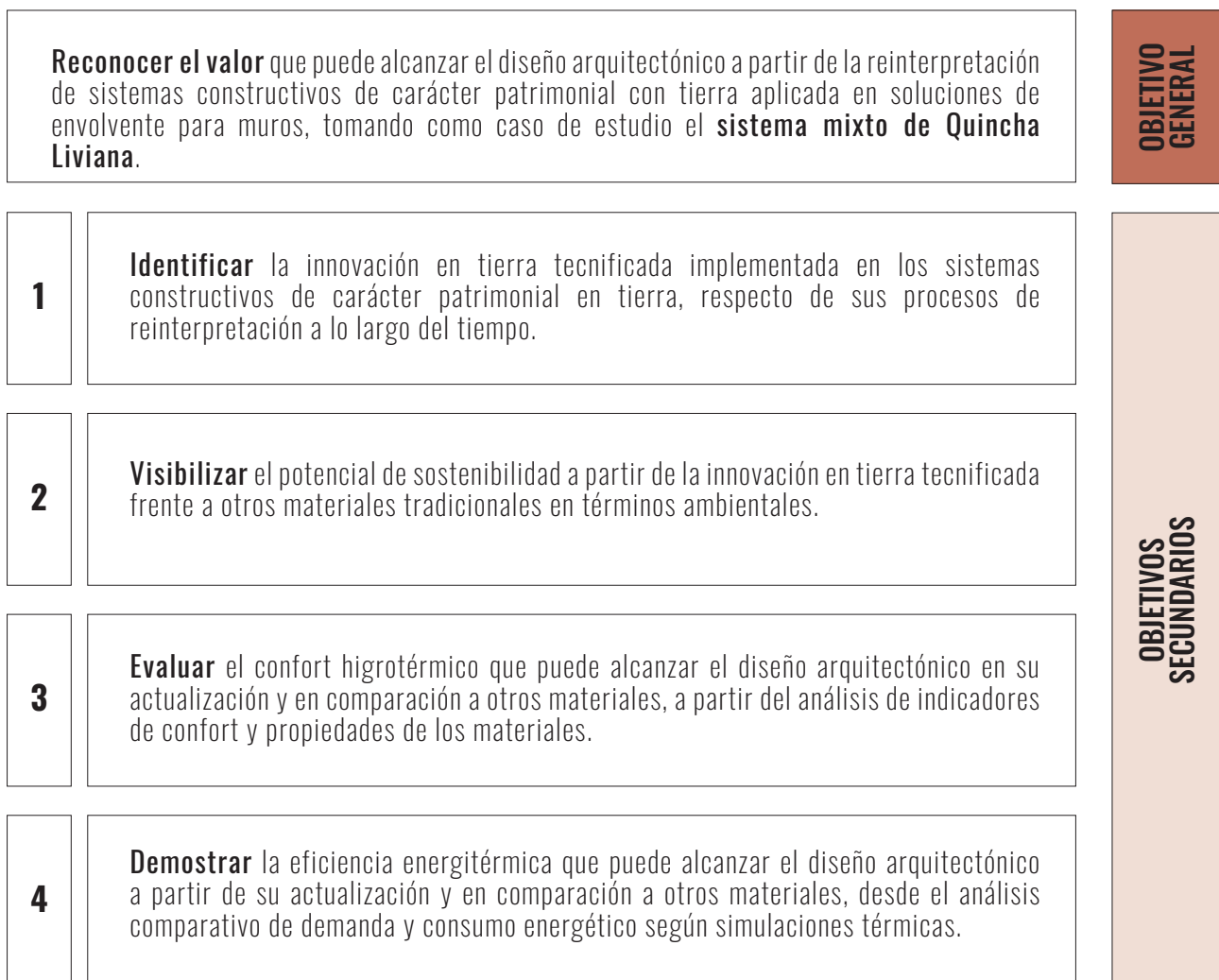
## HIPÓTESIS

La reinterpretación de sistemas constructivos patrimoniales, como es el caso de la quincha liviana mediante la implementación de nuevas tecnologías constructivas, **se posiciona como una alternativa sostenible y competente en términos de desempeño energético y habitabilidad, en comparación con los sistemas contemporáneos empleados en el sector de la construcción.** La investigación y el desarrollo de nuevos modelos basados en el reconocimiento de técnicas y tecnologías tradicionales presentes en el patrimonio construido con tierra pueden potenciar la adaptación de los modelos constructivos actuales, al mismo tiempo que pueden preservar la sabiduría que integran dichas culturas constructivas en tierra.

## OBJETIVOS

En base a lo anterior, se puede adelantar que reconocer el potencial de sostenibilidad en ámbitos ambientales y energéticos presentes en la reinterpretación de sistemas constructivos de carácter patrimonial contribuye a la confirmación en cuanto a valores ambientales presentes en el patrimonio construido, potenciando la activación de prácticas de tutela. En otras palabras, reconocer aspectos medulares como la materialidad, la técnica o la cultura en sí mismo contribuye al desarrollo de políticas públicas y/o prácticas orientadas a la preservación de una cultura constructiva, en miras de implementar estrategias adecuadas para guiar su salvaguarda, o bien, proyectar su uso futuro (Figura 23).

Fig. 22  
Alcance de investigación. Región de Valparaíso.



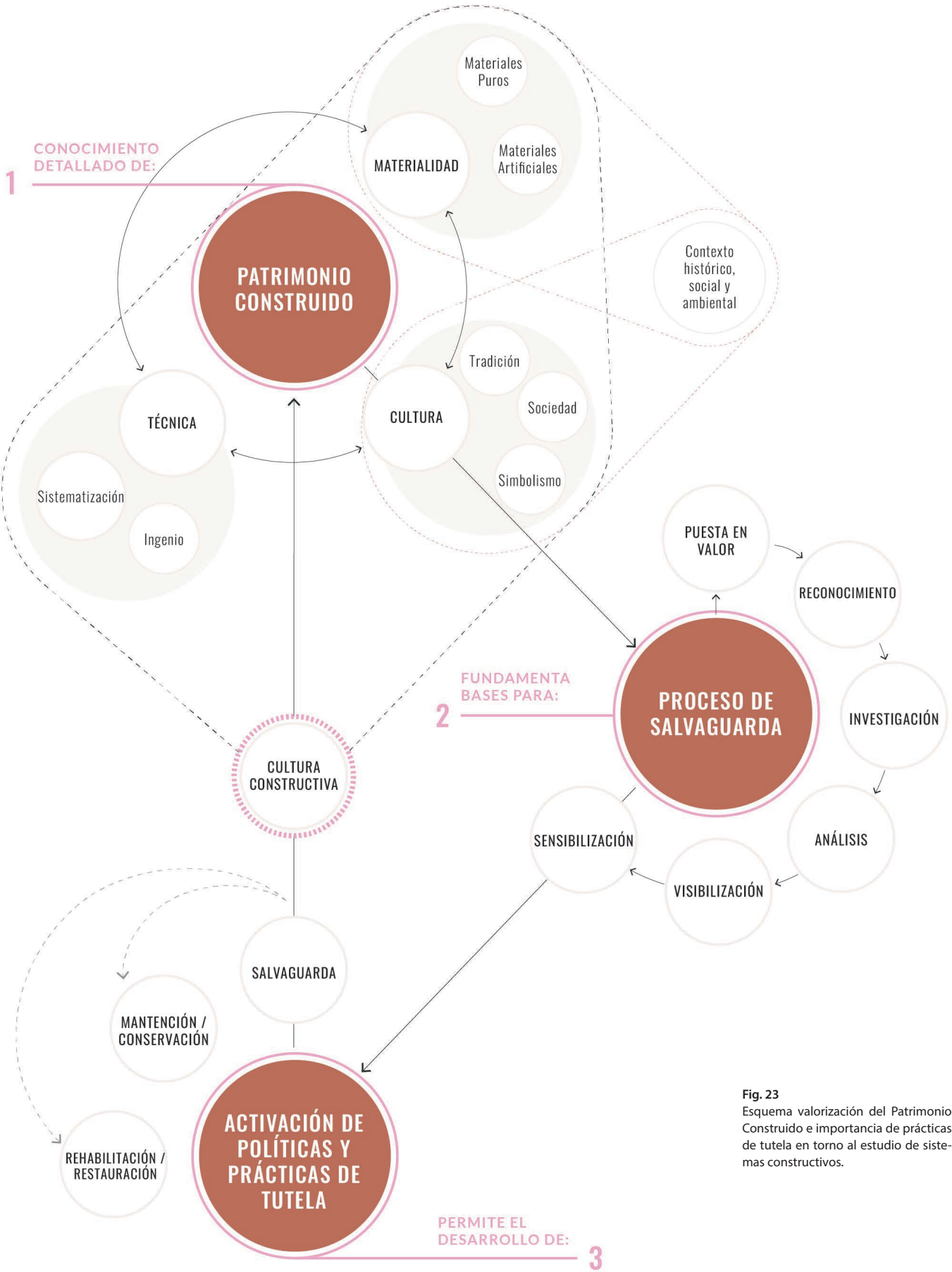


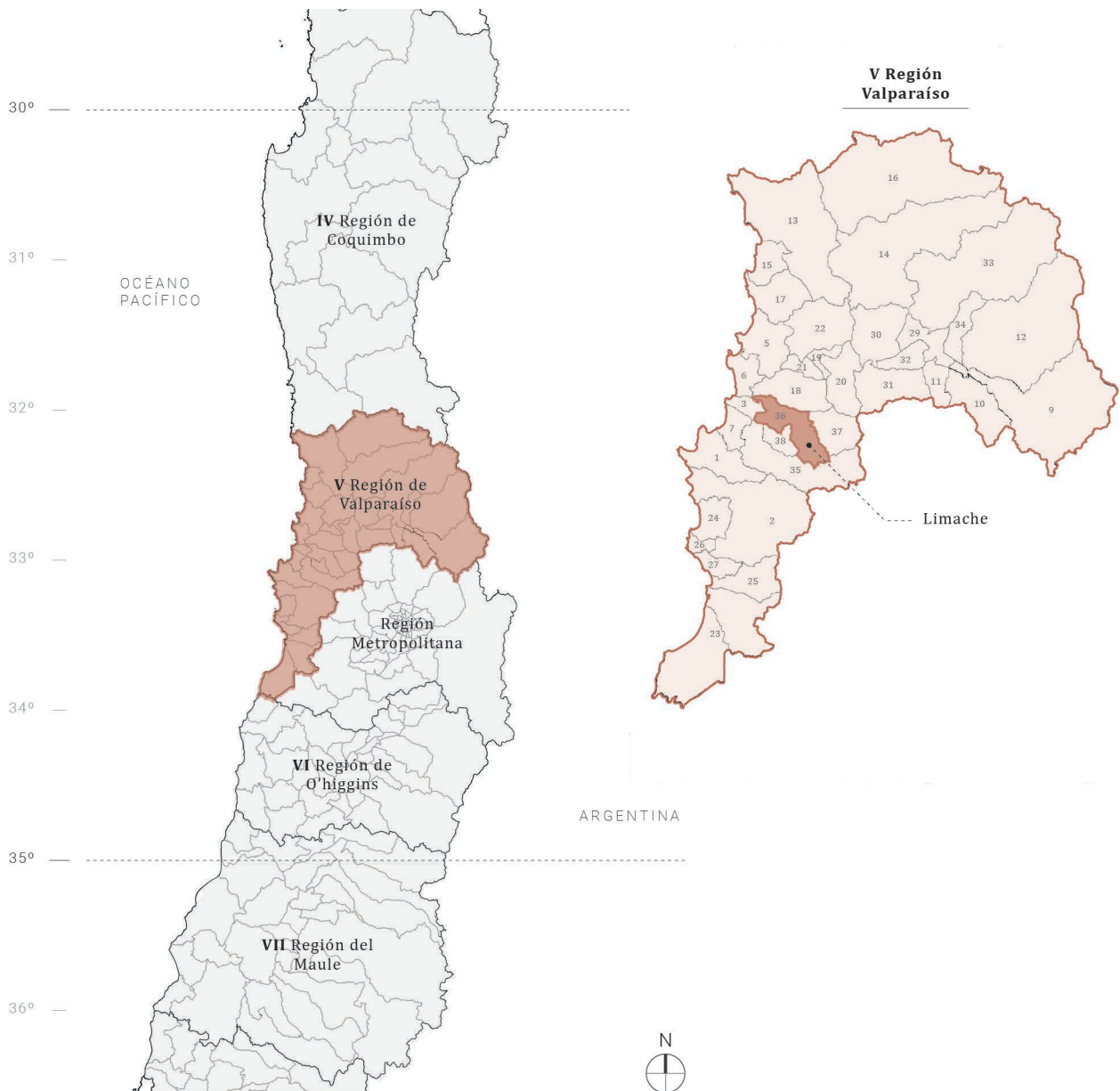
Fig. 23 Esquema valorización del Patrimonio Construido e importancia de prácticas de tutela en torno al estudio de sistemas constructivos.

## CONTEXTO Y ALCANCE DE ESTUDIO

Como se verá más adelante, el contexto de estudio deriva de un análisis territorial según el uso de la tierra como material constructivo en Chile. La primera selección de casos se centra en el área del valle central, en la macrozona centro de Chile, que incluye las regiones de Coquimbo, Valparaíso, O’ Higgins, Maule y Región Metropolitana, por ser la macrozona con una mayor predominancia de casos de viviendas particulares cuya envolvente de muros presenta sistemas constructivos con tierra (Figura 24).

En base a este primer filtro, se seleccionan posibles casos dónde se constituya la envolvente de muros a partir de Sistemas Constructivos de Reinterpretación Patrimonial (SCRP) basados en el uso de tierra en la arquitectura contemporánea, tomando como principal caso del estudio la “Quincha Liviana Seca”, por haber demostrado el cumplimiento de requerimientos térmicos, acústicos y de resistencia al fuego necesarios para la presentación de solicitudes de permisos de edificación para obra nueva en la Dirección de Obras Municipales (DOM) del país. De este modo, se determinan casos comparativos situados en la comuna de Limache, perteneciente a la provincia del Marga Marga de la Región de Valparaíso.

Fig. 24 Alcance de investigación. Región de Valparaíso.



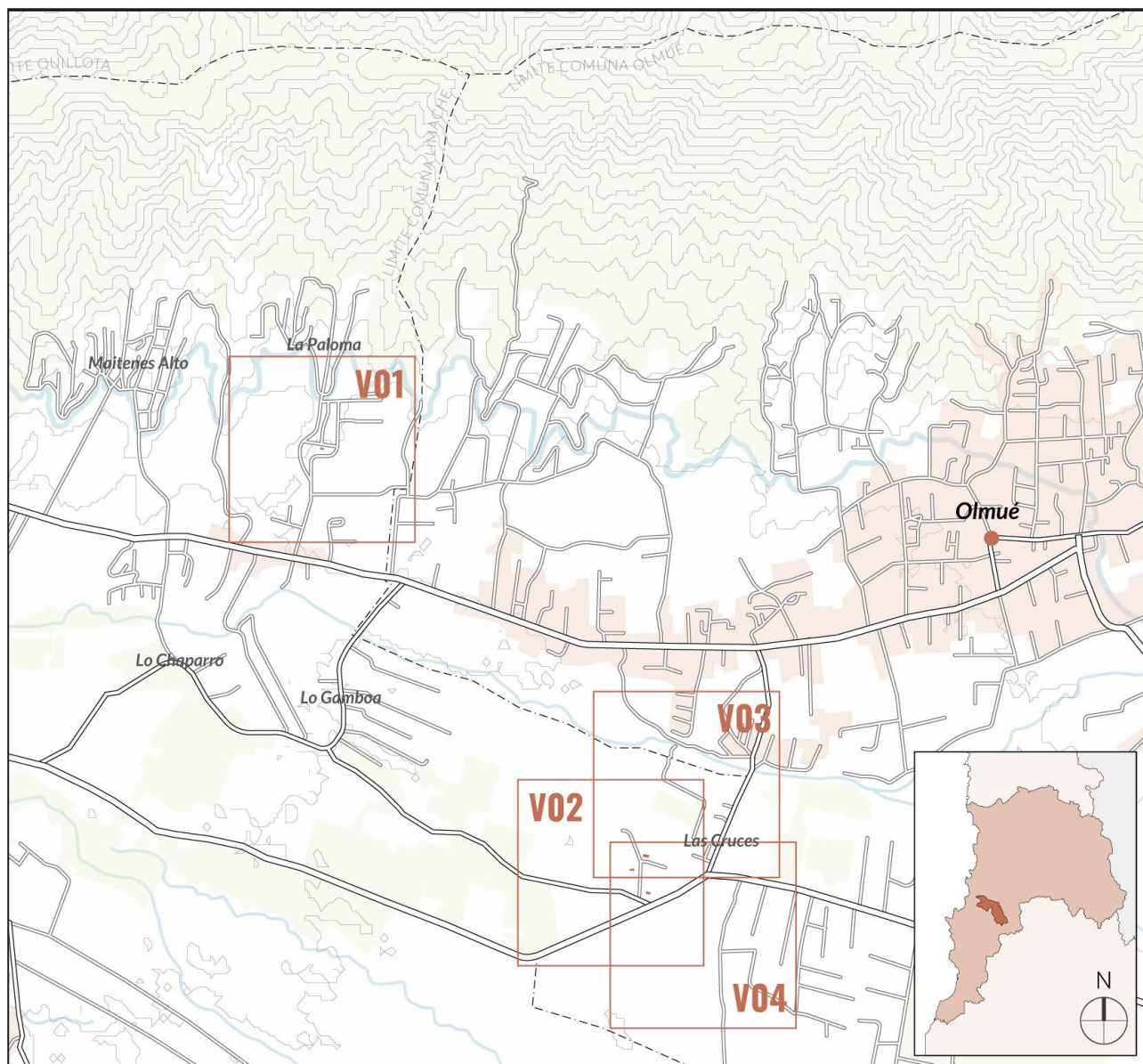


Fig. 25  
Alcance de investigación. Casos de estudio analizados en la comuna de Limache, Región de Valparaíso.

Limache se ubica en la zona central interior, caracterizada por una alta oscilación diaria de temperaturas y una alta radiación solar durante el verano y baja en invierno, con niveles de humedad relativa bajas durante el verano y con tendencia a aumentar durante periodos invernales. Las precipitaciones son escasas en el territorio, pero se registran mayor cantidad de agua caída durante los meses de junio y julio. Las condiciones climatológicas del lugar son de especial interés para la investigación, dado que este tipo de clima con grandes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche requiere de respuestas arquitectónicas que equilibren las propiedades de masa y aislación térmica, siendo un potencial campo de estudio para evaluar el rendimiento de la Quincha en comparación con el funcionamiento de otros materiales y sistemas constructivos.

Cabe señalar que la perspectiva del análisis es del tipo más global, dado que el interés principal de la investigación tiene que ver más con el valor tecnológico de los sistemas constructivos de carácter patrimonial -con énfasis en la Quincha Liviana- que se han replicado y desplegado en distintos territorios. Por esta característica también es que relevar este contenido ofrece cierto grado de riqueza para proyectar el uso respecto de requerimientos térmicos y soluciones en distintas zonas del país y sus potenciales beneficios en aspectos energéticos de la construcción con tierra.

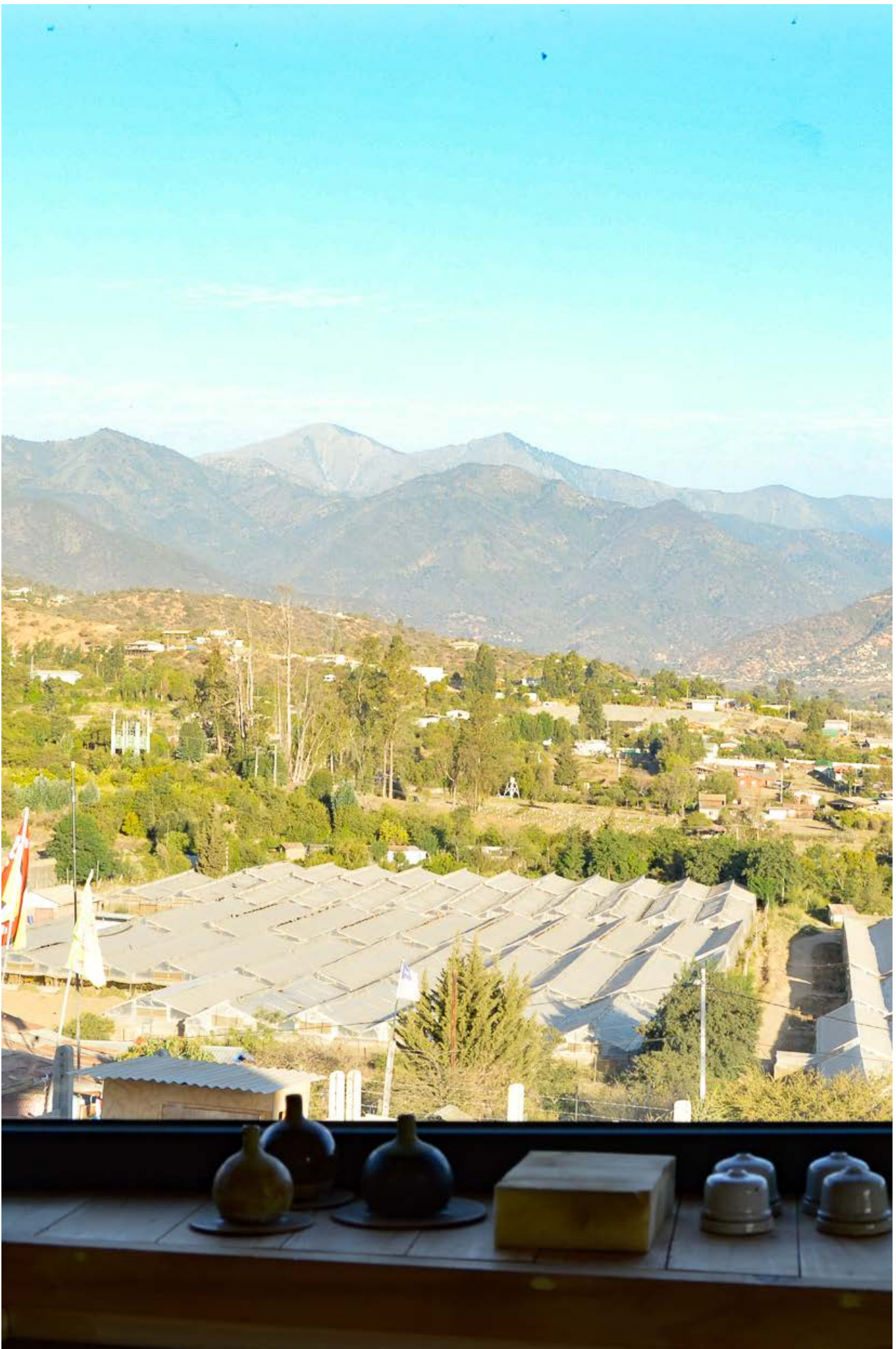


Fig. 26

Vista panorámica hacia los valles de Limache. ©Claudia Bustamante

## METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La **primera etapa** consta de un análisis cualitativo a partir de la revisión bibliográfica referente al uso de sistemas constructivos de carácter patrimonial con tierra en Chile, colocando especial énfasis en la técnica de Quincha. Para ello, se consultan archivos y datos en el ámbito histórico, territorial y normativo respecto a la evolución que ha tenido esta técnica durante el tiempo en el territorio chileno y como se inserta hoy en el escenario nacional. El objetivo de esta etapa es analizar a profundidad el concepto de reinterpretación, y como es atribuible a los procesos de innovación y actualización que han tenido los sistemas constructivos con tierra en Chile.

En la **segunda etapa** se desarrolla un análisis cuantitativo a partir de la emulación de masa térmica de diferentes combinaciones materiales que han tenido los sistemas constructivos en Quincha durante el tiempo, hasta llegar a los SCRP. Se realiza un cálculo teórico a partir de la herramienta Dynamic Thermal Property Calculator para obtener la admitancia térmica ( $A_d$ ) y tiempo de retardo ( $T_r$ ) que poseen las diferentes combinaciones. En paralelo, se realiza el cálculo de transmitancia térmica ( $U$ ) según lo indicado en la normativa chilena NCh 853-2007 para “Acondicionamiento térmico-Envoltorio térmico de edificios-Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas” de los diferentes paquetes constructivos. El objetivo de esta etapa es obtener una base numéricamente comparable con los estudios de campo a realizar y las respectivas simulaciones, considerando la dificultad que incluye la medición de sistemas constructivos no estandarizados en ámbitos térmicos. En la **tercera etapa** se realiza la selección de tipologías para realizar la campaña de mediciones según las siguientes invariantes: (1) forma de agrupación y uso (residencial); (2) tipología constructiva; (3) ubicación y clima; (4) año de construcción y estado de conservación.

En una **cuarta etapa** y a partir de los análisis previos, se selecciona la tipología constructiva de quincha liviana seca y otras 3 tipologías que incluyen sistemas industrialmente estandarizables, como es el caso del hormigón armado, la tabiquería ligera de madera con aislante y la albañilería confinada de ladrillo cerámico aplicadas en el diseño de viviendas particulares, con el fin de evaluar el estado actual del desempeño higrotérmico y horas de confort. Para el desarrollo de esta etapa se lleva a cabo una campaña de medición durante el periodo de verano e invierno del año 2022, con una duración de 2 semanas respectivamente, a partir de la instalación de dispositivos Data Logger HOBO-U12® al interior de la vivienda, poniendo en evidencia el comportamiento de su envoltorio térmico. Durante la **quinta etapa** se desarrollan simulaciones térmicas dinámicas por medio del software Design Builder® para evaluar la demanda energitérmica anual de cada paquete constructivo analizado. De este modo y tomando las aristas teóricas, empíricas y de simulación de las etapas, se obtiene un marco de comparación para contrastar los resultados obtenidos.

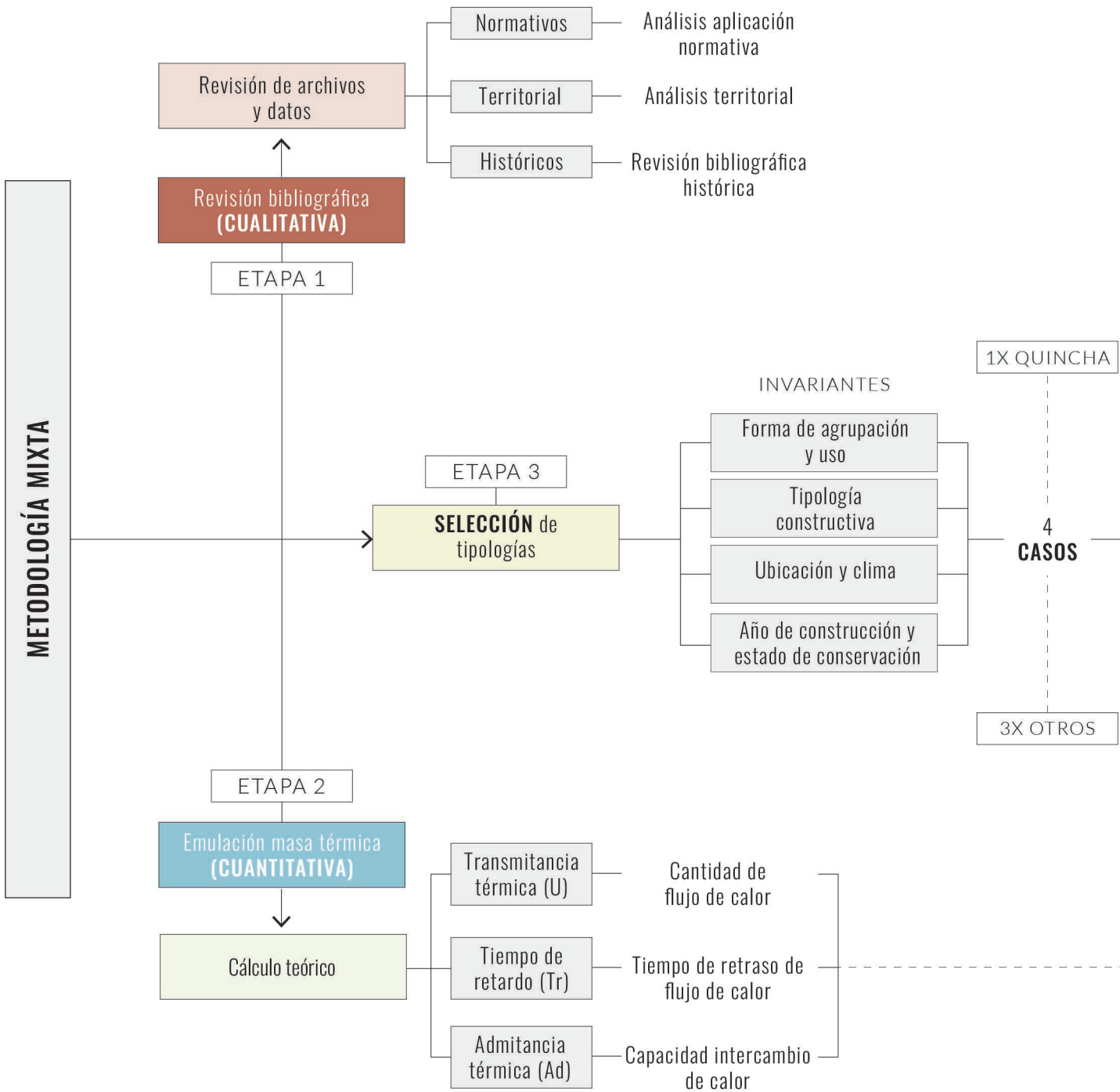
En la **sexta y última etapa**, se evalúa comparativamente el estado actual de las viviendas y el resultado de las tipologías constructivas. Se realiza un balance de impacto ambiental en términos de indicadores GWP en los materiales e indicadores de demanda energitérmica, conclusiones y discusión final. Cabe señalar que para el análisis se toman viviendas que responden a un buen estado de conservación, cuya vida útil responde a un periodo máximo de cinco años. Esto considerando que el estudio de tipologías vernáculas en quincha, que no hayan sido correctamente restauradas, podría arrojar resultados alterados por las condiciones y patologías que presentan, además de que esta tipología en particular de quincha “histórica” es escasa en el territorio.

Para llevar a cabo la investigación, se diseñó una metodología mixta que consta de 6 grandes etapas siguiendo las metodologías aplicadas por (Bristol, 2018), (Manríquez, 2019) y (Macedo, 2009):

Siguiendo la metodología de (Bristol, 2018) expuesta en su artículo “Estrategias de Control clima de Santiago”, en la cual se desarrolla un análisis teórico sobre paquetes constructivos utilizados en prototipos de vivienda de la Región Metropolitana, Chile.

Por otro lado, se recoge la estructura metodológica de (Manríquez, 2019) expuesta en su tesis de magíster “Rehabilitación Sostenible de la Vivienda tipo Palafito de Castro: Estudio de su desempeño higrotérmico actual y medidas de conservación del uso residencial en el barrio Pedro Montt 2° sector”. Se toman los métodos de análisis de monitoreo in situ mediante campañas de medición y el proceso de simulaciones térmicas mediante el software Design Builder®.

Por último, siguiendo la metodología de (Macedo, 2009) expuesta en su artículo “Thermal Performance of Contemporary Earth Architecture in Portugal”, en la cual se desarrolla un estudio de caso de tres edificios de tierra apisonada por medio de métodos de monitoreo de temperatura in situ, además del modelado IES para comparar el desempeño que poseen los distintos tipos de construcción, con el objeto de comparar el material de tierra con otros materiales convencionales.



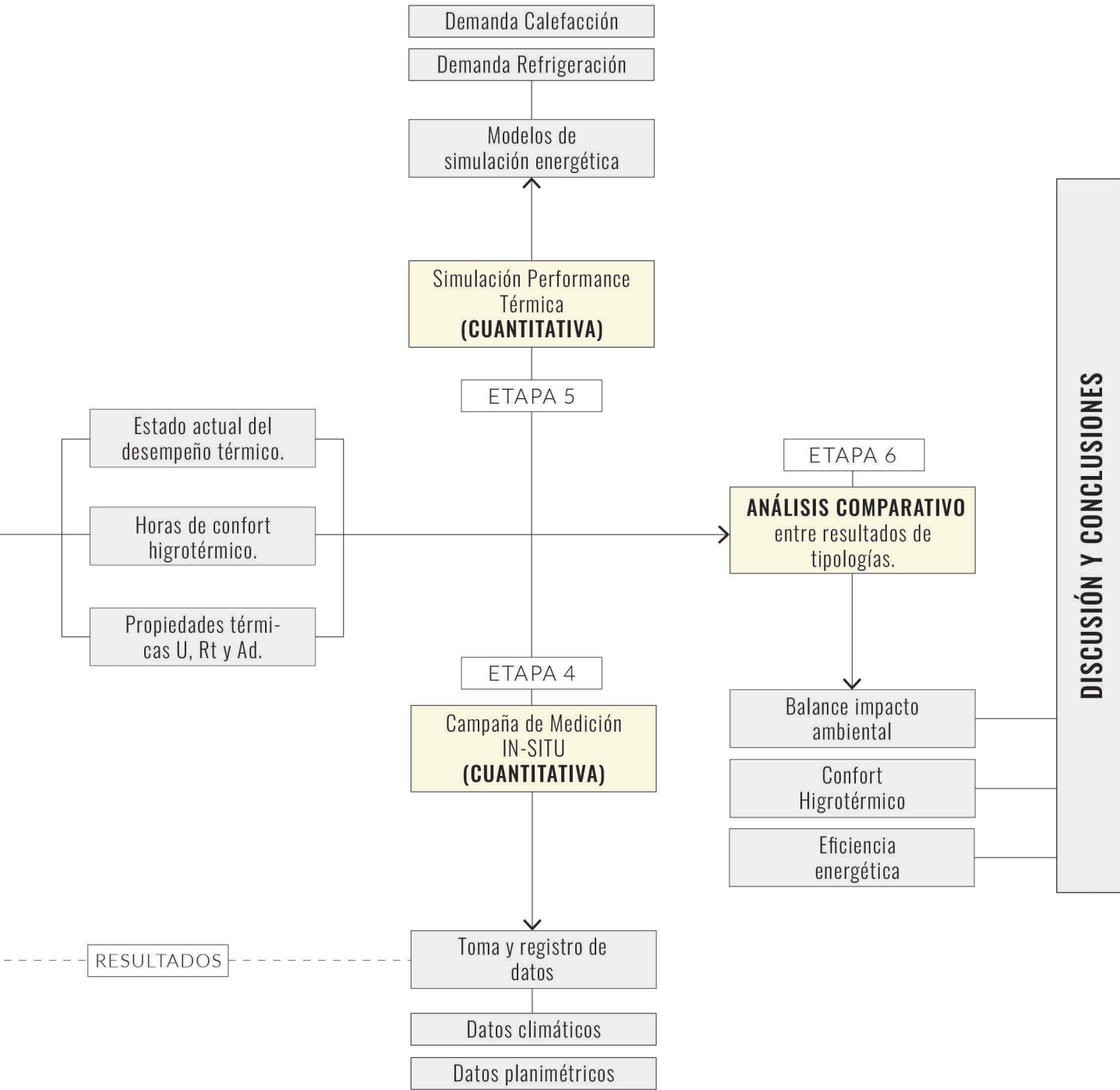


Fig. 27  
Diseño metodología de investigación.







## CAPÍTULO 1: CULTURAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA EN CHILE

Las culturas constructivas con tierra en Chile representan los aspectos intangibles del patrimonio construido del país, dado que corresponde a un compendio de sabidurías ancestrales en torno uso de la tierra como elemento constructivo (Cortez, 2014). Desde esta perspectiva, resulta esencial revisar la historia de lo que ha consolidado la tecnificación en la arquitectura en tierra a lo largo del tiempo. Sus diferencias en cuanto a materia y técnica han permitido la consolidación de muchas de las edificaciones y sectores de interés patrimonial en Chile en la actualidad, que han constituido gran parte de la identidad arquitectónica en sus territorios.

Con el fin de comprender las influencias sociales, políticas, económicas y ambientales que permitieron el desarrollo a esta tecnificación en el territorio chileno, es necesario analizar los principales hitos que han modificado los modos de construir con tierra, desde aspectos fundamentales sobre la historia de la construcción con tierra y sus precedentes en torno al reconocimiento del Patrimonio Vernáculo Construido por parte de organismos internacionales. Este hecho constituye las bases de prácticas de salvaguarda en torno al patrimonio construido con técnicas tradicionales con tierra cruda, principalmente aquellas que influyen en la conformación de la identidad de pueblos y comunidades, y que, como se verá más adelante, poseen valores intrínsecos asociados al desarrollo sostenible que deben ser preservados y/o integrados en las prácticas actuales.

Fig. 1  
Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Región Metropolitana. ©Claudia Bustamante

## 1.1. CONSIDERACIONES SOBRE EL PATRIMONIO VERNÁCULO CONSTRUIDO CON TIERRA

Como se mencionó en el marco teórico, el reconocimiento de la cultura y el patrimonio resultan ser agentes claves para lograr los objetivos del desarrollo sostenible. El patrimonio, ya sea cultural o natural, tanto tangible como intangible, representa un recurso dinámico que respalda la identidad, la memoria y “el sentido de lugar”, desempeñando un papel esencial en la consecución del desarrollo sostenible (Labadi et al., 2021). Su valorización no sólo aporta a estos aspectos fundamentales, sino que también puede incidir significativamente en la cohesión social, la regeneración socioeconómica y la reducción de la pobreza (Labadi et al., 2021).

El reconocimiento formal del patrimonio se inició con declaración de la Carta de Atenas el año 1931, la cual indica la importancia de la restauración y conservación del patrimonio histórico en la construcción de la identidad (Cortez, 2014). Posteriormente, los conflictos bélicos de la Segunda Guerra Mundial en 1945 condujeron a la creación del organismo internacional de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), con objeto de contribuir a la regulación, custodia y protección de bienes patrimoniales y el patrimonio cultural (Carrasco, 2020). Con la promulgación de la Carta de Venecia en 1964, en 1965 fue constituido el Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS), organismo encargado de consensuar la toma de decisiones y criterios de intervención en torno a los monumentos y sitios declarados patrimonio, velando por su protección y conservación (Carrasco, 2020).

En 1976 fue constituido el Comité Internacional de Arquitectura Vernácula (ICOMOS CIAV) (Cortez, 2014), plataforma internacional encargada de promover el diálogo y la colaboración entre profesionales, expertos, académicos y estudiantes quienes poseen motivaciones acerca del patrimonio vernáculo, con el fin de fomentar el debate y la investigación a nivel nacional, regional e internacional acerca del patrimonio vernáculo.

En 1999, a raíz del primer encuentro sobre arquitectura vernácula, fue desarrollada la Carta del Patrimonio Vernáculo Construido, la cual reconoce el patrimonio vernáculo como “expresión fundamental de la identidad de una comunidad, de sus relaciones con el territorio y al mismo tiempo, de la diversidad cultural del mundo” (ICOMOS, 1999, p.1). La carta declara la importancia de ejecutar líneas de acción en torno a su protección, a raíz de los procesos de homogeneización cultural y la globalización socioeconómica que afectan directamente a su patrimonio, enfrentando serios desafíos en torno a la obsolescencia, el equilibrio interno y la integración de las culturas. Posterior a esta declaratoria y hasta la fecha, los siguientes documentos de ICOMOS sobre el patrimonio mundial comienzan a impulsar nuevas directrices en torno a la sostenibilidad del planeta, abordando el patrimonio tangible e intangible, en todas sus expresiones, como motor del desarrollo sostenible.

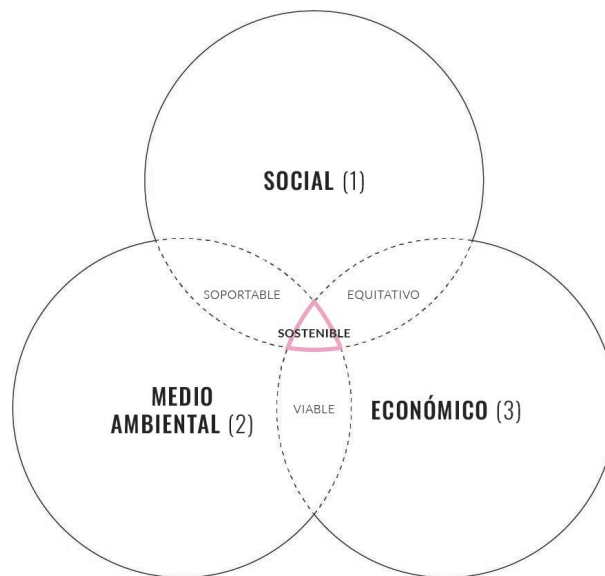
Al respecto, el año 2003, la Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Cultural Inmaterial reconoció a nivel internacional los saberes tradicionales como parte del patrimonio inmaterial (Fullerton & Medina, 2017), a partir de la siguiente definición “los usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas -junto con los instrumentos, objetos, artefactos, espacios culturales que le son inherentes- que las comunidades, los grupos y, en algunos casos, los individuos reconozcan como parte integrante de su patrimonio cultural” (UNESCO, 2016, p.15). Tanto los componentes materiales e inmateriales del patrimonio vernáculo construido juegan un papel fundamental en las sociedades actuales, dado que esta representa un compendio de principios y

lecciones valiosas para el diseño de una arquitectura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente (ICOMOS CIAV, 2022), el cual se destaca por ser una respuesta directa a requerimientos funcionales, sociales y ambientales del lugar (Figura 2).

Como menciona (Jorquera, 2015, p.4), su arquitectura representa “un modelo de desarrollo sustentable del hábitat” al constituir una manera de habitar desde el respeto por el territorio y hacia las comunidades que habitan en él. Esta arquitectura se inserta como un referente de arquitectura bioclimática en base a las estrategias constructivas que utiliza en respuesta al medio, dando mejores respuestas en cuanto a habitabilidad y confort en sus interiores. Las características únicas de este tipo de arquitectura la convierten en una potencial estrategia para abordar las problemáticas en torno a la sostenibilidad que representa la arquitectura contemporánea (Correia et al., 2014).

**Fig. 2**  
Dimensiones de la sostenibilidad en el patrimonio vernáculo construido.

- (1) El sentido de pertenencia, de identidad, de desarrollo personal y comunitario. Este alcance trata de recoger todos los impactos sociales y culturales positivos observados en el patrimonio vernáculo.
- (2) Este ámbito aborda la capacidad humana de intervención, con el fin de disminuir e incluso evitar los impactos negativos sobre el medio ambiente, que es muy sensible a los cambios.
- (3) La capacidad de reducir los esfuerzos invertidos durante el proceso de construcción, la mejora del rendimiento de la edificación, el mantenimiento de los edificios y de todos los impactos que contribuyen a una mejora de las condiciones de vida.



Desde esta visión acerca de la arquitectura vernácula, surgió un gran interés por parte de arquitectos e investigadores entre las décadas de 1980 y 1990 (Cortez, 2014). Durante el siglo XXI se han desarrollado temas específicos en torno al estudio de materiales, sistemas constructivos, además de temas especializados como la “arquitectura en tierra”, la “arquitectura vernácula contemporánea” y el concepto de “Neovernáculo”, entre otros términos, haciendo referencia a sus estrategias bioclimáticas (Carrasco, 2020).

La arquitectura en tierra corresponde en sí misma una expresión de arquitectura vernácula, ya que se fundamenta en las tradiciones constructivas arraigadas en el entorno local y su asertiva respuesta a las condiciones geográficas y climatológicas del lugar (Acevedo et al., 2019). La construcción con tierra cruda data de hace más de 9.000 años atrás (Minke, 2010; Barros et al., 2014) en la región de Oriente Medio, en paralelo al origen de los primeros asentamientos humanos y al posterior surgimiento de las ciudades (Barros et al., 2014). Estos avances modificaron las formas de vida de los grupos humanos, influyendo en sus métodos de subsistencia a través de cambios en los medios de producción y en los modos de organización, permitiendo el desarrollo de su cultura (Barros., 2014).

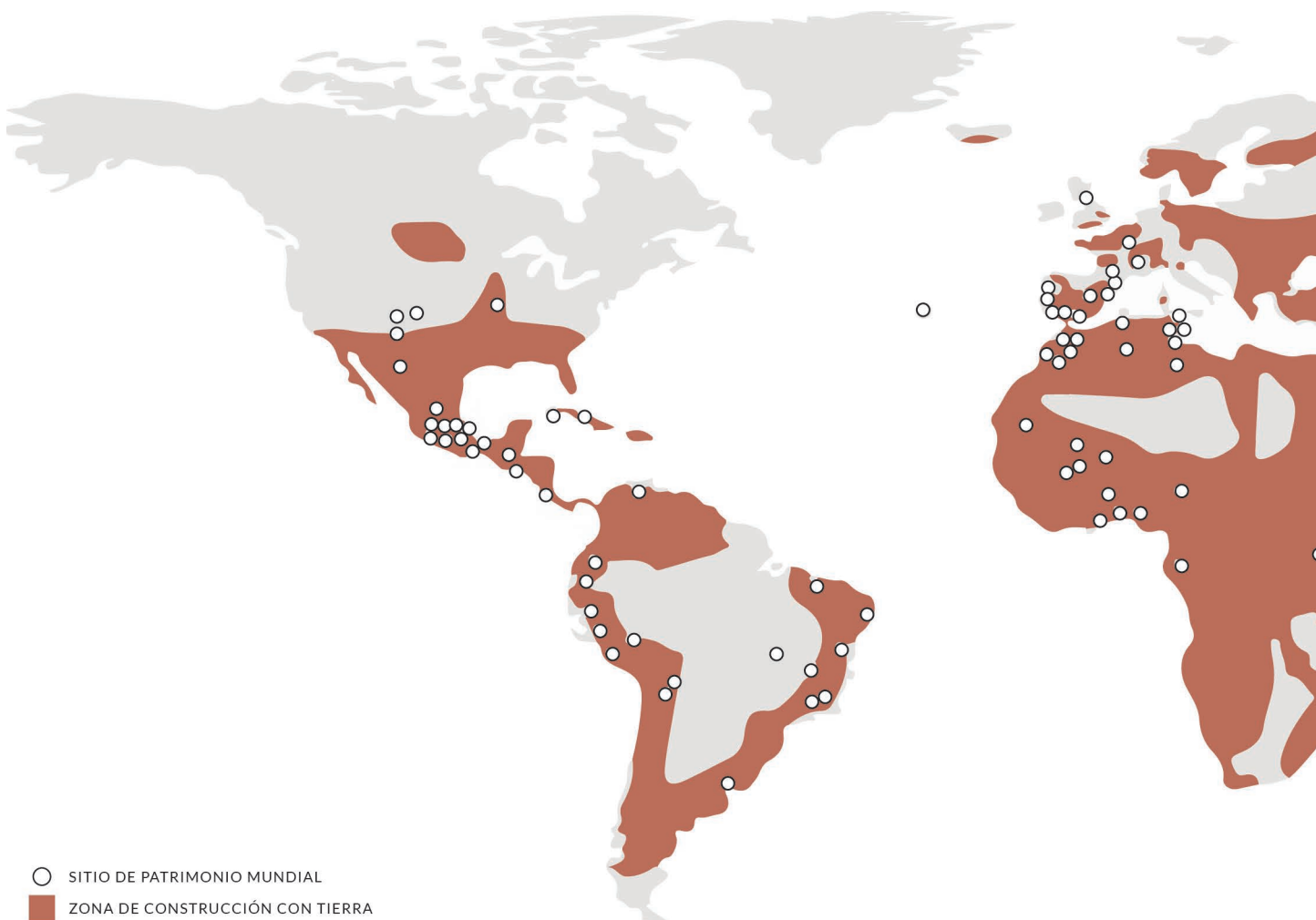
En lo que respecta a América, las culturas constructivas asociadas al uso de la tierra poseen sus orígenes desde épocas precolombinas (Jorquera, 2014 en Acevedo et al., 2022). Estas técnicas se extendieron ampliamente por el territorio, desde México hasta el cono sur, donde -por ejemplo- existen vestigios de construcciones de adobe en casi todas las culturas de este periodo que se presentaron en el territorio (Minke, 2010).

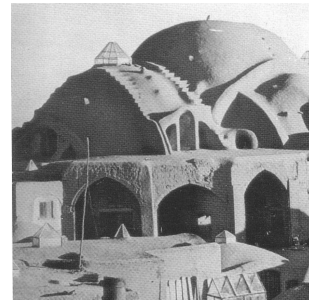
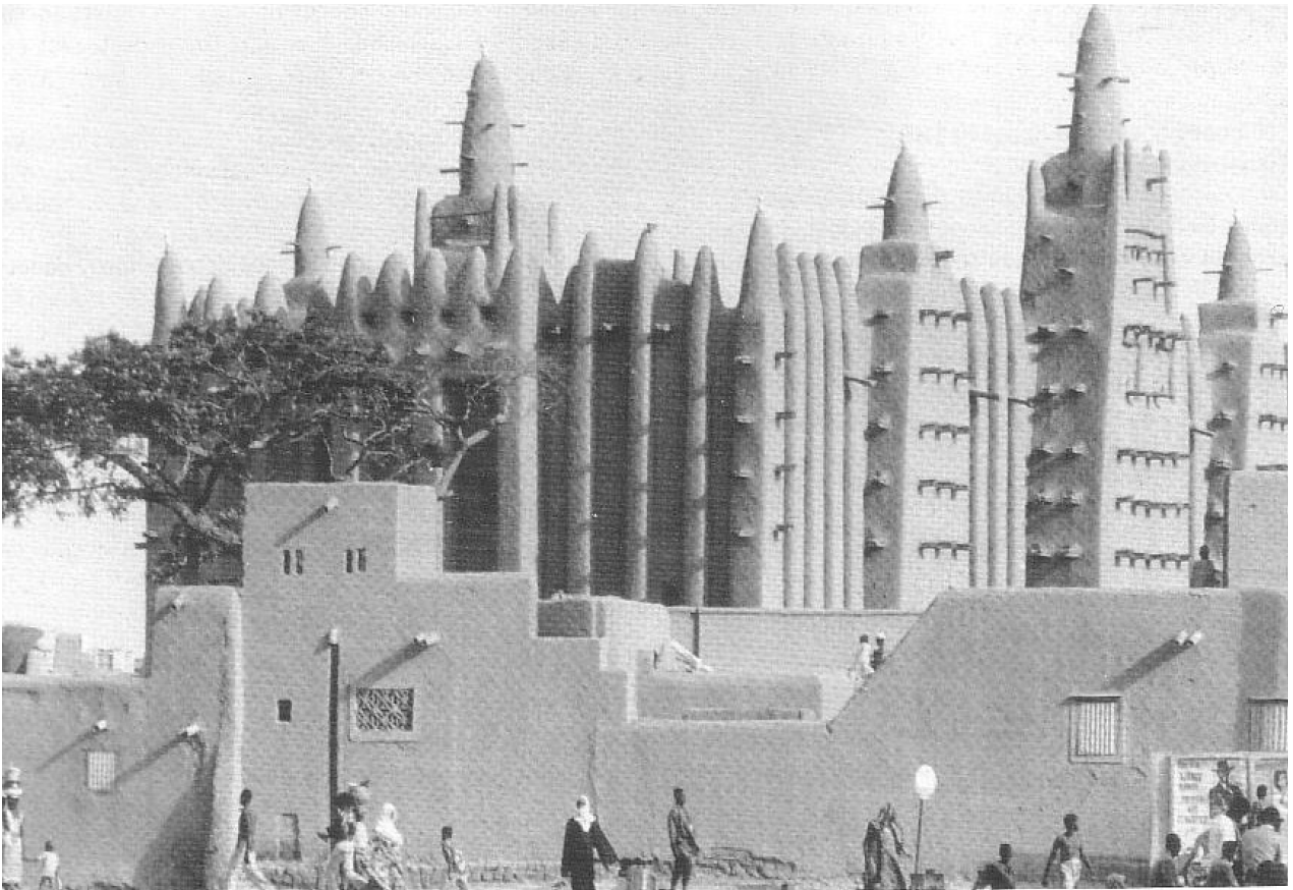
Gran parte de las civilizaciones antiguas utilizaron la tierra cruda para construir viviendas y edificios públicos (Minke, 2010; CDT, 2013), muchas de las cuales aún se mantienen en pie. Cabe señalar que parte importante de dichas construcciones corresponden a ejemplares de arquitectura vernácula y doméstica, lo que implica que permanecen en anonimato (Jorquera, 2022, p.4)

Como se puede ver en la Figura 3, gran parte de los sitios de patrimonio mundial declarados actualmente se encuentran insertos en regiones del mundo donde ha predominado o se encuentran vestigios de la construcción con tierra, concordante a sectores de climas cálidos-secos y/o templados (Minke, 2010). La arquitectura en tierra ha sido ampliamente estudiada por historiadores, arqueólogos y arquitectos alrededor del mundo, quien han documentado su amplia diversidad. A través de sus investigaciones, han relevado la versatilidad en el uso de este material y el cómo, a partir del ingenio y la creatividad de diversas culturas, se han desarrollado soluciones arquitectónicas específicas que responden a las inclemencias climáticas y geográficas.

Las diferentes expresiones arquitectónicas que han surgido en torno a la construcción con tierra derivan del desarrollo tecnológico de diversas culturas a partir del uso y transformación eficiente de los recursos naturales disponibles en el entorno local (Barros et al., 2014), entre ellos la tierra, las piedras, las fibras vegetales o la madera. Esta cualidad confiere una profunda conexión entre las prácticas ancestrales aplicadas en la construcción con tierra y la identidad cultural de las comunidades que la han desarrollado.

Fig. 3  
Mapa de la construcción con tierra en el mundo.



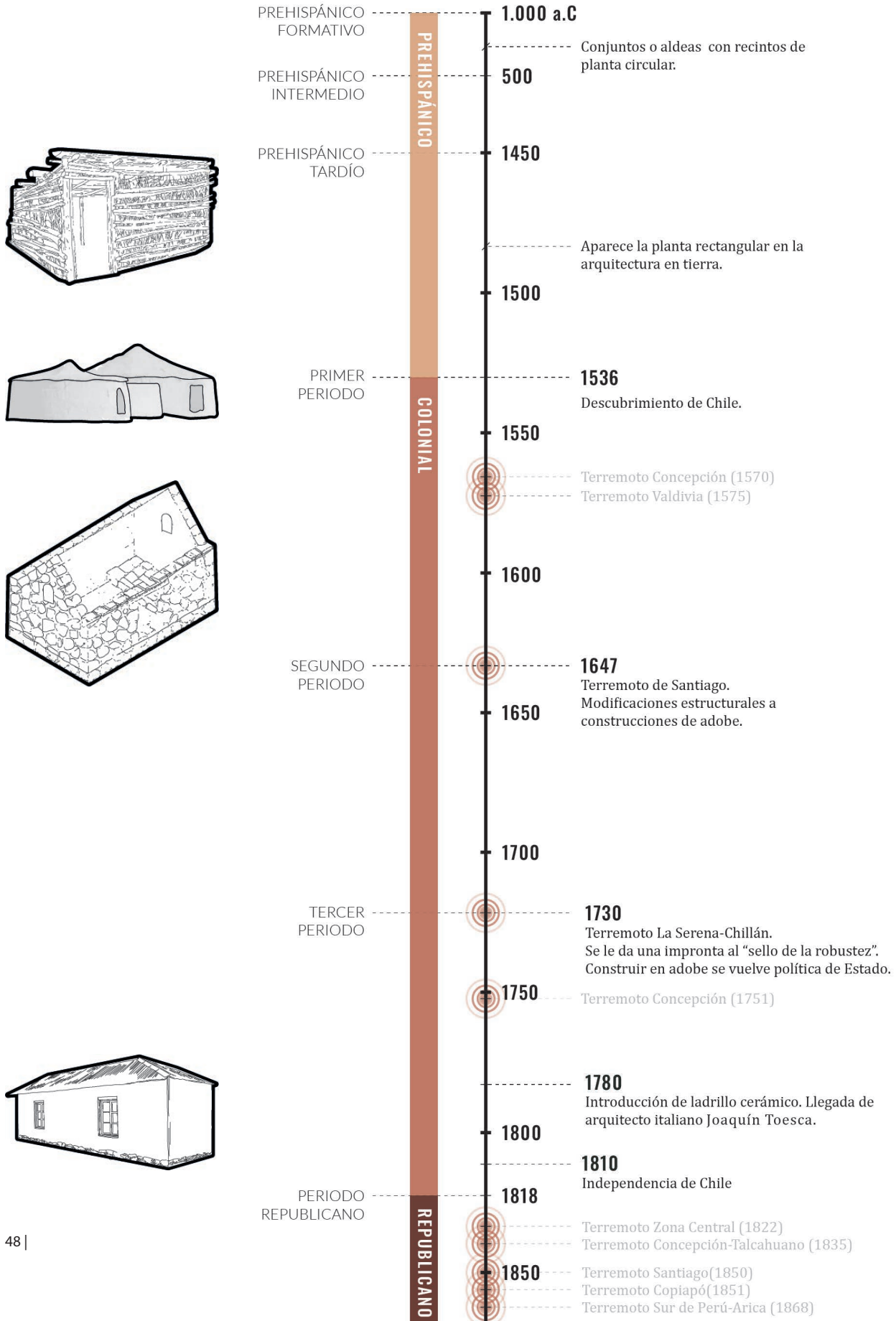


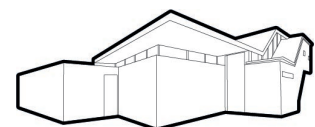
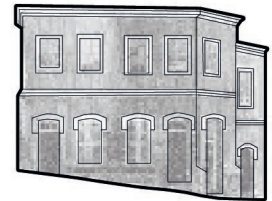
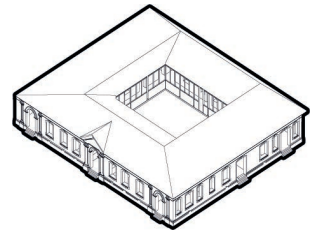
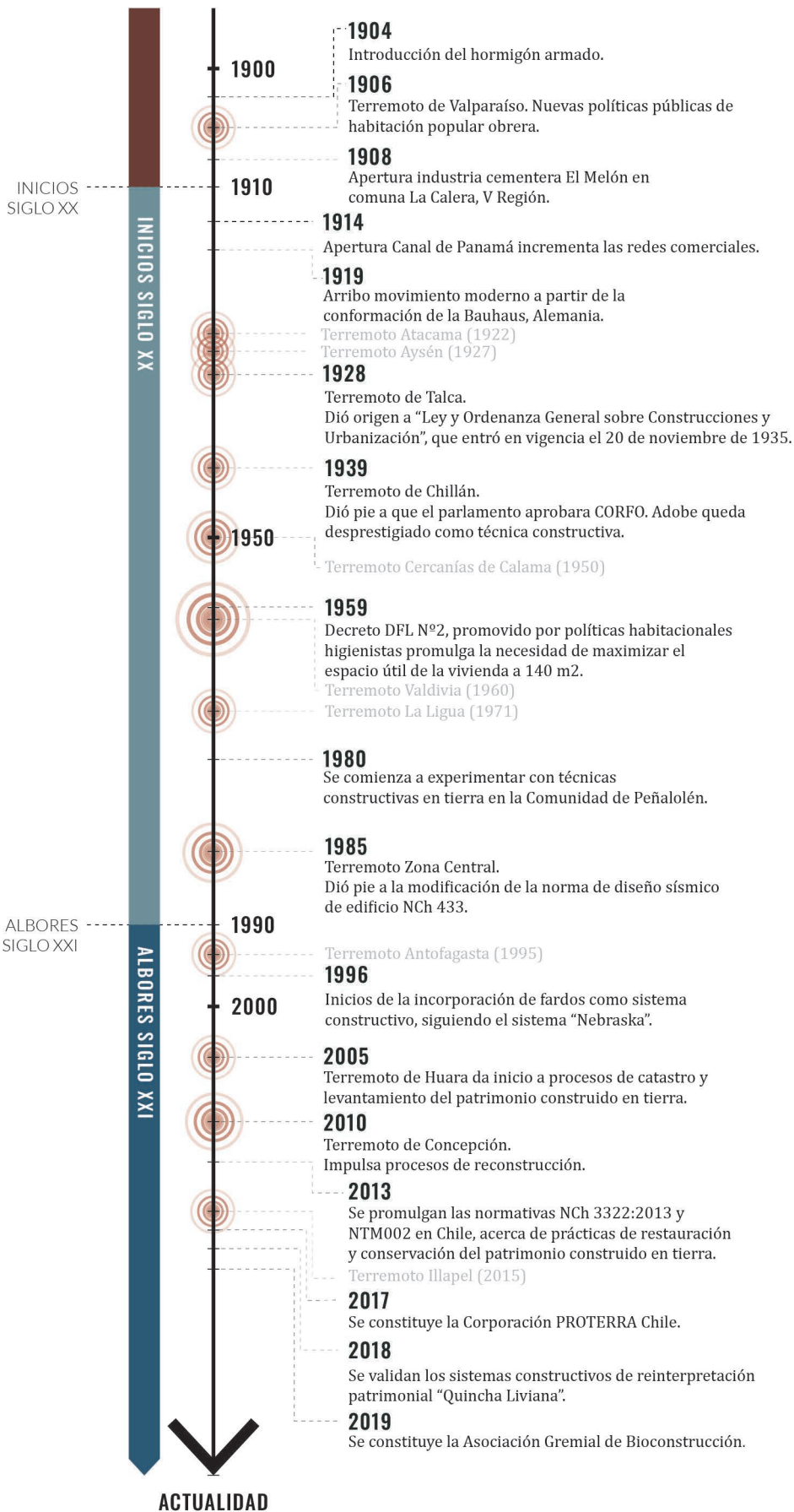
**Fig. 4-6**  
Ejemplos de técnicas de construcción con barro en el continente africano.  
(4) Gran Mezquita, Mopti, Malí, construida en 1935.  
(5) Mesquita, Kashan, Irán.  
(6) Mesquita de Nando del siglo 12, Malí.

## 1.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA EN CHILE

Chile posee una riqueza en cuanto a expresiones arquitectónicas vernáculas que han evolucionado desde tiempos precolombinos, influenciadas por factores culturales, climáticos y geográficos (Jorquera, 2013).

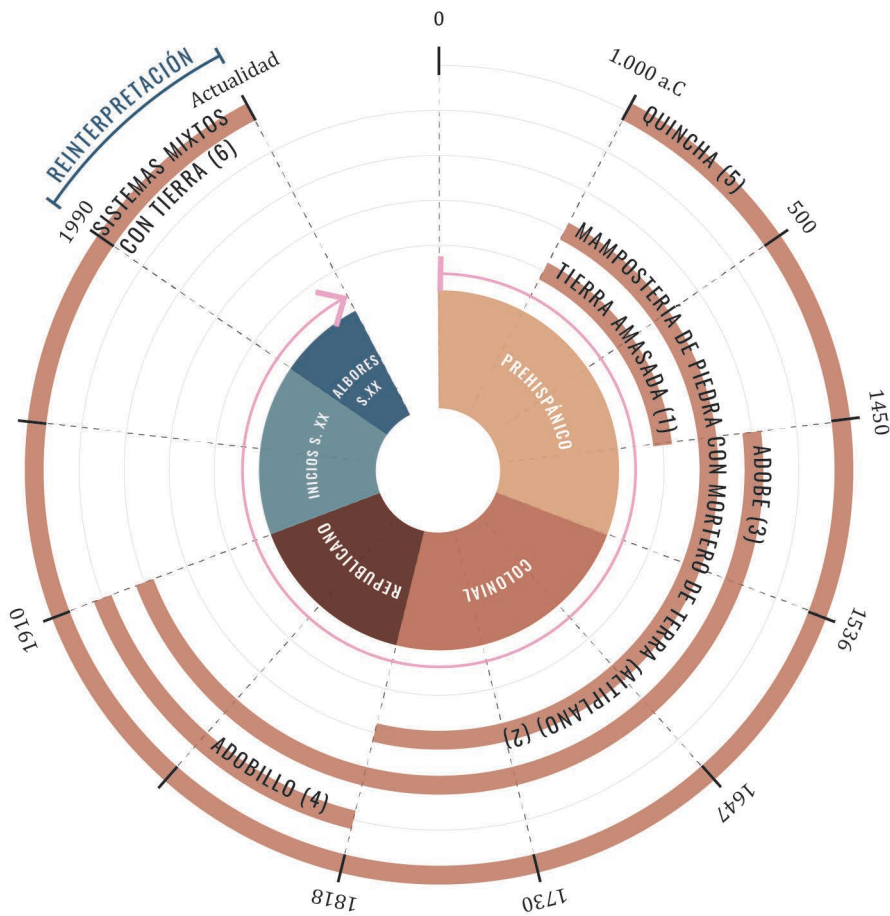
Fig. 7-8  
Línea de tiempo, principales antecedentes de la historia de la construcción con tierra en el país.





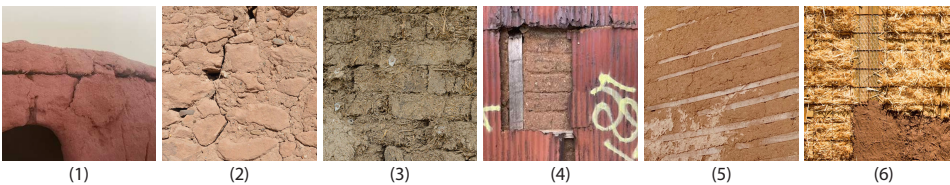
En todo el territorio chileno se pueden encontrar numerosas obras construidas a partir de tierra cruda, desde iglesias altiplánicas elaboradas a partir de sistemas de mampostería en piedra asentada en barro, hasta grandes casonas construidas a partir del sistema de adobe en las zonas centro y centro sur, así como también el uso de tipos de cerramientos construidos en tapial y casas de quincha o adobillo (CDT, 2013). Los grados de innovación presentes en el desarrollo de la construcción con tierra van desde la elaboración de unidades particulares de tierra colocadas en cadena, la sistematización de los tipos por medio de marcas, el uso de moldajes que permiten su fabricación en serie con dimensiones y calidades similares; hasta la incorporación intuitiva de elementos que otorgaban cualidades sismorresistentes de la estructura, como por ejemplo la consideración de formas regulares o elementos de disipación (Barros et al., 2014).

La historia constructiva del país se encuentra definida por dos aspectos fundamentales: (1) el sincretismo cultural debido a los procesos de conquista y la llegada de extranjeros; y (2) los eventos sísmicos que han acontecido en el territorio. Como menciona Jorquera (2022, p. 12), “la larga tradición constructiva se remonta a épocas prehispánicas, cuando la tierra era moldeada a mano en el norte de Chile y con la técnica de la quincha por los pueblos de la zona central”. Los procesos de transculturización entre las técnicas locales y foráneas han definido la arquitectura en tierra como la conocemos actual-



**Fig. 9**  
Línea de tiempo, principales antecedentes de la historia de la construcción con tierra en el país.

- (1) Detalle sistema de tierra amasada. Aldea de Tulor, San Pedro de Atacama, II Región. Fotografía: ©Natalia Jorquera
- (2) Detalle sistema mampostería en piedra con mortero de tierra. Poblado de Ancuta, Putre, XV Región. Fotografía: Elaboración propia.
- (3) Detalle sistema de adobes. Paine, Región Metropolitana. Fotografía: Elaboración propia.
- (4) Detalle sistema de adobillo con envoltante metálica. Valparaíso, XV Región. Fotografía: Elaboración propia.
- (5) Detalle sistema de quincha. Totoral, Copiapó, III Región. Fotografía: ©Rocío Blaitt y Cristian Bonczos.
- (6) Detalle sistema de quincha liviana seca. Limache, XV Región. Fotografía: ©Sebastián Astroza.



mente (Dávila & Conteras, 2022), en las que se han ido incorporado gradualmente prácticas constructivas extranjeras enriqueciendo el panorama arquitectónico del país. Estos procesos de transculturización han resultado en estilos únicos y métodos innovadores que combinan tradiciones autóctonas con nuevas influencias extranjeras para el desarrollo de viviendas y edificios monumentales.

El siguiente apartado repasa la evolución histórica de la construcción con tierra en Chile, tomando como principal referente el trabajo de (Jorquera, 2022) en su último libro “Patrimonio chileno construido en tierra”. La autora ha realizado una exhaustiva investigación sobre el uso de la tierra como elemento constructivo en diferentes territorios a lo largo del país, recopilando las diferentes técnicas constructivas y vestigios arquitectónicos que entregan precedentes acerca su desarrollo.

### PERIODO PREHISPÁNICO

Jorquera (2022) identifica cinco periodos<sup>9</sup> en la historia constructiva de Chile en relación con la construcción con tierra (Figura 9). Durante el periodo prehispánico, las construcciones con tierra y piedra eran comunes en el Norte Grande debido a las condiciones climáticas desérticas que caracterizan el territorio nortino. En el periodo formativo comienzan a proliferar asentamientos más estables, de tipo aldeas o conjuntos aglutinados conformado por recintos de planta circular (Jorquera, 2022). En este periodo hacia el interior de la región de Tarapacá y del Salar de Atacama surge la tradición arquitectónica denominada como los “oasis en barro”, que correspondían a tipologías de mampostería de piedra o tierra amasada con formas más orgánicas (Jorquera, 2022). A finales del periodo intermedio tardío, aparece la planta rectangular en asentamientos, como es el caso del Ayllu de Solor conformado por grandes recintos de forma rectangular construidos a partir de muros de barro. También otro de los vestigios del uso de la tierra como técnica constructiva son las llamadas “chulpas de barro”, halladas en el pucara del poblado de Caillama, en el norte andino de Chile (Barros, 2014). Más tarde, los vestigios del pucara de Suri también dan cuenta de un tipo de edificación de planta rectangular o “kallanka”, incorporada por la cultura inca, el cual es destinado a galpón o silo. En esta construcción según señala (Castro et al., citado en Jorquera, 2022), los muros están conformado por adobes más regulares, probablemente hechos a partir de moldes.

9. Jorquera divide el periodo prehispánico en cuatro etapas: periodo Arcaico (4000-1500 a.C); el periodo Formativo (1000 a.C - 500 d.C); el periodo Prehispánico Intermedio Tardío (1100 d.C); y el periodo Tardío (1450 d.C).

Fig. 10  
Aldea de Tulo, San Pedro de Atacama.



La transición de plantas circulares a rectangulares dio origen a la vivienda tradicional andina, presentes en la precordillera y el altiplano del Norte de Chile. Estas viviendas corresponden a pequeños volúmenes de forma ligeramente piramidal, con techumbre a dos aguas de pronunciada pendiente, una puerta de entrada de centro y uno o dos vanos, características que revelan un carácter de refugio (Jorquera, 2022).

En el norte chico y valle central en cambio, dada la mayor disponibilidad de vegetación existió la quincha como técnica principal (Jorquera, 2022). Debido a lo perecedero de los materiales y a que estas áreas fueron densamente pobladas desde la colonia, hoy no hay vestigios prehispánicos, y se sabe de ello solo a través de cronistas (Jorquera, 2022). Así, el siguiente autor se refiere a una vivienda de la cultura picunche, habitantes del valle central:

*“Si bien no quedan restos de asentamientos prehispánicos de quincha, diversas construcciones de carácter rural desperdigas por las regiones mencionadas (atacama, coquimbo) (valparaiso al biobio) como es el caso de los ranchos de las costas del maule documentadas por Dor, dan cuenta de este legado y permiten deducir como era la arquitectura y las técnicas mixtas de madera-tierra empleadas antes de la llegada de los españoles.” (Gay, 1862, citado en Jorquera, 2022).*

Fig. 11 Sistema constructivo altiplánico de mampostería en piedra.



Fig. 12 Ejemplo de vivienda andina ubicada en la localidad de Tacora, región de Arica y Parinacota.



## PERIODO COLONIAL

Como parte del legado del periodo prehispánico, la quincha fue utilizada en los primeros campamentos de las construcciones provisionarias e implementadas generalmente en la construcción de viviendas indígenas (Jorquera, 2022). El uso de la quincha era asociada a un tipo de construcción provisionaria, utilizada principalmente para los llamados “ranchos” (ibid.).

**Fig. 13**  
Recreación de quincha prehispánica de ramas y tierra. @Colección Museo Araueológico de la Serena.



**Fig. 14**  
Casa colonial chilena en Vichuquén, Valle central. ©Natalia Jorquera.



**Fig. 15**  
Estructura mixta de tierra y madera en edificación en el barrio Yungay, Región Metropolitana. ©Natalia Jorquera.



Hacia finales de este periodo, la introducción del sistema constructivo de adobe por la cultura inca y su masificación por los españoles marcó una transición hacia viviendas de mayor durabilidad y estándares (Jorquera, 2022). En paralelo, la tapia o el tapial fue introducida durante el periodo de conquista español, siendo utilizada principalmente para cerrar predios por motivos defensivos contra los ataques de los pueblos originarios (ibid.). Progresivamente la quincha comenzó a ser reemplazada por la albañilería de adobe y el tapial.

El siglo XVII consolidó la técnica del adobe, extendiéndolas a viviendas, haciendas, edificios institucionales e iglesias. Los sismos en 1575, 1583 y 1647 desafiaron las técnicas de construcción, conduciendo a mejoras sísmicas que terminaron por definir el “estilo tradicional chileno”. Posterior al terremoto de 1730, se consolidó la robustez de los muros en las edificaciones de adobe, reflejando adaptaciones regionales a diversas condiciones climáticas y recursos naturales. Apareció la técnica de adobe en soga en La Serena y Santiago, así como el uso de tabiques de madera rellenos de adobe dispuestos en pandereta para muros divisorios. Tras el terremoto, la construcción de inmuebles de adobe con techos de tejas y cierres de tapial se convirtió en una política de estado (Jorquera, 2022).

Hacia finales del siglo XVIII, con la llegada del arquitecto italiano Joaquín Toesca en 1780, se popularizó el uso de ladrillo cerámico cocido, especialmente en iglesias y edificios monumentales (Jorquera, 2022).

## PERIODO REPUBLICANO

Durante el periodo de transición entre el colonialismo y la república en Chile, la arquitectura experimentó un lento proceso de cambios (Dávila & Contreras, 2022). Estos cambios fueron marcados por hitos como el auge minero en el norte y la apertura comercial en los puertos principales de Iquique, Coquimbo y Valparaíso, impulsando la bonanza económica y la llegada masiva de extranjeros, entre ellos técnicos y comerciantes (Jorquera, 2022; Dávila & Contreras, 2022).

La institución de la república chilena en 1810 y los procesos posteriores desarrollados entre las décadas de 1818 a 1831 influyeron en la arquitectura (Jorquera, 2022), especialmente en la ciudad de Valparaíso, que experimentó un crecimiento como centro de comercio y puerto debido a las primeras migraciones extranjeros post independencia (1822-1827) (Dávila & Contreras, 2022). El auge económico y la apertura de puertos principales facilitaron la llegada de nuevas especies de madera desde el extranjero y el sur de Chile, como el pino Oregón americano y el roble maulino (Jorquera, 2022). Producto de ello, ocurrió un desarrollo masivo de sistemas constructivos que incorporaron innovaciones en carpintería de madera como el “timber frame” o el más liviano “balloon frame” (Figura 17) (Barros & Sarabia, 2018). En cambio, el adobe siguió siendo utilizado principalmente como muro tipo cortafuego (Jorquera, 2022).

En este contexto, la cultura constructiva de Valparaíso alcanzó su apogeo con el sistema mixto de “tabique-adobillo”, caracterizado por una estructura de madera con relleno de bloques de adobillo. Estas construcciones se popularizaron desde la década de 1850, consolidándose hacia la década de 1880 hasta el terremoto de Valparaíso en 1906 (Dávila & Contreras, 2022). Tras el terremoto, se produjo el reemplazo gradual de las técnicas tradicionales por el hormigón y el acero en Valparaíso, dado que a partir de este evento se comienzan a establecer nuevas disposiciones legales para construir, incor-

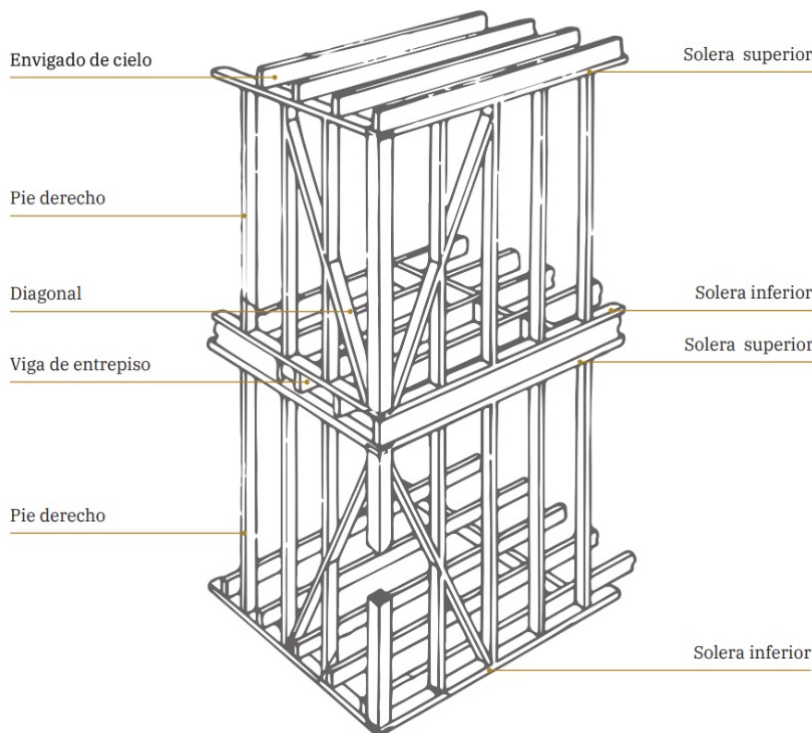
porando características de resistencia al sismo, consideraciones de salud e higiene y la incorporación de distintos materiales de construcción (hormigón, acero, revestimientos de cementos y distintos tipos de madera) (Dávila & Contreras, 2022). Posteriormente, con la apertura del Canal de Panamá en 1914, la llegada de carpinteros extranjeros y su colaboración con carpinteros locales dio lugar a expresiones arquitectónicas más reconocidas (Jorquera, 2022).

La tecnificación de los sistemas mixtos de madera y tierra en las ciudades republicanas, como el adobillo, posibilitó la construcción de edificios más altos, con muros de menor espesor, una mayor apertura de vanos y mayor elasticidad ante esfuerzos sísmicos (Jorquera, 2022). Aunque la madera asumió un papel estructural clave, la tierra continuó utilizándose como relleno para garantizar confort higrotérmico y aislación acústica (ibid.).

Fig. 16  
Vivienda colectiva en Valparaíso, Chile.  
©Natalia Jorquera.



Fig. 17  
Sistema de plataforma integrado durante el periodo republicano.



## INICIOS DEL SIGLO XX

A comienzos del siglo XX, los sucesivos eventos sísmicos de gran magnitud que se evidenciaron en diferentes regiones del país tuvieron implicancias en las formas de construir (Jorquera, 2022; Barros et al., 2014). Estos eventos repercutieron directamente en la legislación sobre construcción, iniciando cambios y modificando la manera en que se construía en Chile, lo que conllevó a un progresivo desprestigio de las técnicas constructivas tradicionales y la construcción con tierra. La aparición de nuevos materiales como el hierro, el hormigón y el ladrillo cocido durante la década de 1910, la influencia del movimiento moderno desde la creación de la Bauhaus en Alemania el año 1919 y las corrientes higienistas promovidas por nuevas políticas públicas de habitación popular obrera en 1906, contextualizan la transición hacia la modernidad industrial en la construcción y su efecto en el abandono gradual de materiales tradicionales pre industriales y prácticas constructivas artesanales en Chile (Jorquera, 2022; Barros & Sarabia, 2018).

Según señala Jorquera (2022), prueba del reemplazo paulatino de estas técnicas constructivas fueron los resultados de catastros municipales realizados en la comuna de Santiago acerca de registros de materialidades entre

1910 y 1939, en los cuales se describe que hacia 1910 existían en la capital un 50% de construcciones de adobe, mientras que en 1939 sólo quedaba un 22% de las edificaciones con esta técnica. También, la celebración del Centenario de la Independencia el 1910 promovió la construcción de importantes edificios públicos en la Región Metropolitana, como es el caso de la Biblioteca Nacional (1913) y el Museo de Bellas Artes (1910) que presentan sistemas constructivos de albañilería de ladrillo confinada en hormigón armado y una estructura de cubierta a partir de hierro (Jorquera, 2022).

A partir del terremoto de Talca en 1928 y el de Chillán en 1939, la tradición constructiva en tierra comenzó a declinar debido a las repercusiones estructurales de las edificaciones de adobe producto del sismo. Este hecho se intensificó con la llegada de nuevos estilos arquitectónicos promovidos por el modernismo y la aparición de las primeras normativas para regular la construcción en Chile, contribuyendo a la transición hacia materiales industrializados en las primeras décadas del siglo XX (Jorquera, 2022).

En 1929 se promulgó la Ley 4563 sobre construcciones antisísmicas, y en 1930 se oficializó la “Ley y Ordenanza General de Construcciones y Urbanización”, estableciendo las primeras normas de diseño y construcción sismorresistente en Chile y sentando las bases para los primeros planes reguladores de uso de suelo en las ciudades chilenas (Jorquera, 2022). En 1959 a partir de la promulgación del DFL N°2, se decretó la necesidad de maximizar el espacio útil de las viviendas a 140 m<sup>2</sup> de construcción, lo que promovió la tendencia a reducir el espesor de los muros, dejando a un lado la construcción de muros muy ancho y de gran masa como el adobe (Barros & Sarabia, 2018; Jorquera, 2022), situación que además se vio acrecentada por el efecto migración campo-ciudad que tuvo la época (Jorquera, 2022).

Fig. 18  
Plaza Echaurren, posterior al terremoto de 1906 que afectó la ciudad de Valparaíso.



## ALBORES DEL SIGLO XXI

Desde la década de 1980, diversos grupos de habitantes, arquitectos y “bioconstructores” han liderado la investigación y experimentación en la arquitectura a partir de técnicas constructivas en tierra (Acevedo et al., 2022; Jorquera, 2022), incorporando nuevos conocimientos constructivos a los métodos tradicionales de ejecutar este tipo de arquitectura vernácula. Destacan los trabajos de Broughton, quien inició el año 1996 la experimentación de sistemas constructivos con fardos de paja siguiendo el estilo “Nebraska<sup>10</sup>” (Broughton, 2023), que más tarde daría paso a la integración de la paja de trigo seca en formato de fardo o disuelta al interior de la estructura de quincha (Quincha Liviana); y Marcelo Cortés con la experimentación en la incorporación de elementos de acero como estructura principal de la quincha (Quincha metálica) o en el tapial (Tapial Parasísmico) (Barros & Sarabia, 2016).

En paralelo a estas nuevas iniciativas, a partir del año 2005 se han implementado cambios normativos como respuesta a los eventos sísmicos históricos que han afectado al país. El terremoto producido el año 2005 en Huará, al interior de la Región de Tarapacá, dio origen a un “cambio de paradigma” respecto a la valorización de la construcción con tierra (Jorquera, 2022). A partir de este suceso, el Estado chileno impulsó el primer proceso sistemático para la reconstrucción y restauración de edificaciones con tierra (ibid.), motivando la puesta en valor del patrimonio construido en tierra por medio de iniciativas de catastro de daños de inmuebles.

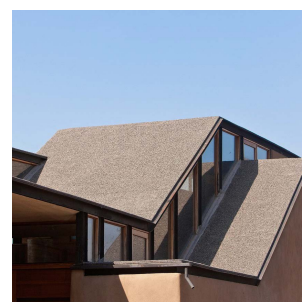
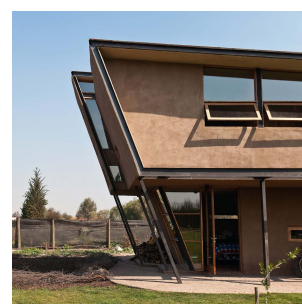
Según indica Jorquera (2022), estas modificaciones responden a las repercusiones a nivel estructural que estos eventos han tenido en el patrimonio arquitectónico construido con tierra en el país, el cual ha sido gravemente afectado durante la historia. En el marco de procesos de reconstrucción producto del sismo de gran magnitud que tuvo lugar el año 2010 en gran parte de la zona centro y centro sur del país, el año 2012 fue creado el manual de terreno “Evaluación de Daños y Soluciones para Construcciones en Tierra Cruda” por parte de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), el cual permitió establecer nuevos criterios para la identificación de inmuebles construidos en tierra a escala de vivienda (CDT, 2012). Este documento permitió recopilar información acerca de los diferentes sistemas constructivos tradicionales presentes en la construcción en tierra en Chile, como el adobe, el tapial o la quincha, permitiendo generar herramientas de catastro y levantamiento de daños estructurales para su correcta reparación.

Posteriormente, el año 2013 fueron promulgadas las normas NCh 3322:2013 “Estructuras – Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda – Requisitos del proyecto estructural” por parte del Instituto Nacional de Normalización (INN); y la norma NTM002 “Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra” por parte del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), que establece criterios para la regulación de intervenciones en este tipo de construcciones.

Estas medidas tenían como objetivo aumentar la valorización de un patrimonio histórico, cultural y arquitectónico a partir de la toma de acciones para la reconstrucción y restauración de edificaciones (Jorquera, 2022), y capacitar a profesionales y trabajadores asociados en el área (CDT, 2012). Estos hitos marcaron un antes y un después en el reconocimiento del patrimonio construido en tierra en el país, dado que inducen a una revalorización a partir de estrategias de capacitación e innovación en materias que se estimaban obsoletas.

10. “Las primeras casas hechas con fardos de las cuales se tiene registro fueron construidas en las sierras de arena de Nebraska, Estados Unidos, por colonizadores europeos que al no encontrar en este lugar madera, emplearon los fardos de sus cosechas estucados con barro para erigir sus Viviendas iniciales.” (arquitectura en fardos.cl)

Fig. 19-21  
Casa Munita-Patricia Arias, implementación de la quincha metálica.  
Fotografías: ©Luis García.  
Fuente: ArchDaily.



El año 2017 el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) encargó a la Corporación PROTERRA de Chile, realizar ensayos sobre el comportamiento térmico, acústico y la resistencia al fuego de dos de los sistemas constructivos de reinterpretación patrimonial (Acevedo et al., 2022). Estos estudios fueron realizados con el objetivo de (1) validar algunos de los sistemas constructivos reinterpretativos de las culturas constructivas patrimoniales del país para que sean incorporados en el Listado Oficial de Sistemas Constructivos del MINVU, entregando nuevas opciones más sostenibles basadas en un patrimonio constructivo; y (2) continuar el desarrollo de la investigación de estos sistemas que requieren de estándares técnicos modernos para preservar su uso actual y proyectar su uso a futuro. El año 2018, el sistema constructivo de reinterpretación patrimonial “Quincha Liviana” (en sus versiones con relleno seco y relleno húmedo) fue validado respecto a su desempeño frente al fuego, su comportamiento térmico y su comportamiento acústico según la normativa vigente. Su validación facilitó el ingreso de nuevos proyectos de arquitectura a las direcciones de obras municipales y otras reparticiones públicas (Acevedo et al., 2019), así como también permitió posicionar la construcción con fibras naturales y tierra como una alternativa sustentable y de pertinencia cultural dentro de los estándares de construcción en Chile.

Fig. 22-23

Construcción de vivienda de quincha liviana seca. Instancia de “minga” participativa. ©Sebastián Astroza.

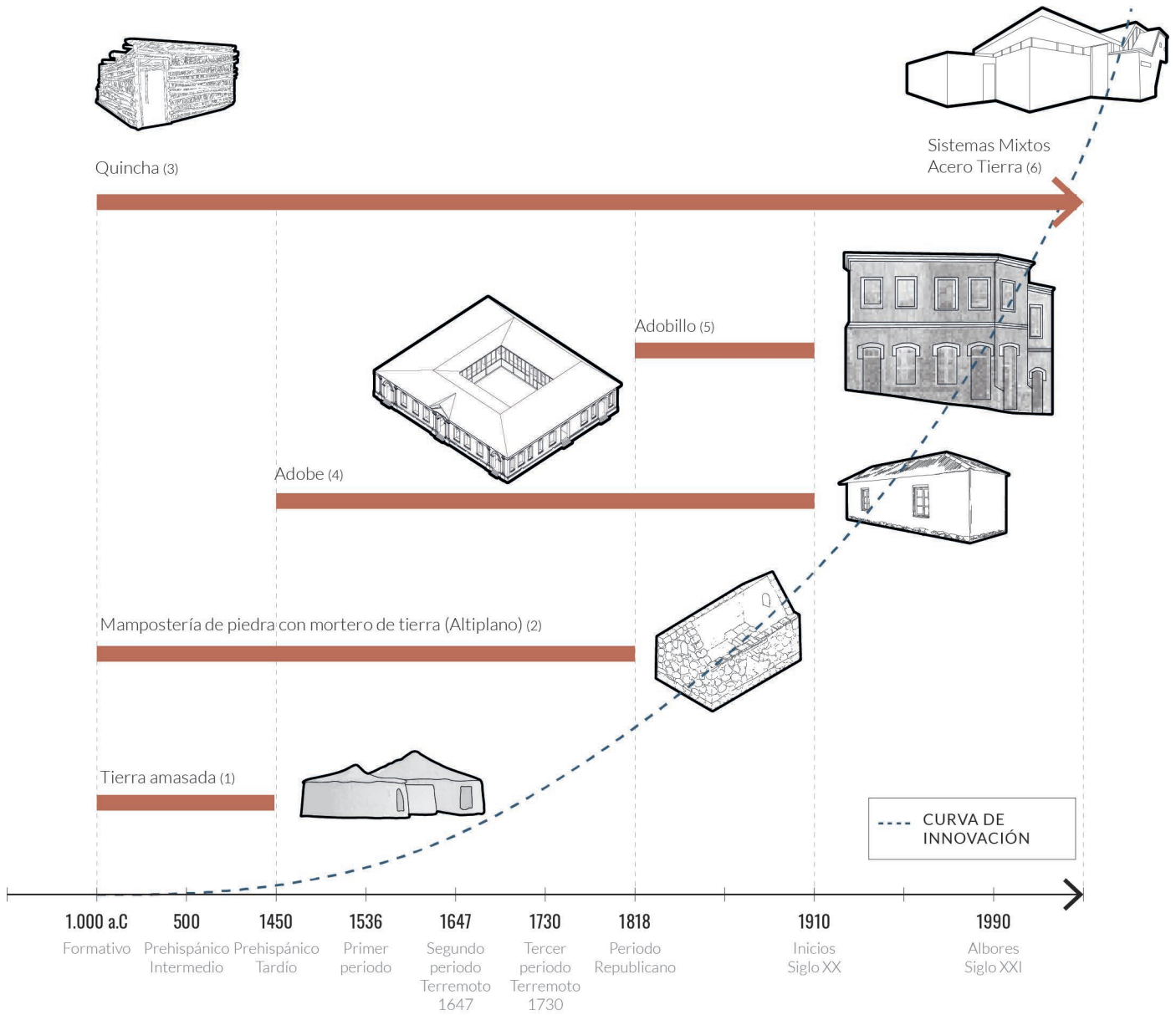


Entre el año 2018 y 2019 fue constituida la “Asociación Gremial de Bioconstrucción Chile”, con la finalidad de establecer una red colaborativa de personas interesadas en la bioconstrucción. La misión principal de esta asociación radica en la investigación y el desarrollo de sistemas constructivos más sostenibles a partir de la valorización de los conocimientos tradicionales, saberes constructivos ancestrales y la integración de tecnología e innovación en el ámbito de la construcción sostenible. La conformación de una asociación gremial permitió generar horizontalidad entre diversas disciplinas en torno a la revalorización de técnicas constructivas patrimoniales (Broughton, 2023), oficializando las redes profesionales en torno a esta área de la arquitectura y construcción en Chile.



Hasta la fecha se han consagrado diversas organizaciones y oficinas de arquitectura en distintos territorios del país motivadas por la revalorización de estas técnicas constructivas patrimoniales y su reinterpretación en el diseño arquitectónico contemporáneo, como es el caso de la quincha, el tapial o recientemente el adobillo; así como también el fomento a la modularización y prefabricación de este tipo de sistemas. Estas iniciativas representan un marco de acción donde se sitúa Chile frente al reconocimiento de este patrimonio constructivo y su resignificación basados en estándares técnicos modernos para preservar su uso futuro y salvaguardar las preexistencias del patrimonio arquitectónico construido en tierra en el país.

Fig. 24  
Línea de innovación en la construcción con tierra.



### 1.3. TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS CON TIERRA UTILIZADAS EN CHILE

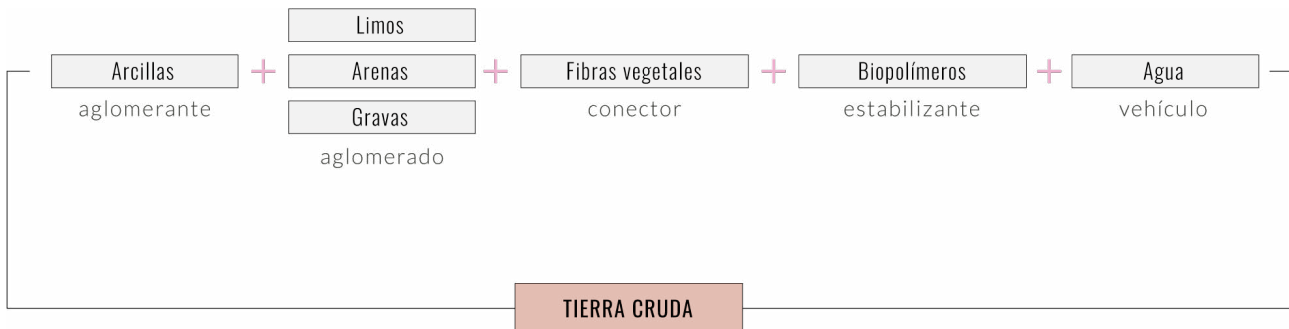
La tierra es el material natural más ecológico y abundante disponible en la mayoría de las regiones del mundo (Barros, 2014; Minke, 2010; Jorquera, 2022). Este recurso es particularmente prevalente en áreas caracterizadas por tener climas cálidos-secos y templados (Minke, 2010). Su composición es estructuralmente heterogénea, formada por granos de distintos tamaños que van desde gravas o granos de mayor tamaño hasta arenas, limos y arcillas<sup>11</sup>; y una mezcla de minerales de distinta naturaleza (Minke 2010; Jorquera, 2022). Debido a esta característica, la tierra puede presentar distintas propiedades y prestaciones dependiendo del lugar en el que se encuentre, volviéndola más o menos apta para su aplicación como material constructivo en una técnica en específico (Jorquera, 2022).

11. En ingeniería, la granulometría de los compuestos de los suelos se definen por el tamaño de sus partículas. Partículas con diámetros menores a 0,002 mm se denominan arcillas; entre 0,002 y 0,06 mm limos; entre 0,06 y 2 mm arenas; y mayores a 2 mm se denominan gravas y piedras. (Minke, 2010).

**Tabla 1.**  
Principales propiedades de la tierra cruda.

Propiedades de la Tierra	
1	Evita la pudrición de las fibras (cemento genera condensaciones)
2	Reduce el contenido de polvo fino en el aire
3	Activa los mecanismos de protección de la piel contra microbios
4	Es un material eternamente reciclable
5	Disminuye los olores
6	Es ignífugo
7	Absorbe la electricidad estática neutralizando las ondas electromagnéticas
8	Es regulador higrotérmico. Absorbe 60g de agua por m <sup>2</sup> (50-60% HR promedio)
9	No contiene químicos ni contaminantes

**Fig. 25**  
Componentes de la tierra cruda y su respectiva función dentro de la mezcla.



**Fig. 26**  
En la imagen se observa como las fibras vegetales actúan como conector del aglomerado de tierra cruda, dándole estabilidad a la mezcla.



Respecto a sus propiedades mecánicas, las cualidades granulométricas de la tierra en conjunto con la cantidad de agua incorporada definen la consistencia y el comportamiento estructural de la mezcla final. Esta mezcla, denominada comúnmente como “barro” o “tierra cruda”, incorpora granos mayores de materiales inertes como gravas, arenas y limos que le confieren la capacidad estructurante a la construcción (Jorquera, 2022), por lo tanto, dependiendo de las cantidades de limos, arenas y gravas o piedras que contenga la tierra, se define como un suelo más arcilloso, limoso o arenoso (Minke, 2010). Las arcillas, en cambio, debido a su estructura molecular compleja, en presencia de agua actúan como elemento aglomerante para pegar los granos, logrando cohesionar la mezcla (Jorquera, 2022).

Debido a esta versatilidad, la tierra se presenta como un material con un amplio potencial para diversas aplicaciones constructivas, cuya idoneidad depende de su estado plástico. Aquellas técnicas que emplean un mayor porcentaje de arcillas resultan más apropiadas para la creación de mezclas que se amasan con agua, dando lugar a la formación de adobes, adobillos y composiciones para rellenar la quincha (Jorquera, 2022). En contraste, los suelos con mayores proporciones de arenas e incluso gravas son más adecuados para

técnicas que se basan en la compactación con una menor cantidad de agua, como es el caso del tapial (ibid.).

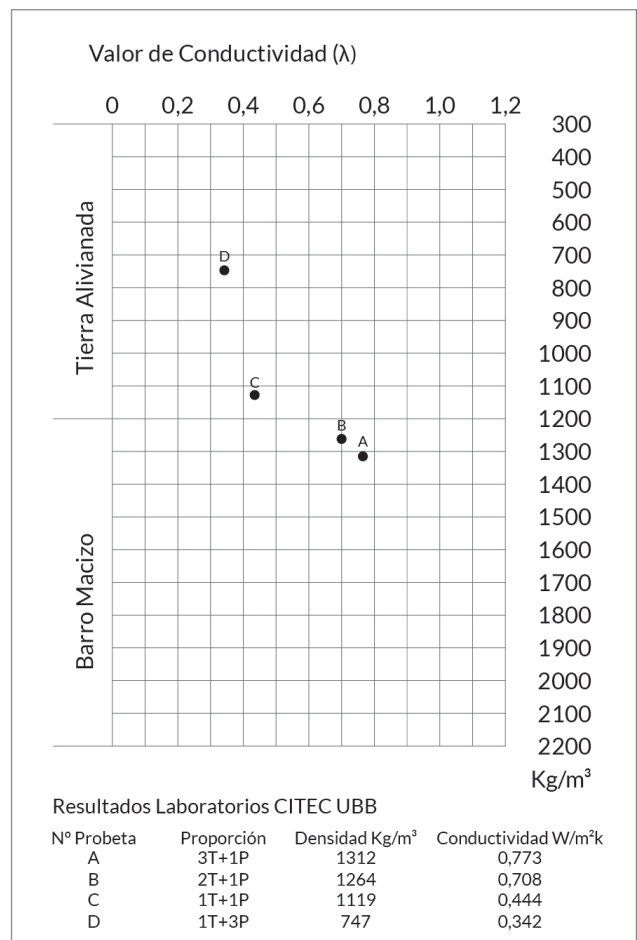
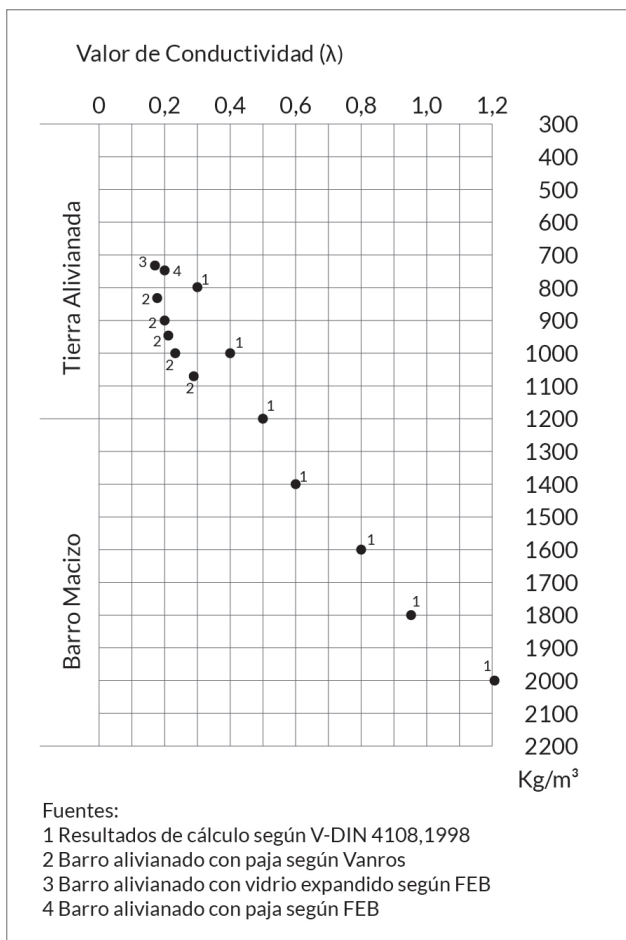
En algunas mezclas se agregan fibras vegetales (gramíneas<sup>12</sup>) para proporcionar una mejor sujeción a la mezcla (Jorquera, 2022). Las fibras vegetales poseen una serie de beneficios dada sus propiedades físicas, entre ellas reforzar la resistencia de elementos constructivos y revoques de tierra, mayores capacidades de aislación térmica y variedades estéticas respecto a colores, formas y texturas (Carazas, 2021). Para añadir fibras se debe asegurar que estén secas para evitar riesgos de descomposición (Minke, 2010).

Los materiales vegetales poseen un calor específico que rodea los 2kJ/kg<sup>o</sup>K (kilojoules por kilo y grado <sup>o</sup>K), mientras que en los materiales minerales es de aproximadamente 1 kJ/kg<sup>o</sup>K (Lawrence en Piesik, 2017). Lo anterior demuestra que los materiales bióticos, como la paja de trigo o el bambú, responden más lentamente a los cambios de temperatura y son capaces de almacenar el doble de energía térmica que los materiales minerales para densidades y grosores similares. En cuanto a las propiedades térmicas de la tierra, la base de datos actual continúa siendo variable en la mayoría de los casos, pese a ello, su capacidad térmica es proporcional a su densidad (Lawrence en Piesik, 2017; Minke, 2010; Cabrera et al., 2023; Wieser et al., 2018).

La conductividad térmica de la tierra alivianada puede variar según la proporción de tierra arcillosa y la fibra vegetal utilizada. Según (Minke, 2010; Velásquez & Torres, 2017), los valores conductividad térmica de tierra alivianada oscilan entre 0,1 a 0,4 W/m<sup>o</sup>K dependiendo de su densidad, mientras que los valores del barro macizo van desde los 0,5 W/m<sup>o</sup>K. Para mezclas con mayor proporción de fibras, con una densidad cercana a 747 kg/m<sup>3</sup> la conductividad ronda los 0,342 W/m<sup>o</sup>K (Figura 27-28).

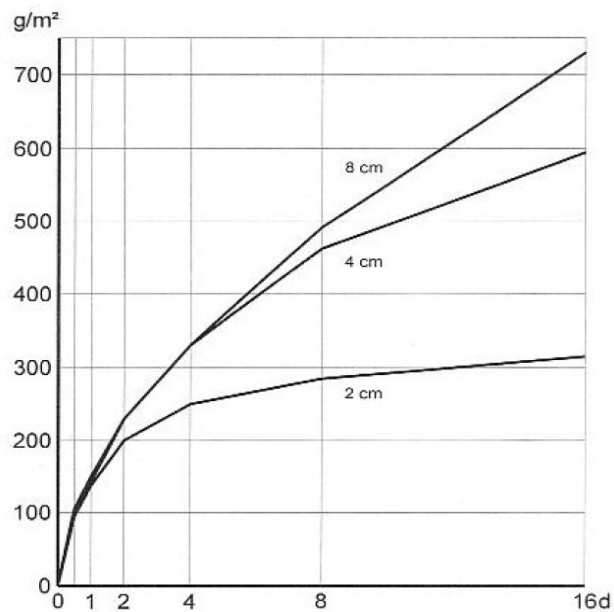
12. La familia de gramíneas corresponde a una variedad de plantas herbáceas del tipo monocotiledóneas, como el bambú, la paja de trigo o la paja brava, que poseen características físicas que proporcionan mayor resistencia a un elemento constructivo (Carazas, 2021), definiendo una tierra más alivianada o aligerada.

Fig. 27-28 Comparación valores de conductividad térmica según densidad y proporciones de mezcla. Izquierda: (Minke, 2010). Derecha: (Velásquez & Torres, 2017)



La tierra cruda posee propiedades higroscópicas que le confieren la capacidad de absorber y liberar humedad al ambiente, permitiendo regular las condiciones de confort ambiental interior (Minke, 2010). Debido a esta cualidad, las técnicas constructivas con tierra son más susceptibles a las condiciones de humedad del exterior según sean las condiciones climatológicas de su entorno (ibid.). En promedio, la tierra absorbe 60 g de agua por m<sup>2</sup>, manteniendo porcentajes de humedad relativa del ambiente interior entre un 50 a un 60% (Minke, 2010). Según estudios llevados a cabo en la Universidad de Kassel, en Alemania, se demostró que “cuando la humedad en un ambiente interior aumenta súbitamente de 50 a 80%, los bloques de barro pueden absorber hasta 30 veces más la humedad que los ladrillos cocidos en un lapso de dos días” (Minke, 2010, p. 17).

Fig. 29  
Influencia del espesor de las capas de barro en relación a la absorción de humedad, a una temperatura de 21°C y luego a un incremento súbito de la humedad del ambiente de 50 a 80%.



La adecuada gestión de los niveles de humedad en la mezcla de tierra es determinante para elaborar elementos de construcción, dado que un exceso de agua puede resultar en una mayor retracción del material al secarse, aumentando el riesgo de grietas (Broughton, 2023). Este fenómeno posee una naturaleza mecánica, ya que, al secarse, las capas exteriores del elemento pierden humedad de manera más rápida que las capas interiores, generando tensiones que pueden romper la superficie de la mezcla (ibid.). Por este motivo, la tierra cruda es un material muy sensible a la humedad provocada por efectos de capilaridad y aguas proveniente de lluvias (Barros & Sarabia, 2018), por lo que se debe tener en consideración su correcta protección.

El empleo de la tierra como material constructivo ha originado múltiples técnicas de construcción (Jorquera, 2022), que dan cuenta de una inteligencia constructiva arraigada a procesos de adaptación de diversas culturas según el territorio en el que se encuentren. Se ha documentado la existencia de al menos 12 tipos de técnicas constructivas con tierra en el mundo, las cuales se clasifican en tres grandes grupos según como se emplea el material (Figura 30): (1) macizas, (2) en bloques y (3) mixtas (Houben y Guillaud, 1979, en Jorquera, 2022). Las técnicas macizas son aquellas de tipo monolítico, que incorporan la tierra de forma orgánica sin necesidad de elementos adicionales. Las técnicas en bloques, en cambio, se distinguen por el uso de unidades de bloques de tierra, que se ensamblan para conformar estructuras de mayor envergadura. Por último, las técnicas mixtas incorporan elementos estructurales como la madera o fibras vegetales, utilizando la tierra como material de relleno.

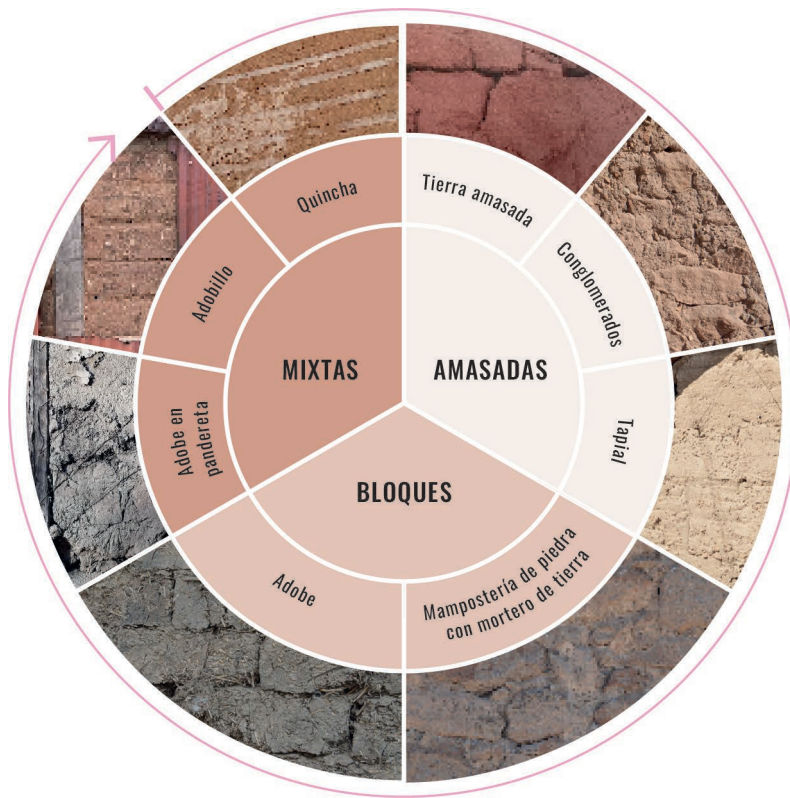


Fig. 30  
Clasificación de las técnicas constructivas con tierra en Chile según Jorquera 2022.

En Chile, hay una gran variedad de técnicas constructivas<sup>13</sup> que modifican sus características en función al entorno, variando según los recursos naturales disponibles y la manera en que las comunidades le van dando forma (Jorquera, 2022).

13. Cinco de las ocho técnicas constructivas presentes en la construcción con tierra son predominantes en el patrimonio arquitectónico del país, correspondientes a las técnicas del adobe, el tapial, la quincha, el adobe en pandereta y el adobillo.

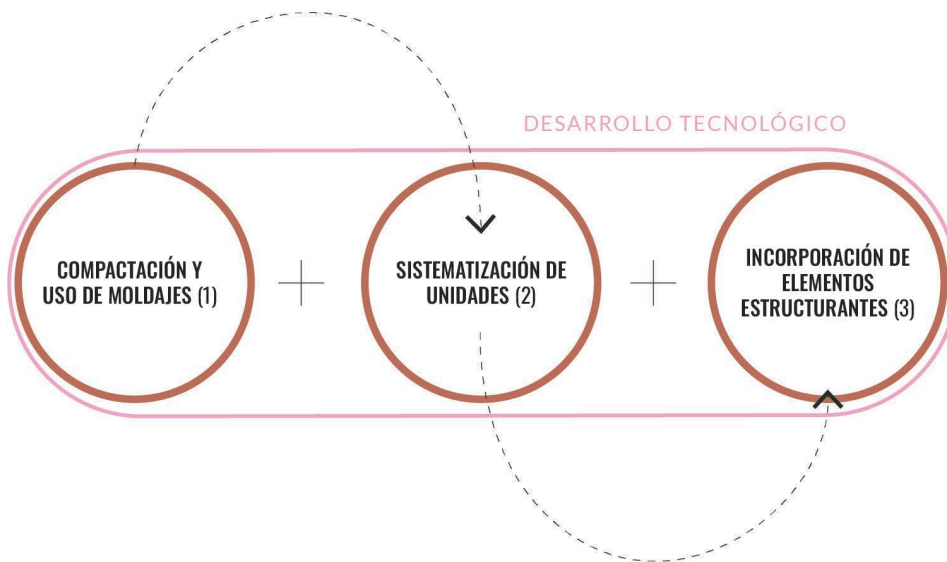
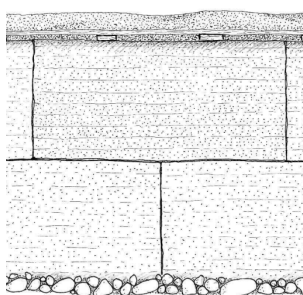


Fig. 31  
Esquema desarrollo tecnológico de las técnicas de construcción con tierra cruda en Chile .

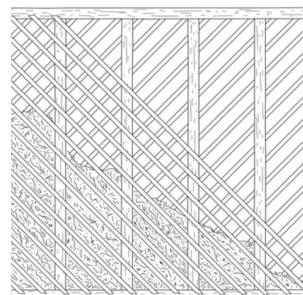
- (1) Tapial. ©Cristina Briño, 2021.
- (2) Adobe. ©Sebastián Gil, 2020.
- (3) Quincha. Goticula, 2021.



(1)



(2)



(3)

Fig. 32  
Encofrado de Tapial escala 1:1.



Fig. 33  
Tapial terminado.



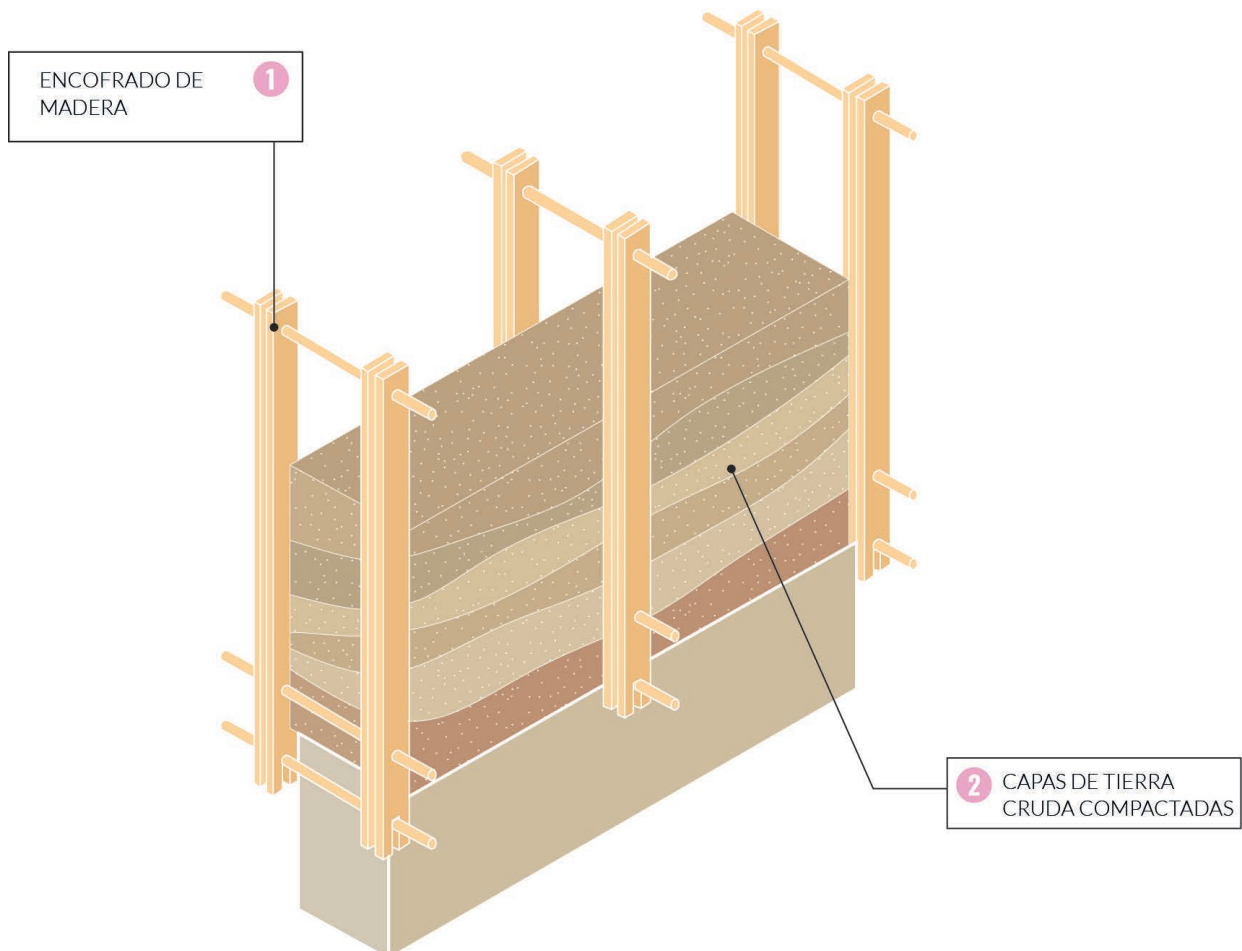
### 1.3.1 TÉCNICAS AMASADAS

(Compactación y uso de moldaje):

El tapial, también conocido con el nombre de “tapias” en otros países, o “adobón” en ciertas zonas de Chile (Jorquera, 2022), corresponde a un sistema de compactación por capas de tierra húmeda de 10 a 15 cm que se van compactando con un pisón (Barros & Sarabia, 2018), conformando un gran bloque monolítico. Su proceso de fabricación tradicionalmente es mediante el uso de moldajes de tablonces de madera que conforman un encofrado, el cual se va rellenando con capas uniformes de tierra húmeda con bajo porcentaje de arcillas y un mayor material particulado de arenas y gravas (Jorquera, 2022). Una vez que se termina de rellenar un encofrado, este va desplazándose para ir formando unidades de tapias, las que se van trabando unas sobre otras para conformar el total del muro.

Este sistema constructivo se remonta al periodo colonial, introducido por los españoles en gran parte del continente americano (Jorquera, 2022), reconocido principalmente hacia las proximidades de la capital de Lima, en la zona urbana de Cajamarquilla (Minke, 2010). En Chile, fue usado a los inicios de la colonia principalmente para la construcción de iglesias y cercos (Jorquera, 2022), cumpliendo el rol de estructura portante. Actualmente algunos vestigios de tapias subsisten en algunas localidades de las macrozonas Norte y Centro, principalmente en sectores rurales (ibid.).

Fig. 34  
Sistema constructivo de Tapial.



### 1.3.2 TÉCNICAS EN BLOQUES

(Sistematización de unidades y uso de moldajes)

La albañilería de adobe es un sistema basado en los principios de una albañilería simple en la cual se van apilando bloques uno sobre otro y de manera trabada utilizando un mortero de tierra y agua para conformar un muro monolítico (Barros & Sarabia, 2018). Los adobes corresponden a unidades de bloques previamente fabricados a partir de una mezcla de tierra cruda que se dispone al interior de un molde de madera (Jorquera, 2022), conocido con el nombre de “adoberas” (Barros & Sarabia, 2018), generalmente de dimensiones de 60x30x10 cm o 40x20x8 cm (Jorquera, 2022), que se dejan secar al aire libre para obtener un buen resultado en la conformación del bloque estructural.

El uso de bloques de adobe condiciona determinadas características geométricas que hacen que la arquitectura posea ciertos patrones recurrentes, como es el empleo de muros de mayor espesor y de baja altura, la tendencia a la horizontalidad en la construcción a partir de formas regulares y una menor cantidad de vanos en los muros (Jorquera, 2022). Estas características se registran en casi toda la arquitectura de adobe en Chile (ibid.), aunque se pueden encontrar variantes locales dependiendo del manejo de estrategias bioclimáticas diseñadas para contrarrestar las inclemencias del clima según cada territorio.

Esta técnica es especialmente prevalente desde la región de Arica y Parinacota en el norte hasta el Bío Bío por el sur, destacando su uso principalmente en condiciones de valle interior y la cordillera (Jorquera, 2022). Sin embargo, también se observa su presencia en asentamientos costeros, como ejemplifican las ciudades de La Serena y Cobquecura (ibid.). De manera excepcional, también se han identificado construcciones compuestas de bloques de adobe en algunas localidades rurales pertenecientes a la comuna de Chile Chico, en la región de Aysén (Pérez & Castillo, 2020).

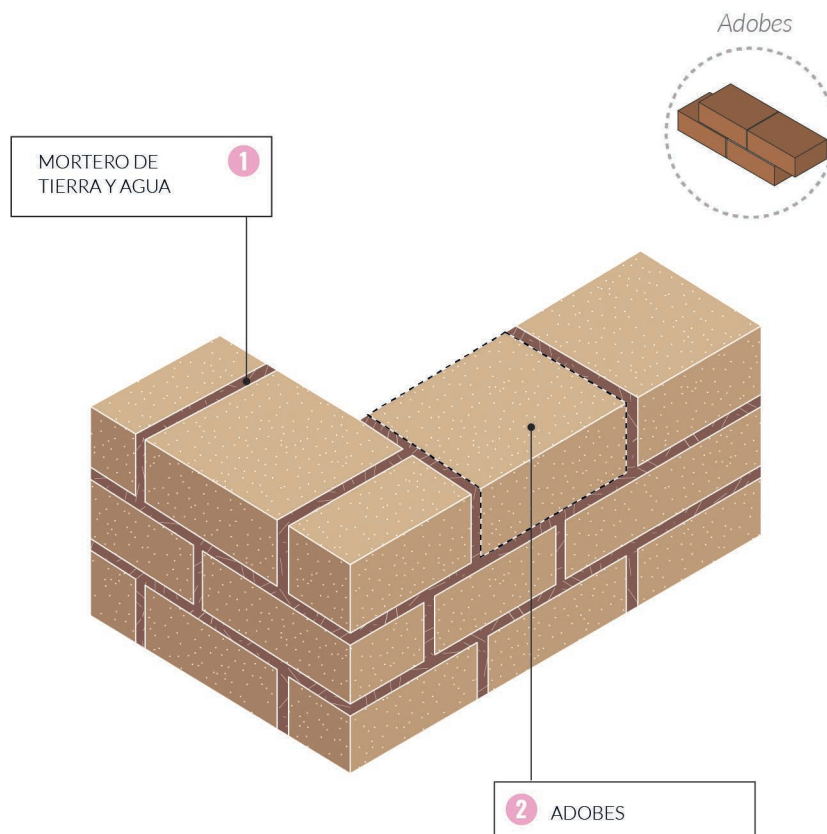
Fig. 35 Adobes recogidos de vivienda en proceso de rehabilitación.



Fig. 36 Muro construido con sistema de adobes con algunos refuerzos metálicos.



Fig. 37 Sistema constructivo de Adobe.



### 1.3.3 TÉCNICAS MIXTAS

(Incorporación de elementos estructurantes)

Las técnicas mixtas que combinan madera-tierra, se conforman a partir de un tabique de madera relleno con tierra, la cual puede ser moldeada, apilada, compactada, vertida o aplicada en diferentes formatos (Dávila & Contreras, 2022). Independientemente de la técnica empleada, la estructura de madera es la que las fuerzas y cargas que actúan sobre el muro (ibid.)

Fig. 38  
Estructura principal tabique de madera.

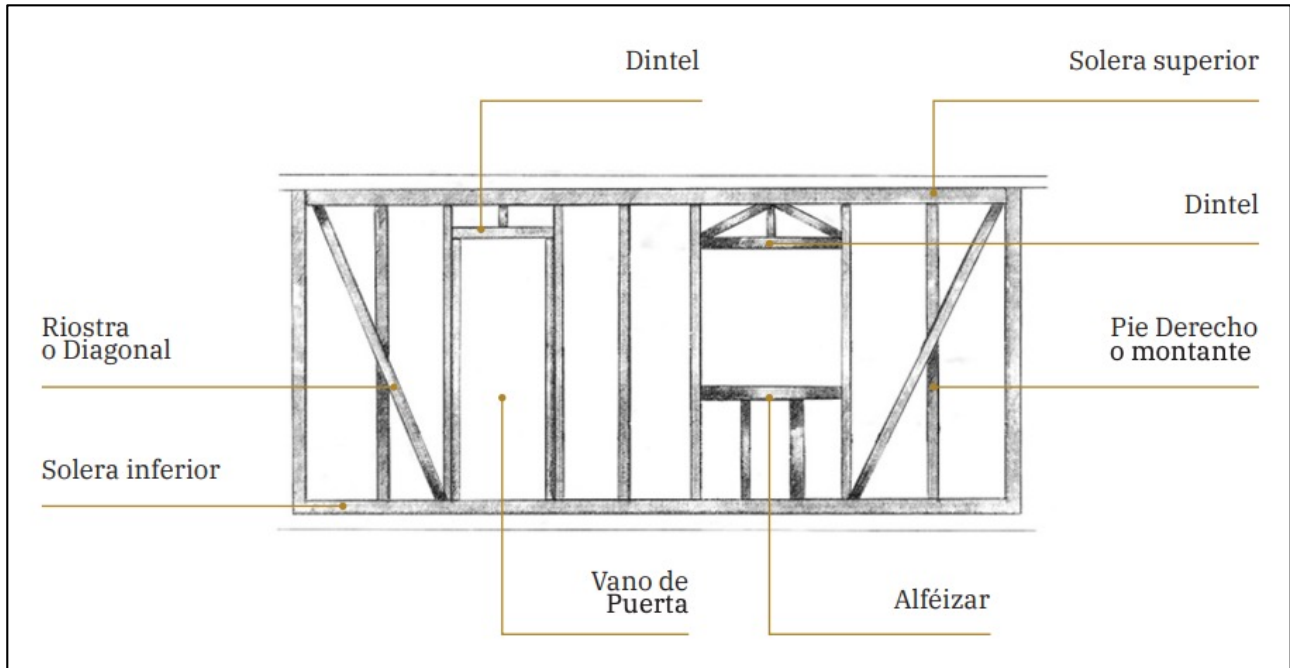
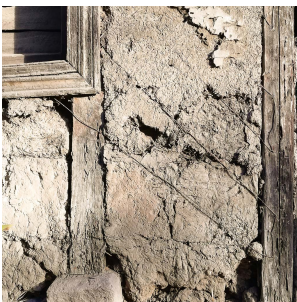


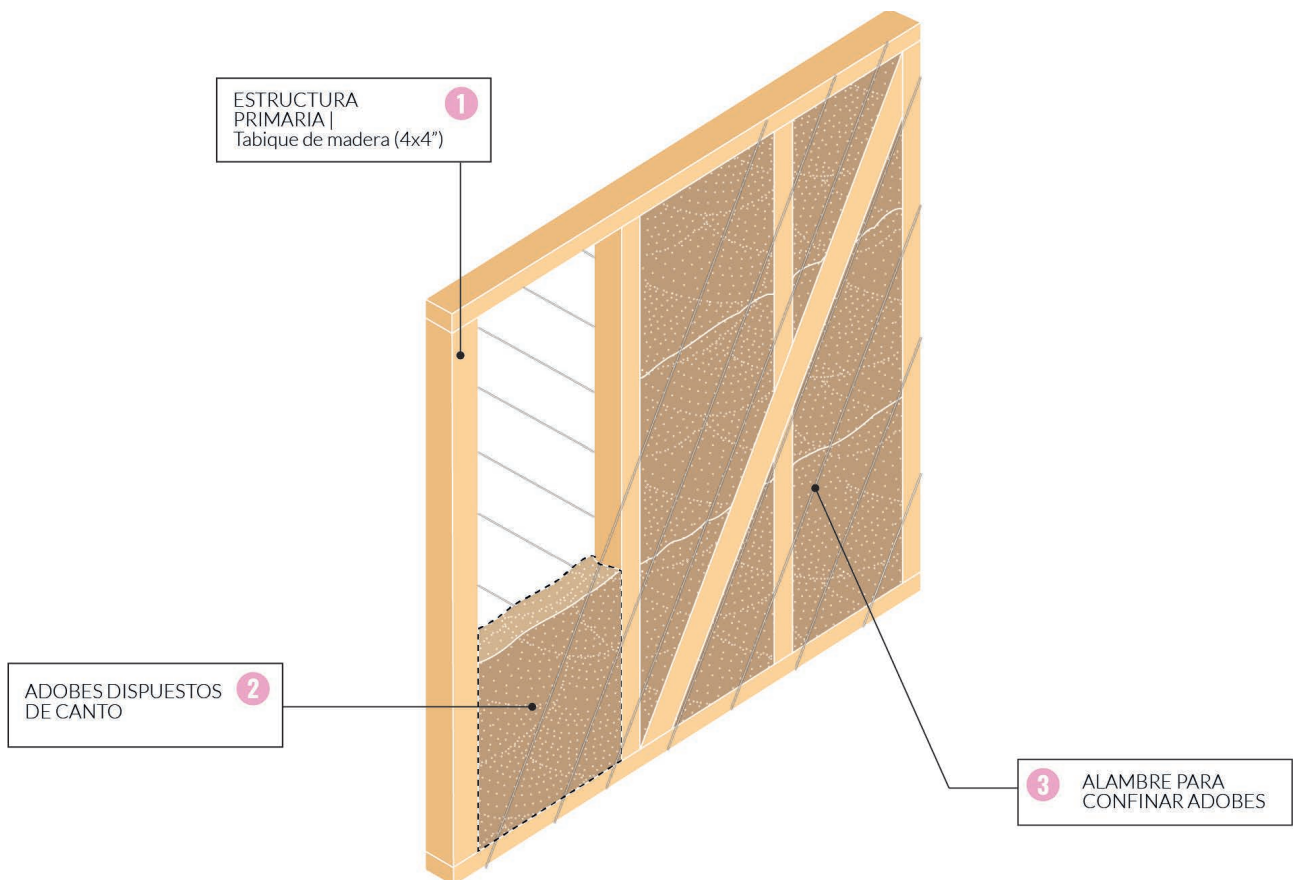
Fig. 39-40  
Técnica de adobe en pandereta.



La técnica de **adobe en pandereta** consiste en el empleo de una estructura de tabiques de madera, rellena con bloques de adobe dispuestos de canto que se apilan sin utilizar mortero de pega (Barros & Sarabia, 2018). El tabique de madera suele conformarse a través de secciones de 4x4" dispuestos cada 60 cm (Jorquera, 2022), el cual considera refuerzos diagonales metálicos para rigidizar el marco y revoques exteriores de mezcla de arcillas y arenas estabilizadas (Barros & Sarabia, 2018; Dávila & Contreras, 2022; Jorquera, 2022). Como resultado, se obtiene una estructura más delgada en comparación con las técnicas más macizas como el adobe o el tapial, con un espesor total que rodea los 10 cm (Jorquera, 2022). Sin embargo, el sistema de relleno es más susceptible a fallas estructurales debido a que los adobes en este caso no se encuentran completamente trabados a la estructura, dado que los bloques no se encuentran pegados entre sí (ibid.).

El adobe en pandereta es una técnica muy similar a la técnica de adobillos debido a su configuración, por lo que suele ser confundida por esta técnica (Dávila & Contreras, 2022), lo que puede corresponder a un antecedente de esta técnica constructiva. Según señala Jorquera (2022), la técnica de adobe en pandereta también tiene sus orígenes a mediados del siglo XIX, dada su predominante existencia en barrios urbanos republicanos. Esta técnica se presenta principalmente en territorios donde existe vegetación para la conformación del entramado de madera, en localidades del Norte Chico y hacia el Valle Central (Jorquera, 2022).

**Fig. 41**  
Sistema constructivo de Adobe en pandereta.



El **adobillo** o **tabique-adobillo**, al igual que el adobe en pandereta, corresponde a un sistema mixto en el cual los bloques constituyen el relleno del tabique de madera. El adobillo es un bloque de adobe sin coser de menor sección, compuesto de tierra y paja, que posee el detalle de tener una muesca o ranura hacia los extremos del bloque para ser ensamblado de manera más eficiente a la estructura de madera (Dávila & Contreras, 2022). El adobillo usualmente se presenta en formatos de 45x10x10 cm o 45x15x10 cm, los cuales se van apilando uno sobre otros por medio de un mortero de tierra, los cuales son trabados al tabique estructural de madera, generalmente en tabiques de sección de 3x4", 4x4" o 6x4", formando el muro (ibid.). La técnica se diferencia de las otras debido a que a la estructura portante considera el uso de junquillos de madera de 1x1" anexas a los marcos de madera, que colaboran con la sujeción de los adobillos a los pies derechos (Jorquera, 2022), cumpliendo la función de canal para garantizar la trabazón de los adobillos.

La técnica del adobillo surge en la ciudad de Valparaíso durante el periodo republicano, influenciado por la llegada de nuevas técnicas extranjeras (Dávila & Contreras, 2022; Jorquera, 2022), principalmente en cuanto a la tecnificación en la ejecución de las carpinterías. Entre 1822 y 1823 se produjo una transición entre la vivienda colonial tradicional (construida con técnica del adobe), con las nuevas innovaciones en materias de industrialización constructiva, que corresponderían a antecedentes claves respecto al uso del adobillo en Valparaíso (Dávila & Contreras, 2022).

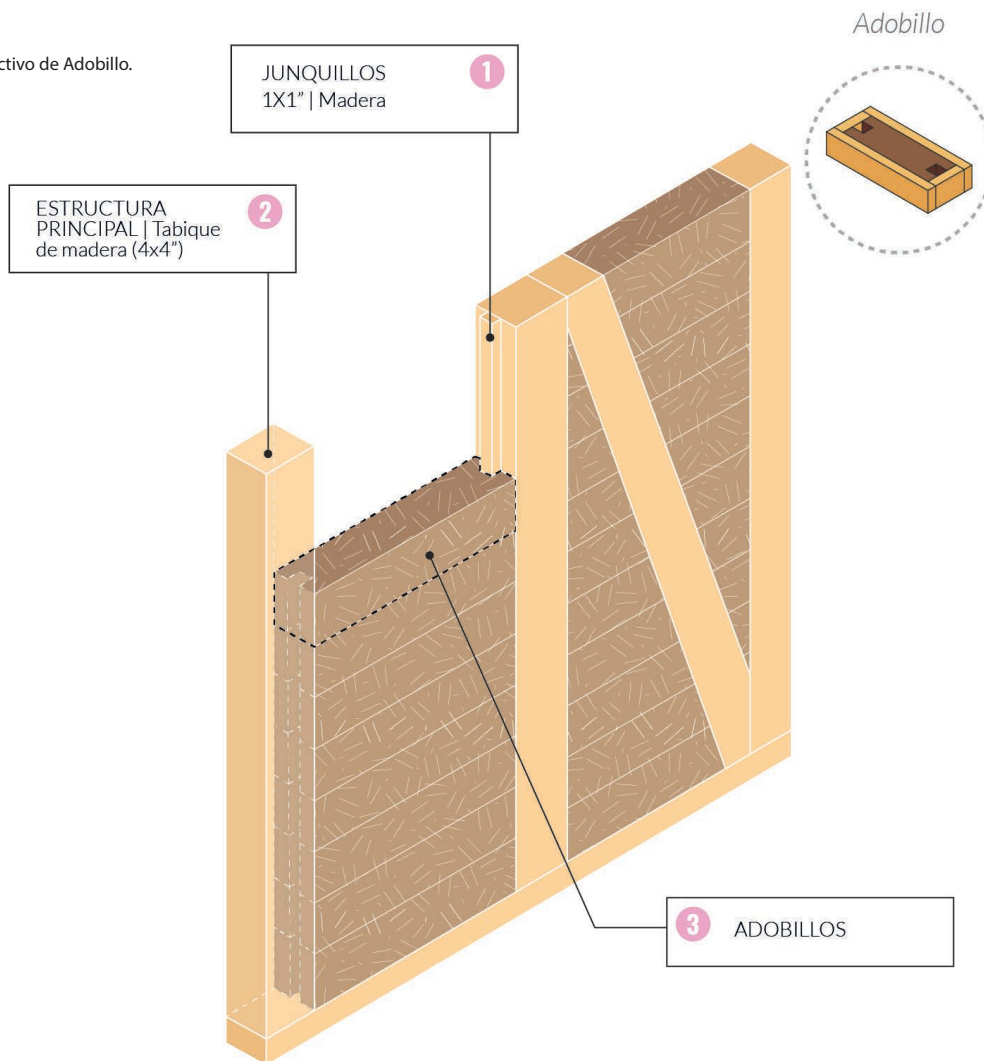
**Fig. 42**  
Diferentes moldes para hacer adobillos.



**Fig. 43**  
Adobillo terminado, recién sacado del molde.



Fig. 44  
Sistema constructivo de Adobillo.



14. La técnica se puede encontrar en distintos formatos en distintas regiones del mundo, adquiriendo diferentes nombres dependiendo de la lengua: "wattle and daub" en países de habla inglesa del norte de Europa; "torchis" en Francia e Italia y "leichtlembau" en alemán. En América Latina las denominaciones son "bahareque" en Panamá, El Salvador, Guatemala, Ecuador, Colombia y Honduras; "cuje en cube", "pao a pique" o "taipa de sopapo" en Brasil; "fajina" en Uruguay; "estaqueo" en Paraguay; y "quincha" en Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Jorquera, 2022).

15. Se han documentado variaciones con varas de coigües, distintos tipos de paja, brea, varas de ciprés, cañas de guayaquil, mimbre, bambú, varas de ñire, entre otras.

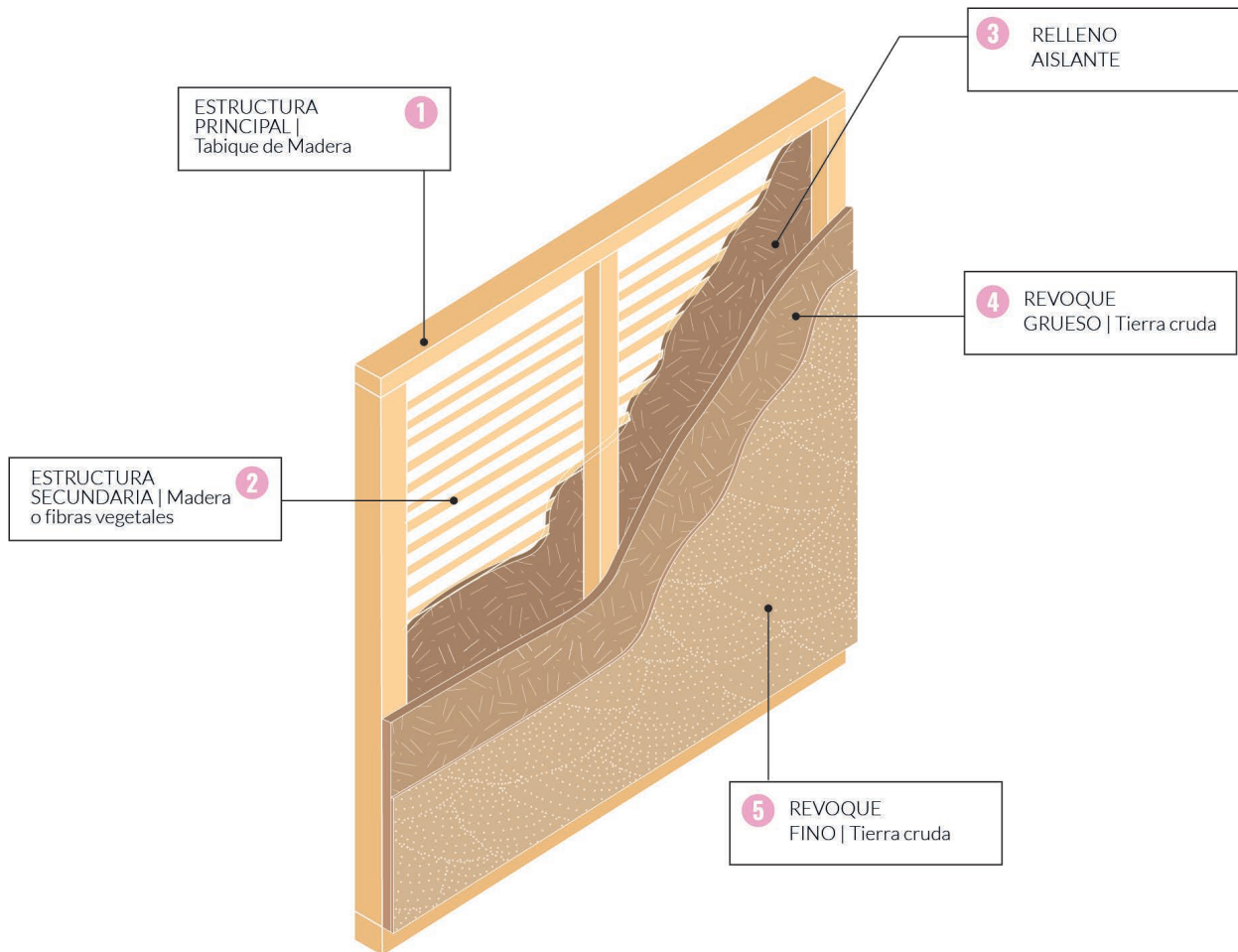
La técnica de **quincha**, también conocida en otros países como "bahareque", "pau a pique" o "wattle and daub", entre otros<sup>14</sup>, corresponde a una técnica mixta madera-tierra diseñada a partir de tres elementos principales: (1) una estructura principal portante, tradicionalmente de especies de madera; (2) una estructura secundaria encargada de sostener y contener el relleno a partir de fibras vegetales u otros elementos; y (3) el relleno en base a tierra cruda en estado plástico, compuesto por tierra arcillosa y fibras vegetales (Acevedo et al., 2022).

La quincha es un sistema constructivo ancestral (Barros & Sarabia, 2016), que data del periodo prehispánico y se extiende en diversos lugares del mundo. Su nombre deriva del quechua (Marussi, 1986, citado en Jorquera, 2022), y significa "tejido o trama de junco con que se afianza un techo o pared de paja, totora, cañas, etc" (RAE). En Chile la quincha se encuentra en territorios con presencia relativa de vegetación, desde las regiones de Atacama hasta el Bío Bío (Jorquera, 2022), y recientemente se han encontrado preexistencias de quincha en la comuna de Chile Chico en la región austral de Aysén (Pérez & Castillo, 2020). Este sistema constructivo presenta distintas variantes locales a lo largo del país (Jorquera, 2022), caracterizadas por el tipo de vegetación empleada<sup>15</sup>, así como también la técnica con la que se hace el relleno o se colocan los elementos de sujeción de la estructura secundaria (ibid.).

La quincha se puede clasificar según el tipo de relleno que se incorpore, el cual puede variar según la locación y el tipo de técnica utilizada. En el caso de la mezcla de tierra utilizada, esta depende de las características del suelo

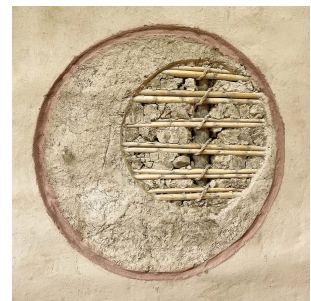
en el que se halle la obra, pudiendo tener solo material inerte o agregado de fibras vegetales (Jorquera, 2022; Acevedo et al., 2022), como es el caso de la paja de trigo u otros cereales, o la paja brava “ichu” (Carazas, 2021). Agregar cierto porcentaje de fibras a la mezcla permite lograr una mayor sujeción del relleno a la estructura secundaria, así como también alivianar la mezcla y aumentar sus propiedades aislantes (Jorquera, 2022).

Fig. 45 Sistema constructivo de Quincha tradicional.



Jorquera (2022) clasifica la quincha según dos grandes grupos dependiendo del periodo histórico al que se remontan: **la quincha vernácula y la quincha urbana**. Las quinchas vernáculas se caracterizan por presentar una estructura de sujeción sin mayor elaboración a partir de elementos vegetales, las cuales se presentan entretejidas para recibir la carga de la mezcla. Este tipo de técnicas fueron empleadas principalmente por los pueblos originarios desde la región de Atacama y La Araucanía durante el periodo prehispánico (ibid.). Sin embargo, también se mantuvo durante la colonia para la construcción de ranchos y viviendas de clases populares, y en algunas viviendas coloniales donde la tierra no era suficientemente consistente para la conformación de bloques de adobe (ibid.).

Fig. 46 Sistema de quincha con cañas. En la imagen se identifican las capas del sistema constructivo.



Por otro lado, las quinchas urbanas tienen sus precedentes durante el periodo republicano, a mediados del siglo XIX (Jorquera, 2022). Su estructura principal consiste en un entramado de madera de gran escuadría, de pino Oregón americano o roble del Maule, mientras que su estructura secundaria es elaborada a partir de listones de madera de escuadrías de 1x1” y 1x2”, que se disponen juntos ya sea en diagonal u horizontal, dejando un espacio de al menos 1” entre ellos para poder incorporar la mezcla de relleno al interior del tabique, o dejarla por sobre la estructura secundaria dejando un espacio de aire en el alma del tabique (ibid.). Esta técnica, llamada popularmente como

Fig. 47  
Quincha con totora. ©Jorquera, 2022.



Fig. 48  
Tabique de madera con relleno de adobes.



quincha con “empalizado” o “ensardinado”, se encuentra principalmente en viviendas de las grandes urbes, aplicada para la construcción de muros divisorios o en tímpanos de algunas edificaciones en ciudades como Valparaíso, La Serena, Coquimbo, Santiago y Copiapó (ibid.). Otro ejemplo de quincha urbana es la “quincha con cañas de Guayaquil”, que utiliza como estructura secundaria un entramado de cañas de Guayaquil dispuestas en horizontal (ibid.)

Debido a su configuración, el sistema de quincha permite una mayor flexibilidad en el diseño de la envolvente, dado que permite generar vanos más amplios y lograr mayores alturas en comparación con la técnica de adobe (Blaitt & Bonczos, 2003), al mismo tiempo que la estructura portante de entramado en madera le confiere cualidades sismorresistentes al sistema constructivo (Barros & Sarabia, 2016; Jorquera, 2022).

## 1.4 CONTEXTO CLIMÁTICO Y LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

Las condiciones climáticas desempeñan un papel crucial en el diseño arquitectónico, así como en la disponibilidad de materiales locales utilizados en su construcción (Souch en Piesik, 2017). El territorio de Chile continental<sup>16</sup> posee una gran variedad de climas dada su notable extensión de norte-sur (unos 4.200 km que se extienden entre los paralelos 8º y 56º lat. Sur), y de cordillera a costa, caracterizada por una accidentada geografía compuesta por la cordillera de los Andes, la cordillera de la Costa y los cordones montañosos transversales (D'alençon, 2008). Su abrupta topografía en conjunto con la influencia de las corrientes del Océano Pacífico son factores determinantes para la configuración de las distintas variaciones que presenta el clima a lo largo del territorio, las cuales determinan múltiples condiciones climáticas que van desde climas áridos y calurosos en el norte, hasta glaciares y campos de hielo en el sur (Bustamante, 2009).

Tal como menciona (D'alençon, 2008), en Chile dada la diversidad climática es posible identificar estrategias de diseño asociadas al clima en diversas fuentes y casos, siendo estas particularmente evidentes en la arquitectura tradicional. El país se divide en cuatro macro-climas de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, que incluyen la zona de climas cálidos secos (áridos y semi-áridos), la zona de climas templados, la zona de climas fríos y la zona de climas cálidos húmedos (Tabla 2).

Según la base de metadatos realizada por la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE)<sup>17</sup>, el territorio nacional presenta al menos seis tipos diferentes de climas principales y 25 subtipos de clima diferenciados según las condiciones de precipitación, tipo de vegetación y temperatura de la zona (Anexo 6), identificando climas semiáridos y desérticos en sectores costeros e interiores de la macrozona norte y centro (BSk - BWh - BWk); climas templados y mediterráneos desde la zona centro hasta la zona sur, y, de manera excepcional, en algunos tramos cordilleranos en la macrozona sur austral (Cfb - Cfc - Csb - Csc); y climas glaciales y de tundra (EF y ET) particulares de las zonas altas de la cordillera de los Andes y la macrozona austral (Figura 53).

Debido a esta gran diversidad climática y geográfica, además de variantes culturales, es que se han originado diversas culturas constructivas<sup>18</sup> relacionadas con los modos de construir con tierra cruda y otros materiales, pasando desde el uso de la tierra y las piedras en el norte, hasta el desarrollo de técnicas mixtas en los valles interiores de la zona centro y centro sur (Jorquera, 2014). Se han definido al menos siete culturas constructivas en base al uso de tierra cruda, que presentan variantes según su estrategia de adaptación al clima predominante del territorio y al periodo histórico en el cual fueron originadas (ibid.). Además, y como se ha mencionado con anterioridad, se han levantado vestigios de viviendas o estructuras del ámbito doméstico elaboradas a partir de sistemas de adobe o quincha en localidades más australes del país, que podrían responder a una nueva cultura constructiva<sup>19</sup> referente al uso de sistemas constructivos con tierra en la Patagonia.

Las culturas constructivas aluden a un método de construir derivado de aspectos culturales que engloban el desarrollo de una técnica constructiva, en las que convergen la disponibilidad de recursos y las influencias culturales de un periodo determinado (Jorquera, 2022). La técnica del adobe es especialmente prevalente desde la región de Arica y Parinacota en el norte hasta el Bío Bío por el sur, destacando su uso principalmente en condiciones de valle interior y la cordillera (Jorquera, 2022).

Fig. 49  
Paisaje del valle central interior en la Región de Atacama. En la imagen se muestra plantaciones de brea nativa.



16. Se hablará únicamente del Chile continental, entendiendo que también tiene territorio insular, pero no es materia de investigación para esta tesis por no existir registros documentados de construcción con tierra cruda.

17. Zonas climáticas de Chile según Köppen y Geiger escala 1:1500000 <https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koepen-geiger-escala-1-1-500-000>

18. "Dentro de los conceptos relativos a la salvaguardia del patrimonio cultural que han aparecido en las últimas décadas, se encuentra la de "cultura constructiva", es decir, allí donde existe una predominancia de un material de construcción en torno al cual se ha desarrollado toda una cultura del construir" (Jorquera, 2014, p. 31)

19. Para efectos de esta tesis, se denominará "cultura constructiva de la Patagonia" a los hallazgos reconocidos hacia la macrozona sur austral del territorio chileno.

**Tabla 2.**  
Estrategias arquitectónicas para las zonas climáticas de Chile.

Zona Climática	Tipo de clima	Estrategia arquitectónica
Climas secos (áridos y semi áridos)	Árido o desértico normal	Buscan regular las variaciones de temperatura a través de la inercia y proveer protección a la radiación directa para habilitar espacios intermedios sombreados.
	Árido con nublados abundantes o desérticos con nubosidad	Se ocupa específicamente de la radiación y se permite una construcción sin muros masivos, aunque a menudo protegidos de la radiación directa.
Climas templados	Templado de lluvias invernales o clima mediterráneo	Las estrategias arquitectónicas enfatizan la combinación de la protección de las lluvias con protección de la radiación, reunidas en corredores exteriores cubiertos y la inercia térmica, usando muros masivos.
	Semiárido templado con lluvias invernales o clima este-párico interior	La arquitectura tradicional de esta zona conserva algunas de las características propias de los climas desérticos -masa de inercia, sombras- e incorpora elementos propios de climas de lluvia, a pesar de ser estas escasas.
	Templado lluvioso cálido sin estación seca	En este clima la lluvia y el viento lluvioso caracterizan las estrategias arquitectónicas, con una arquitectura de cubiertas extensas y de pendientes pronunciadas y la elección de materiales con buenas propiedades aislamiento térmico, como la madera.
	Templado lluvioso frío sin estación seca o clima marítimo lluvioso	Los rasgos propios de la arquitectura de climas lluviosos se acentúan, con el uso general de revestimientos para cubiertas (tejuelas, planchas galvanizadas) en los muros.
Climas fríos	Frío o de tundra	Ganancias solares son una estrategia que se puede reconocer en la arquitectura tradicional tanto en la ciudad como en las estancias. Protección de los vientos por medios de elementos contravientos.
	Frío de hielo o clima polar	No existen antecedentes de arquitectura tradicional en la Antártica.
	Frío de hielo por altura	Son determinantes en este caso además del rigor del clima extremadamente frío, las limitaciones de disponibilidad de transporte de materiales de construcción.
Clima tropical lluvioso	Tropical lluvioso	Debido a que la cultura que dio origen a la arquitectura tradicional en Isla de Pascua se encontraba casi extinguida al ser colonizada en el siglo XIX, se aceptaron tipologías coloniales que no corresponden necesariamente al clima.

Sin embargo, también se observa su presencia en asentamientos costeros, como ejemplifican las ciudades de La Serena en la región de Coquimbo y Coquecura en el Bío Bío (ibid.).

La quincha en particular se encuentra en territorios con presencia relativa de vegetación, desde las regiones de Atacama hasta el Bío Bío. Este sistema constructivo presenta distintas variantes locales a lo largo del país (Jorquera, 2022), caracterizadas por el tipo de vegetación<sup>20</sup> empleada, así como también la técnica con la que se hace el relleno o se colocan los elementos de sujeción de la estructura secundaria (ibid.). Por ejemplo, hacia Totoral se puede

20. Se han documentado variaciones con varas de coigües, distintos tipos de paja, brea, varas de ciprés, cañas de guayaquil, mimbre, bambú, varas de ñire, entre otras.

encontrar la “quincha con brea” (Blaitt & Bonczos, 2003; Cortez, 2014), en los alrededores de Chile Chico la “quincha con varas de ciprés” (Corporación Memoria Austral, 2020), o la “quincha de Guayaquil” en la región de Atacama (Jorquera, 2022), entre otros ejemplos. De esta manera, la quincha ha demostrado responder de manera eficiente en regiones con riesgo sísmico y grandes fluctuaciones térmicas, como es el caso del Norte Chico y la zona Central de Chile (Jorquera, 2022). Su capacidad de respuesta óptima a factores sísmicos y térmicos, junto con su rápida ejecución y su asequibilidad económica, la han convertido en una opción adaptable y transmisible a lo largo del tiempo (ibid.).

Hoy en día, la antigua práctica de emplear plantas en su estado natural para sostener combinaciones de tierra continua vigente principalmente en las zonas rurales, especialmente en Atacama y Coquimbo, donde se utiliza en la edificación de casas, almacenes y diferentes tipos de espacios (Jorquera, 2022). De manera excepcional, también se han identificado construcciones compuestas de bloques de adobe y quincha en las localidades rurales de Fachinal, Mallín Grande y Río Avilés, pertenecientes a la comuna de Chile Chico, en la región de Aysén (Pérez & Castillo, 2020). Esta particularidad se atribuye al microclima templado característico de la zona y a la influencia del Lago General Carrera (Jorquera, 2022). Según indican Pérez y Castillo (2022), las construcciones vernáculas con tierra cruda que se hallan en este sector no presentan mayores variaciones en cuanto a técnica respecto a construcciones procedentes de otras zonas geográficas, responden a una arquitectura vernácula en tierra con rasgos propios y guardan relación con los métodos originales de construcción.

Al contrastar las culturas constructivas descritas por Jorquera (2022) y los recientes hallazgos reconocidos en la comuna de Chile Chico, región de Aysén, por Pérez & Castillo (2020) con la zonificación climática de Köppen-Geiger, se demuestra un manejo técnico de la tierra cruda como material constructivo respecto a diferentes climas que caracterizan el territorio chileno, dando cuenta de la persistencia de la arquitectura en tierra en climas que presentan condiciones similares, pese a que geográficamente se hallen bastante distanciadas entre sí.

Fig. 50  
Detalle de cañas utilizadas en el sistema constructivo de quincha hacia el interior de la Región de Arica y Parinacota.

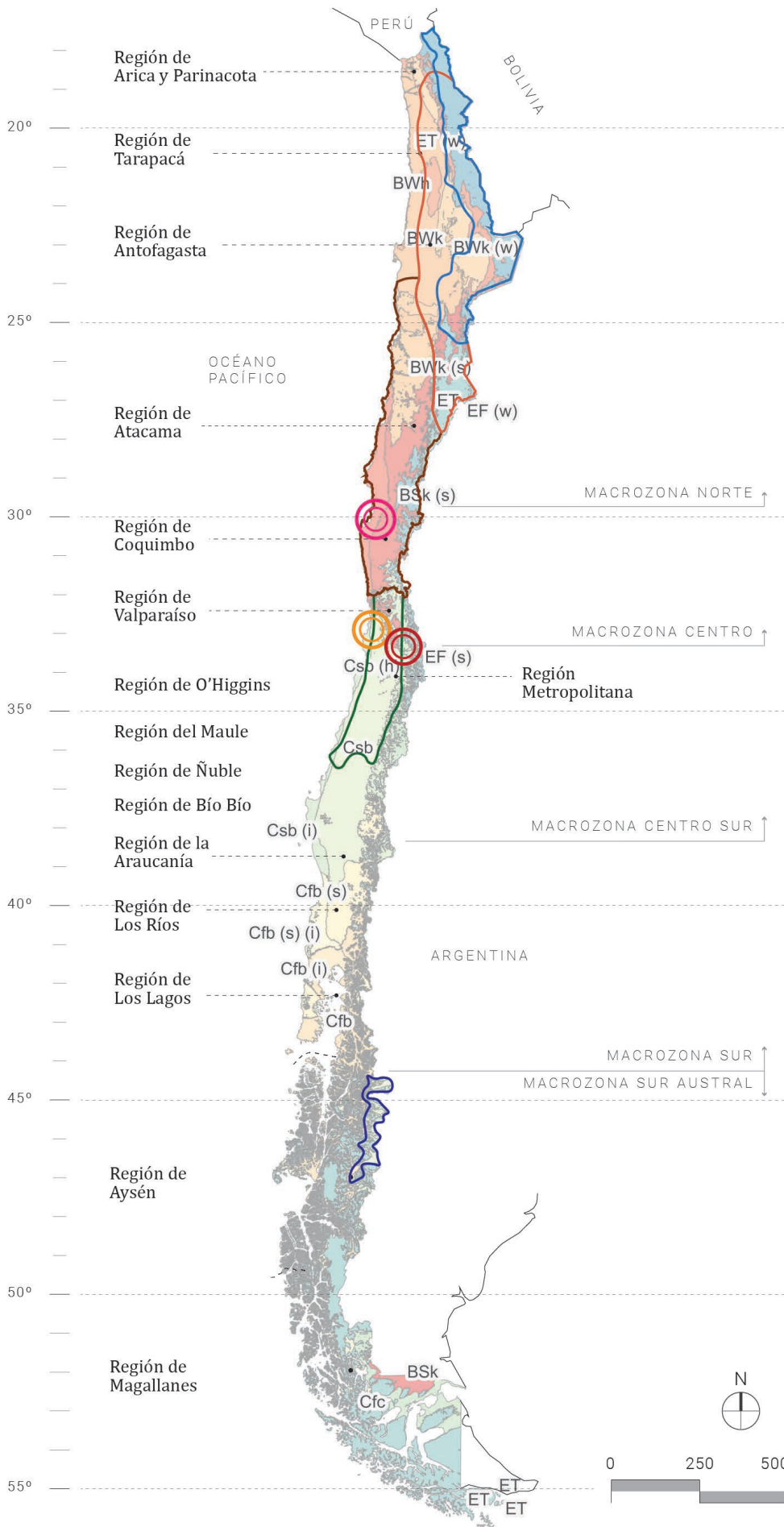


Fig. 51  
Detalle de Brea nativa en la comuna de Totoral. ©Valentina Cabrera

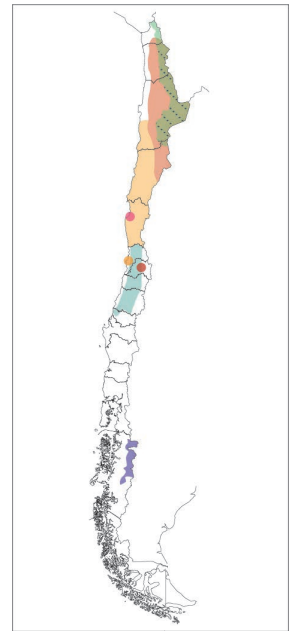


Fig. 52  
Vivienda construida con sistema de quincha con brea, en la comuna de Totoral, Región de Atacama. ©Valentina Cabrera





**Fig. 53**  
Zonificación climática según Köppen-Geiger con las culturas constructivas en tierra cruda presentes en Chile superpuestas.



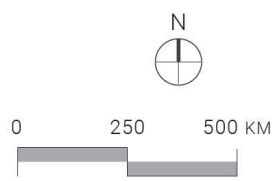
**SIMBOLOGÍA**

Clasificación climática según Köppen-Geiger:

- BSk
- BSk (s)
- BSk (s) (i)
- BSk (w)
- BWh
- BWh (s)
- BWk
- BWk (s)
- BWk (w)
- Cfb
- Cfb (i)
- Cfb (s)
- Cfb (s) (i)
- Cfc
- Cfc (s)
- Csb
- Csb (h)
- Csb (i)
- Csc
- EF
- EF (s)
- EF (w)
- ET
- ET (s)
- ET (w)

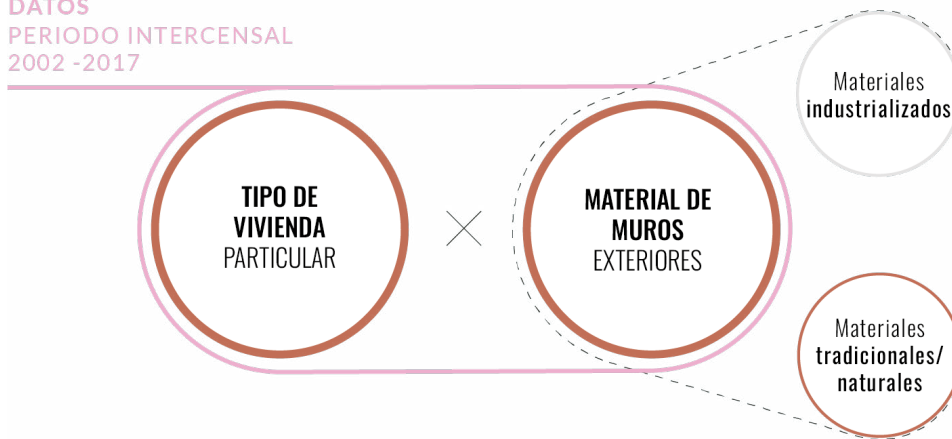
Culturas Constructivas

- Andina
- Minera-industrial
- Norte Chico
- De La Serena
- De Valparaíso
- De Santiago
- Del Valle Central
- De la Patagonia\*



Respecto a la preexistencia de la arquitectura en tierra en Chile en términos cuantitativos, a partir del cruce de datos de los Censos de 2002 y 2017 (Anexo 1) se obtuvo una referencia temporal de la trascendencia en el uso de sistemas constructivos en tierra en un periodo de 15 años, evidenciando su decrecimiento a nivel general en todas las regiones durante el último tiempo, principalmente en las macrozonas Norte, Centro y Centro Sur y en la región Metropolitana.

**DATOS**  
PERIODO INTERCENSAL  
2002 -2017

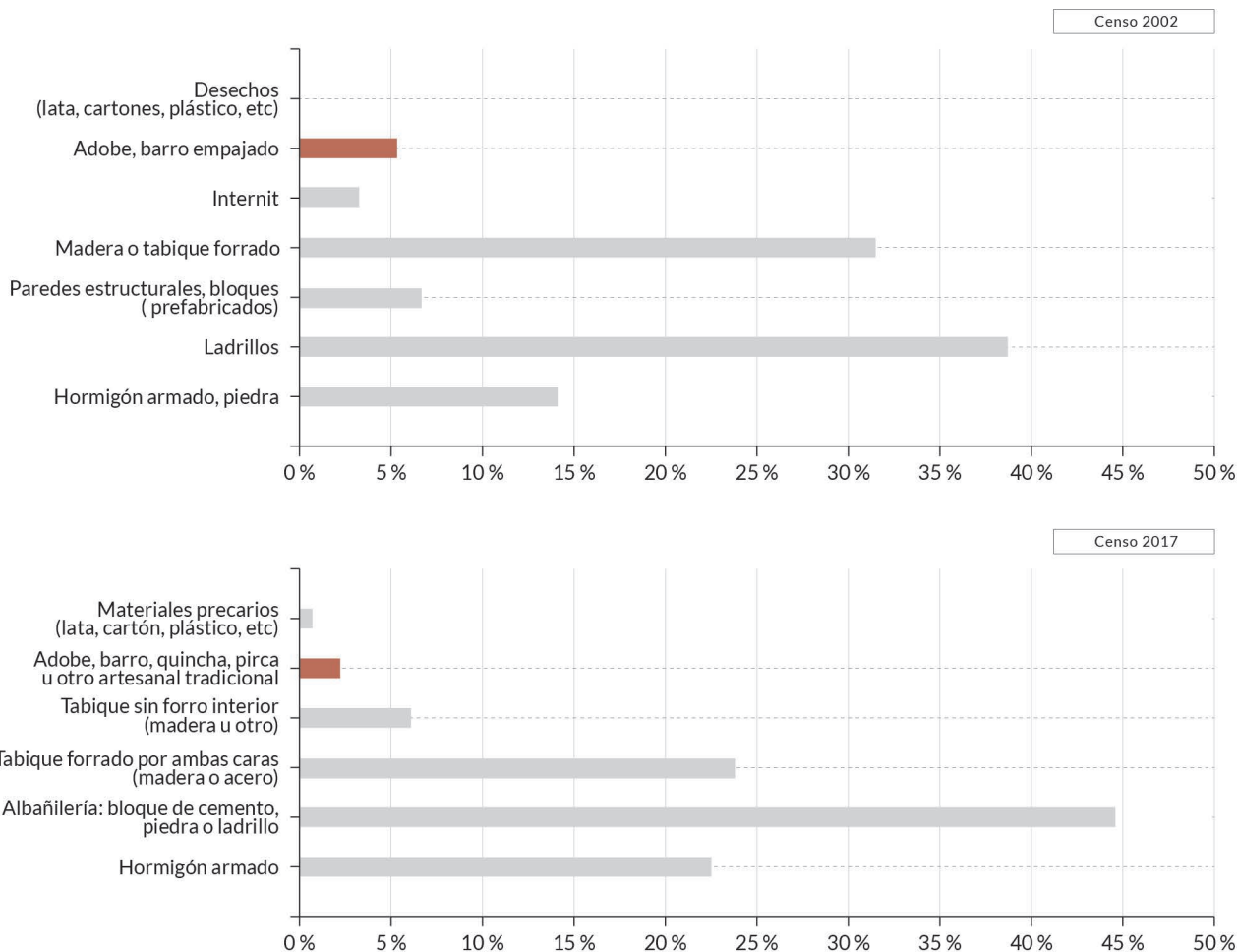


**Fig. 54**  
Método cruce de variables de análisis a partir de la herramienta REDATAM Web Server del INE, según datos de Censo de Población y Vivienda realizados el año 2002 y 2017.

**Fig. 55**  
Gráfica porcentaje de uso material para envoltorio en muros exteriores en viviendas particulares a nivel nacional según Censo 2002-2017.

Según el despliegue de información censal a escala comunal, los índices de uso de materiales tradicionales en sistemas como el adobe, quincha, pirca o barro empajado son mucho menores que otros materiales industrializados, concentrando solo un 2% de presencia de estas técnicas constructivas a nivel nacional para el año 2017 (Figura 55), disminuyendo de un 5 a un 2% el uso de tierra como elemento constructivo entre el año 2002 y 2017.

El sistema constructivo más predominante según la estadística del año 2017 en Chile es la albañilería (cerca del 45%), ya sea de bloque de cemento, piedra o ladrillo; seguido por el tabique forrado a ambas caras (24%) y el hormigón armado (23%).



En la Figura 56 se demuestra que desde la región de Antofagasta hasta Ñuble se presenta una mayor cantidad de viviendas particulares con muros elaborados a partir de “Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional” respecto a las macrozonas Sur y Austral. Pese a ello, las comunas de Concepción en Bío Bío, Angol en La Araucanía y Chile Chico en Aysén evidencian cierto porcentaje de casos de viviendas particulares construidas a partir de técnicas constructivas en tierra, correspondiendo a los sectores más australes del país con presencia de construcciones con tierra.

Las comunas de Valparaíso y Santiago presentan una mayor cantidad de casos, lo cual coincide con que ambas poseen mayor densidad de población y que corresponden a cascos fundacionales que presentaron auges de construcción con tierra durante el periodo colonial y principios de la era republicana.

En la Figura 57 se demuestra la evolución que ha tenido entre el año 2002 y 2017 la predominancia en el uso de materiales tradicionales en la ejecución de muros exteriores a nivel comunal, es decir, la cantidad de viviendas particulares que presentaban técnicas constructivas en tierra en los muros exteriores respecto al total de viviendas censadas por comuna. De este modo, se obtiene un valor porcentual más representativo de aquellas comunas donde el uso de la tierra como material constructivo para muros exteriores es más o menos predominante que otro tipo de material industrializado.

Las comunas de Putre (55,37%) y General Lagos (87,32%) en la región de Arica y Parinacota; y Colchane (84,52%) en la región de Tarapacá, son las que concentran un mayor porcentaje de predominancia del uso de materiales tradicionales respecto a otros materiales industrializados para el año 2017. Se puede observar que varias comunas de las regiones de O’ Higgins, Maule y Ñuble presentan un considerable decrecimiento en el uso de sistemas constructivos en tierra entre los periodos de 2002 a 2017, evidenciando el fenómeno de sustitución de materiales tradicionales por otros industriales, probablemente debido a los sismos de mayor magnitud ocurridos el año 2010<sup>21</sup> y 2015<sup>22</sup> en el país.

En la Figura 58 y 59, se grafican ambas estadísticas descritas según el último Censo realizado el año 2017 a partir de datos georreferenciados<sup>23</sup>, para tener panorama más claro y actualizado respecto del uso de la tierra como material constructivo a lo largo del territorio ubicando en el mapa las mayores concentraciones de casos.

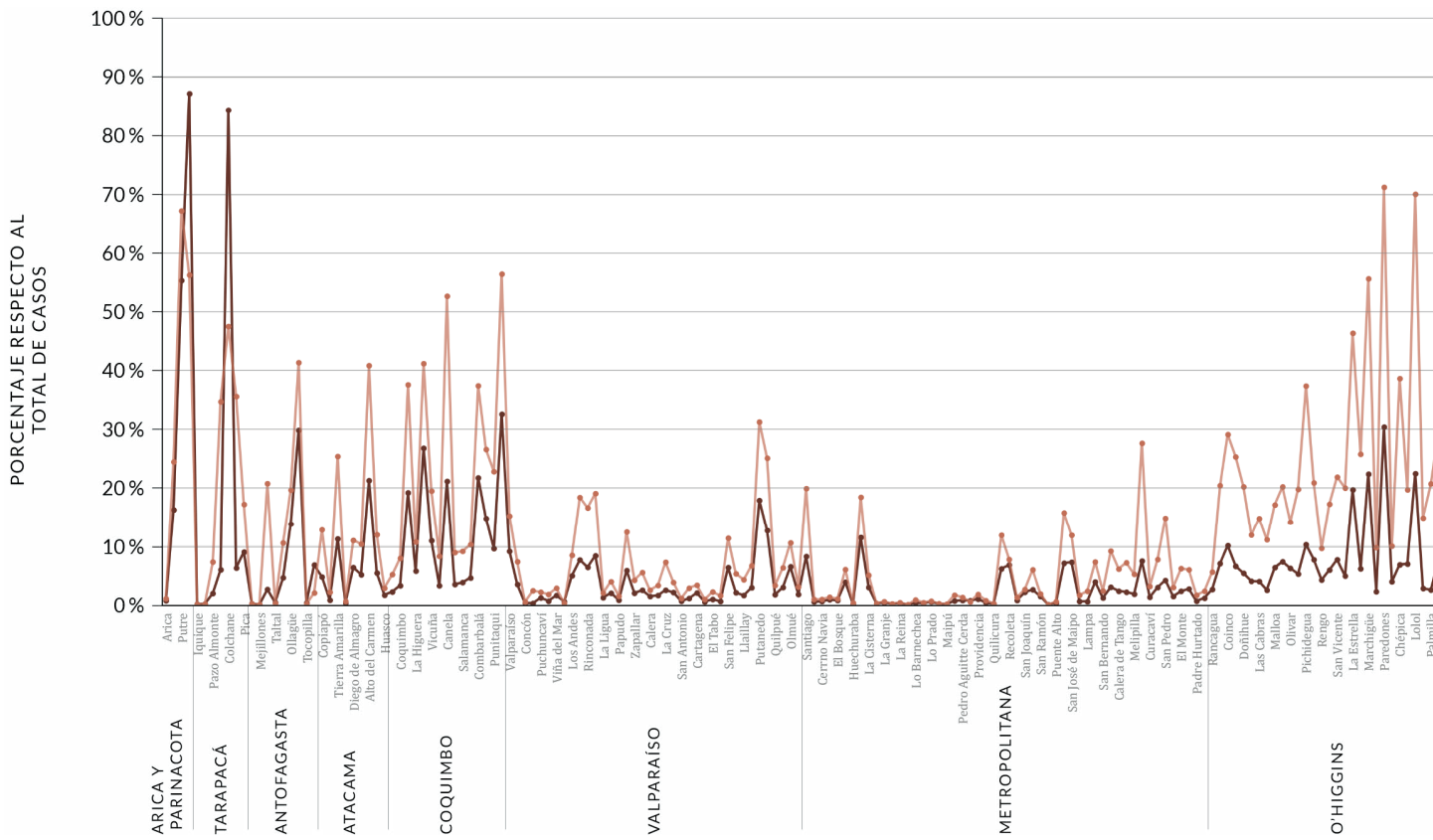
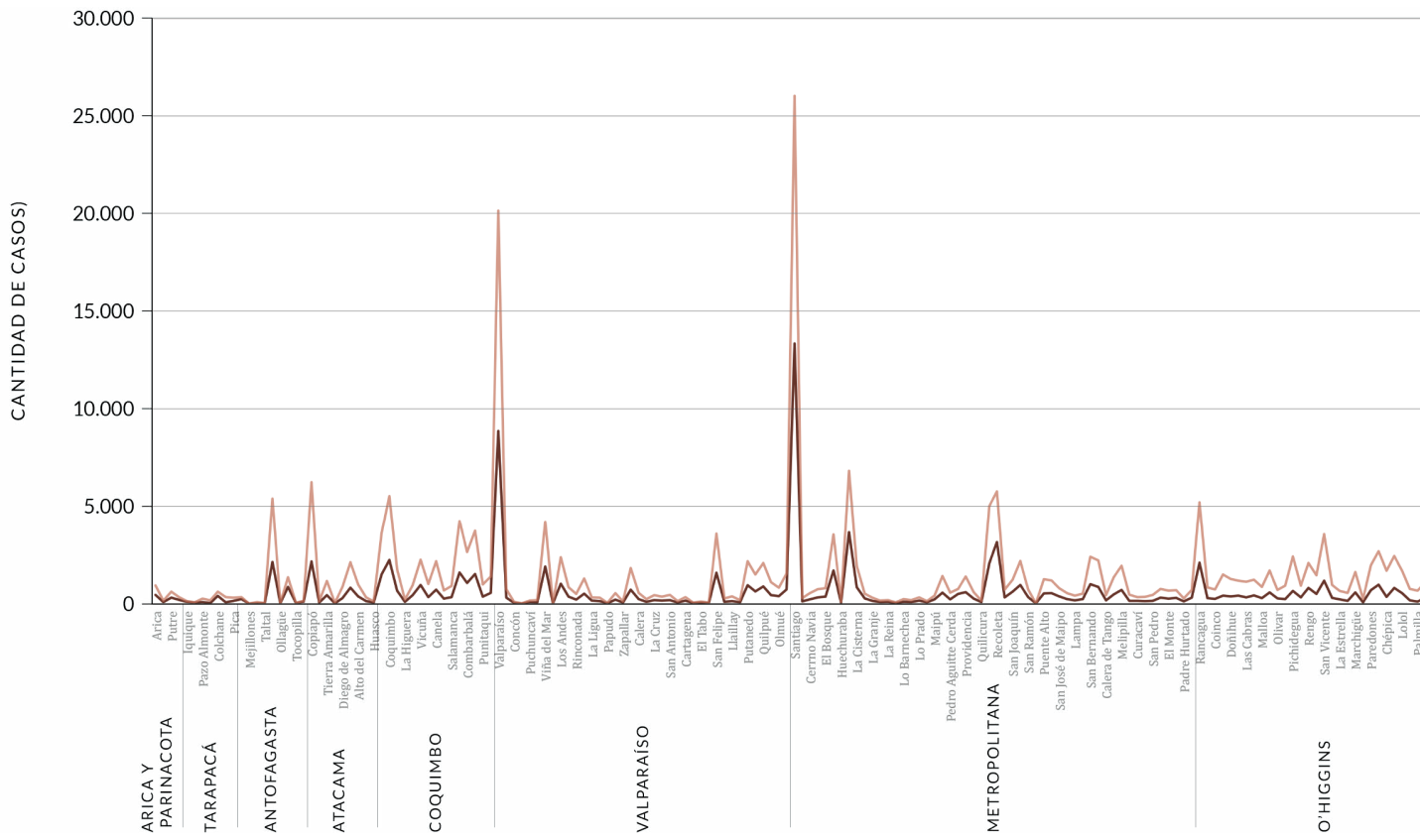
Los cambios cuantitativos más relevantes que se identificaron en el análisis fueron en las comunas de Colchane, Antofagasta y San Pedro de Atacama en la macrozona Norte; Valdivia, Puerto Montt y Osorno en la macrozona Sur; y Santiago, Independencia, Peñalolén y Recoleta en la región Metropolitana. Se destaca la tasa de variación que evidencia la comuna de Puerto Montt, que tuvo un crecimiento de 17,8 veces la cantidad original, con un aumento de 160 casos para el año 2017. Puerto Montt es la comuna más austral que evidencia un crecimiento significativo de viviendas particulares con materiales tradicionales en muros exteriores según las cifras estudiadas.

La comuna de Peñalolén, ubicada en la precordillera de Santiago, presenta un crecimiento de casi el doble (96%) de viviendas construidas con muros exteriores de adobe, quincha, pirca u otros sistemas tradicionales respecto al año 2002, aumentando de 252 casos a un total de 495 para el año 2017. Este caso es particularmente interesante, dado que como se mencionó antes, a finales de la década de 1980 la Comunidad Ecológica de Peñalolén comenzó a construir a partir de sistemas constructivos de carácter patrimonial.

21. Las regiones afectadas de norte a sur fueron la región de Valparaíso, Metropolitana, O’ Higgins, Maule, Bio bío y La Araucanía. Correspondiente cerca del 80% de la población del país. Fuente: <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/el-terremoto-de-chile-de-2010/>

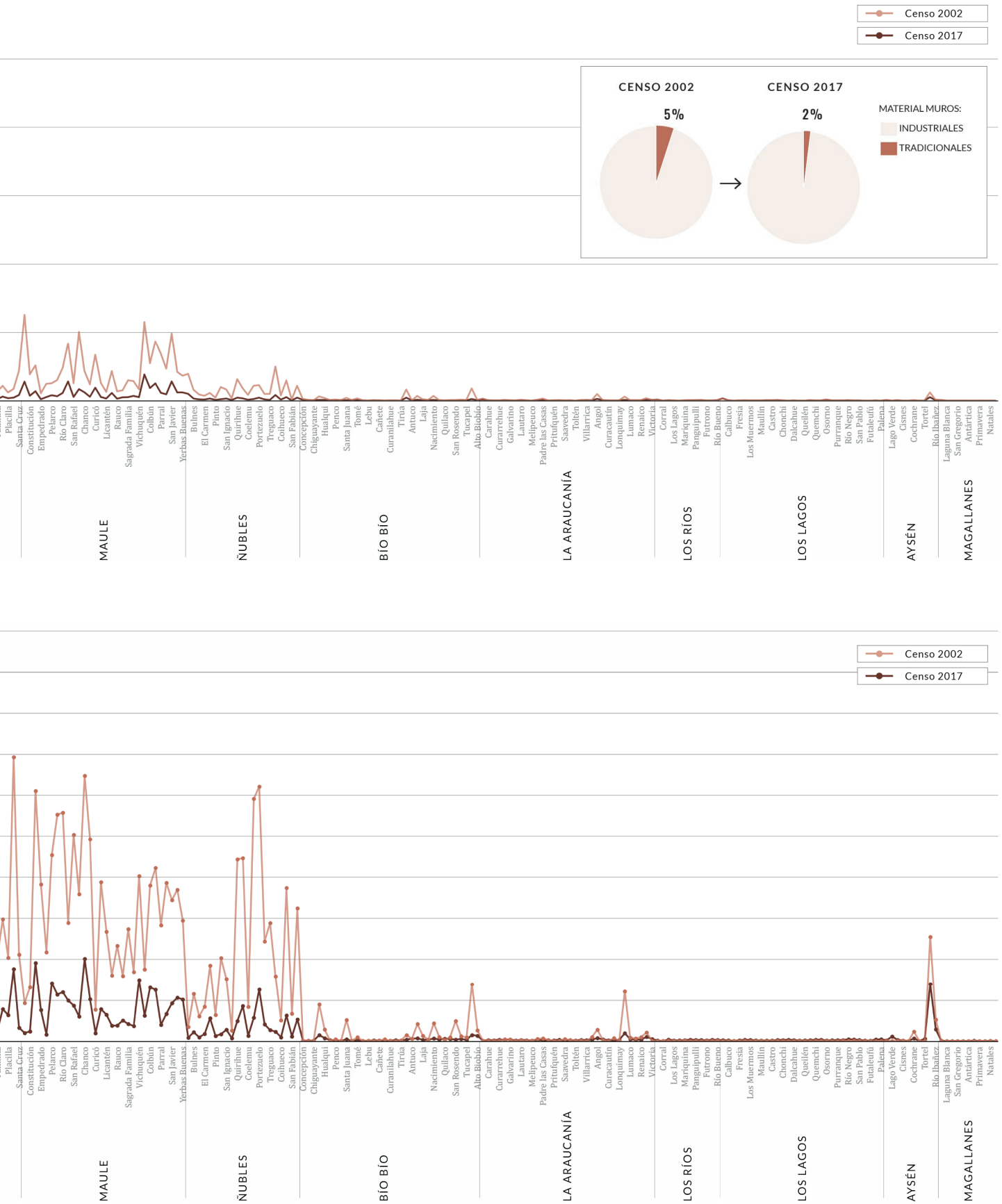
22. Las localidades más afectadas fueron Illapel, Salamanca y Canela, de la región de Coquimbo. Fuente: <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/terremoto-de-illapel/>

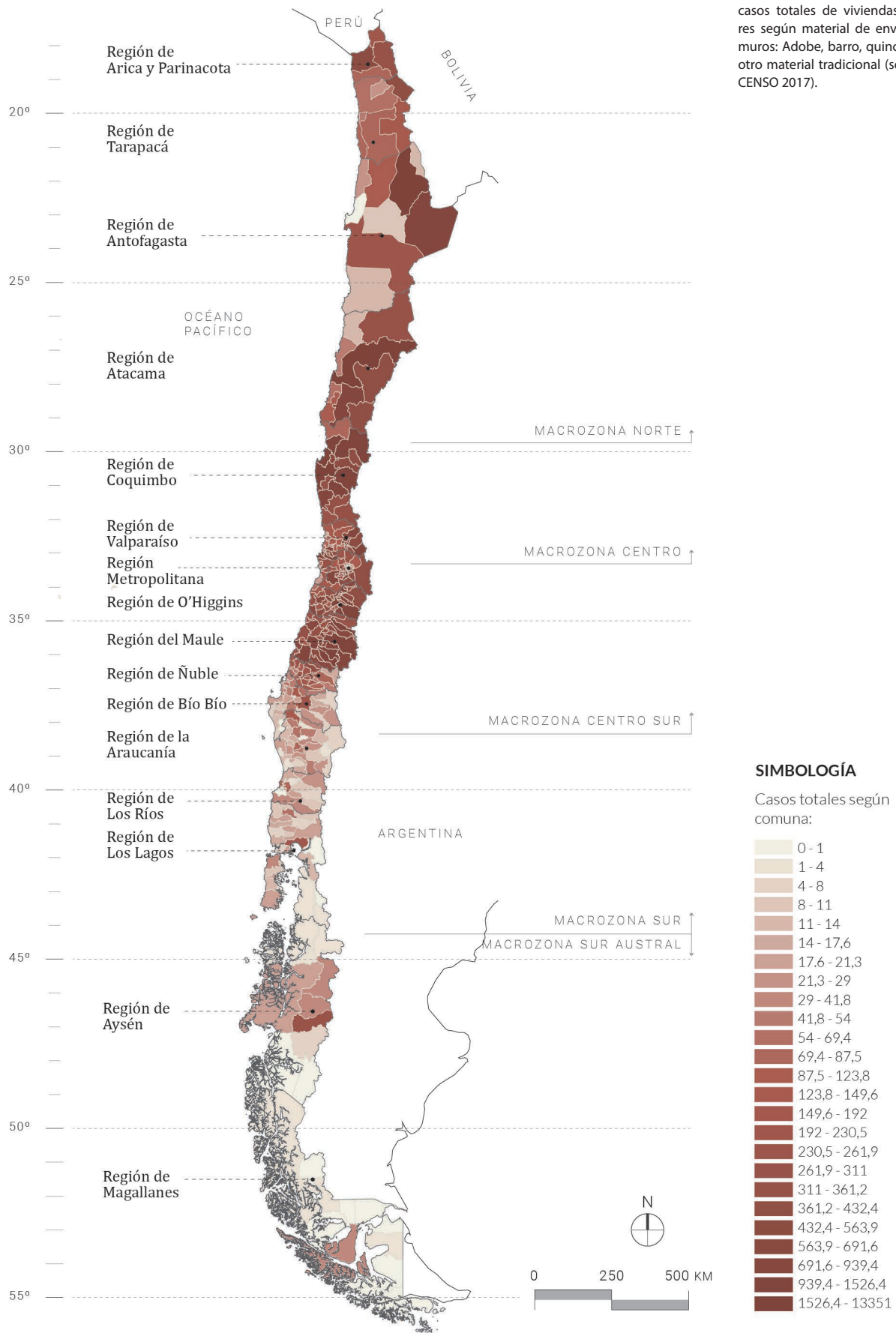
23. La lectura de los datos se hizo a partir de intervalos de ruptura natural para enfatizar las comunas donde hay mayor predominancia de casos construidos en adobe, quincha, pirca u otro respecto de los totales de viviendas censadas en el estudio, es decir, respecto de otros materiales industrializados recopilados en la encuesta.



**Fig. 56**  
Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Casos totales de muros exteriores construidos con "Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional".

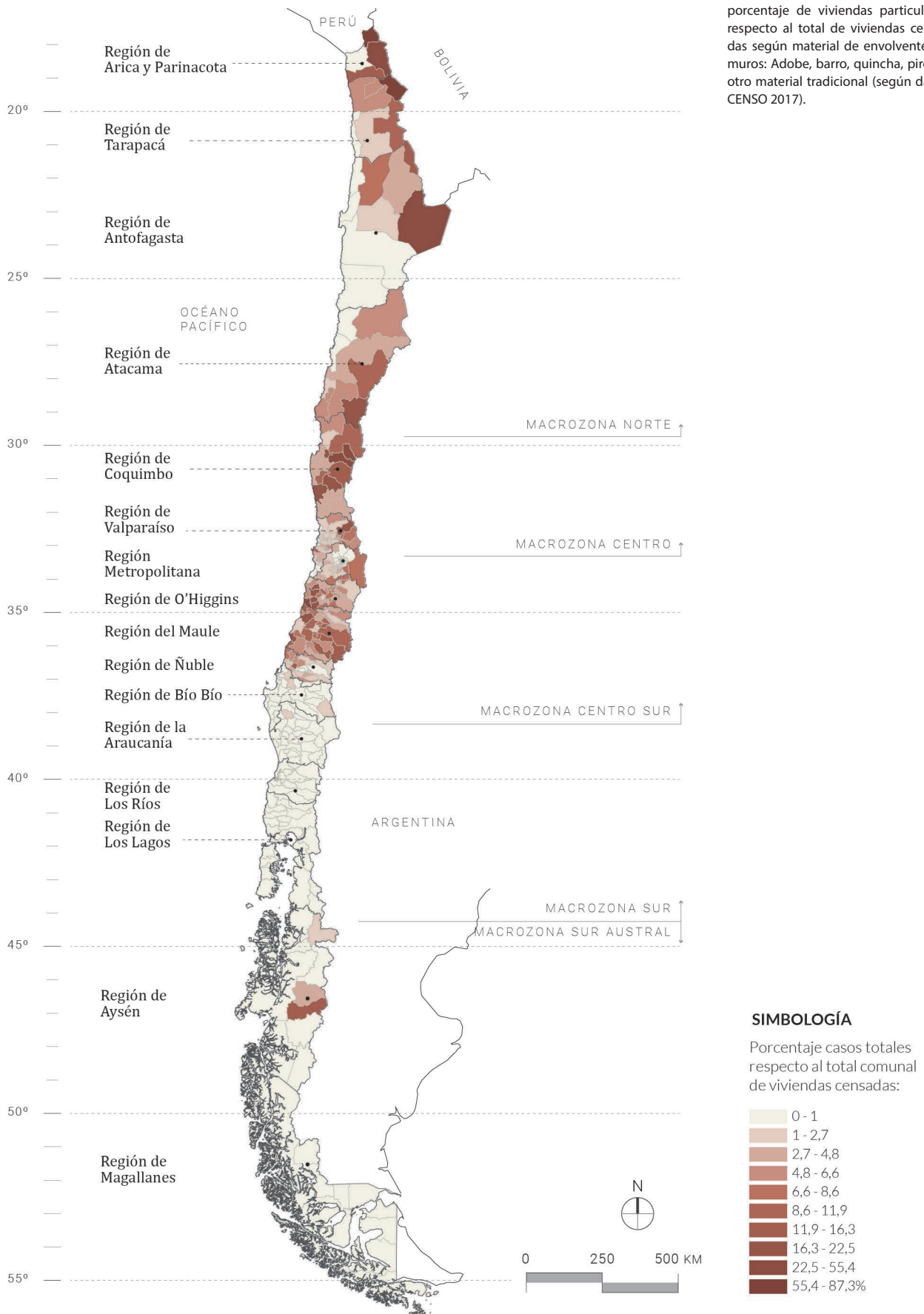
**Fig. 57**  
Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Porcentaje de casos totales de muros exteriores construidos con "Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional" respecto al total de viviendas censadas.



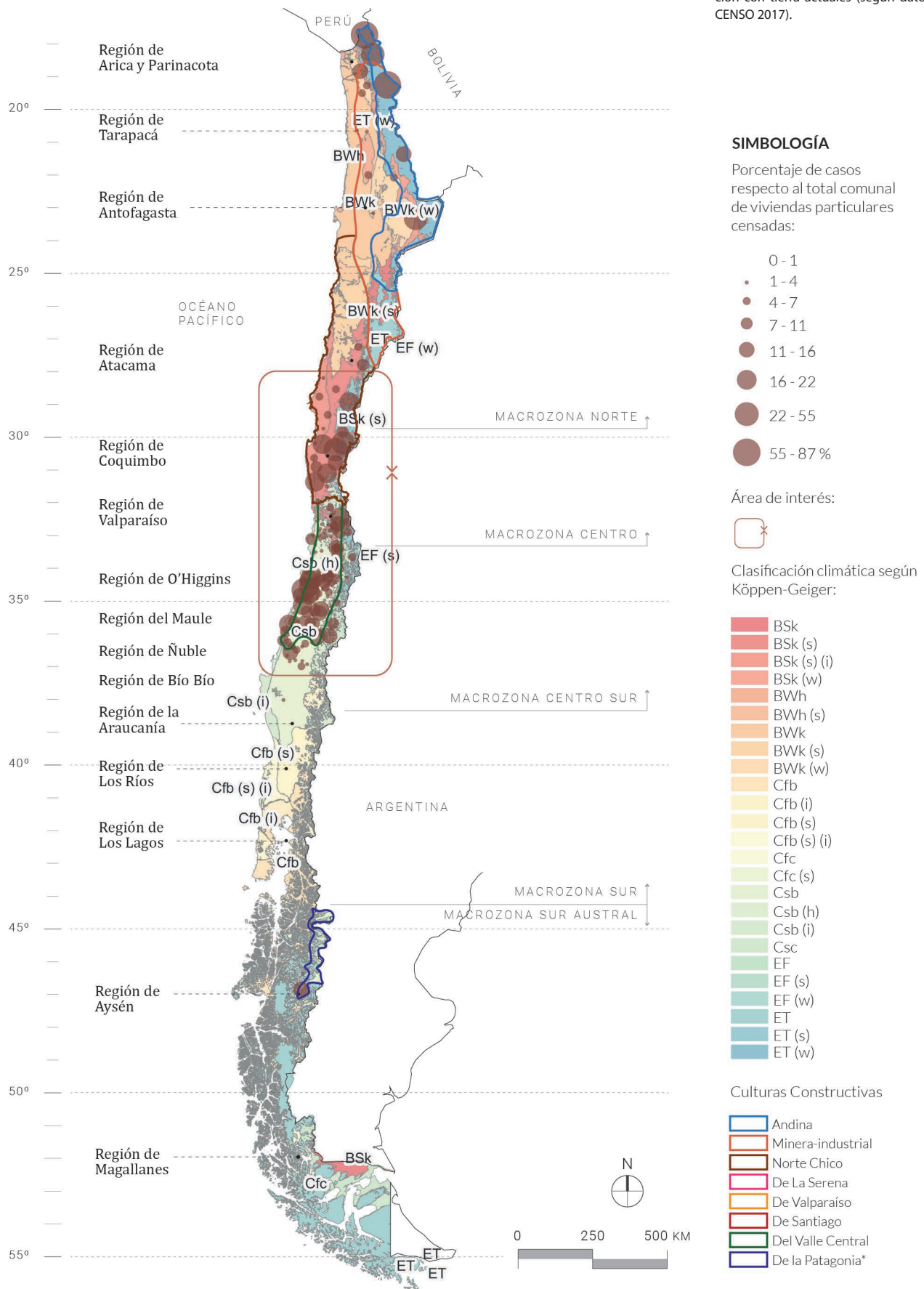


**Fig. 58**  
Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de casos totales de viviendas particulares según material de envolvente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017).

**Fig. 59**  
Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de porcentaje de viviendas particulares respecto al total de viviendas censadas según material de envoltente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017).



**Fig. 60**  
 Mapa de clasificación climática según Köppen-Geiger superpuesto con la predominancia de casos de construcción con tierra actuales (según datos CENSO 2017).



Al contrastar la información estadística sobre la predominancia de la arquitectura en tierra actualmente con el mapa climático y las respectivas culturas constructivas asociadas a cada territorio (Figura 60) se observa una mayor concentración del uso de sistemas constructivos tradicionales en tierra en la macrozona centro y centro-sur, principalmente en climas semiáridos y climas templados y mediterráneos, correspondientes a las culturas constructivas del norte chico y valle central. También, se identifica la prevalencia de la construcción con tierra hacia las zonas altiplánicas del norte grande, en climas de estepa de altura.

### 1.5. SÍNTESIS DE CAPÍTULO

Las clasificaciones de técnicas en construcción con tierra revisadas en este capítulo responden a los procesos de tecnificación que ha tenido la tierra como material constructivo a lo largo de la historia, derivado de procesos históricos relevantes que influyeron en los modos de construir en Chile desde el periodo prehispánico hasta la consagración de la independencia en 1810 y la nueva era republicana; y más tarde con las innovaciones que tendrían lugar desde el siglo XIX partir de la incorporación de nuevos materiales y técnicas constructivas. Esta característica, además de demostrar un ingenio creativo en torno a una práctica constructiva, también deja entre ver una continua innovación en torno al material desde su adaptación al territorio en el cual se circunscribe. Uno de los mayores ingenios creativos alrededor de la tecnificación en el uso de sistemas constructivos con tierra cruda tiene que ver con la integración de la carpintería en madera y/o elementos metálicos para contrarrestar el riesgo sísmico de la edificación; así como también la sistematización de los rellenos con tierra alivianada a partir de fibras vegetales para conseguir mayores cualidades térmicas.

Estos acontecimientos contribuyeron al desarrollo tecnológico que ha tenido lugar durante toda la historia de la construcción con tierra en el país. En el contexto específico de las prácticas constructivas tradicionales, se evidencian ciclos de auge en la construcción con tierra que decaen a partir de la incorporación de nuevos materiales y en respuesta al desprestigio que obtuvieron producto de los grandes terremotos, el efecto de la promulgación de leyes en torno a la construcción de edificios, y posteriormente las influencias de la globalización. No obstante, la construcción con tierra según resultados estadísticos perdura en diversos territorios del país. En la actualidad este tipo de técnicas y conocimientos constructivos se vuelven cada vez más parte del escenario arquitectónico contemporáneo debido al ímpetu de consagrar soluciones más sostenibles.

La sabiduría ancestral que constituye el patrimonio vernáculo construido en tierra cruda entrega luces acerca de cómo desarrollar hábitats en consonancia con el medio ambiente y las comunidades que lo habitan. Este legado cultural se manifiesta a través del dominio técnico y material que define a la arquitectura vernácula con tierra, consolidando una valiosa herencia para las generaciones presentes y futuras, como resulta ser la adaptación de sistemas constructivos de carácter patrimonial a lo largo de la historia, como es el caso de algunos sistemas mixtos, como la quincha o el adobillo.



## CAPÍTULO 2: SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE REINTERPRETACIÓN PATRIMONIAL

El concepto de “reinterpretación patrimonial” como tal no posee una definición académica, pero puede definirse desde su etimología en dos términos claves. Por un lado, la palabra “interpretación” proviene del latín “interpretāri”, que según la DRAE significa explicar, expresar, deducir o traducir. La “re-” antepuesta sugiere el proceso repetido o una nueva ejecución de la acción. Por lo tanto, etimológicamente “reinterpretar” alude a la acción de explicar o traducir algo de nuevo o de una manera diferente. La palabra “patrimonio”, por su parte, proviene del latín “patrimonium” el que desde un punto de vista histórico según la DRAE corresponde al “conjunto de bienes de una nación acumulado a lo largo de los siglos, que, por su significado artístico, arqueológico, etc. son objeto de protección especial por la legislación”. En un sentido amplio, “patrimonial” se refiere a la herencia cultural o histórica que se transmite de generación en generación.

Al combinar ambos términos, la reinterpretación patrimonial se puede entender como el acto de comprender o traducir de nuevo la herencia cultural o histórica. En palabras de (J. Broughton, comunicación personal, 26 de mayo 2023), corresponde a un “continuo aprender hacer”, y de “dar cuenta que estamos en constante reinventarnos”, por ello, la acción de reinterpretar no es simplemente una replicación, sino una evolución consciente y respetuosa del legado cultural, que mantiene su esencia mientras se adapta a un nuevo contexto. Por tanto, la reinterpretación, entendida como progreso e innovación, refleja la naturaleza dinámica que posee el concepto de tradición.

Fig. 1  
Instancia de construcción con quincha liviana seca en minga participativa, comuna de Limache, Región de Valparaíso. ©Sebastián Astroza.

## 2.1. DEFINICIONES CONCEPTUALES SOBRE LA REINTERPRETACIÓN PATRIMONIAL

En el ámbito de la construcción, la reinterpretación implica una nueva mirada a las técnicas y materiales tradicionales, integrando la sabiduría heredada de generaciones anteriores con las necesidades y posibilidades del presente. Esta alude a “un manifiesto tecnológico de la arquitectura local” (Escorcio et al., 2023), el cual sienta sus bases en el volver el material contemporáneo. Se refiere a la adaptación y modernización de técnicas tradicionales, las cuales reúnen los mecanismos básicos de cómo trabaja el sistema constructivo en conjunto con nuevas implementaciones técnicas que mejoran su funcionamiento en ámbitos sismorresistentes e higrotérmicos, entre otros. Gracias a la profunda investigación y el conocimiento recabado que se ha forjado durante los últimos años respecto de las propiedades técnicas de la tierra (desde el ámbito físico-mecánico-estructural y químico), se ha logrado avanzar en el desarrollo tecnológico de la arquitectura en tierra contemporánea (Barros et al., 2014). Este reconocimiento de inventivas propone el desarrollo de la innovación tecnológica desde la caracterización del material a partir del análisis a profundidad.

Esta tecnificación se encuentra estrechamente ligada con procesos de socialización del conocimiento, en las que “el individuo a través de la experiencia crea conocimiento tácito, el cual conceptualiza, convirtiéndolo en explícito individual”, que “al compartirlo, a través del diálogo continuo, con cualquiera de los agentes que intervienen en las comunidades, se convierte en un conocimiento explícito” (Cortez, 2014, p. 27) (Figura 2). La transmisión de los conocimientos locales, como lo son los oficios tradicionales, se encuentra muy arraigada a estos ciclos de transmisión, en las que la experiencia tácita y su divulgación sienta las bases para el desarrollo de las sabidurías locales.

Fig. 2  
Modelo de socialización del conocimiento.



Tal como menciona Cortez (2014), los sistemas de conocimiento local se componen de un conjunto de saberes, creencias, habilidades, tradiciones y una visión que es compartida por una comunidad o grupo social. Estos elementos están profundamente arraigados en el entendimiento intuitivo y empírico del entorno natural y social que han sido forjados durante la historia (ibid.). El propósito de estos sistemas es facilitar la adaptación de una comunidad a su entorno, culminando en la creación de expresiones culturales únicas que contribuyen a su sostenibilidad a lo largo del tiempo (ibid.).

Estos sistemas de conocimiento local pueden verse aplicados hoy en día por medio de talleres, “mingas”<sup>24</sup> o cursos que se están implementando para enseñar este tipo de técnicas constructivas (Figura 3), siendo mayormente transmitidas desde la experiencia y el diálogo por medio de grupos o comunidades.

24. Procesos de ayuda y colaboración en la construcción in situ que se desarrollan en paralelo a jornadas de talleres comunitarios.

Fig. 3  
Instancia de minga participativa como referente de sistemas de conocimiento local. ©Sebastián Astroza



Lo anterior puede derivarse respecto de las características principales que constituyen la arquitectura vernácula, la que es entendida desde la academia desde varias aristas. Para entender el alcance que obtiene su definición, que va más allá de sus valores formales y tipológicos (Gil, 2020), es necesario conceptualizar la arquitectura vernácula también en función a su tiempo y actualización. Esta definición (o redefinición) se alinea con la noción de reinterpretación patrimonial, dado que se puede reconocer la arquitectura vernácula como un ente dinámico, susceptible a transformaciones para su preservación en el tiempo.

Trebbi (1985) define la arquitectura vernácula como “manifestación al parecer sencilla, generalmente simple en soluciones estructurales y que, sin embargo, se desarrolla sobre bases formales y conceptuales, ricas en soluciones diversificadas (...) que adquiere siempre una importancia histórica” (p. 103). Es decir, concibe lo vernáculo como una forma de construcción que puede parecer simple, pero se basa en fundamentos formales y conceptuales los cuales poseen una importancia histórica significativa, enfatizando en la preservación de la memoria de los “tipos” o estilos constructivos.

Cortez (2014) define la arquitectura vernácula como “la materialización de un compendio de saberes locales, compartidos por una comunidad o grupo humano” (p. 32), cuya práctica se relaciona con su entorno natural, representando ideales y respuestas ante las necesidades del medio ambiente. Esta arquitectura es dinámica, evolucionando continuamente en respuesta a cambios ambientales y sus avances técnicos.

Pérez Gil (2018) distingue entre un vernáculo histórico o relicto que comprende “aquellas obras y conjuntos pertenecientes a periodos concluidos o que han perdido su funcionalidad original” (p. 4), y un vernáculo actual referido a “aquellos bienes que se manifiestan como patrimonio vivo, donde se verifican los valores antropológicos vernáculos de una comunidad que construye, mantiene o usa los primeros” (p. 4). El autor hace un análisis crítico respecto a la definición de arquitectura vernácula respecto de su tiempo, donde el primero tiende a obras pasadas, sin su función original pero reconocidos como patrimonio, y el segundo sigue formando parte de la vida cotidiana, y se mantiene o usa según su tradición constructiva preindustrial o su evolución contemporánea.

En síntesis, la arquitectura vernácula también se manifiesta como la materialización del conocimiento local, reflejando los ideales y las respuestas adaptativas al medio ambiente de un grupo humano, constituyendo a su vez parte esencial del paisaje construido, adaptándose en base al perfeccionamiento técnico.

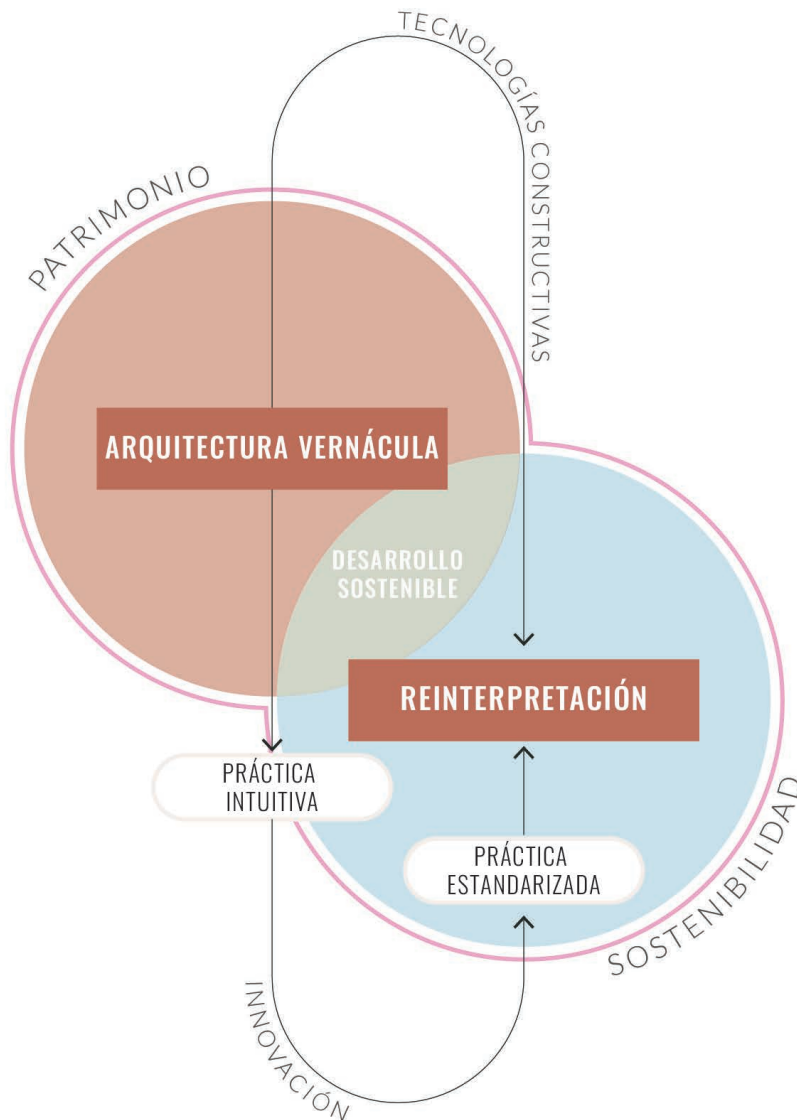


Fig. 4 Síntesis objeto de estudio respecto a los conceptos de patrimonio y sostenibilidad aplicadas al desarrollo de tecnologías constructivas.

Por tanto, el patrimonio vernáculo construido es el legado colectivo de la presencia humana en un territorio, que representa la adaptación ecológica de una comunidad a su entorno y la evolución de su experiencia y conocimiento a lo largo del tiempo.

La reinterpretación patrimonial por su parte busca conservar la esencia y los valores históricos y culturales de los métodos originales, en conjunto con la incorporación de avances tecnológicos y materiales contemporáneos que mejoran la eficiencia, la sostenibilidad y la resistencia de las edificaciones.

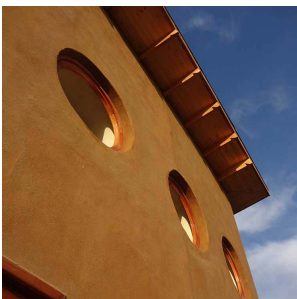
Para fines de esta investigación, se plantea el concepto de “reinterpretación patrimonial” desde el entendimiento de: (1) la arquitectura vernácula como la materialización de un compendio de saberes locales de un colectivo (Cortez, 2014), cuya respuesta se basa en el reconocimiento del lugar, la relación con el medio y los recursos presentes (una práctica intuitiva); y (2) la reinterpretación, como el ejercicio de resignificación del patrimonio vernáculo-constructivo en el mundo contemporáneo, la cual recoge las técnicas y el dominio biológico y ambiental que estas presentan para formular una nueva arquitectura, a partir del estudio y ensayo de estas pautas constructivas (una práctica estandarizada) (Figura 4). De esta manera, se sustenta la idea de que la innovación aplicada en técnicas constructivas de carácter patrimonial, desde la reinterpretación, contribuye a la consolidación del desarrollo sostenible en la edificación.

## 2.2. TÉCNICAS TRADICIONALES Y SU REINTERPRETACIÓN ACTUAL EN CHILE

Como se señaló en el Capítulo 1, desde finales del siglo XX y hasta la actualidad ha habido un creciente interés global por volver a utilizar la tierra como material constructivo (Jorquera, 2022), haciéndose cada vez más presente el retorno a la construcción con tierra y materiales locales (Acevedo et al., 2022) con el objetivo de descubrir métodos constructivos más sostenibles, que a su vez, reinterpreten el patrimonio constructivo presentes en zona centro norte y centro sur de Chile, áreas caracterizadas por la construcción en tierra y madera (Acevedo et al., 2019).

En Chile a finales de la década de los ochenta, la Comunidad Ecológica de Peñalolén comenzó a experimentar, con diversas técnicas de construcción en tierra -principalmente con la quincha- mediante la introducción de materiales industrializados o reciclados en su elaboración (Acevedo et al., 2022). De manera espontánea, se fueron realizando pruebas que buscaban innovar en la ejecución de la técnica, buscando dar solución a algunas de las principales falencias que presentaban estos sistemas tradicionales, en las que destacan los refuerzos en las cualidades sismorresistentes de la estructura y estudios acerca del desempeño térmico de los materiales. Esta investigación sobre técnicas de construcción con tierra en Chile se incorporó en el ámbito del diseño arquitectónico contemporáneo a través de proyectos de autoconstrucción, bioconstrucción o diseños más ecológicos, buscando conectar conocimientos ancestrales heredados con las demandas actuales mediante la reinterpretación o reintegración de estos métodos (Acevedo et al., 2019). La integración de nuevos materiales en las lógicas constructivas tradicionales, como lo ha sido históricamente la construcción con adobe o quincha, son orientadas principalmente desde la experimentación en campo, es decir, a través del ensayo y error, y transmitidas de manera local.

Fig. 5-6  
Casa Jorge y Karin, construida a partir de sistema mixto de madera y fardos de paja. Región Metropolitana, Chile.



Al día de hoy, múltiples espacios de investigación y experimentación se han ido consolidando con el tiempo gracias al interés de diversos grupos en plantear el retorno de la construcción con tierra y materiales locales en el país (Acevedo et al., 2022). Estas iniciativas han sido principalmente impulsadas por grupos que han logrado promover la revalorización de este patrimonio inmaterial presente en la construcción con tierra mediante la divulgación de estos saberes, que forman parte de una identidad local.

En el panorama arquitectónico actual del país existen ejemplos de arquitectura basada en la reinterpretación de estas técnicas constructivas en tierra, como es el caso del “Tapial Parasísmico” (Marcelo Cortés), el “Terrapanel” (Surtierra Arquitectura©), la “Quincha Metálica” (Marcelo Cortés), y la “Quincha Liviana Seca” y “Quincha Liviana Húmeda” (Acevedo & Broughton), entre otros, que reincorporan técnicas patrimoniales de envoltorio de muros desde una perspectiva contemporánea a partir de la incorporación de nuevos materiales y principios técnicos que mejoran su capacidad sismorresistente. Inicialmente, en la construcción se conservó la estructura de madera y se reemplazó la estructura secundaria por alambres y mallas metálicas (Acevedo et al., 2022). Luego, el uso del acero se extendió como reemplazo a la estructura principal, dando lugar a la “quincha metálica” y el “tecnobarro”, términos acuñados por el arquitecto chileno Marcelo Cortés (ibid.). Sin embargo, se ha observado que el metal no interactúa de manera ideal con la tierra y las fibras vegetales debido a problemas de condensación producto de la humedad (Broughton, 2023).

Marcelo Cortés se destaca por haber sido pionero en el uso de la quincha metálica, implementándola en la “Casa Munita-Patricia Arias” (Figura 7). El sistema constructivo es resistente al sismo, por lo que se ha posicionado como referente internacional para profesionales interesados, por contribuir al uso de la tierra cruda en la arquitectura sostenible (Barros & Sarabia, 2018).

Fig. 7  
Casa Munita-Patricia Arias, implementación de la quincha metálica. Arquitecto Marcelo Cortés. ©Luis García.



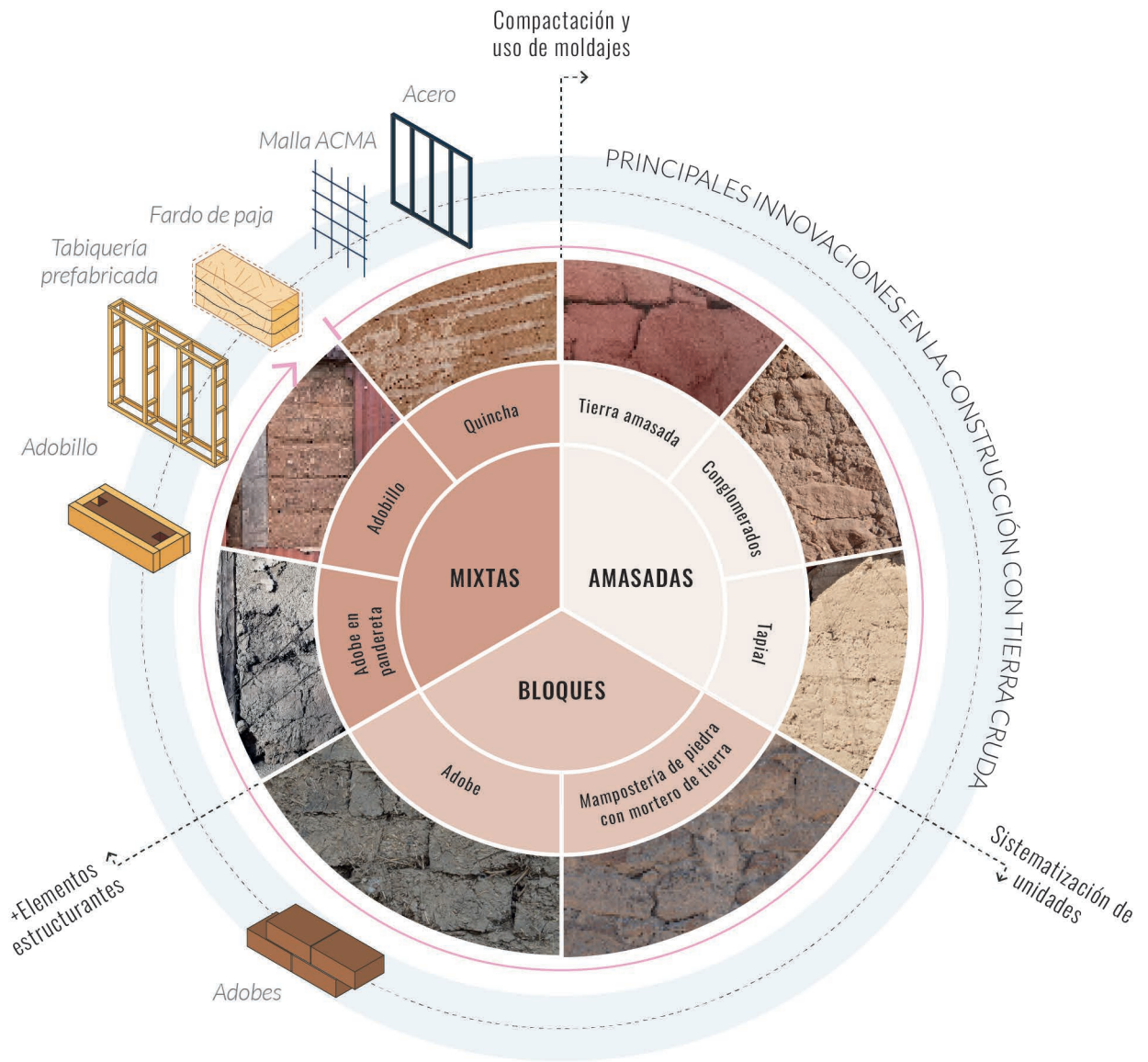
La quincha liviana seca, por su parte, evolucionó del método “Nebraska”, proveniente del continente norteamericano, el cual emplea fardos de paja para constituir la estructura del muro de una vivienda (Broughton, 2023). Los inicios del sistema Nebraska coinciden con la invención de la enfardadora en 1870, utilizadas por colonizadores europeos que, ante la ausencia de madera del lugar, comenzaron a emplear fardos de las cosechas revocadas con barro para construir la vivienda. La adaptación de este sistema da lugar al sistema “Poste-Viga” ha sido implementada desde la década de los 90’ en Chile para el diseño arquitectónico. De esta forma, se disminuye el espesor de los muros que implica la construcción con un fardo de paja, y se emplea sistemas de vigas, postes y escalerillas como estructura principal (Figura 8).

**Fig. 8**  
Casa Casablanca, implementación de sistema constructivo Nebraska.  
©Jorge Broughton.



Según señala (Cuitiño et al., 2011) utilizar la tierra en la edificación ofrece múltiples beneficios, los cuales son plenamente reconocidos y aprovechados por la tecnología de la quincha. Entre estas ventajas se encuentran la capacidad de los propios usuarios lleven a cabo la construcción, la eficiencia en el uso de energía, la utilización de materiales renovables y el reducido costo que implica su construcción. Estas nuevas aplicaciones han tenido lugar en diversos territorios y zonas climáticas del país, principalmente en la macrozona norte, centro y centro sur (Figura 9).

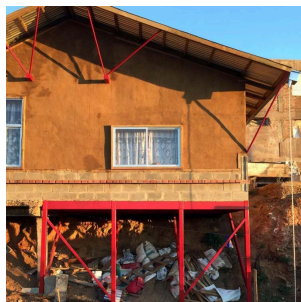
De acuerdo con la normativa vigente en Chile sobre la construcción de nuevas edificaciones utilizando métodos constructivos tradicionales, solo se autoriza la edificación mediante sistemas mixtos que involucren la madera o el acero como estructura principal (Dávila & Contreras, 2022), quedando fuera de norma aquellos sistemas sólidos que emplean la tierra como material de estructura principal, como es el caso del adobe o el tapial.



**EJEMPLOS DE USOS DE SISTEMAS MIXTOS CONTEMPORÁNEOS**



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)



(7)



(8)

Considerando estas limitantes, las técnicas constructivas desarrolladas a partir de la integración de elementos portantes como la madera o el acero, y el uso de la tierra como relleno y aislante, encabezan las últimas contribuciones del patrimonio arquitectónico en tierra cruda en su reintegración al desarrollo de viviendas del último tiempo, debido a dos componentes claves: (1) su comportamiento sismorresistente (Acevedo et al., 2019; Barros et al., 2014; Jorquera, 2022) y (2) el cumplimiento de estándares constructivos que son requeridos por la normativa vigente, como es el caso de requerimientos térmicos, acústicos y de resistencia al fuego (Acevedo et al., 2022).



**Fig. 9**  
Principales innovaciones en la construcción con tierra cruda en Chile.

- (1) Casa Quincha Concón, Región de Valparaíso. Arquitecto Camilo Moraes. Fuente: [@taller\\_norte\\_arquitectura](#)
- (2) Casa Quincha post catástrofe, Valparaíso. Arquitectos Colectivo RE. Fuente: [@colectivo\\_re](#)
- (3) Casa Sistema Nebraska, Casablanca, Región de Valparaíso. Arquitecto Jorge Broughton. Fuente: <https://arquitecturaenfardos.cl/wp/>
- (4) Casa Lawi Lawii, Sistema de Quincha, Valle de Itata, Región de Nuble. Fuente: [@tierralab](#)
- (5) Casa Peumayen, Sistema de Quincha, Valle Nonguen, Región del Biobío. Fuente: [@tierralab](#)
- (6) Casa AYMA Arquitectura. Sistema de Quincha, Peñalolén, Región Metropolitana. Fuente: <https://www.ayma.cl/>
- (7) Ludoteca Merced, Sistema de Quincha, Valparaíso. Fuente: <https://mingavalpo.cl/>
- (8) Casa Los Molles. Sistema de Adobillo, Los Molles, Región de Valparaíso. Fuente: [@xiloscopio](#)

**Fig. 10**  
Construcción con quincha liviana seca durante la instancia de minga participativa, Limache, Región de Valparaíso. ©Sebastián Astroza.

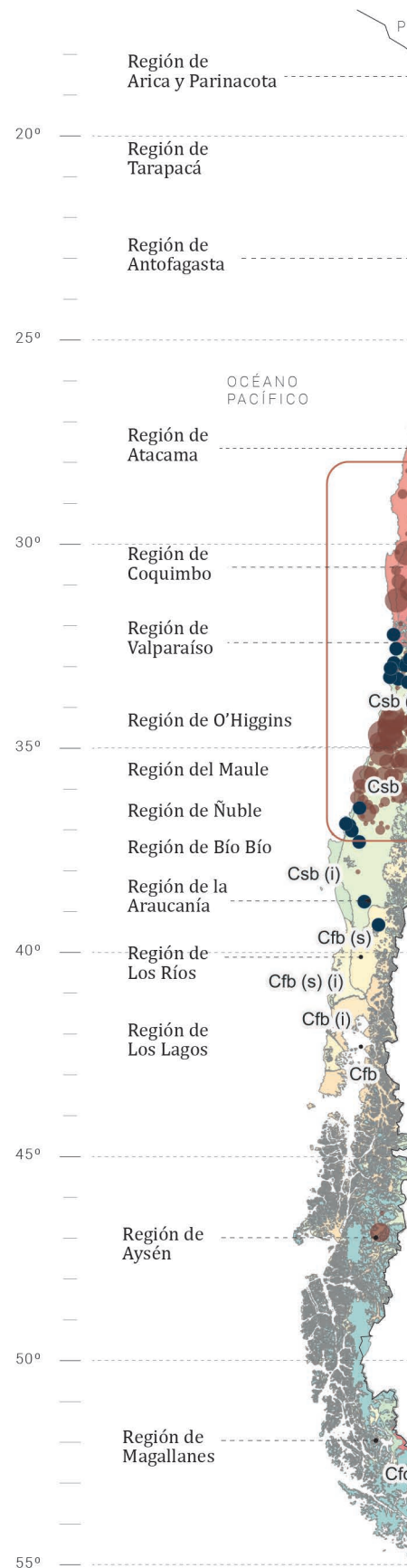
## CATASTRO SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE REINTERPRETACIÓN PATRI-MONIAL (SCRP)

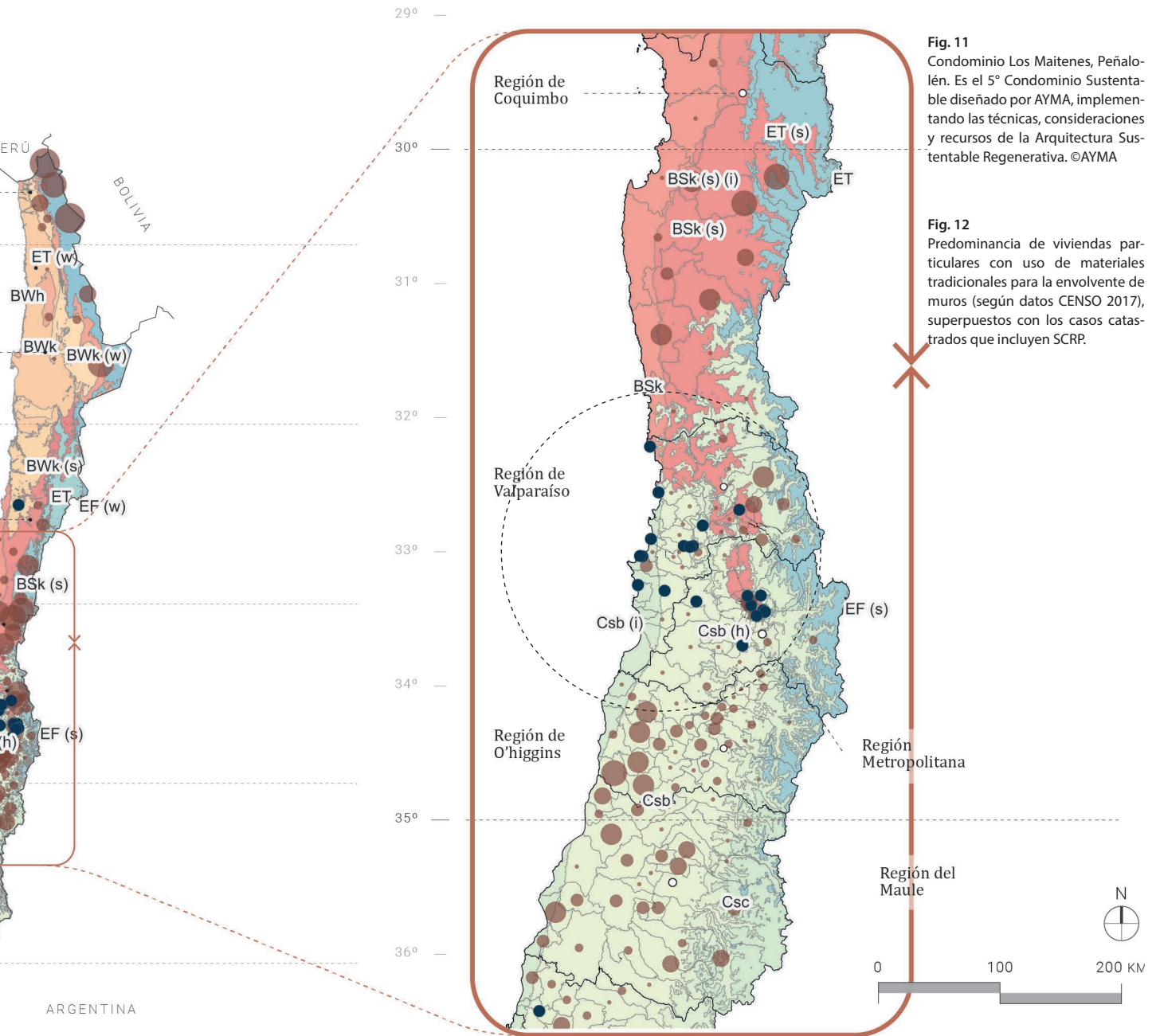
Para visualizar dónde se está construyendo a partir de SCRП, se realizó un catastro preliminar a partir de una búsqueda web de casos de viviendas contemporáneas (con una antigüedad no mayor a 25 años) que incluyeran SCRП de sistemas mixtos en tierra para la elaboración de muros, particularmente en el sistema constructivo de quincha o quincha liviana. Este catastro fue contrastado con el análisis estadístico en el Capítulo 1 realizado respecto al uso de la tierra como material constructivo a lo largo de Chile a partir de los resultados del último Censo (2017), con tal de tener un mayor contraste de análisis en relación con el uso histórico y uso contemporáneo de este tipo de sistemas constructivos en base a tierra. La búsqueda fue realizada por medio de redes sociales y buscadores inteligentes. A partir de estas fuentes, se logró catastrar (al año 2023) alrededor de 103 nuevos casos de construcción de vivienda con SCRП de sistemas mixtos en quincha, demostrando variabilidad en la composición de su estructura primaria, estructura secundaria y el tipo de relleno utilizado.

Entre los casos encontrados, se reconocen al menos 5 casos de conjuntos residenciales, entre ellos condominios de vivienda que incluyen aproximadamente más de cinco unidades habitacionales por conjunto. Los casos y grupos encargados de la difusión de estos sistemas constructivos o la promoción de este tipo de construcción se consideran en aumento, y cada vez tomando más lugar en escenario constructivo en Chile.

A partir de la Figura 12, se reconoce una predominancia de construcción con SCRП en la zona centro y centro sur del país, con tendencia en las regiones más urbanizadas de Valparaíso y Santiago, y con un despliegue desde la región de O'Higgins hacia el Bío Bío. También se registran casos aislados hacia la zona norte del país.

Al superponer los nuevos casos de reinterpretación patrimonial la distribución de casos de viviendas particulares que utilizan sistemas constructivos en tierra según el último Censo (2017), se aprecia que se mantiene su concentración en la zona central del país, respectivo a climas mediterráneos y templados, y con despliegues hacia el sur de Chile, hacia climas más lluviosos.





**Fig. 11**  
Condominio Los Maitenes, Peñalolén. Es el 5° Condominio Sustentable diseñado por AYMA, implementando las técnicas, consideraciones y recursos de la Arquitectura Sustentable Regenerativa. ©AYMA

**Fig. 12**  
Predominancia de viviendas particulares con uso de materiales tradicionales para la envolvente de muros (según datos CENSO 2017), superpuestos con los casos catastrados que incluyen SCR.P.



**SIMBOLOGÍA**

Porcentaje de casos respecto al total comunal de viviendas particulares censadas:

- 0 - 1
- 1 - 4
- 4 - 7
- 7 - 11
- 11 - 16
- 16 - 22
- 22 - 55
- 55 - 87 %

Casos de Sistemas Constructivos de Reinterpretación Patrimonial (SCR.P):



Área de interés:



Clasificación climática según Köppen-Geiger:

- |             |         |
|-------------|---------|
| BSk         | Csb     |
| BSk (s)     | Csb (h) |
| BSk (s) (i) | Csb (i) |
| BSk (w)     | Csc     |
| BWh         | EF      |
| BWh (s)     | EF (s)  |
| BWk         | EF (w)  |
| BWk (s)     | ET      |
| BWk (w)     | ET (s)  |
| Cfb         | ET (w)  |
| Cfb (i)     |         |
| Cfb (s)     |         |
| Cfb (s) (i) |         |
| Cfc         |         |
| Cfc (s)     |         |

### 2.3 SISTEMA DE QUINCHA LIVIANA

La Quincha Liviana corresponde un sistema base de entramado con relleno alivianado, ya sea en estado seco (paja de trigo) o húmedo (paja de trigo con barbotina). El desarrollo de este sistema se basa en la herencia constructiva relacionada con el uso de sistemas mixtos a partir de tierra y madera, para conformar un muro que cumple con los estándares actuales respecto a la resistencia al fuego, acondicionamiento térmico y acústico (Acevedo et al., 2019). Una de las principales ventajas de esta técnica es que la madera asume el rol de soporte estructural, y gracias a su resistencia frente a esfuerzos sísmicos, es habitual encontrar edificaciones de quincha en zonas propensas a sismos (Jorquera, 2022). Por su parte, la tierra aporta mayor habitabilidad, confort térmico y acústico a los espacios (ibid.).

Siguiendo el característico sistema base de entramado con relleno alivianado que compone la quincha tradicional, esta se puede clasificar según el tipo de estructura principal y secundaria utilizada, y según el tipo de relleno que se incorpore se han desarrollado distintas variantes, entre las cuales destacan: (1) la incorporación de madera aserrada impregnada o perfiles de acero para la estructura principal; (2) el uso de alambres o mallas metálicas como estructura secundaria; (3) las pruebas con diferentes composiciones, granulometría y densidad de los revocos exteriores para exacerbar algunas propiedades, entre otras (Figura 14).

Fig. 13 Diagrama escantillón representativo de quincha liviana seca.

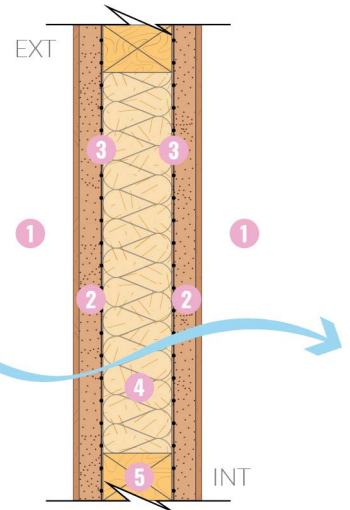
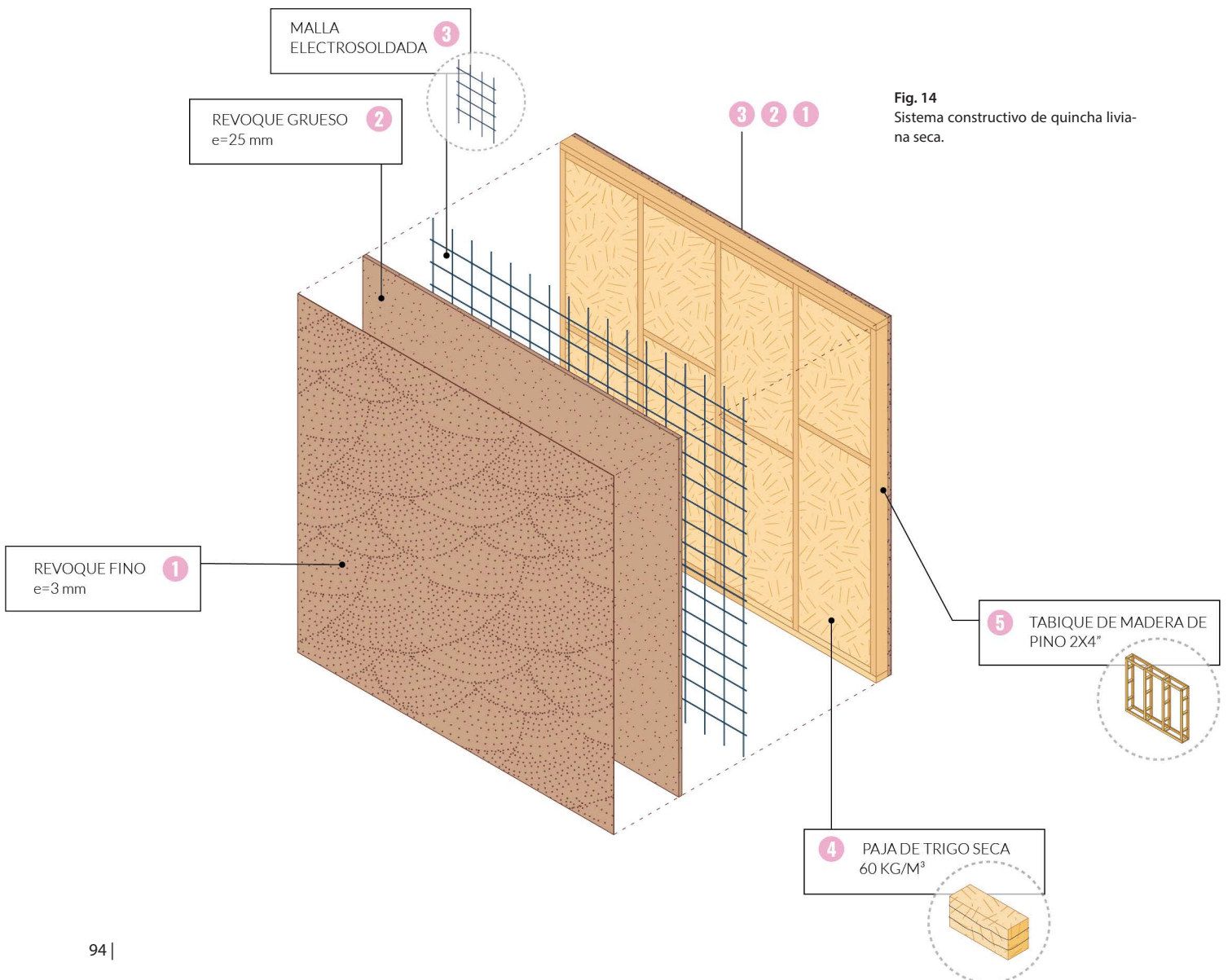
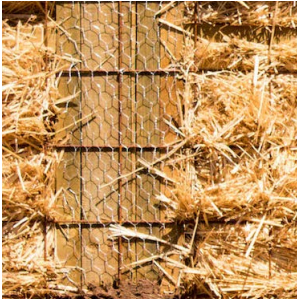
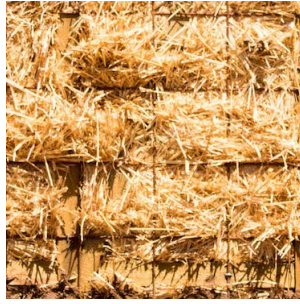


Fig. 14 Sistema constructivo de quincha liviana seca.





**Fig. 15**  
Elementos metálicos para mejorar la adhesión de los revoques al aislante de paja de trigo. ©Sebastián Astroza



**Fig. 16**  
Paja de trigo seca incorporada al interior del tabique de madera. ©Sebastián Astroza



**Fig. 17**  
Detalle revoque grueso elaborado con tierra cruda (proporción 1:1 de tierra arcillosa y arena gruesa, más el 15% volumen con paja de trigo picada). ©Sebastián Astroza



**Fig. 18**  
Detalle revoque fino elaborado con tierra cruda (proporción 1:2 de tierra arcillosa y arena fina de río, más aditivos). ©Claudia Bustamante

QUINCHA SEGÚN TIPO DE RELLENO		QUINCHA SEGÚN ESTRUCTURA PRINCIPAL Y SECUNDARIA	
<b>Húmeda</b>	Posee de relleno una mezcla de barro, en estado plástico (tierra arcillosa más agua) con fibras vegetales, de una densidad mayor a la quincha liviana húmeda	<b>Madera - Madera</b>	Posee como estructura principal y secundaria madera, en estado bruto como el sistema tradicional o aserrado e impregnado como los sistemas de quincha contemporáneos
<b>Liviana Húmeda</b>	Posee de relleno fibras vegetales sumergidas en una lechada de tierra arcillosa (barbotina), también conocida como tierra alivianada con paja o barro-paja liviano	<b>Madera - Metal</b>	Posee como estructura principal madera y estructura secundaria mallas metálicas, este sistema de quincha es la primera expresión contemporánea de la quincha madera-madera, como respuesta a la agilización de la construcción del tabique para el siguiente proceso de llenado, como también a la mejora de la adherencia de los estucos..
<b>Liviana Seca</b>	Posee en su relleno seco solo fibras vegetales en estado seco, sin ningún contenido de tierra arcillosa o agua.	<b>Metal - Metal</b>	Posee como estructura principal y estructura secundaria el acero. Conocida como quincha metálica o "tecnobarro", es un sistema de quincha contemporánea donde la estructura de madera se sustituye por el acero como elemento de resistencia.
<b>Sin relleno</b>	No posee relleno en el alma del tabique, dejando una cámara de aire en su interior conformada por los revoques interiores y exteriores.		

**Tabla 1.**  
Tipologías de quincha.

Los ajustes en el método constructivo de quincha tradicional se orientaron a la búsqueda de mejorar el diálogo entre los materiales del sistema constructivo y su composición, debido a las afectaciones comunes que presentaba la técnica producto de la humedad, el desprendimiento de los revoques y la aparición de insectos xilófagos dada la naturaleza vegetal del sistema (Acevedo et al., 2022; Jorquera, 2022). Cuando el relleno de tierra o los revoques superficiales no llevan cierto porcentaje de paja, es más probable que la mezcla tienda a desprenderse de la estructura de madera, la cual, al quedar expuesta, puede atraer insectos que consumen madera o a la humedad, dañando la estructura (Jorquera, 2022). Por ello, se ha mejorado la adherencia de los revoques de tierra a la estructura por medio del perfeccionamiento de las mezclas de tierra cruda a partir de una equilibrada combinación de limos, arenas, arcillas y ciertos aditivos (como la cal, la baba de tuna, entre otros), los cuales cumplen además la función de aminorar la infiltración de agentes externos a la estructura y el relleno (Acevedo et al., 2022).

Los revestimientos exteriores e interiores de los muros se clasifican en revoque grueso y revoque fino, siendo el segundo el que proporciona un acabado más refinado y completo al muro.

También, se reemplazó la estructura secundaria tradicional por alambres y mallas metálicas, que colaboran con impedir el desplazamiento horizontal de la estructura (Broughton, 2023). Estas innovaciones, tanto a nivel estructural como de relleno, compensan las deficiencias del método tradicional combinando un mayor efecto de aislación térmica y acústica con un menor peso en la estructura (Acevedo et al., 2022).

A partir de la actualización de esta técnica, se ha podido contar con mayores libertades al momento de diseñar, permitiendo construir obras de dos o tres pisos de altura, proyectar geometrías más libres a partir de la ejecución de muros curvos o en diagonal y generar mayores vanos (Jorquera, 2022), que representan algunas de las posibilidades que permite la integración de materiales contemporáneos en un sistema tradicional.

Fig. 19  
Casa Argandoña. Combinación Sistema Nebraska y Sistema Poste + Viga, La Campana, Olmué, Región de Valparaíso. ©Jorge Broughton.



**1 QUINCHA LIVIANA SECA CONTEMPORÁNEA**

DESCRIPCIÓN	DETALLE CONSTRUCTIVO
-------------	----------------------

Quincha seca rellena con relleno de paja seca y listoneado de madera aserrada de 1x2"

- TIPO DE RELLENO: Liviana Seca
- ESTRUCTURA PRINCIPAL: Madera
- ESTRUCTURA SECUNDARIA: Madera

**MATERIALIDAD**



Fuente: @Mingavalpo

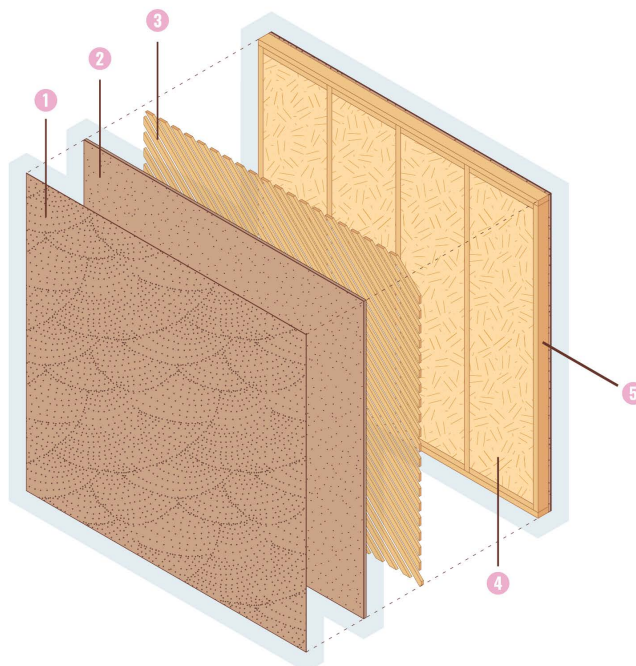
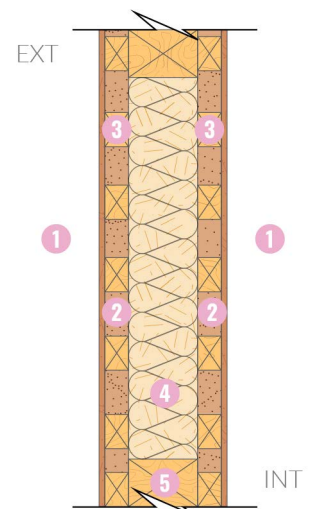
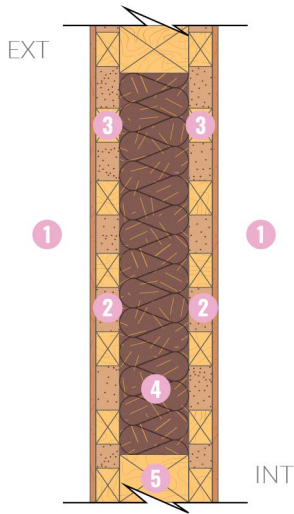


Fig. 20-21  
Detalle quincha liviana seca contemporánea (madera-madera).



- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Listoneado madera de pino aserrada 1x2"
- 4 Paja de trigo seca
- 5 Tabique madera de pino

Fig. 22-23  
Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (madera-madera).



## 2 QUINCHA LIVIANA HÚMEDA CONTEMPORÁNEA

### DESCRIPCIÓN

Quincha con relleno de tierra alivianada y paja, con listoneado de madera de pino aserrada

TIPO DE RELLENO: Liviana Húmeda  
ESTRUCTURA PRINCIPAL: Madera  
ESTRUCTURA SECUNDARIA: Madera

### MATERIALIDAD



Fuente: Estudio Terra en (Acevedo et al., 2020)

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Listoneado madera de pino aserrada 1x2"
- 4 Paja de trigo con tierra alivianada
- 5 Tabique madera de pino

### DETALLE CONSTRUCTIVO

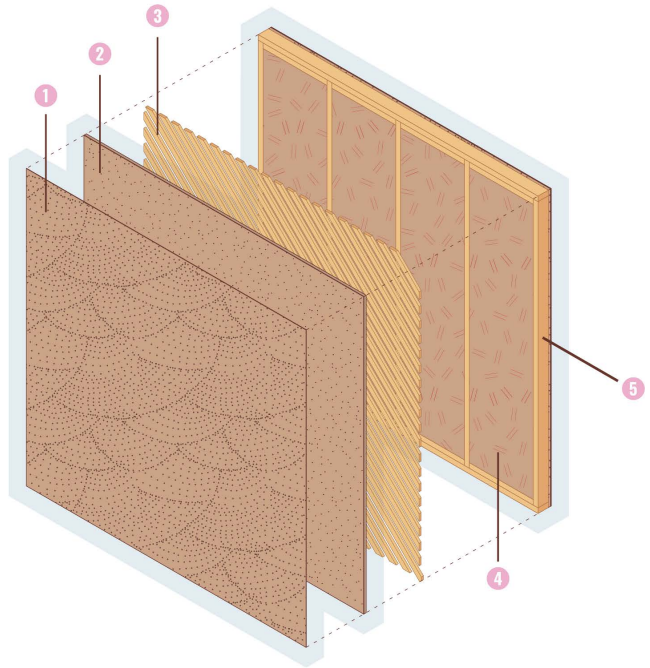
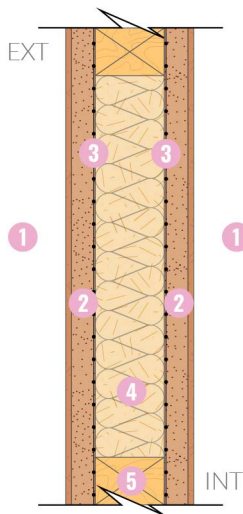


Fig. 24-25  
Detalle quincha liviana seca contemporánea (madera-metal)



## 4 QUINCHA LIVIANA SECA CONTEMPORÁNEA

### DESCRIPCIÓN

Quincha de madera impregnada rellena con malla electrosoldada en ambas caras y relleno de paja seca disuelta en el alma.

TIPO DE RELLENO: Liviana Seca  
ESTRUCTURA PRINCIPAL: Madera  
ESTRUCTURA SECUNDARIA: Metal

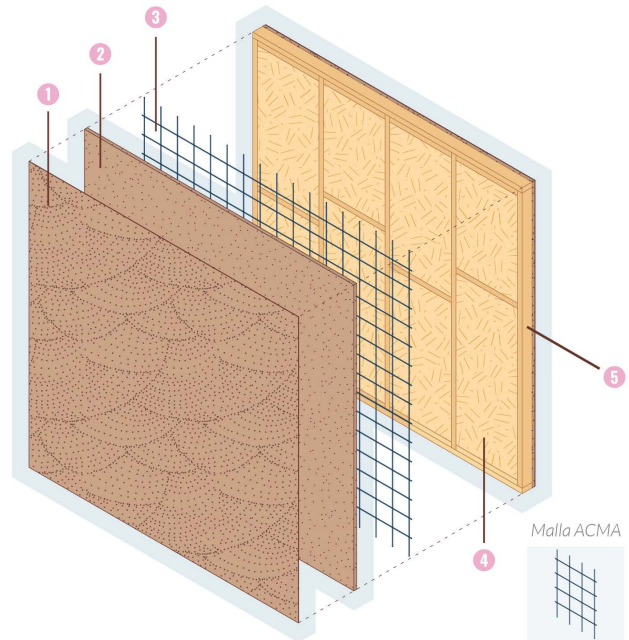
### MATERIALIDAD



Fuente: Estudio Tribal en (Acevedo et al., 2020)

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Malla ACMA electrosoldada
- 4 Paja de trigo
- 5 Tabique madera de pino impregnado

### DETALLE CONSTRUCTIVO



### 5 QUINCHA LIVIANA HÚMEDA CONTEMPORÁNEA

**DESCRIPCIÓN**

Quincha rellena de paja cubierta de barbotina alivianada con estructura de madera.

TIPO DE RELLENO: Liviana Húmeda  
 ESTRUCTURA PRINCIPAL: Madera  
 ESTRUCTURA SECUNDARIA: Madera

**MATERIALIDAD**



Fuente: Estudio Tribal en (Acevedo et al., 2020)

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Mezcla de relleno de tierra en estado plástico con fibras vegetales
- 4 Tabique madera de pino

**DETALLE CONSTRUCTIVO**

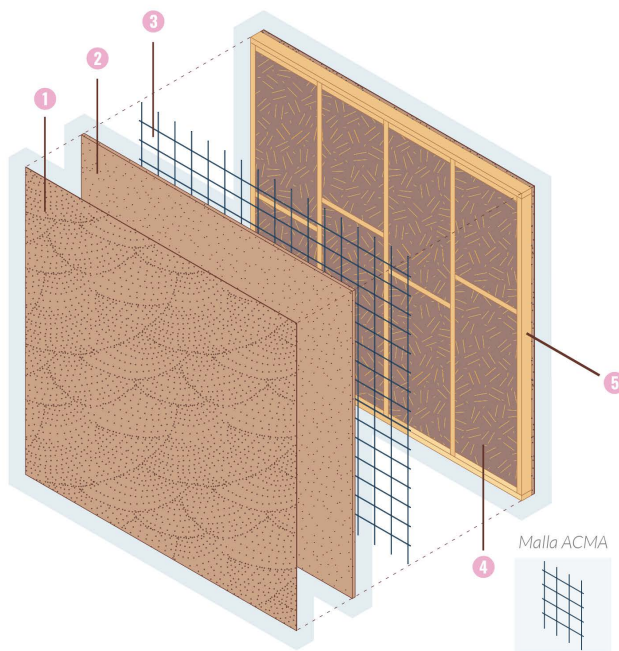
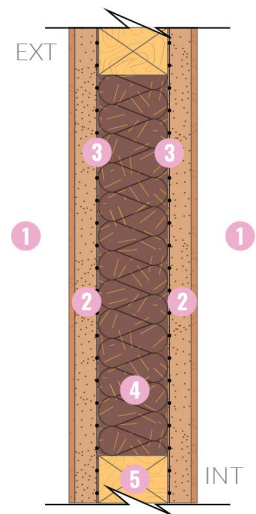


Fig. 26-27  
 Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (madera-metal)



### 6 QUINCHA LIVIANA HÚMEDA CONTEMPORÁNEA

**DESCRIPCIÓN**

Quincha rellena de paja con tierra alivianada con estructura de acero y malla electrosoldada.

TIPO DE RELLENO: Liviana Húmeda  
 ESTRUCTURA PRINCIPAL: Metal  
 ESTRUCTURA SECUNDARIA: Metal

**MATERIALIDAD**



Fuente: Marcelo Cortez en (Acevedo et al., 2020)

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Malla ACMA electrosoldada
- 4 Paja con tierra alivianada
- 5 Estructura de acero

**DETALLE CONSTRUCTIVO**

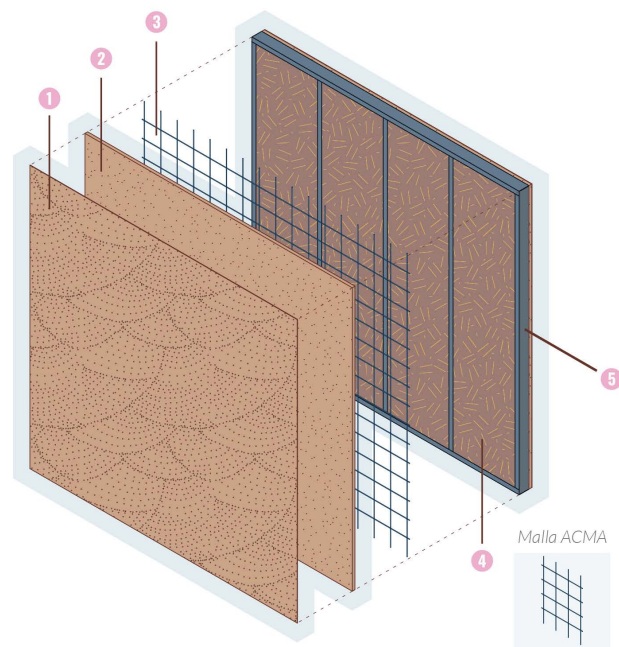
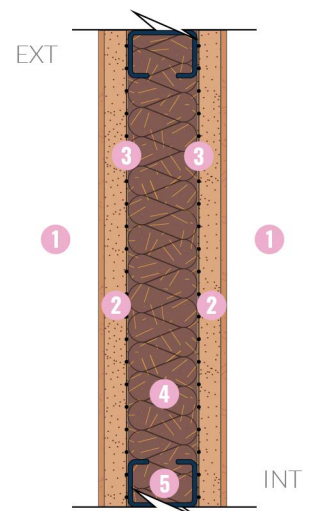
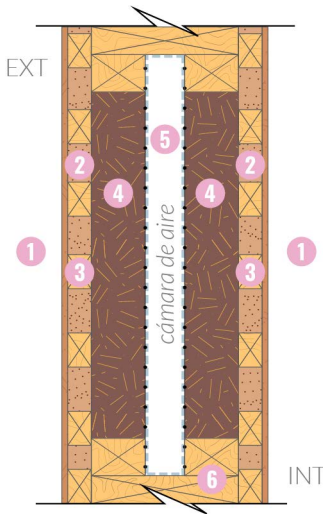


Fig. 28-29  
 Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (metal-metal)



**Fig. 30-31**  
Detalle quincha liviana húmeda contemporánea con cámara de aire (madera-madera)



**7 QUINCHA LIVIANA HÚMEDA CONTEMPORÁNEA**

**DESCRIPCIÓN**

Quincha rellena de paja con tierra alivianada. Estructura de doble tabique con cámara de aire.  
**TIPO DE RELLENO:** Liviana Húmeda  
**ESTRUCTURA PRINCIPAL:** Madera  
**ESTRUCTURA SECUNDARIA:** Madera

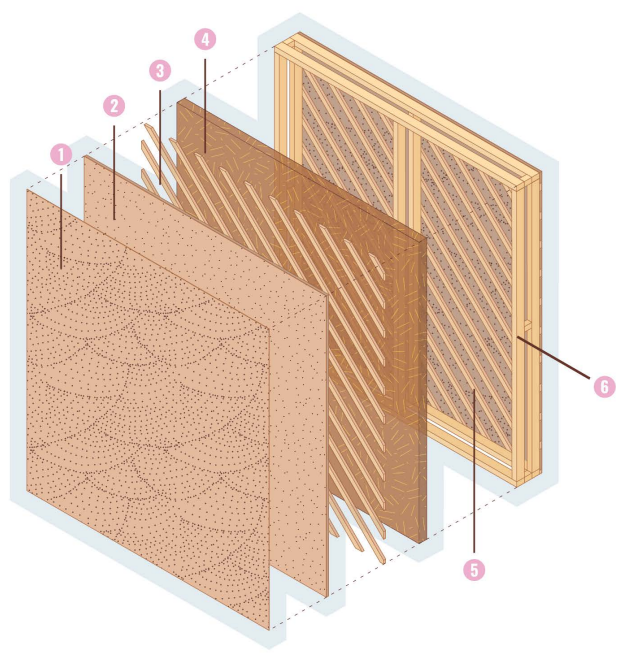
**MATERIALIDAD**



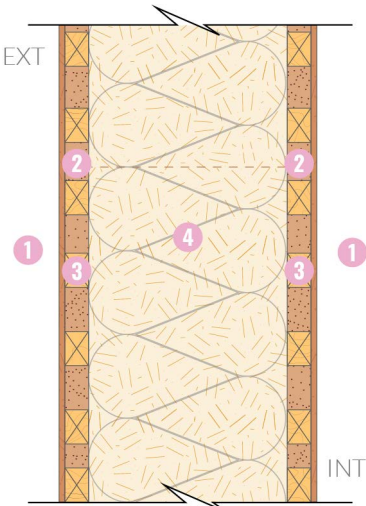
Fuente: Estudio Terra en (Acevedo et al., 2020)

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Listoneado de madera de pino aserrada 1x2"
- 4 Relleno de paja con tierra alivianada
- 5 Cámara de aire de espesor variable
- 6 Doble tabique de madera de pino

**DETALLE CONSTRUCTIVO**



**Fig. 32-33**  
Detalle quincha con fardos de paja seca.



**8 QUINCHA LIVIANA SECA CONTEMPORÁNEA**

**DESCRIPCIÓN**

Quincha rellena con fardos de paja apilados.  
**TIPO DE RELLENO:** Liviana Seca  
**ESTRUCTURA PRINCIPAL:** Madera  
**ESTRUCTURA SECUNDARIA:** Madera

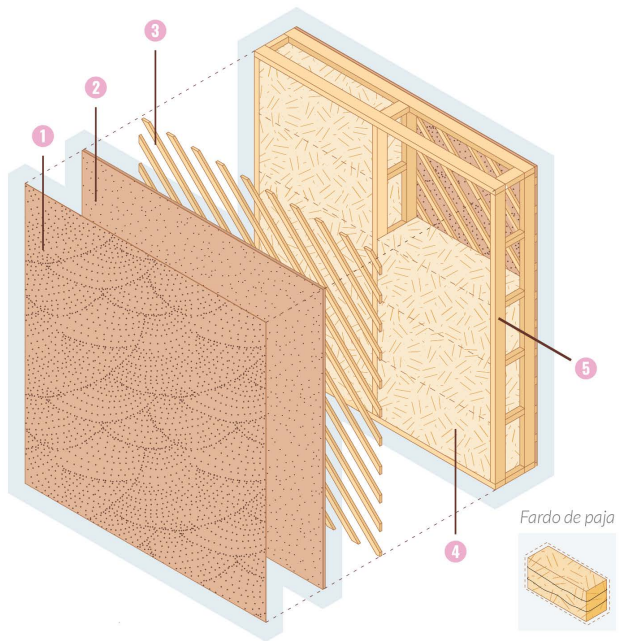
**MATERIALIDAD**



Fuente: Arquitecturaenfardos

- 1 Revoque fino de tierra arcillosa
- 2 Revoque grueso de tierra arcillosa
- 3 Listoneado de madera de pino aserrada 1x2"
- 4 Fardos de paja
- 5 Estructura de marco tabique de madera de pino.

**DETALLE CONSTRUCTIVO**



## 2.4 CERTIFICACIÓN DE LA QUINCHA LIVIANA ANTE LA NORMATIVA VIGENTE

El año 2018 fueron acreditados los sistemas de “Quincha Liviana Seca” y “Quincha Liviana Húmeda” ante el MINVU, a través de ensayos de laboratorio respecto a estos tres ámbitos para corroborar su cumplimiento según la OGUC. A continuación, se describen los métodos de ensayo y los respectivos resultados según indican (Acevedo et al., 2022).

Las conclusiones principales fueron que los sistemas constructivos que incorporan tierra demuestran una alta resistencia al fuego, clasificándolas como muros cortafuegos (F-120), lo que es favorable frente a las resistencias F-15 o F-30 de estructuras de madera con aislación y revestimientos industrializados. Además, resultan ser aptos para muros medianeros entre viviendas colindantes.

Estas soluciones cumplen con las demandas de aislación térmica para la mayoría de las zonas térmicas chilenas (zona térmica 1-6), salvo en regiones extremas. Ofrecen también una reducción acústica por sobre los mínimos requeridos, representando una opción económicamente viable frente a otras soluciones acústicas. De esta manera, sus cualidades vuelven al sistema constructivo de quincha liviana como una alternativa sostenible y culturalmente adecuada para nuevos desarrollos habitacionales.

Para el ensayo de comportamiento al fuego, se llevaron a cabo estudios en el laboratorio IDIEM de la Universidad de Chile. El ensayo tiene como finalidad determinar el retardo al fuego en minutos de un muro de construcción, por lo que se construyó un muro de ensayo de 2,2x2,4x0,156m por cada solución constructiva para evaluar su cumplimiento normativo<sup>25</sup>. Cada muro ensayado incluyó todos los elementos que constituyen un muro de quincha liviana: madera aserrada, rellenos aislantes y terminación en tierra. Los ensayos realizados en el IDIEM constataron para ambos muros un retardo de 120 minutos<sup>26</sup> a la acción al fuego (F-120) (Tabla 2), considerado apto para resistencia de muros cortafuegos. El resultado logra cumplir con todos los requerimientos de muro considerados para viviendas de 1 a 4 pisos.

25. La OGUC en sus artículos 4.3.2, 4.3.3 y 4.3.4 clasifica el tipo de construcción según destino y número de pisos del edificio, su superficie edificada, la carga de ocupación, o la densidad de carga combustible según corresponda (Acevedo et al., 2022).

26. Por motivos de presupuesto, el ensayo se detuvo a los 120 minutos de exposición al fuego, por lo que se pudo haber logrado resultados superiores.

Laboratorio acreditador		IDIEM de la Universidad de Chile
Exigencia normativa para muros		15 min (F-15) para muros perimetrales de viviendas menores a 140 m <sup>2</sup> . 30 min (F-30) para muros perimetrales de viviendas mayores a 140 m <sup>2</sup> . 60 min (F-60) para muros medianeros. 120 min (F-120) para muros cortafuego.
Quincha liviana húmeda	Resultado del estudio	120 min de resistencia a la acción del fuego (F-120)
	Informe ensayo	N° 1.348.138/2017 de fecha 12/03/18
	Evaluación del resultado	Cumple para todo tipo de muros, incluso muros cortafuego.
Quincha liviana seca	Resultado del estudio	120 min de resistencia a la acción del fuego (F-120)
	Informe ensayo	N° 1.348.137/2017 de fecha 12/03/18
	Evaluación del resultado	Cumple para todo tipo de muros, incluso muros cortafuegos.

Tabla 2. Resultados ensayo comportamiento al fuego.

Fig. 34. Ensayo comportamiento al fuego. ©Acevedo et al.



Para el ensayo sobre comportamiento térmico, se llevaron a cabo estudios en los laboratorios del Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción (CITEC) de la Universidad del Bío-Bío. Los ensayos tienen como finalidad precisar los valores de transmitancia térmica (U) y su respectiva resistencia

térmica ( $R_t$ ) de un sistema constructivo. De esta manera, se busca evaluar el comportamiento térmico que posee el sistema y compararlo según las exigencias normativas vigentes.

Los muros, a diferencia del primer ensayo, se construyen dentro de un bastidor pequeño de 1,38x1,54m, el cual es introducido al interior de una cámara térmica que permite obtener el valor U del elemento. Para efectos del ensayo, se construyeron tres probetas iguales por cada tipo de construcción, cuyo resultado oficial se obtiene a partir del valor obtenido más desfavorable entre las tres probetas. Los resultados fueron comparados con las exigencias térmicas determinadas en la OGUC en su artículo 4.1.10; los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA); y los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile (MINVU, 2016), que considera mayores exigencias térmicas.

En el caso de la quincha liviana húmeda, el resultado fue un U de 1,03 W/m<sup>2</sup>K, permitiendo según normativa la construcción en casi todo el territorio nacional (Zona 1-6); mientras que para el caso de la quincha liviana seca el resultado fue un U de 0,73 W/m<sup>2</sup>K, el cual al igual que la quincha liviana húmeda permite la construcción en casi todo el territorio nacional, con excepción de las zonas cordilleranas y australes (Zona 7) (Tabla 3).

**Tabla 3.**  
Resultados ensayo comportamiento térmico.

**Resultados ensayos térmicos**

Quincha liviana húmeda	Resultados del ensayo	Probeta 1: 1,01 W/m <sup>2</sup> K
		Probeta 2: 0,99 W/m <sup>2</sup> K
		Probeta 3: 1,03 W/m <sup>2</sup> K
	Resultado oficial	U= 1,03 W/m <sup>2</sup> K
	Informe ensayo	N° 25108, 25109, 25110 de fecha 18/01/18
Evaluación del resultado	Según OGUC cumple para zonas térmicas 1 a 6, solo no es aplicable para zona 7 (áreas cordilleranas australes). Según PDA vigentes no cumple para ninguna ciudad con problemas de calidad de aire. Según los Estándares de Construcción Sustentable es aplicable sólo en la zona A.	
Quincha liviana seca	Resultados del ensayo	Probeta 1: 0,70 W/m <sup>2</sup> K
		Probeta 2: 0,73 W/m <sup>2</sup> K
		Probeta 3: 1,03 W/m <sup>2</sup> K
	Resultado oficial	U= 0,73 W/m <sup>2</sup> K
	Informe ensayo	N° 25107, 25111, 25112 de fecha 18/01/18
Evaluación del resultado	Según OGUC cumple para zonas térmicas 1 a 6, sólo no es aplicable para zona 7 (áreas cordilleranas y australes). Según PDA vigentes cumple con exigencias de Talca-Maule. Según los Estándares de Construcción Sustentable es aplicable en la zona A, B, C y D.	

**Fig. 35**  
Ensayo comportamiento térmico.  
©Acevedo et al.



En cuanto al ensayo de comportamiento acústico, los estudios también fueron realizados en el CITEC de la Universidad del Bío-Bío, el cual tuvo como objetivo precisar el índice de reducción acústica en decibeles (dB) para cumplir con lo dispuesto en el artículo 4.1.6 de la OGUC, que se aplica en elementos divisorios de unidades de vivienda. El resultado en el caso de la Quincha Liviana Húmeda fue de 45 dB de reducción acústica, mientras que la Quincha Liviana seca obtuvo un resultado de 47 dB. En ambos casos los sistemas cumplen con el mínimo dispuesto por norma de 45 dB para muros pareados o di-

visorios de unidades de vivienda (según NCh 2786/2003) (Tabla 4). El resultado permite la construcción con este tipo de muros para viviendas pareadas o continuas, sin necesidad de añadir algún tipo de material acústico adicional.

Laboratorio acreditador		CITEC Universidad del Bío-Bío
Exigencia normativa para muros		Se exige sólo para muros medianeros en viviendas pareadas o continuas un índice de reducción acústica mínima de 45 dB.
Quincha liviana húmeda	Resultado del estudio	Índice de Reducción Acústica de 45 dB.
	Informe ensayo	N° 2118 fecha 28/12/17
	Evaluación del resultado	Cumple con la reducción acústica para muros medianeros.
Quincha liviana seca	Resultado del estudio	Índice de Reducción Acústica de 47 dB.
	Informe ensayo	N° 2130 fecha 28/12/17
	Evaluación del resultado	Cumple con la reducción acústica para muros medianeros

Tabla 4. Resultados ensayo comportamiento acústico.

Fig. 36. Ensayo comportamiento acústico. ©Acevedo et al.



## 2.5 SÍNTESIS DE CAPÍTULO

La reinterpretación histórica de los sistemas constructivos con tierra cruda en Chile refleja una evolución y modernización de prácticas ancestrales arraigadas a las formas de construir con tierra en el país, integrando el dominio tecnológico del siglo XXI para mejorar aspectos estructurales, térmicos, de resistencia al fuego, entre otros. Este proceso ha tomado protagonismo en las últimas dos décadas en Chile, a partir de su implementación en el diseño arquitectónico de viviendas en diversas regiones del país, desde climas cálidos y templados hasta áreas con condiciones más lluviosas. Esta tendencia al alza se debe en gran medida a la divulgación que poseen estas prácticas constructivas y el incentivo a una construcción más sostenible por parte de grupos profesionales.

El desarrollo de sistemas constructivos como la quincha liviana, permite combinar estructuras tradicionales con rellenos de tierra y fibra mejorados, logrando una mayor resistencia sísmica, térmica y acústica en las edificaciones. Además, la certificación de estas técnicas ante la normativa vigente valida su eficacia, abriendo paso a su implementación en nuevos desarrollos urbanos.

El nuevo diálogo entre materiales tradicionales y contemporáneos ha permitido mejorar las deficiencias que presentaba el sistema tradicional de quincha liviana y proyectar su uso a futuro, estableciendo un precedente de reinterpretación de un sistema constructivo patrimonial para su uso con estándares que se adaptan a las necesidades actuales de la construcción.

Fig. 37. Construcción con quincha liviana seca, Limache, Región de Valparaíso. ©Sebastián Astroza.





## CAPÍTULO 3: ANÁLISIS NORMATIVO Y SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA

Actualmente la protección y conservación del patrimonio en Chile se rige bajo la Ley N° 17.288 sobre Monumentos Nacionales promulgada el año 1970. En ella se identifica que “son monumentos nacionales, y quedan bajo la tución y protección del estado, los lugares, las ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico; los enterratorios o cementerios u otros restos de los aborígenes, las piezas u objetos antropo-arqueológicos, paleontológicos, o de formación natural, (...); los santuarios de la naturaleza, (...); monumentos, estatuas, columnas, pirámides, fuentes placas, coronas, inscripciones y en general objetos que estén destinados a permanecer en un sitio público, con carácter conmemorativo” (Artículo 1º). Como se demuestra, la perspectiva de la ley considera únicamente aspectos materiales referentes al patrimonio, con un enfoque monumentalista acerca de los bienes patrimoniales, sin aún reconocer el patrimonio cultural inmaterial (Fullerton & Medina, 2017). Al respecto, el año 2008 Chile oficializó su adhesión al texto internacional de la Convención de la UNESCO sobre Patrimonio Inmaterial redactada en 2003 (Fullerton & Medina, 2017). Este compromiso ha sido asumido por el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, a través de la Subdirección de Patrimonio Cultural Inmaterial del Servicio Nacional del Patrimonio, entidad encargada de llevar a cabo el reconocimiento y la valoración del patrimonio inmaterial del país (SNPC, n.d).

**Fig. 1**  
Escombros de edificación construida con sistema de adobillo en la comuna de Limache, Región de Valparaíso, producto de un incendio estructural.  
©Claudia Bustamante.

En este marco normativo, se integra el patrimonio cultural inmaterial entendido como “usos, representaciones, expresiones, conocimientos y técnicas -junto con los instrumentos, objetos, artefactos y espacios culturales que les son inherentes- que las comunidades, los grupos y en algunos casos los individuos reconozcan como parte integrante de su patrimonio cultural” (SNPC, n.d). Identificando las técnicas constructivas ancestrales como un componente patrimonial inmaterial intrínseco al desarrollo de una cultura en cuanto determina el sentimiento de identidad y pertenencia a una comunidad determinada, contribuyendo a promover un mayor respeto por la diversidad cultural y la creatividad humana (SNPC, n.d).

Considerando que en Chile aproximadamente el 40% del patrimonio reconocido está construido en base a técnica de adobe (Kamelic, 2009, citado en Jorquera, 2022, p.62) y que gran parte de la identidad arquitectónica del país tiene que ver con el uso de técnicas constructivas basadas en el uso de tierra cruda, como es el caso de la quincha o el adobillo, la Corporación del Desarrollo Tecnológico (CDT) creada en 1989 por parte de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), en conjunto con entidades gubernamentales, declaran que “se considera fundamental recuperar los conocimientos y aplicaciones de las técnicas utilizadas para aplicarlas adecuadamente y en función de las condiciones portantes, estéticas y arquitectónicas que se ajustan a la naturaleza del material” (CDT, 2012).

Pese al estigma que han sufrido las técnicas de construcción con tierra cruda en Chile, principalmente debido a los últimos eventos sísmicos, en las últimas décadas existe un creciente interés por la recuperación del patrimonio arquitectónico construido en tierra y la creación de construcciones más sostenibles basadas en este tipo de patrimonio, utilizando elementos naturales (Jorquera en Acevedo et al., 2017). Por ende, suscribir el desarrollo de la protección patrimonial, así como la construcción en obra nueva, desde la valoración de estas técnicas constructivas está determinado por las principales normativas que gobiernan su puesta en práctica. En base a ello, este capítulo está orientado en indagar acerca de las nociones normativas en torno a la construcción con tierra cruda en Chile, y su potencial aplicación respecto a los estándares de construcción sustentable en la vivienda, enfocándose principalmente en aquellos ámbitos de la ley que suponen limitantes para el ejercicio de la arquitectura en tierra en el país, como es el caso particular de la reglamentación sísmica y térmica.

### 3.1. REGLAMENTACIÓN SÍSMICA

La reglamentación sísmica actual se encuentra definida en el D.S N°61, acerca del diseño sísmico de edificios, publicada el año 2011 posterior al terremoto ocurrido en la zona central del país el año 2010. Las actualizaciones normativas consecuentes a esta reglamentación incorporan el estudio a nivel de materiales, ensayos y procedimientos vinculados a la información acerca de la calidad de los materiales hacia los usuarios, principalmente en torno a la resistencia del hormigón, el acero y la madera.

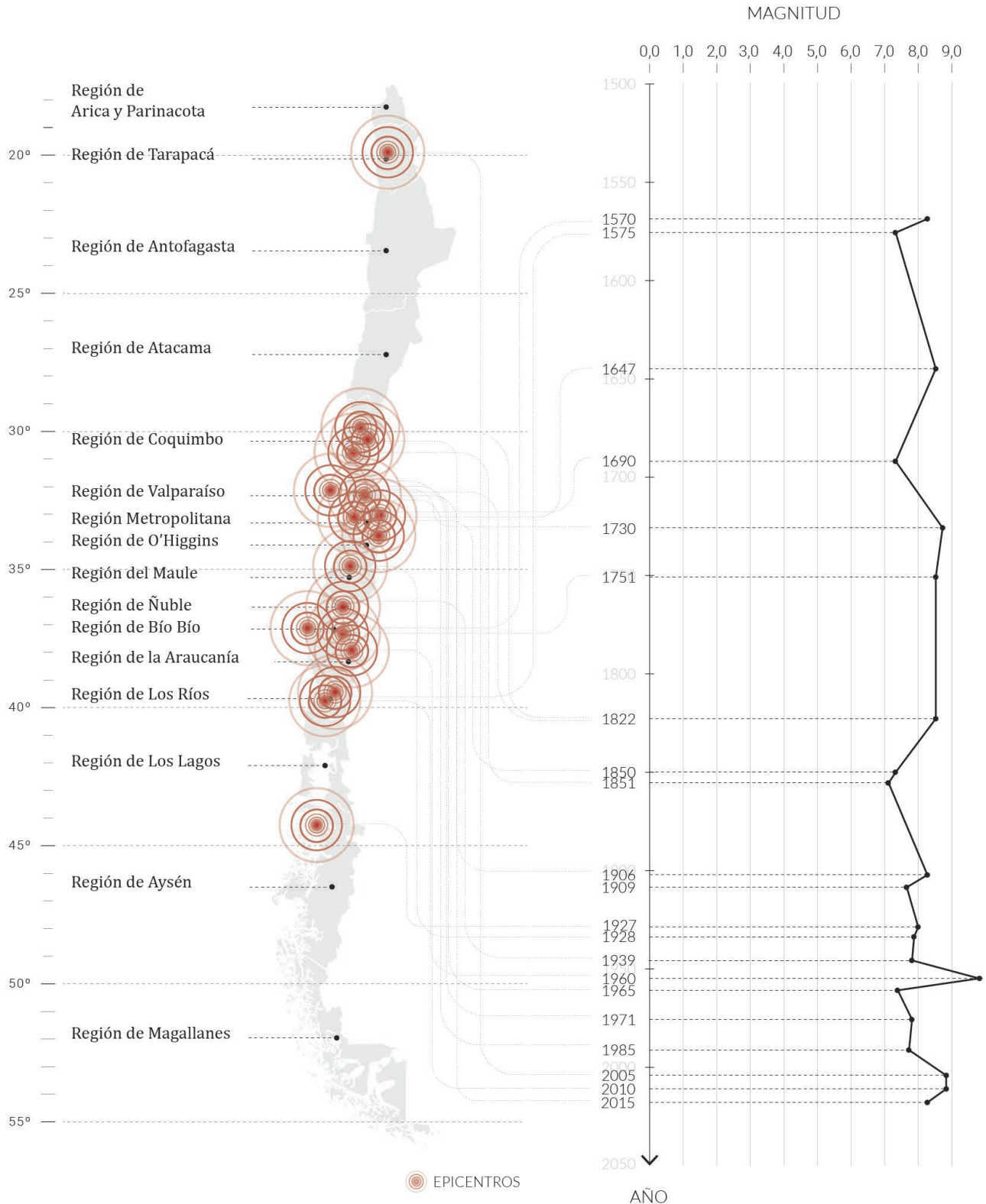
En Chile actualmente no se dispone de normativas oficiales que habiliten el uso de sistemas tradicionales en la construcción de obra nueva con técnicas que incorporen la tierra como estructura, como es el caso del adobe o el tapial, no así los sistemas mixtos que incluyen la madera como estructura principal (Dávila & Contreras, 2022). Estas limitaciones normativas en torno a la construcción con tierra se deben al rendimiento estructural que han demostrado este tipo de edificaciones frente a los últimos eventos sísmicos de gran magnitud que han ocurrido en Chile (Figura 5) -algunos de ellos correspondientes a los terremotos de más alta magnitud en la historia (Valdivia, 1960

Fig. 2-4  
Fotografías de edificios patrimoniales de adobe afectados por el sismo del año 2010 en Chile. ©BBC



(9,5<sup>o</sup>); Cauquenes, 2010 (8,8<sup>o</sup>) (Jorquera, 2014)-, lo cual generó un estigma por parte de la población hacia la construcción con tierra cruda en Chile, promoviendo el reemplazo de estas estructuras por otros materiales, como es la madera, el acero o el hormigón armado (Barros et al., 2014). Al respecto, múltiples autores han hecho hincapié en que los factores que han influenciado las fallas estructurales presentes en este tipo de patrimonio arquitectónico han sido principalmente originados producto de prácticas de intervención y mantención inadecuadas, derivados del desconocimiento de estas técnicas constructivas (CDT, 2012).

Fig. 5  
Registro histórico de principales sismos ocurridos en Chile.



El caso de Chile es particular dado que, siendo reconocido como uno de los países más propensos a terremotos en el mundo, con frecuentes movimientos de considerable intensidad, presenta una importante tradición en la construcción con tierra sismorresistente (CDT, 2012). En relación con la normativa, el año 2013, posterior al terremoto de magnitud ~8.8 que afectó a gran parte de la zona central de Chile, fueron promulgadas las normas NCh 3322:2013 “Estructuras – Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda – Requisitos del proyecto estructural” por parte del Instituto Nacional de Normalización (INN), que establece requisitos mínimos para los procesos de recuperación de las construcciones de tierra de valor patrimonial; y la norma NTM002 “Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra” por parte del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), que establece criterios para la regulación de intervenciones en este tipo de construcciones (Jorquera, 2022). La promulgación de estas normativas “constituyen un hecho sin precedentes en materia de intervención del patrimonio arquitectónico” (Jorquera, 2022, p. 13), dado que formaliza las intenciones por parte de organismos públicos para la intervención en términos de preservación o restauración del patrimonio construido con tierra en el país.

La NCh 3322:2013 “establece requisitos mínimos que debe cumplir un proyecto estructural para la intervención, renovación, recuperación, reforzamiento, restauración, rehabilitación o consolidación estructural de las construcciones de tierra con valor patrimonial” (INN, 2013, p.1), considerando las construcciones cuya estructura principal se encuentra basada en los sistemas de albañilería de adobe, tapial, quincha o mampostería de piedra asentada en barro. Esta norma recoge parámetros de geometría y permite el análisis tipológico en relación con el funcionamiento estructural de los inmuebles para su evaluación, definiendo los siguientes criterios patrimoniales:

En tanto, la NTM002 dispone criterios para regular las intervenciones de este tipo de construcciones, con el propósito de estandarizar los métodos de evaluación de daños y deterioros en la estructura portante de la edificación; orientar las intervenciones de las construcciones de tierra anteriores a las normas y ordenanzas vigentes; y mejorar las condiciones de seguridad estructural de las construcciones de tierra (MINVU, 2013).

El año 2012, en el marco de procesos de regularización de inmuebles post catástrofes, fue creado el manual de terreno “Evaluación de Daños y Soluciones para Construcciones en Tierra Cruda” por parte de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), el cual posibilitó establecer nuevos criterios para la identificación de inmuebles construidos con tierra a escala de vivienda, considerados por primera vez como parte importante del patrimonio arquitectónico de nuestro país (CDT, 2012). El objetivo del manual de construcción en tierra cruda es “permitir que cualquiera pueda aproximarse a la problemática de la restauración del patrimonio en tierra cruda dañado, y contribuir a mejorar las prácticas de conservación, mantención, y preservación de este tipo de construcciones.” (CDT, 2012, p. 16).

Hoy en día varias de las regiones del mundo que poseen tradición sísmica cuentan con legislación y normativa respecto a la construcción en tierra, como es el caso de Australia, California, Colombia, México, Nuevo México y Perú, las cuales establecen parámetros y estándares constructivos que permiten intervenciones adecuadas respecto a su patrimonio en tierra, e impulsan el desarrollo de nuevas tecnologías desde su valorización (CDT, 2012). Particularmente, en la región de América durante las últimas décadas se han realizado investigaciones focalizada en patrones de fallas y daños causados por la actividad sísmica en edificios tradicionales (Jorquera, 2014).

### 3.2. REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

La Reglamentación Térmica (RT), vigente en nuestro país desde el año 2006<sup>27</sup>, se encuentra definida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). Esta normativa establece los estándares mínimos que deben cumplir las nuevas viviendas en términos de acondicionamiento térmico según los elementos que constituyen la envolvente, correspondientes a complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados. La RT divide el territorio chileno en 7 zonas térmicas (Tabla 2), que deben cumplir con “una transmitancia térmica (U) igual o menor, o una resistencia térmica (Rt) igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura” (OGUC).

La delimitación de las zonas térmicas en Chile fue definida según Grados-Días de calefacción (GDc) anuales, estimados a partir de series históricas de datos meteorológicos de las distintas comunas del país (Bustamante et al., 2009), principalmente asociado a condiciones meteorológicas de invierno en el que no se considera las variaciones de temperatura entre el día y la noche (Bustamante, 2009). Este factor indica que la zonificación está estrechamente relacionada con las demandas de energía implicadas en lograr una temperatura interior base durante un periodo considerado, tomando como referencia la temperatura media diaria exterior (ibid.). De esta manera, las zonas térmicas delimitadas en la RT no consideran el espectro de variables que definen un tipo de clima, como lo es la humedad, las oscilaciones de temperatura, la intensidad y dirección de los vientos, radiación solar, precipitaciones, etc., lo cual generaliza las exigencias de cada territorio, omitiendo las cualidades climáticas que estos poseen.

Actualmente, profesionales y académicos de la materia comparten la opinión acerca de que la RT queda muy por debajo de los desafíos actuales respecto a estándares de acondicionamiento térmico para viviendas, ya que “solo regula medianamente la aislación térmica de muros, techumbre y pisos ventilados de edificios residenciales” (Maureen Trebilcock, 17 de marzo 2023). Por lo tanto, “la sola aplicación de esta RT no es sinónimo de eficiencia energética en gran parte del país. Para esto se requiere un mayor esfuerzo, en especial en vivienda social” (Bustamante, 2009, p. 69).

27. A partir del Decreto N°192 promulgado el año 2005 y publicado en el Diario Oficial el año 2006. <https://bcn.cl/31p72>

### 3.2.1 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA HABITACIONAL

El año 2009 fue publicada la Norma Chilena Oficial NCh1079:2008 “Arquitectura y Construcción-Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”, la cual establece una zonificación climática habitacional para el país según 9 zonas térmicas respecto a los requerimientos climáticos, clasificadas en: Norte Litoral (NL), Norte Desértica (ND), Norte Valles Transversales (NVT), Centro Litoral (CL), Centro Interior (CI), Sur Litoral (SL), Sur Inferior (SI), Sur Extremo (SE) y Andina (An). A partir de ello, se recomiendan valores de U para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y elementos vidriados verticales con el objetivo de facilitar el diseño arquitectónico más exigentes que la RT (Tabla 3).

La norma NCh1079 es una norma obligatoria para las ciudades con Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), aplicadas en las comunas de Talca-Maule, Temuco, Chillán, Osorno, Valdivia y Coyhaique. Estos planes indican valores de transmitancia térmica (U) máximas para diferentes ciudades con mayores índices de contaminación del aire (Tabla 1).

**TRANSMITANCIA TÉRMICA EXIGIDA**  
Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA)

Comuna	U [W/m <sup>2</sup> °K]
Talca-Maule	U < 0,80
Temuco	U < 0,45
Chillán	U < 0,45
Osorno	U < 0,40
Valdivia	U < 0,40
Coyhaique	U < 0,35

**Tabla 1.**  
Exigencias transmitancia térmica para comunas con PDA.

El año 2014 se diseñó el anteproyecto<sup>28</sup> de norma NTM11 “Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones” a raíz de la propuesta de actualización para el artículo 4.1.10 de la OGUC sobre exigencias de acondicionamiento térmico. La propuesta zonifica en 9 zonas térmicas clasificadas desde la letra “A” a la letra “I”, (Tabla 4), respecto de las cuales se recomiendan valores de U y Rt para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y complejos de puerta. El anteproyecto de actualización de norma propone mayores exigencias térmicas para el acondicionamiento de viviendas, con el fin de lograr mejores estándares de construcción y habitabilidad en el ambiente interior.

El año 2021, en el marco de la propuesta de reglamentación térmica del Artículo 4.1.10 de la OGUC, fue reemplazada la NCh1079:2008 por la NCh1079:2019 “Arquitectura y Construcción-Zonificación climática y térmica para el diseño de edificaciones”, la cual modifica algunos de los índices de transmitancia según las zonas climáticas habitacionales, diferenciando zonas costeras del país ubicadas entre estas y la cordillera de Los Andes (Ministerio de Energía, 2018).

28. Esta propuesta “avanza sustancialmente al abarcar otros aspectos esenciales para limitar la demanda energética y mejorar la calidad del ambiente interior, tal como la aislación térmica de pisos sobre terreno, puertas y ventanas; hermeticidad al aire (infiltraciones); y ventilación” (Maureen Trebilcock, 17 de marzo 2023), pese a ello aún no se han hecho modificaciones en la RT.

**Tabla 2.**

Tabla exigencias de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros y pisos ventilados según Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C).

ZONA TÉRMICA	Techumbre		Muros		Pisos ventilados	
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]
Zona 1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
Zona 2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
Zona 3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
Zona 4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
Zona 5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
Zona 6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
Zona 7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

**Tabla 3.**

Tabla recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y elementos vidriados verticales según NCh-1079 Of.2008.

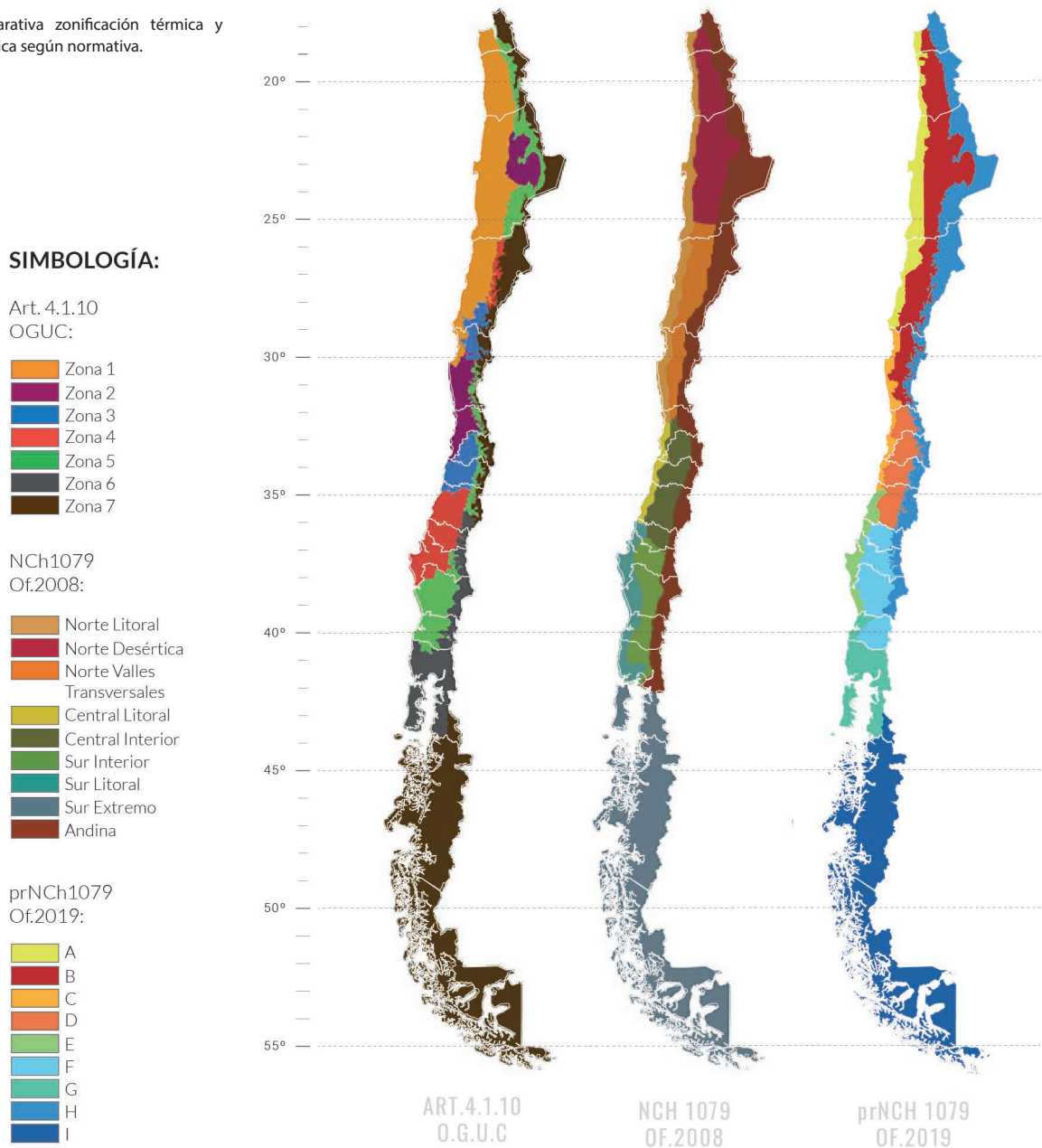
ZONA CLIMÁTICA	Techumbre	Muros	Pisos ventilados	Ventanas
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]
NL	0,80	2,00	3,00	5,80
ND	0,40	0,50	0,70	3,00
NVT	0,60	0,80	1,20	3,00
CL	0,60	0,80	1,20	3,00
CI	0,50	0,60	0,80	3,00
SL	0,40	0,60	0,80	3,00
SI	0,30	0,50	0,70	3,00
SE	0,25	0,40	0,50	2,40
An	0,25	0,30	0,42	2,40

**Tabla 4.**

Tabla recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y complejo de puerta según propuesta actualización regulación térmica Art.4.1.10 O.G.U.C.

ZONA CLIMÁTICA	Techumbre	Muros	Pisos ventilados	Ventanas
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]
A	0,84	2,10	3,60	-
B	0,47	0,80	0,70	1,7
C	0,47	0,80	0,87	1,7
D	0,38	0,80	0,70	1,7
E	0,33	0,60	0,60	1,7
F	0,28	0,45	0,50	1,7
G	0,28	0,40	0,39	1,7
H	0,25	0,30	0,32	1,7
I	0,25	0,35	0,32	1,7

Fig. 6  
Comparativa zonificación térmica y climática según normativa.



### 3.3. POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE

La eficiencia energética se define como la capacidad de reducción en la cantidad de energía eléctrica y de combustibles fósiles que se utilizan para solventar las distintas necesidades asociadas a un uso estándar del edificio (CChC, 2019), que pueden incluir la calefacción, refrigeración, iluminación y el calentamiento del agua (ACS), sin comprometer la calidad y el acceso a bienes y servicios (CChC, 2019). En el caso de Chile, uno de los objetivos primordiales actualmente en torno al ejercicio de la construcción es conseguir una mayor eficiencia energética aplicada en edificios y viviendas, siendo uno de los principales compromisos a corto plazo a nivel país es el de disminuir en un 20% el consumo país de energía eléctrica al 2025 e impulsar una transición voluntaria del mercado hacia una edificación residencial que sea completamente libre de emisiones para el 2050 (Estándares de Construcción Sustentable Tomo II).

29. Para la implementación de esta calificación energética se establecerá el "Registro Nacional de Evaluadores Energéticos" a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Ley 21.305).

El 13 de febrero del año 2021 fue publicada en el Diario Oficial la Ley 21.305 sobre Eficiencia Energética, la cual tiene por objetivo elaborar el primer Plan Nacional de Eficiencia Energética aplicado en Chile, el cual deberá

ser renovado cada cinco años (Ley 21.305). Esta ley establece que el “Plan” deberá contemplar una meta de reducción de intensidad energética para el país de al menos un 10% al 2030 respecto del año 2019, además de contemplar una meta para consumidores con capacidad de gestión de energía consistente en la reducción de su intensidad energética de al menos un 4% promedio de su periodo de vigencia.

En su artículo 3º se especifica un marco regulatorio para el rubro de la edificación, el cual especifica que: “las viviendas, edificios de uso público, edificios comerciales y edificios de oficina deberán contar con una calificación energética para obtener la recepción final o definitiva por parte de la Dirección de Obras Municipales (DOM) respectiva” (Ley 21.305, art 3º). Con el objetivo de informar sobre la eficiencia energética de las construcciones, la ley establece que se deberá otorgar una etiqueta de eficiencia energética según informe de calificación energética<sup>29</sup>. Esta etiqueta será obligatoria en cualquier promoción de ventas realizadas por empresas constructoras e inmobiliarias, así como los Servicios de Vivienda y Urbanización (SERVIU).

El vigente Plan Nacional de Eficiencia Energética para el periodo 2022-2026 fue aprobado en abril de 2023 (Decreto 4). Dicho plan establece un marco de acción (Figura 7) para el avance de la eficiencia energética en nuestro país, lo cual es clave para lograr el compromiso histórico de carbono neutralidad para el año 2050, además de otras políticas de sostenibilidad implementadas por el Ministerio de Energía y el Estado.

Fig. 7  
Objetivos del Plan de Eficiencia Energética 2025.

**METAS PLAN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Reducir la intensidad energética respecto del año 2019 en un:



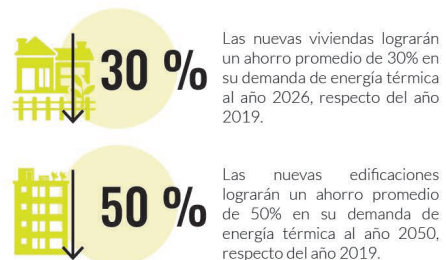
**Nota:** El cálculo de la intensidad energética deberá considerar los reajustes de precio y monetarios a lo largo del tiempo.

Respecto a las metas sectoriales que establece el plan, en el sector “edificaciones” se establecieron 10 medidas enfocadas en la actualización de los estándares de eficiencia energética; el impulso a la renovación energética y reacondicionamiento térmico; la calificación energética de edificaciones; habilitación de la energía distrital; y capacitación y certificación de capital humano. Además, establece como metas del sector un ahorro promedio de un 30% de la demanda de energía térmica para nuevas viviendas al año 2026, y un ahorro promedio de un 50% de la demanda de energía térmica para nuevas edificaciones al año 2050 respecto del año 2019 (Figura 8).

Fig. 8  
Medidas de eficiencia energética propuestas para el sector edificaciones.

**SECTOR EDIFICACIONES (10 MEDIDAS)**

**Medidas principales:** Actualización de los estándares de eficiencia energética, impulso a la renovación energética y reacondicionamiento térmico, calificación energética de edificaciones, habilitación de la energía distrital y capacitación y certificación de capital humano.



### 3.3.1 APROXIMACIÓN A ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

Como se mencionó anteriormente, uno de los ejes de desarrollo que se proyecta respecto a su implementación en ámbitos normativos de la Reglamentación Térmica es la de optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a calefaccionar o refrigerar la vivienda. Al respecto, el Plan Nacional de Eficiencia Energética incluye dentro de sus principales medidas la modificación de la OGUC a partir de la implementación de una tercera y cuarta actualización de la RT para viviendas y edificaciones aumentando los estándares del diseño de la envolvente con el objeto de disminuir su demanda térmica total (Ministerio de Energía, 2022).

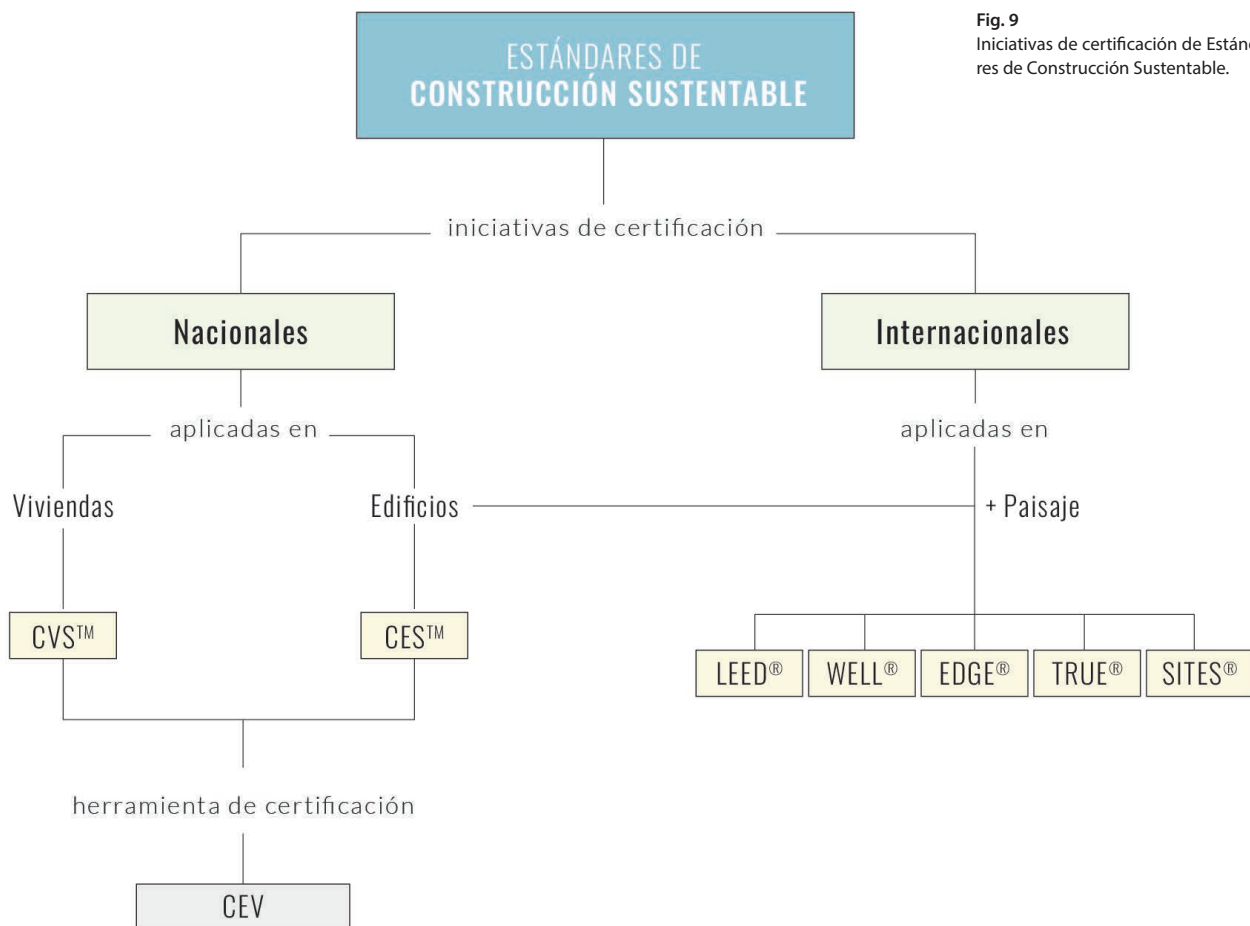


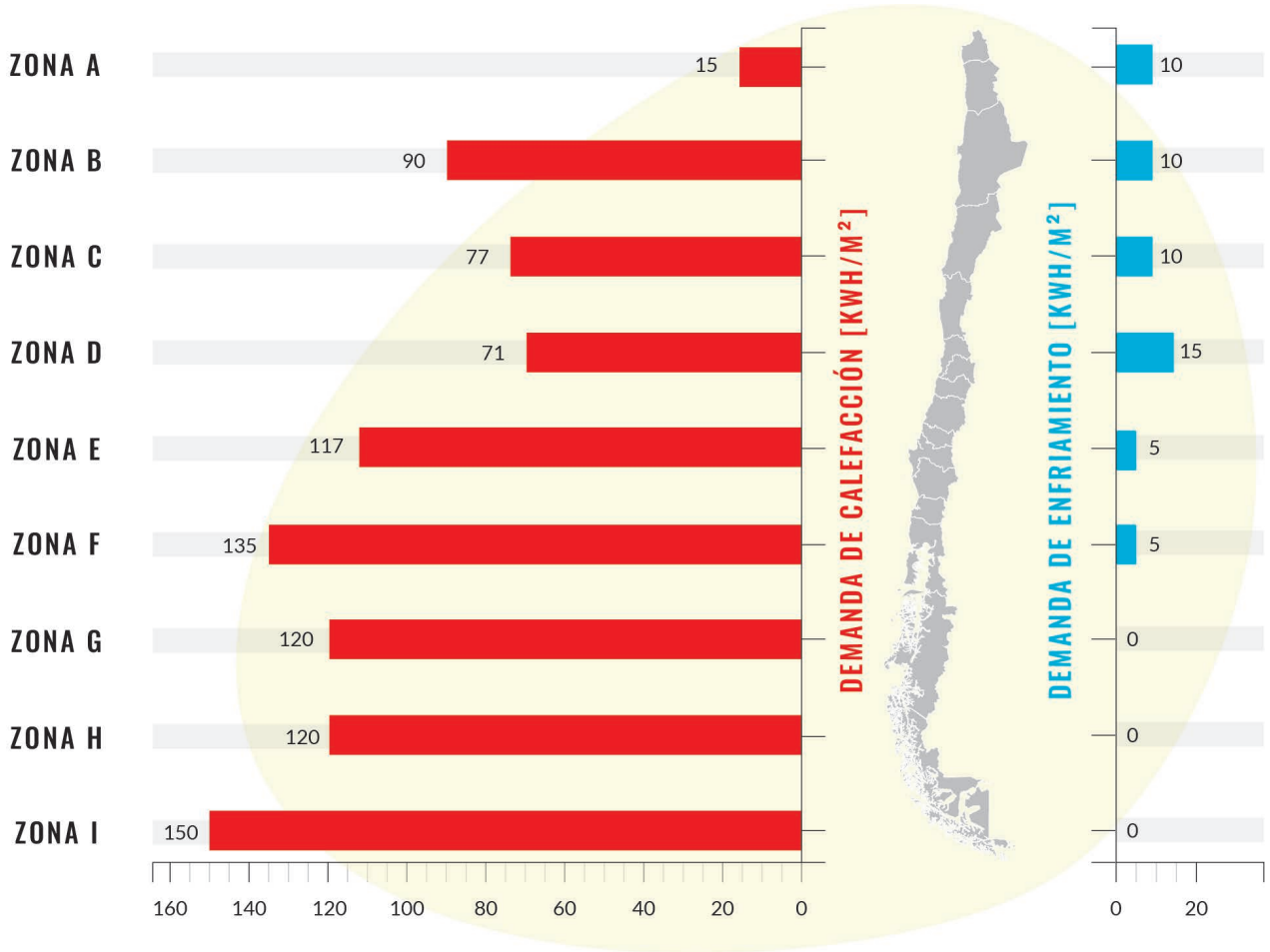
Fig. 9  
Iniciativas de certificación de Estándares de Construcción Sustentable.

En relación con estándares de diseño para la construcción, en noviembre del año 2016 el MINVU, a través de la Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable lanzó una segunda edición del Código de Construcción Sustentable de Viviendas (CCSV) respecto a los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile (ECSV) (MINVU, 2018). Estos estándares representan “un compendio de buenas prácticas, elaborado para mejorar el desempeño ambiental, económico y social del hábitat residencial de Chile” (MINVU, 2021, p. 23), clasificados en 6 categorías de acción: salud y bienestar, energía, agua, materiales y residuos, impacto ambiental y entorno inmediato.

En lo que respecta la Categoría de 2 de Energía, esta está enfocada en promover la eficiencia energética y reducir el consumo en las viviendas. Se establecen metas concretas de reducción de demanda de calefacción y refrigeración de las viviendas según zona térmica (Figura 10) y la mejora de la envolvente de los edificios para mejorar el confort térmico interior, con el objetivo de alcanzar un bajo consumo energético para el año 2050.

Particularmente, se entregan nociones sobre asoleamiento, buscando maximizar el aprovechamiento de la luz solar para reducir la necesidad de iluminación artificial; la mejora de la eficiencia de la envolvente opaca del edificio mediante altos estándares de aislación e inercia térmica; la optimización de la envolvente transparente con el fin de minimizar pérdidas de calor en invierno y el ingreso de calor en verano; y el control de infiltraciones de aire de la envolvente.

Fig. 10  
Demanda de calefacción y enfriamiento en [kW/m<sup>2</sup>] esperada para el año 2020 según zonificación térmica.



### CERTIFICACIÓN DE LA VIVIENDA SUSTENTABLE (CVS)

La Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) “es un sistema voluntario de evaluación de viviendas nuevas que valora diferentes aspectos del desempeño ambiental, económico y social, durante las etapas de diseño y construcción” (MINVU, 2021, p. 20). Dicha certificación, actualiza la exigencia prescriptiva de la transmitancia de la envolvente y además incorpora metas por desempeño de demanda de energía. Este sistema, permite certificar proyectos que busquen demostrar su buen desempeño por sobre lo establecido en los reglamentos de construcción vigentes, aplicados a cualquier tipo de agrupamiento de viviendas, el financiamiento (ya sea social o privado) o ciudad de Chile (MINVU, 2021)

Zona Térmica	CRITERIO DIFERENCIADO						CRITERIO COMBINADO		
	Demanda térmica Calefacción			Demanda térmica Enfriamiento			Demanda térmica Calefacción + Enfriamiento		
	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.
A	28	17	7	70	47	24	98	64	31
B	103	68	34	85	56	27	188	124	61
C	83	57	32	33	21	9	116	78	41
<b>D</b>	<b>77</b>	<b>60</b>	<b>43</b>	<b>37</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>114</b>	<b>85</b>	<b>57</b>
E	79	64	49	20	14	8	99	78	57
F	85	70	54	20	14	8	105	84	62
G	82	70	58	13	9	5	95	79	63
H	83	75	67	13	10	7	96	85	74
I	133	121	110	2	2	2	135	123	112

Tabla 5. Demanda máxima del proyecto (kWh/m²año) según zona térmica y sistema de agrupamiento.

Zona Térmica	CRITERIO DIFERENCIADO						CRITERIO COMBINADO		
	Demanda térmica Calefacción			Demanda térmica Enfriamiento			Demanda térmica Calefacción + Enfriamiento		
	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.	Casa aislada	Casa pareada o continua	Depto.
A	22	14	5	56	38	19	78	52	24
B	82	55	27	68	45	21	150	100	48
C	66	46	25	26	17	7	92	63	32
<b>D</b>	<b>61</b>	<b>48</b>	<b>34</b>	<b>29</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>90</b>	<b>68</b>	<b>45</b>
E	63	51	39	16	11	6	79	62	45
F	68	56	43	16	11	6	84	67	49
G	65	56	46	10	7	4	75	63	50
H	66	60	53	10	8	5	76	88	58
I	106	97	88	1	1	1	107	98	89

Tabla 6. Demanda máxima (mejorada) del proyecto (kWh/m²año) según zona térmica y sistema de agrupamiento.

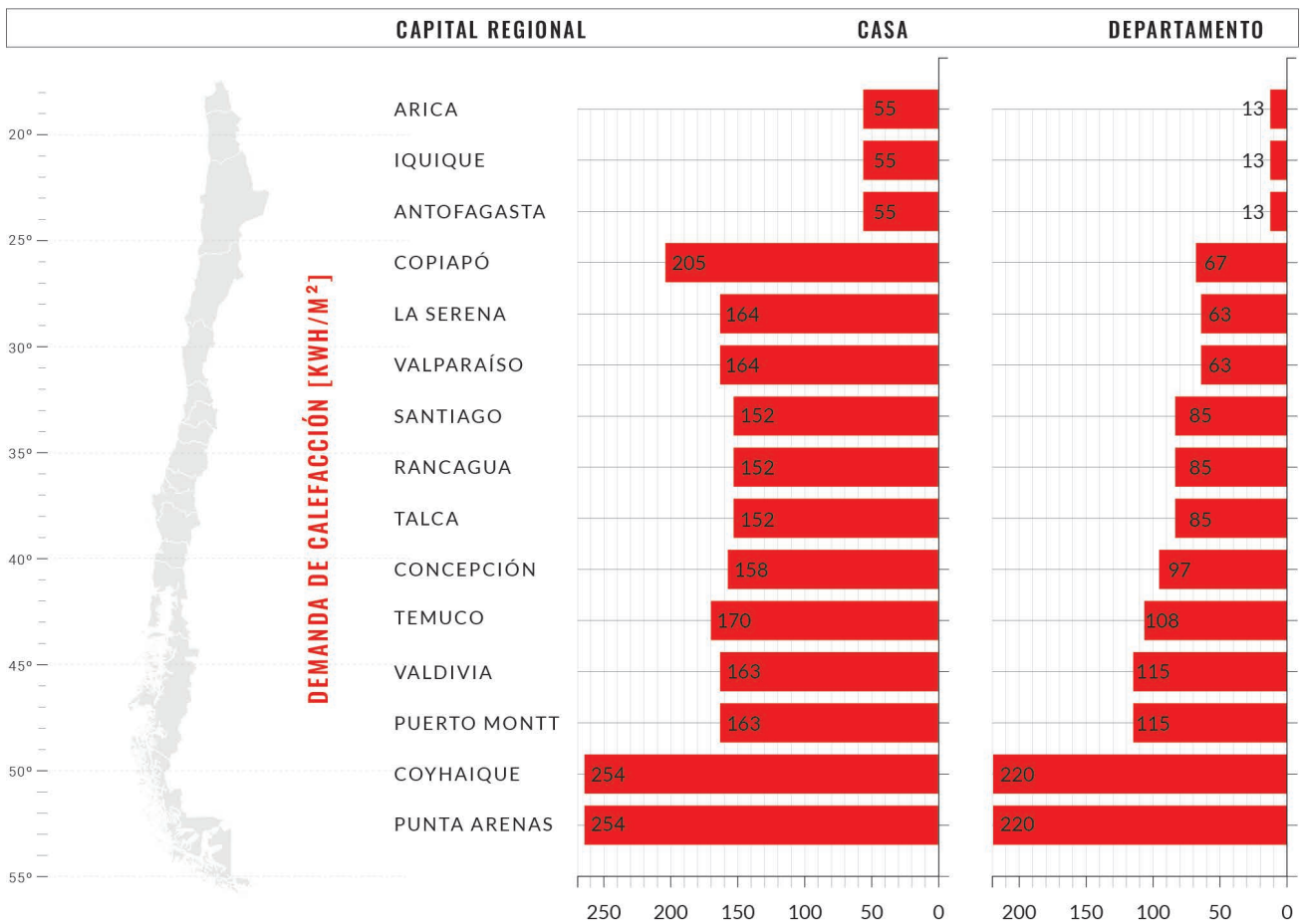
El objetivo de la certificación es acelerar el cambio hacia edificaciones más sustentables, que incorporen atributos cuantificables acerca de sustentabilidad, a partir de la verificación y valoración de beneficios que presenta la edificación en relación con los requerimientos que la conforman (MINVU, 2021). En caso de cumplir con las exigencias de la correspondiente certificación, esta obtiene los siguientes beneficios: que los desarrolladores inmobiliarios puedan transmitir objetivamente los atributos de sostenibilidad de la vivienda y que sus potenciales compradores puedan comparar y valorar el desempeño de esta, en los distintos criterios abordados (ibid.).

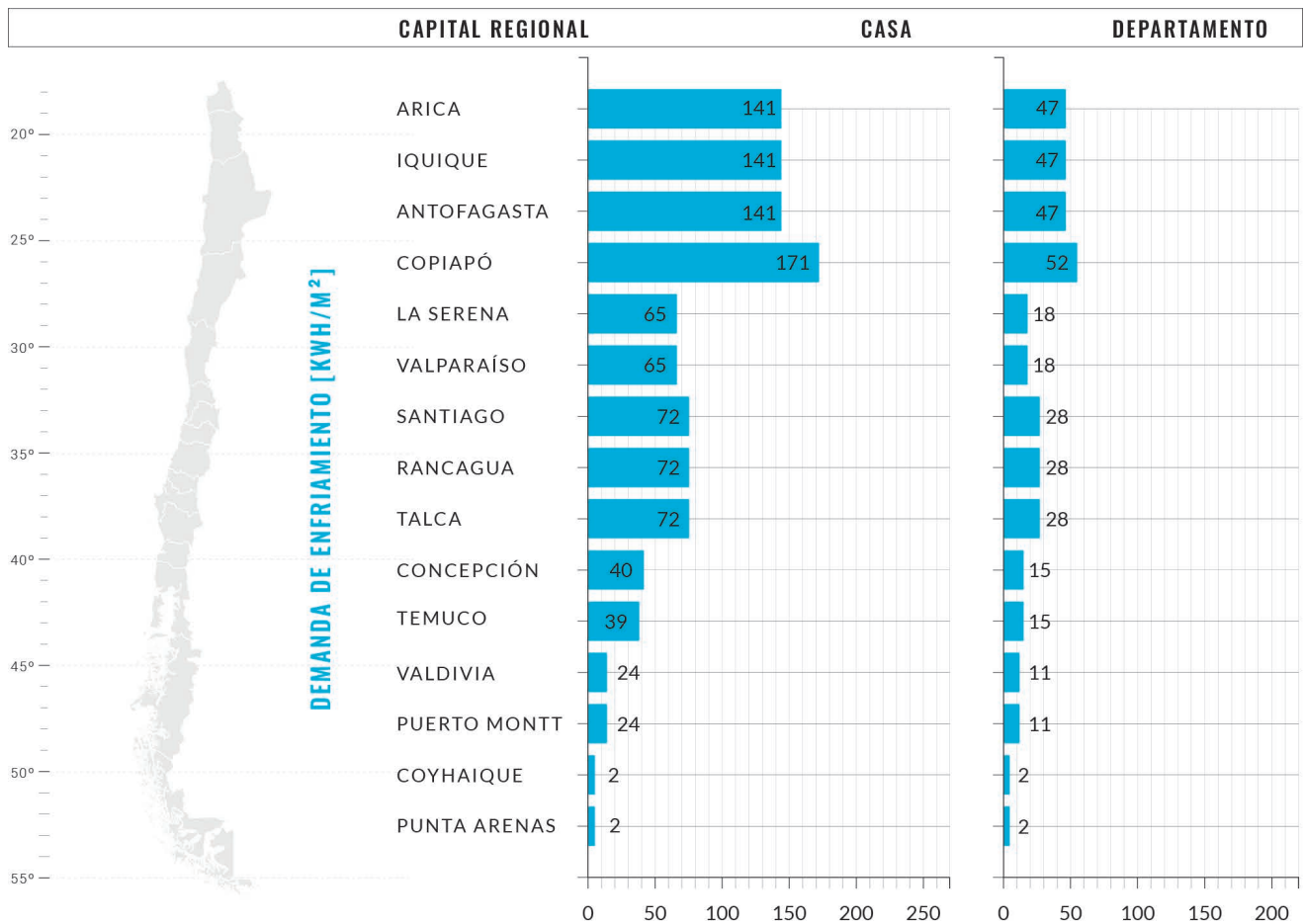
### CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA (CEV)

La Calificación Energética de Viviendas (CEV) corresponde una herramienta oficial creada en colaboración entre el MINVU y el Ministerio de Energía, cuyo objetivo principal es el de mejorar la calidad de vida de las familias proporcionando información objetiva y estandarizada (MINVU, 2021). La CEV permite obtener valores acerca del desempeño energético global de la vivienda a partir de la Planilla de Balance Térmico Dinámico (PBT<sup>30</sup>) que valora las viviendas de manera sistematizada, etiquetando las viviendas de acuerdo con sus niveles de demanda y consumo energético en climatización (ibid.). Se trata de un instrumento de cálculo de uso voluntario, utilizado en materias de energía para la CVS.

30. Herramientas de cálculo, en formato Excel, mediante las cuales se realiza un balance térmico cada 60 segundos, evaluando la temperatura al interior del recinto con base en los flujos de las distintas variables de entrada de la CEV. (MINVU, 2021)

Fig. 11 Demanda de calefacción promedio según tipología y zona térmica (kWh/m<sup>2</sup>año)





### 3.4. SÍNTESIS DE CAPÍTULO

Si bien en términos normativos la ley se ha centrado históricamente en la protección del patrimonio material, la adhesión de Chile a la Convención de la UNESCO sobre Patrimonio Inmaterial en 2008 y la promulgación de normativas específicas, como la NCh 3322:2013 para la restauración de construcciones patrimoniales con técnicas tradicionales, o la NTM002 en su aplicación para construcciones menores, demuestran un avance en términos normativos hacia el reconocimiento y la preservación del patrimonio cultural inmaterial, donde se incluyen las técnicas constructivas ancestrales en tierra cruda.

Sin embargo, persisten desafíos importantes, especialmente en áreas como la reglamentación sísmica y térmica. Aunque se han promulgado normativas específicas, como la RT del artículo 4.1.10 de la OGUC, estas aun no abordan completamente los desafíos actuales en cuanto a eficiencia energética y sostenibilidad en la edificación. En este aspecto, la propuesta de actualización normativa NTM11 representó un avance hacia mayores estándares de regulación para abordar el acondicionamiento de la vivienda, considerando la diversidad climática que posee el territorio chileno. Pese a ello, su implementación nunca fue concretada a largo plazo. La NCh1079:2019, por su parte, define mayores exigencias de acondicionamiento térmico obligatorias únicamente en zonas con PDA, con riesgos de salud mayores debido a las condiciones atmosféricas.

La implementación de políticas de eficiencia energética, como la Ley 21.305 y el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2025 marca un compromiso por parte del Estado hacia un desarrollo más sostenible en el sector de la construcción. Iniciativas como la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) o la Calificación Energética de Vivienda (CEV) desarrollada en el país pro-

Fig. 12 Demanda de enfriamiento promedio según tipología y zona térmica (kWh/m2año).

mueven prácticas constructivas más responsables y eficientes. Implementar iniciativas de calificación para viviendas, programas de reacondicionamiento térmico y subsidios para implementación de energías renovables en vivienda impulsa nuevos estándares que consideran el mejoramiento de la calidad térmica de la envolvente de las edificaciones residenciales en todo Chile, cuyo objetivo es reducir al menos un 30% el consumo de energía para calefacción de las viviendas del centro y sur del país. En este ámbito, considerando las propiedades térmicas que posee la tierra y la validación de la quincha liviana en cuanto a estándares sustentables, resulta pertinente su consideración en términos de eficiencia energética según los estándares de construcción para vivienda propuestos por la CVS y el CEV.





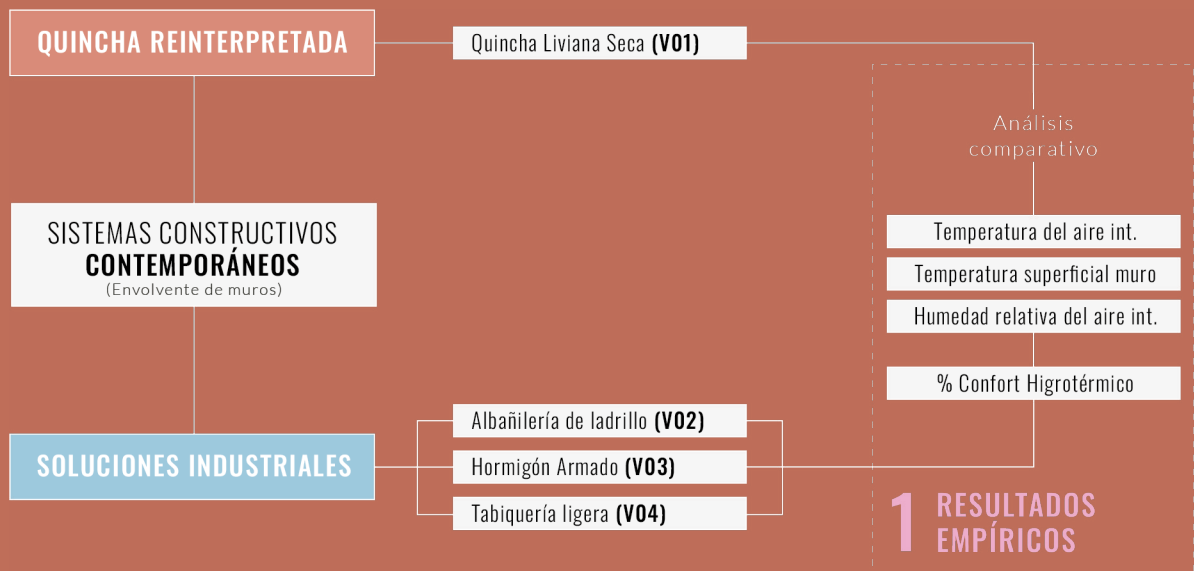


## CAPÍTULO 4: CASOS DE ESTUDIO IN SITU

A modo de obtener resultados más representativos sobre el desempeño higrotérmico que puede alcanzar una vivienda particular utilizando SCRП de Quincha Liviana para la envolvente de muros, se realizó un levantamiento de casos de estudio de viviendas particulares contemporáneas situadas en la comuna de Limache, ubicada en el valle interior de la región de Valparaíso. Los casos fueron seleccionados conforme al objetivo de comparar el comportamiento térmico de la solución de quincha para envolvente de muros con las soluciones actualmente más utilizadas dentro de la región, las cuales corresponden a hormigón armado, albañilerías en ladrillo cerámico y tabiques forrados por ambas caras según el registro del Censo de 2017 (Anexo 4). La selección se basó en viviendas contemporáneas construidas en un rango de tiempo no mayor a 5 años, cuyo estado de conservación se encontrara en buenas condiciones.

Fig. 1  
Caso de estudio de vivienda construida con el sistema constructivo de quincha liviana seca. ©Claudia Bustamante.

Fig. 2  
Diagrama método de análisis.



#### 4.1 CONTEXTO CLIMÁTICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

A partir de los resultados del capítulo anterior, se levantaron cuatro casos piloto de vivienda particular para el análisis comparativo según tipologías de envolvente térmica: quincha liviana seca (V01), albañilería confinada (V02), hormigón armado (V03) y tabiquería ligera (V04). Estas tres últimas soluciones corresponden a sistemas industrializados estándar ampliamente utilizados para la edificación de viviendas en Chile.

Los casos se sitúan en la comuna de Limache, perteneciente a la provincia del Marga Marga de la región de Valparaíso (32°59'00'S 71°17'00'O) según se indica en la (Figura 3).

Fig. 3  
Ubicación casos de estudio. Comuna de Limache, Región de Valparaíso.

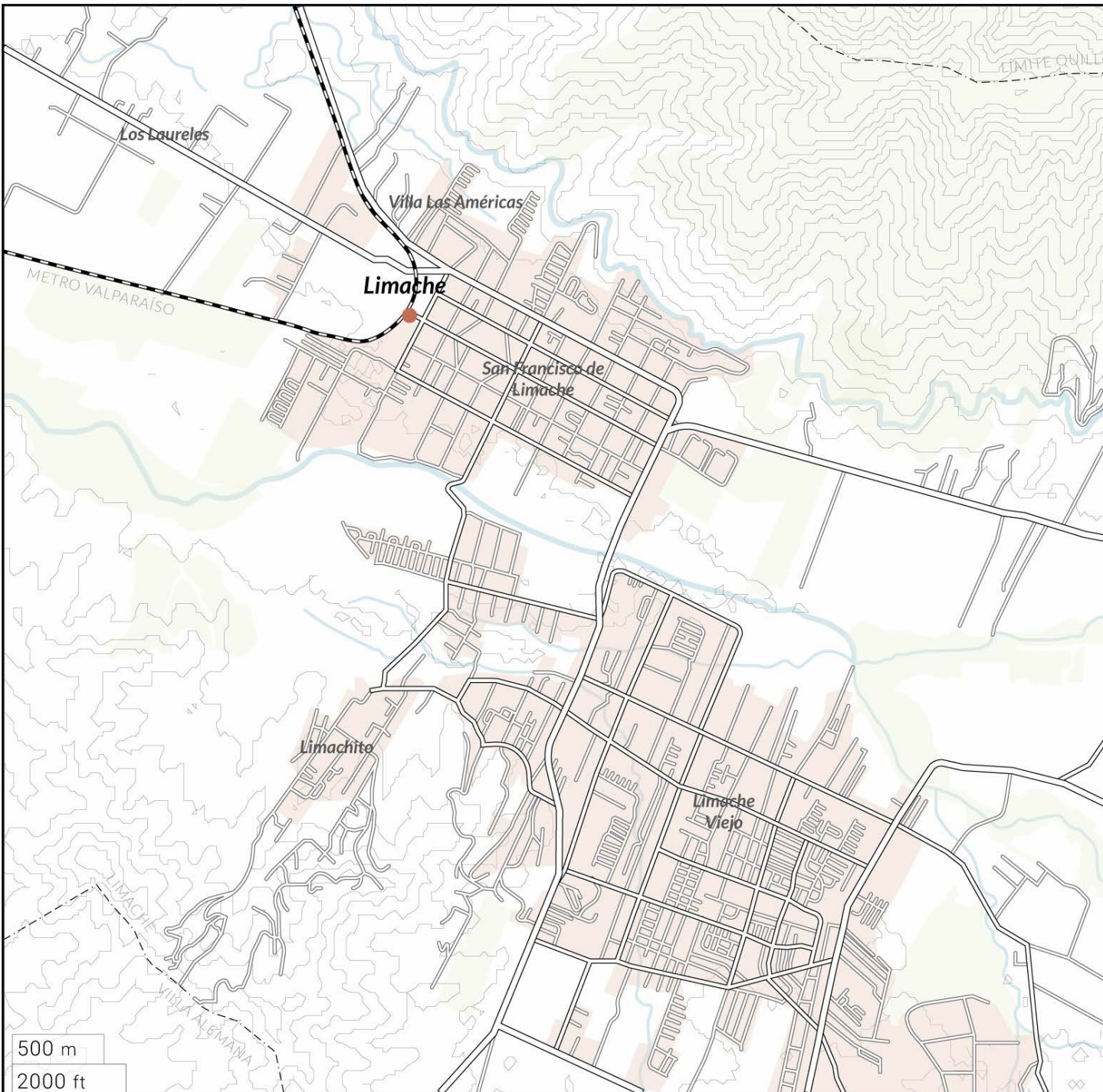
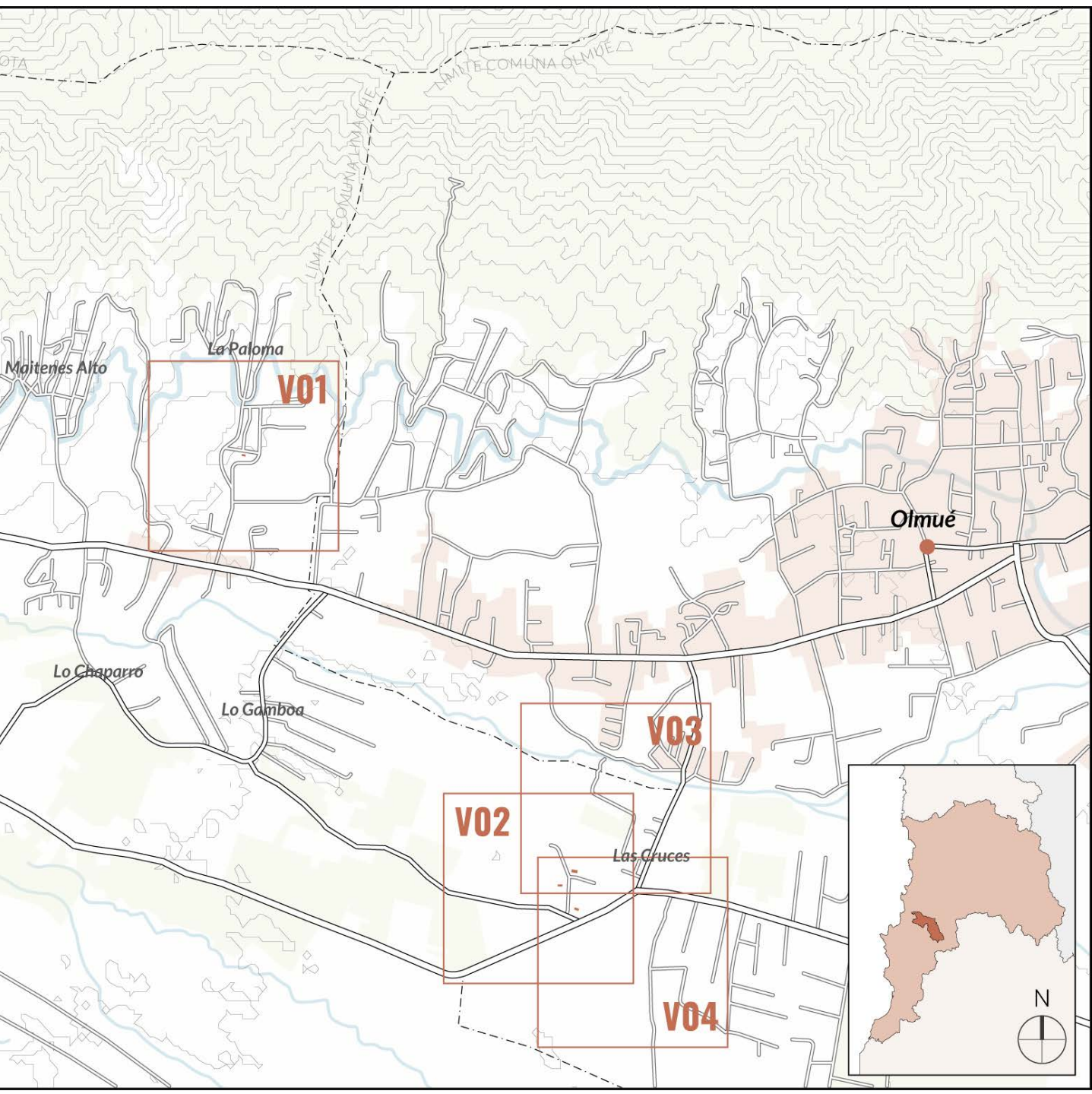
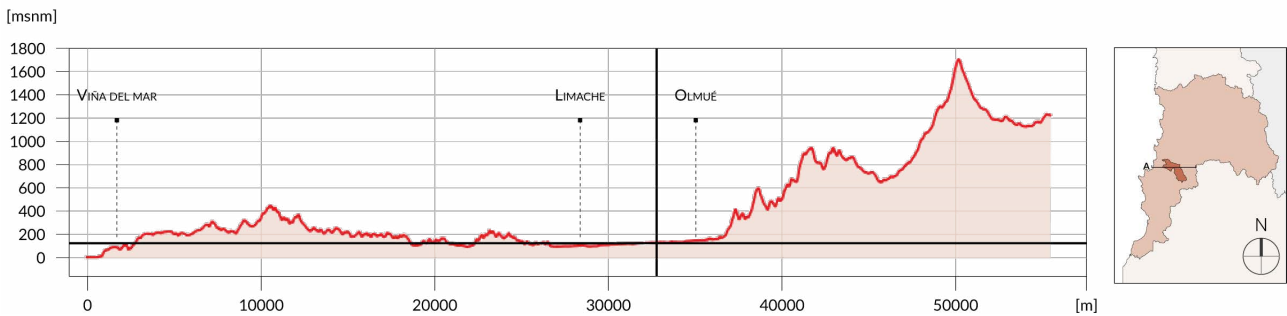
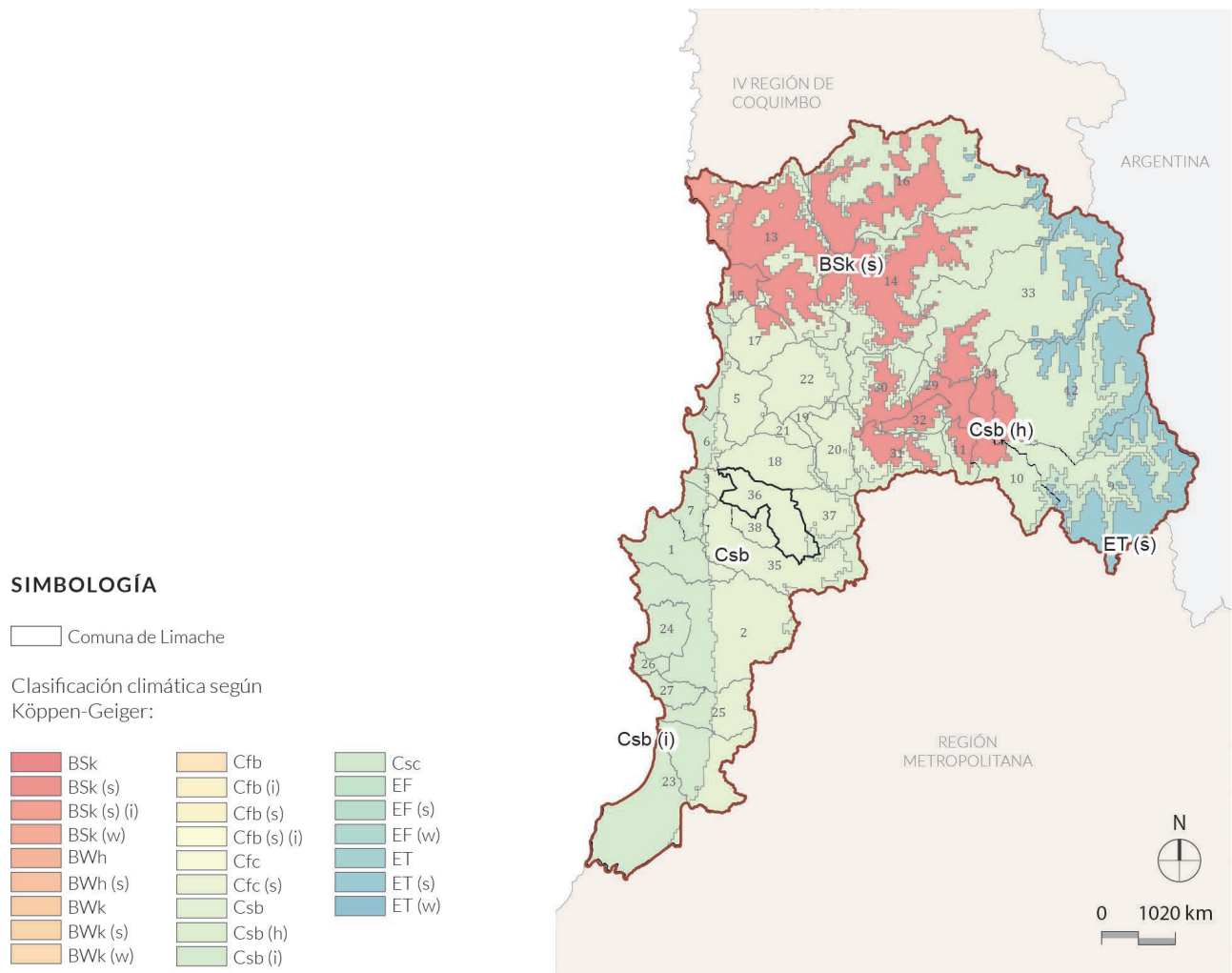


Fig. 4  
Corte geográfico representativo de los valles interiores de la región de Valparaíso.



La zona centro interior, comprendida entre la zona norte litoral y la precordillera de los Andes (por debajo de los 1.000 msnm), posee un clima del tipo mediterráneo de temperaturas templadas (NCh 1079, 2008), el cual se caracteriza por registrar una alta oscilación diaria de temperaturas, con diferencias que pueden llegar a superar los 17°C entre el día y la noche en la mayor parte de la zona. Posee un alto índice de radiación solar durante el verano y baja en invierno, con un promedio de radiación solar horizontal entre 1,4 kWh/m2día en el mes de julio y 6,9 kWh/m2día en el mes de enero. Presenta niveles de humedad relativa bajos durante el periodo de verano y con tendencia a aumentar durante el invierno, con vientos moderados predominantes SW (Bustamante, 2009).

Fig. 5  
Climas predominantes en la región de Valparaíso.



Según la base de datos sobre la clasificación climática de Köppen-Geiger publicado por el IDE, el clima predominante para la comuna de Limache según su ubicación geográfica es del tipo mediterráneo de lluvia invernal (Csb) (Figura 5). La sigla “Csb” se desprende desde la descripción de los grupos climáticos de Köppen según D’alençon (2008) como: la letra “C” refiere a un umbral térmico cuya “temperatura media del mes más frío es inferior a 18°C y superior a los -3°C”; un clima del tipo “templados, de lluvias estacionales y lluvias todo el año”; y una vegetación del tipo “bosque templado y matorral”. La letra “s” refiere a las condiciones de precipitación, siendo esta del tipo “verano seco”. Por último, la letra “b” refiere a la temperatura siendo este del tipo “verano templado”.

- (1) Valparaíso, (2) Casablanca
- (3) Concón, (4) Juan Fernández, (5) Puchuncaví, (6) Quintero, (7) Viña del Mar, (8) Isla de Pascua, (9) Los Andes, (10) Calle Larga, (11) Rinconada, (12) San Esteban, (13) La Ligua, (14) Cabildo, (15) Papudo, (16) Petorca, (17) Zapallar, (18) Quillota, (19) Calera, (20) Hijuelas, (21) La Cruz, (22) Nogales, (23) San Antonio, (24) Algarrobo, (25) Cartagena, (26) El Quisco, (27) El Tabo, (28) Santo Domingo, (29) San Felipe, (30) Catemu, (31) Llaillay, (32) Panquehue, (33) Putaendo, (34) Santa María, (35) Quilpué, (36) Limache, (37) Olmué, (38) Villa Alemana

Limache presenta un clima caracterizado por grandes oscilaciones térmicas durante el día y la noche y periodos de estación seca prolongada. Según datos climáticos y meteorológicos históricos simulados por el software Cli-

mate Consultant©, Limache registra un rango de temperatura media máxima entre los 17°C para el mes más frío (julio) y 28°C para el más cálido (enero) (Figura 6-7). Respecto a la temperatura media mínima, se registra un rango entre los 6°C para el mes más frío (julio) y 13°C para el mes más cálido (enero). Según la media histórica, se registran valores máximos de temperatura superiores a los 30°C para los días más calurosos y valores mínimos de temperatura cercanos o iguales a 0°C para los días más fríos.

Al ser un clima del tipo templado cálido de lluvias invernales, Limache registra un periodo histórico de precipitaciones superior a los 10 mm desde el mes de mayo a agosto, con un pico de precipitación total media durante el mes de junio de alrededor de los 43 mm de agua caída.

Fig. 6 Rango de temperatura anual para la comuna de Limache según datos epw.

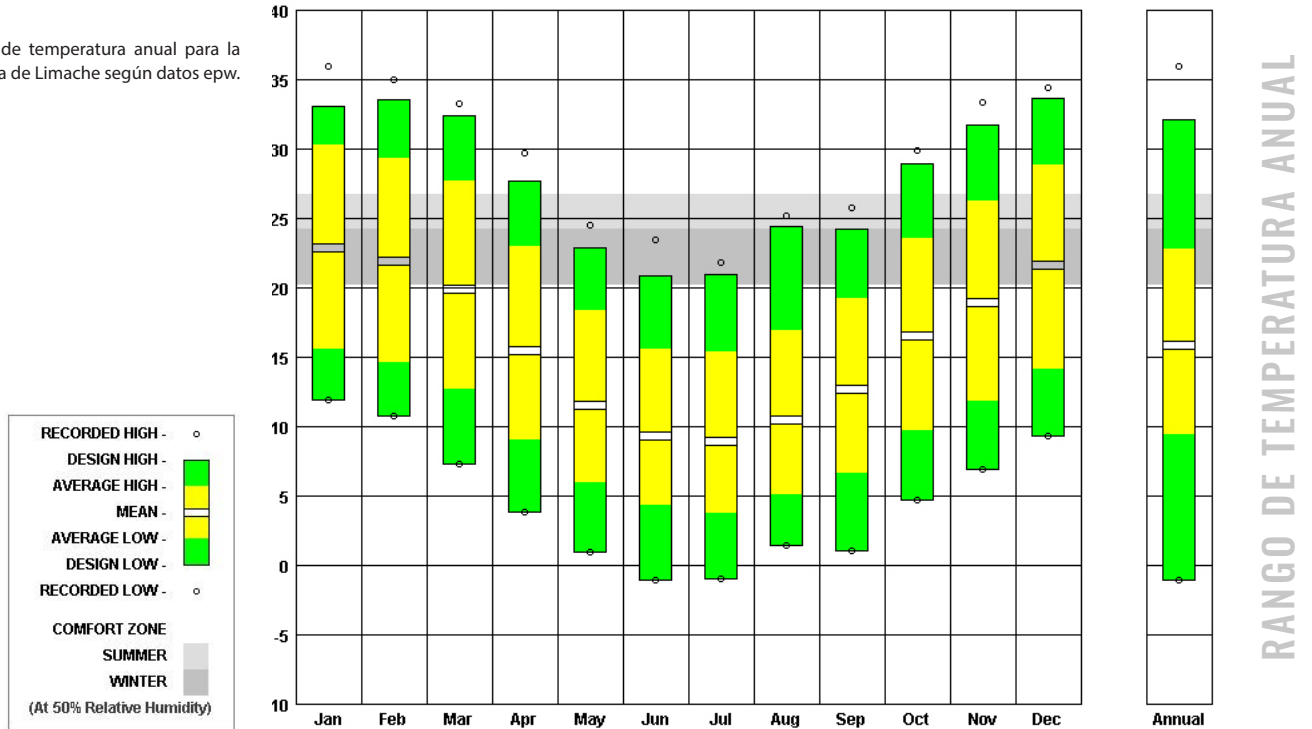
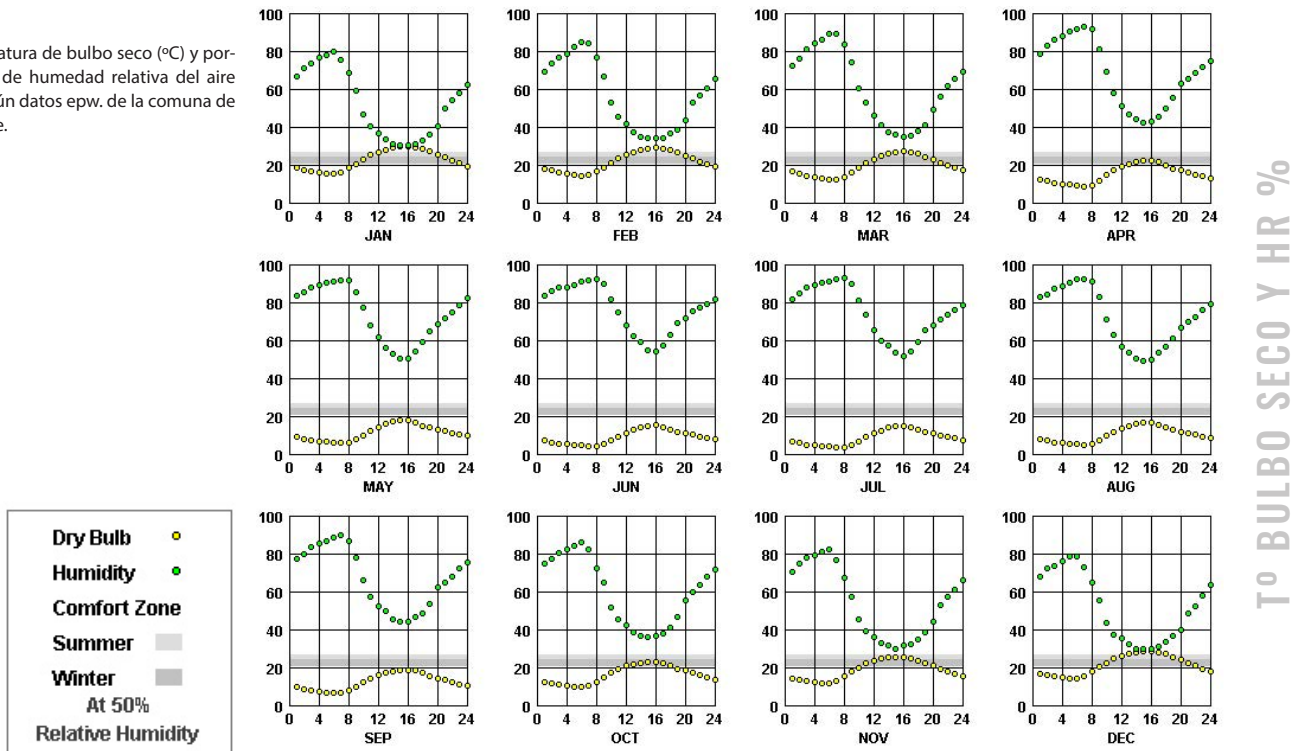


Fig. 7 Temperatura de bulbo seco (°C) y porcentaje de humedad relativa del aire (%) según datos epw. de la comuna de Limache.



En relación con la reglamentación térmica, la comuna de Limache corresponde a la zona 2 según el artículo 4.1.10 de la O.G.U.C; a la zona Centro Interior (CI) según la norma NCh1079.Of2008; y a la zona “D” según la propuesta de norma prNCh1079:2016 para los Estándares de Construcción Sustentables propuestos por el MINVU (Tabla 1-2-3).

ZONA TÉRMICA	Techumbre		Muros		Pisos ventilados	
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	Rt [m <sup>2</sup> °K/W]
Zona 1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
<b>Zona 2</b>	<b>0,60</b>	<b>1,67</b>	<b>3,0</b>	<b>0,33</b>	<b>0,87</b>	<b>1,15</b>
Zona 3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
Zona 4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
Zona 5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
Zona 6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
Zona 7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

**Tabla 1.** Exigencias de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros y pisos ventilados según Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C).

ZONA CLIMÁTICA	Techumbre	Muros	Pisos ventilados	Ventanas
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]
NL	0,80	2,00	3,00	5,80
ND	0,40	0,50	0,70	3,00
NVT	0,60	0,80	1,20	3,00
CL	0,60	0,80	1,20	3,00
<b>CI</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,80</b>	<b>3,00</b>
SL	0,40	0,60	0,80	3,00
SI	0,30	0,50	0,70	3,00
SE	0,25	0,40	0,50	2,40
An	0,25	0,30	0,42	2,40

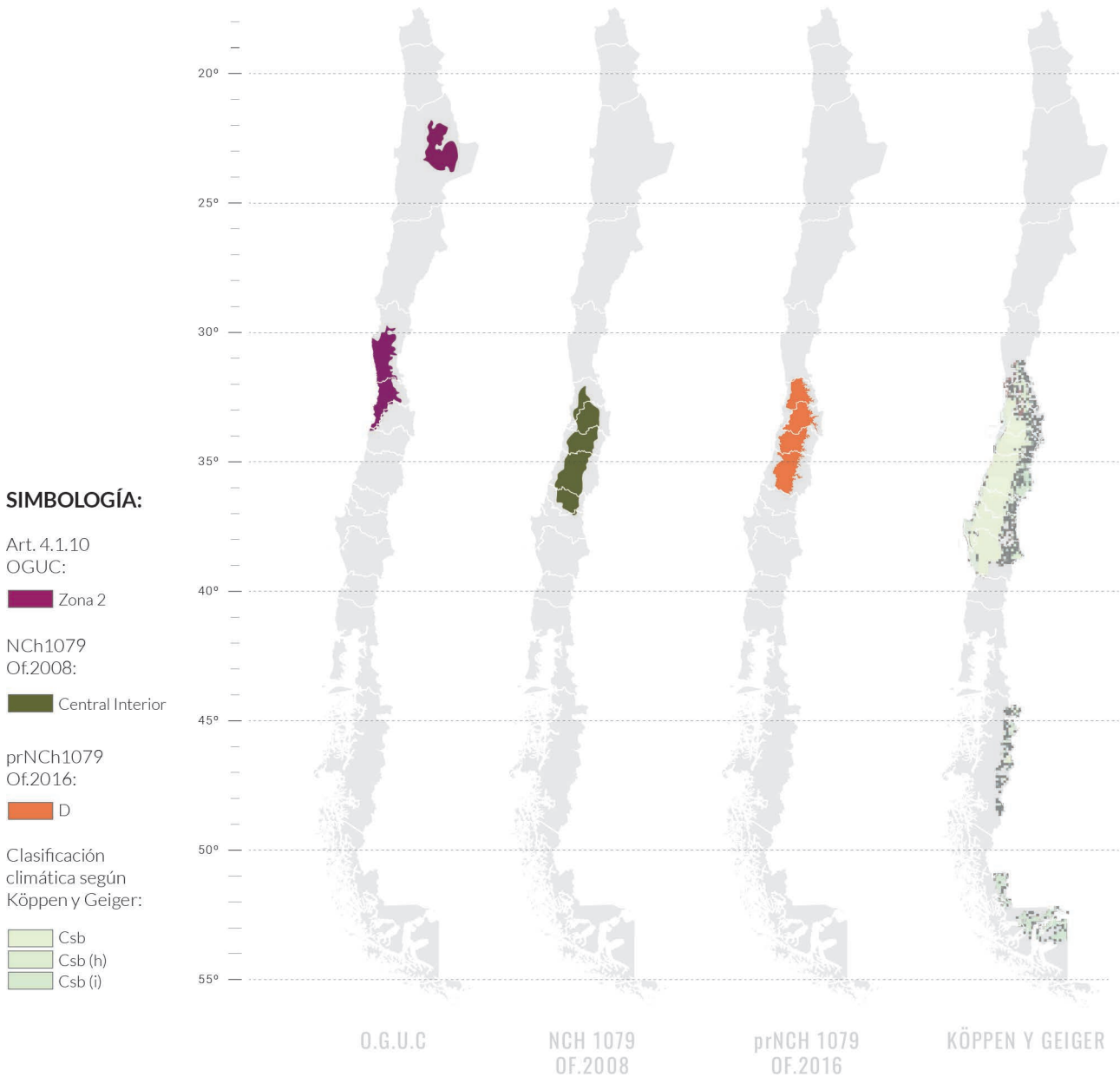
**Tabla 2.** Recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y elementos vidriados verticales según NCh-1079 Of.2008.

ZONA CLIMÁTICA	Techumbre	Muros	Pisos ventilados	Ventanas
	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]	U [W/m <sup>2</sup> °K]
A	0,84	2,10	3,60	-
B	0,47	0,80	0,70	1,7
C	0,47	0,80	0,87	1,7
<b>D</b>	<b>0,38</b>	<b>0,80</b>	<b>0,70</b>	<b>1,7</b>
E	0,33	0,60	0,60	1,7
F	0,28	0,45	0,50	1,7
G	0,28	0,40	0,39	1,7
H	0,25	0,30	0,32	1,7
I	0,25	0,35	0,32	1,7

**Tabla 3.** Recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y complejo de puerta según propuesta actualización regulación térmica Art.4.1.10 O.G.U.C.

A partir de la comparación entre las tres normativas que establecen y/o promueven requisitos mínimos para el acondicionamiento térmico en la edificación de viviendas en Chile, se puede identificar que los valores U mínimos establecidos dentro de la propuesta de norma prNCh1079:2016 para las soluciones de muro, son más exigentes que los que se establecen dentro del artículo 4.1.10 de la O.G.U.C, aumentando el requerimiento de un valor U de  $3,0 \text{ W/m}^2\text{°K}$  para la zona térmica 2, a un valor  $0,80 \text{ W/m}^2\text{°K}$  para la zona "D", correspondiente a la zona Centro Interior.

**Fig. 8**  
Comparativa zonificación térmica para la comuna de Limache según normativas y clasificación climática.



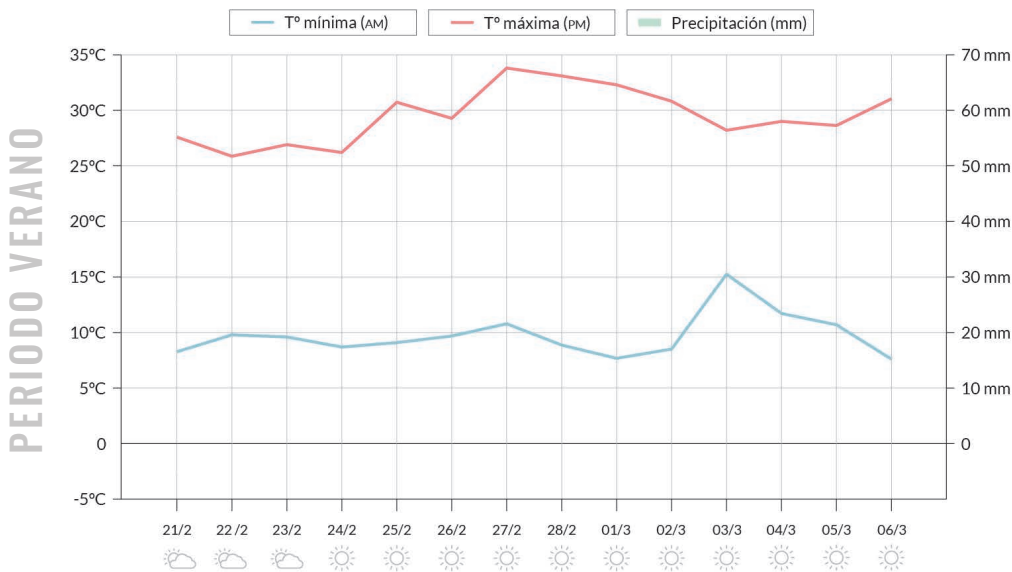
## 4.2. CAMPAÑA DE MEDICIONES

Para el desarrollo de esta etapa de la investigación, se lleva a cabo una campaña de medición de datos de temperatura del aire ( $T^a$ ) y humedad relativa (%HR) al interior de las viviendas durante el periodo de verano e invierno del año 2022, con una duración de 2 semanas para cada caso. El levantamiento de datos se realizó a partir de dispositivos Data Logger HOB0® U12-012 (Anexo 2), dispuestos al interior de recintos específicos de medición, en este caso habitaciones dormitorio, con el fin de evaluar el estado actual de su desempeño higrotérmico. También se ubicó un dispositivo Data Logger en el exterior de una de las viviendas para obtener referencias directas de la temperatura y humedad relativa del clima exterior durante el periodo de mediciones<sup>31</sup>.

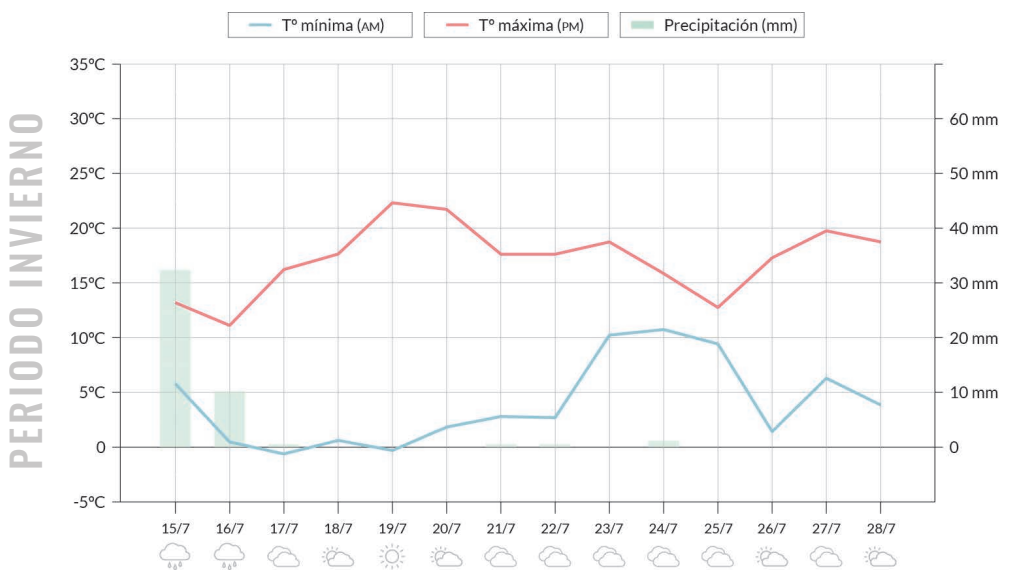
31. Cabe señalar que durante el periodo de verano fue necesario respaldar el registro de temperatura y humedad exterior a partir de la descarga de datos recopilados desde la estación meteorológica de Limache por medio de la plataforma web de METEOCHILE, dado que el Data Logger exterior falló. Por consecuencia, se obtuvieron datos por hora para cada día de medición, los que fueron contrastados con el registro obtenido desde el resto de los dispositivos.

### CONDICIONES EXTERIORES DE MEDICIÓN

Se registraron las condiciones de T° y niveles de nubosidad del exterior según los datos del pronóstico del tiempo meteorológico de la Dirección Meteorológica de Chile (METEOCHILE), para obtener una aproximación de las variables influyentes en el desempeño de la envolvente de las viviendas de estudio durante los periodos de análisis. Las Figuras 9 y 10 demuestran las temperaturas máximas (pm) y mínimas (am) registradas por la Estación Meteorológica de Limache por día durante el periodo de medición de verano e invierno, junto con los niveles alcanzados de precipitación acumulada durante el día según un registro de cada seis horas. Además, se añade de manera ilustrativa cuales fueron las condiciones de nubosidad para el día de estudio según los pronósticos del tiempo meteorológico consultados, estando mayormente despejado para los días del periodo de verano, y mayormente cielos cubiertos o con nubosidad parcial para los días del periodo de invierno.



**Fig. 9** Condiciones meteorológicas registradas para la comuna de Limache durante el periodo de estudio de verano.



**Fig. 10** Condiciones meteorológicas registradas para la comuna de Limache durante el periodo de estudio de invierno.

El rango de confort térmico para las semanas de estudio durante el periodo de verano se encuentra entre los 20°C y los 27°C, tomando como referencia una temperatura media mensual de 19,9°C para el mes de enero. Para el periodo de invierno, el rango de confort térmico se encuentra entre los 17°C y los 24°C, tomando como referencia una temperatura media mensual entre los meses de julio y agosto de 9,8°C. Respecto a la humedad relativa alcanzada al interior de los recintos, se considera como rango aceptable entre un 40 y 60%.

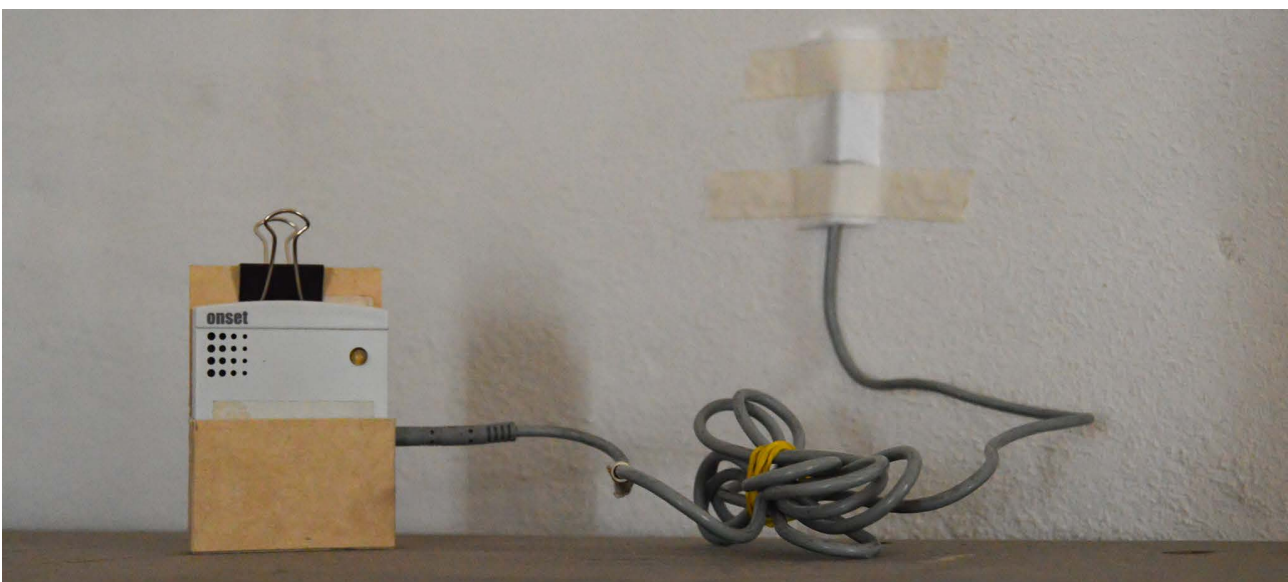
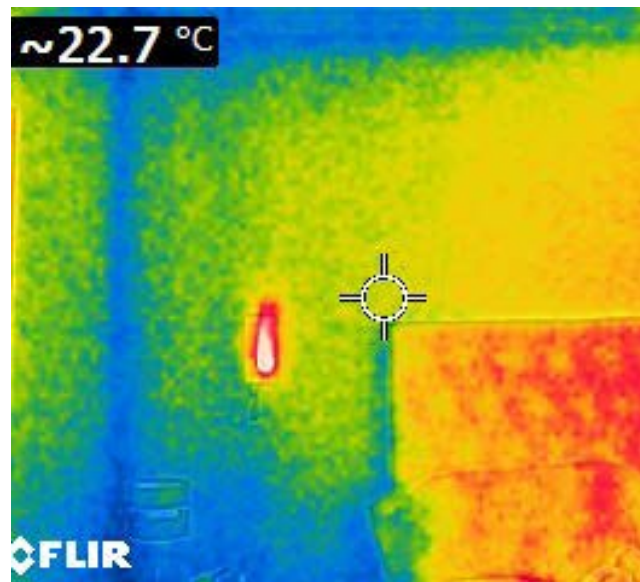
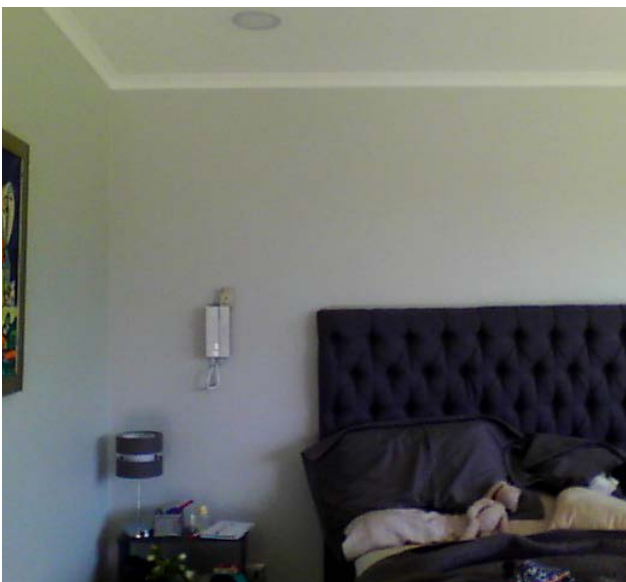
Las gráficas entregan un rango de temperatura entre los 34°C y 7°C para el periodo de estudio de verano, y un rango de temperatura entre los 25°C y -1°C para el periodo de estudio de invierno, obteniendo máximas y mínimas críticas para el desarrollo del análisis. Durante el periodo de invierno se registraron lluvias débiles los días 15 y 16 de julio, no superando en ningún caso los 30 mm de agua caída acumulada durante el día.

Las mediciones durante el periodo de verano fueron iniciadas el lunes 21 de febrero a las 00:00 hrs y se mantuvieron hasta el lunes 7 de marzo a las 00:00 hrs. Se tomó un registro periódico cada 15 minutos para obtener resultados más representativos acerca de las variaciones en las condiciones higrotérmicas del recinto. El tiempo total de medición fue de 336 horas continuas. En el caso del periodo de invierno, las mediciones fueron iniciadas el viernes 15 de julio a las 00:00 hrs y se mantuvieron hasta el viernes 29 de julio a las 00:00 hrs. Se tomó un registro periódico cada 15 minutos para obtener resultados más representativos acerca de las variaciones en las condiciones higrotérmicas del recinto. Para este caso también se utilizaron sensores del tipo termocupla, añadidos a los dispositivos Data Logger HOB0® U12-012 para el registro de las temperaturas superficiales de los muros de estudio. El tiempo total de medición fue de 336 horas continuas.

Como herramientas de registro se realizaron fichas para el levantamiento de información en terreno, que fueron completadas a partir de la observación, conversaciones con los propietarios y a partir de documentos e información técnica entregada por parte de los arquitectos a cargo de la construcción de las viviendas. Con esta información y en conjunto con un registro fotográfico se realizó el levantamiento planimétrico y volumétrico de los casos de estudio. Por último, se utilizó una cámara termográfica FLIR E5® (Anexo 2) para observar la temperatura superficial aparente de los muros de análisis.

Fig. 11-12  
Imágenes termográficas obtenidas.

Fig. 13  
Instalación de sensores HOB0® U12-012 con sensor termocupla adherido al muro de medición.



### 4.3 COMPORTAMIENTO HIGROTÉRMICO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

#### 4.3.1 VIVIENDA QUINCHA LIVIANA SECA V01

La vivienda V01 utiliza quincha liviana seca (madera-metal) como solución constructiva para muros perimetrales. Se encuentra orientada al norponiente y consta de dos niveles de altura: en el primer nivel se ubica el cuarto de estar, cocina, comedor, baño y habitaciones de visita; mientras que en el segundo se ubican los dormitorios principales y un baño (Figura 14). La vivienda es ocupada frecuentemente por dos adultos y un adolescente durante todo el año.

La estructura principal de la vivienda se compone de un entramado de madera de pino para pisos, muros, cielos y techos. Las fundaciones son del tipo pilote con madera impregnada protegida con carbolíneo, por lo que el primer nivel de la vivienda se considera del tipo piso ventilado. Los muros portantes corresponden a un entramado de madera del tipo tabique de escuadría 2x6", aislados con paja de trigo seca (de aproximadamente 60 kg/m<sup>3</sup> de densidad) y revestidos con revoques exteriores e interiores de tierra alivianada según distintas proporciones.

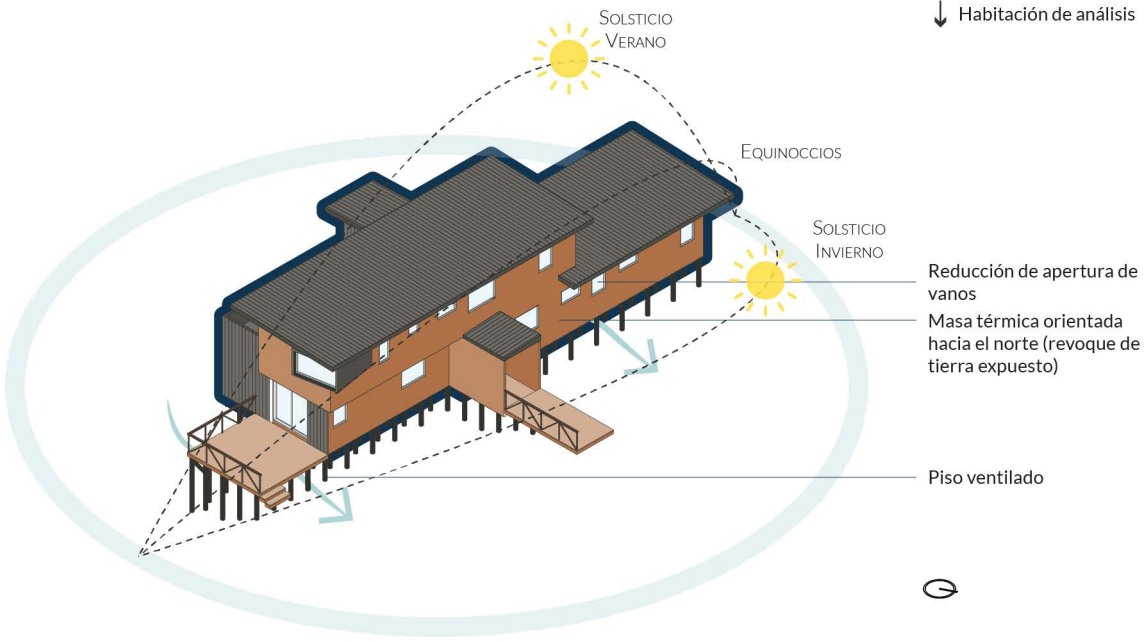
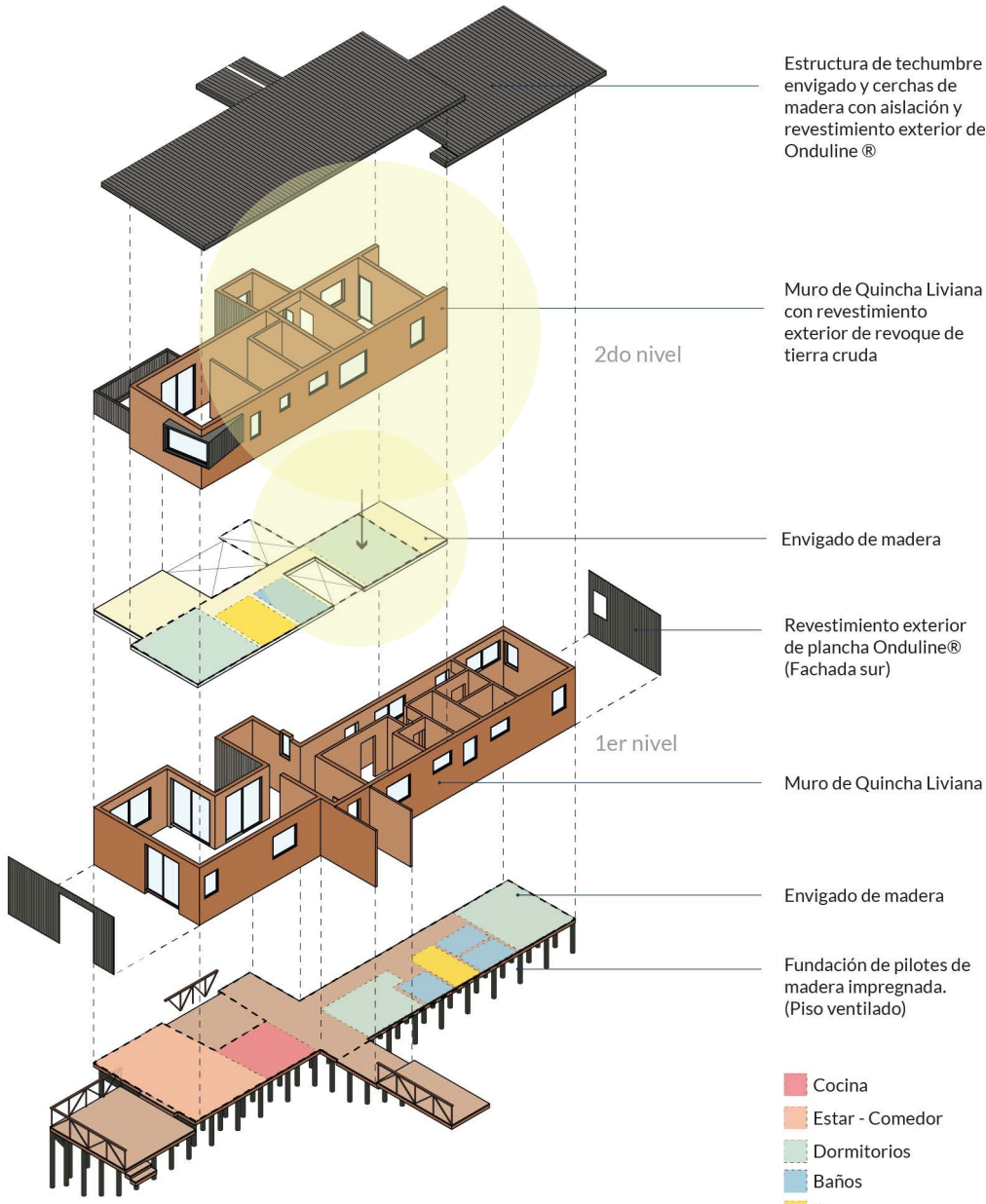
Los revestimientos exteriores o interiores varían según la orientación y la ubicación que posee el muro en relación con la distribución programática de la vivienda. Para el caso de los revoques gruesos que componen el muro de quincha, estos están compuestos de tierra arcillosa y arena gruesa para asegurar la adherencia al muro en una proporción 1:1, con un agregado de al menos un 15% del volumen de paja de trigo picada de 4 a 5 cm. Además, en este caso la mezcla cuenta con añadidos de bosta de caballo y cal espuma, esta última para ayudar a mejorar la cohesión y las propiedades insecticidas del material. Los revoques finos se constituyen de tierra arcillosa y arena de río con granos no mayores a 0,2 cm en una proporción 1:2, y de al menos un 15% de paja tamizada. El revoque fino ayuda a estabilizar las grietas que se producen naturalmente por la retracción de la arcilla.

Para otros revestimientos exteriores se utilizaron placas ONDULINE® de 3 mm compuesta por una armadura en base a fibras minerales y vegetales, y resinas termoestables saturadas en asfalto a alta temperatura de color negro. Mientras que para algunos revestimientos interiores se utilizaron placas de yeso cartón VOLCANITA®.

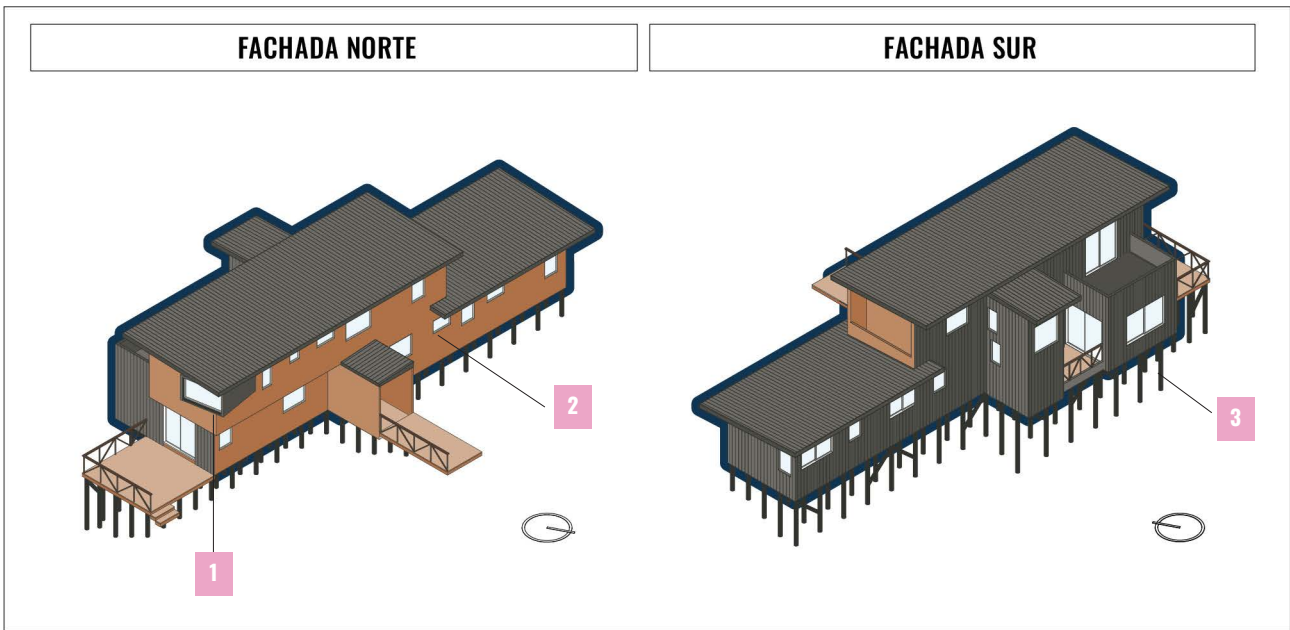
Las principales estrategias de diseño fueron revestir los muros perimetrales de orientación norte con revoques de tierra arcillosa al interior y exterior de los muros, optimizando la inercia térmica de la envolvente; mientras que para la orientación sur los muros fueron revestidos al exterior con planchas del tipo monocapa (ONDULINE®), entendiéndose que es la fachada con menor incidencia solar. Con relación a las soluciones para pisos, cielos y techo, fue utilizado aislante de lana mineral y revestimientos. La vivienda no posee grandes aleros en la fachada norponiente.

Fig. 14  
Isométrica detalle materialidad vivienda V01.

Fig. 15-16 (siguiente página)  
Fichas de registro vivienda V01.



<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>PLANTA DE ARQUITECTURA 2DO NIVEL</b></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; min-height: 200px;"> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div>	
<b>EDIFICACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> Obra nueva	<b>ORIENTACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> NW	<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN:</b> <input type="checkbox"/> 2022
<b>CLASIFICACIÓN EDIFICACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> E	<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA:</b> <input type="checkbox"/> ~166 m <sup>2</sup>	<b>UBICACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> Limache, V Región
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>IDENTIFICACIÓN</b></div> <p><b>DESTINO / USO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Residencial  <input type="checkbox"/> Comercial  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Propietario  <input type="checkbox"/> Arrendatario  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Permanente  <input type="checkbox"/> Frecuente  <input type="checkbox"/> Poco frecuente  <input type="checkbox"/> Muy poco frecuente</p> <p><b>Nº DE OCUPANTES:</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1  <input type="checkbox"/> 2  <input checked="" type="checkbox"/> 3  <input type="checkbox"/> 4  <input type="checkbox"/> Más de 4</p> <p><b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aislada  <input type="checkbox"/> Pareada  <input type="checkbox"/> Continua</p> <p><b>ALTURA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1 Nivel  <input checked="" type="checkbox"/> 2 Niveles  <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> <p><b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Madera  <input type="checkbox"/> Hormigón armado  <input type="checkbox"/> Albañilería  <input type="checkbox"/> Acero</p> <p><b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería de madera  <input type="checkbox"/> Perfilería de aluminio  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input checked="" type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>FUNDACIONES:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Hormigón armado  <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes de madera</p> <p><b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input checked="" type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Monolítico  <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>INSTALACIONES</b></div> <p><b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias  <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas  <input checked="" type="checkbox"/> Gas</p> <p><b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Calefacción  <input type="checkbox"/> Refrigeración  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Leña  <input type="checkbox"/> Gas  <input checked="" type="checkbox"/> Eléctrica  <input type="checkbox"/> Parafina  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Aire acondicionado  <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico  <input checked="" type="checkbox"/> Ninguna  <input type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>USO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sí  <input type="checkbox"/> No</p> <p><b>TIPO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Lana mineral  <input type="checkbox"/> Lana de vidrio  <input type="checkbox"/> Poliestireno expandido  <input checked="" type="checkbox"/> Fibras vegetales  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p>



**IMÁGENES DE REFERENCIA**



Fachada oriente  
Fuente: Elaboración propia



Fachada norte  
Fuente: Elaboración propia

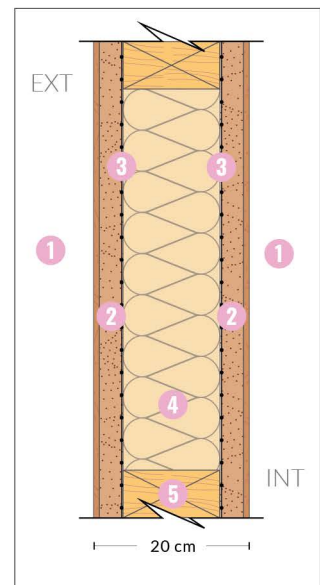


Fundaciones  
Fuente: Elaboración propia

**PROPIEDADES MATERIALES MURO DE ANÁLISIS**

N°	Material	Espesor (e) [mm]	Densidad [kg/m³]	Conductividad Térmica [W/m²K]	Calor específico (c) [J/kgK]
1	Revoque fino 3 mm	3	1883	0,7	840
2	Revoque grueso 25 mm	25	1883	0,7	840
3	Malla electrosoldada ACMA-90	4,2	7850	58	500
4	Paja de trigo seca 60 kg/m³	138	60	0,07	1800
5	Tabique de madera de pino IPV 2x6"	138	410	0,104	2805

**DETALLE**



$U = 0,49 \text{ W/m}^2\text{°K}$

$\gamma = 3,06 \text{ W/m}^2\text{°K}$

$T_r = \approx 4 \text{ hrs}$

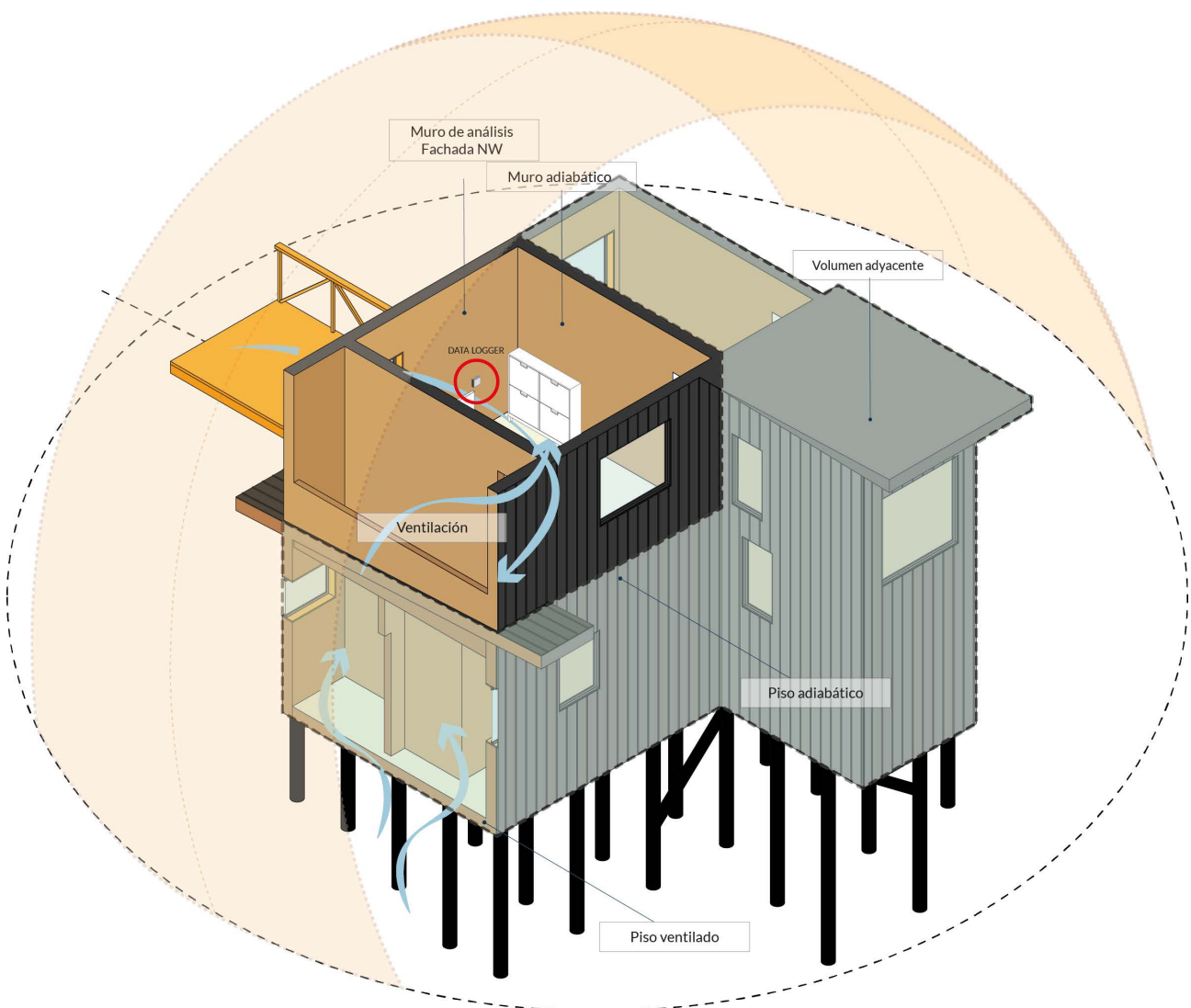
## RECINTO DE MEDICIÓN

La habitación donde se llevó a cabo el levantamiento de datos corresponde a uno de los dormitorios de la vivienda, ubicado en el segundo nivel (Figura 15-16). La zona térmica analizada posee 12,16 m<sup>2</sup>, con un volumen de aire de aproximadamente 29,8 m<sup>3</sup>. Consta de tres paramentos verticales que dan hacia el exterior y uno adiabático que da hacia el interior de la vivienda (Figura 17).

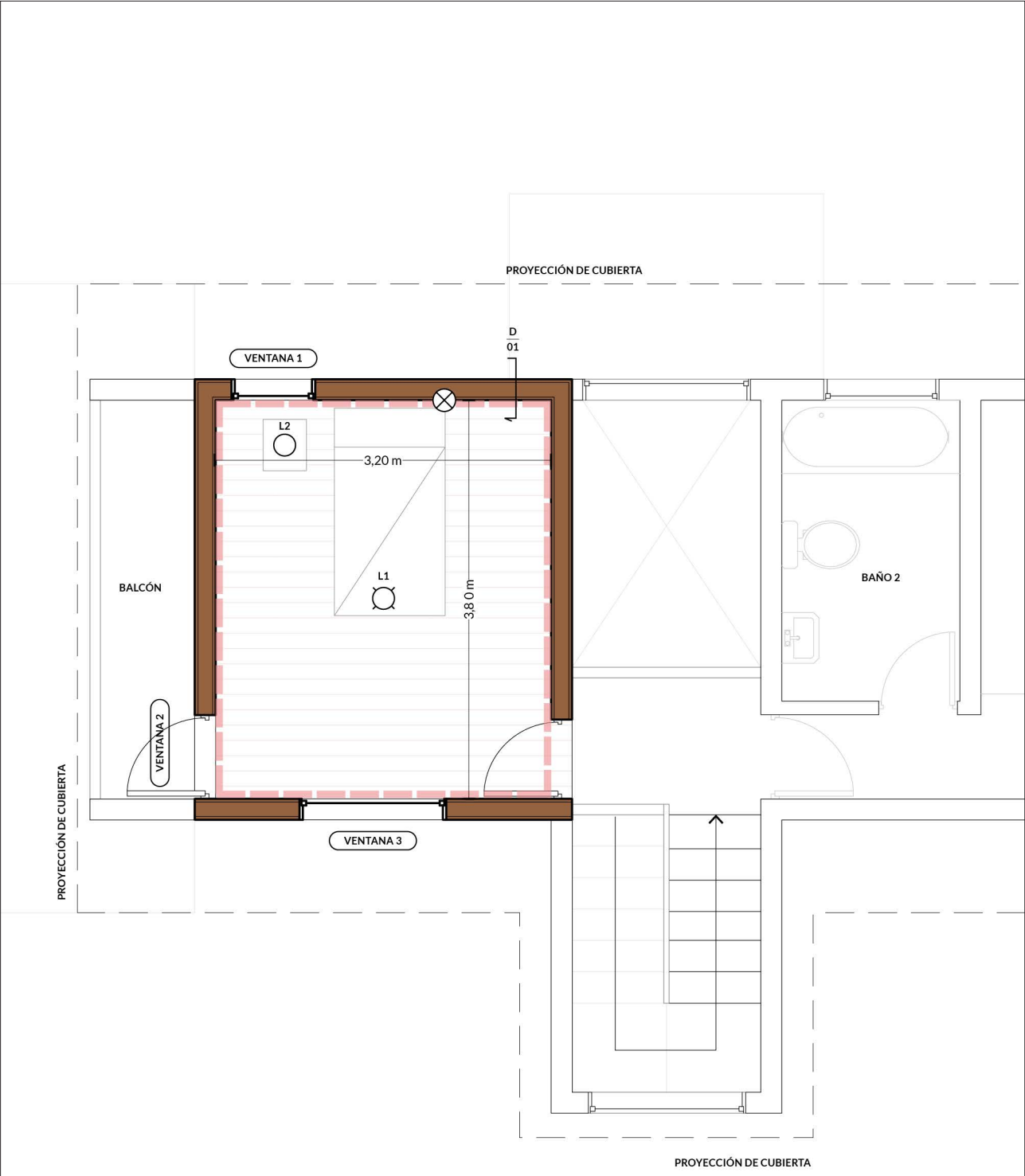
Posee tres superficies vidriadas: una de 120 x 80 cm ubicada en la fachada norponiente, otra de 114 x 140 cm ubicada en la fachada sur y una puerta vidriada de 200 x 80 cm en la fachada poniente. La ubicación de las ventanas no permite que se pueda producir ventilación cruzada al interior del recinto. La disposición y dimensión de los vanos permite la incidencia de radiación solar indirecta durante gran parte de la tarde.

Las ventanas son de perfilera de PVC, con burletes de goma, sellos y felpas según corresponde, que apoyan su correcto cierre hermético y una mayor aislación térmica y acústica. Las ventanas con marco de PVC registran menores niveles de infiltración de aire promedio respecto de otras materialidades considerando fabricantes y forma de apertura. La forma de apertura de las ventanas en este caso son del tipo proyectante (V1), fija (V3) y puerta vidriada abatible (V2), lo cual incide directamente en el grado de hermeticidad del recinto.





Fig. 17  
Diagrama plano recinto de medición V01. Planta arquitectura segundo nivel.



# PLANIMETRÍA HABITACIÓN DE ANÁLISIS



**SIMBOLOGÍA:**

-  Zona térmica
-  Luminaria colgante
-  Luminaria de pie
-  Dispositivo Data Logger

**Fig. 18**  
Planimetría habitación de análisis caso V01.

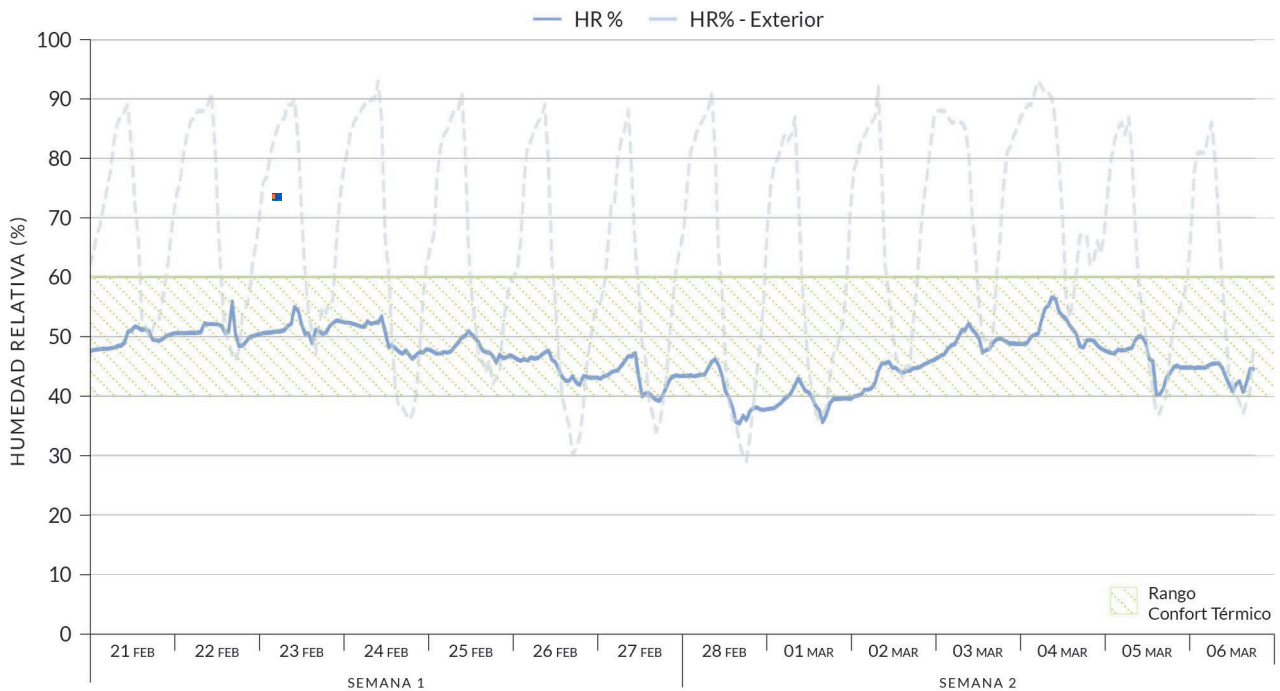
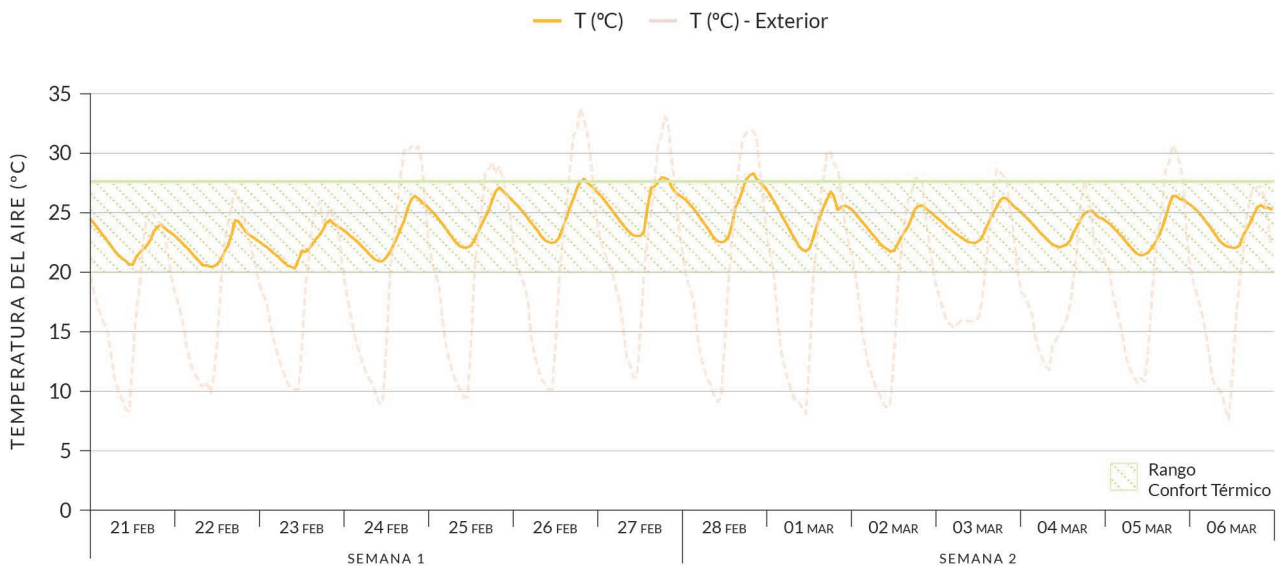
El dispositivo de medición fue colocado en el muro con orientación norponiente, a 130 cm de altura desde el suelo. El muro en cuestión posee revestimientos con revoques de tierra al exterior e interior de la habitación. Los muros presentan una buena terminación y no registran patologías inherentes al tipo de materialidad que los componen.

La habitación donde se llevó a cabo el registro se mantuvo siendo utilizada por un habitante durante el periodo de análisis de verano e invierno. Según la ficha de registro y la información entregada por parte de los habitantes, la vivienda considera sistemas de calefacción activa durante el periodo de invierno del tipo eléctrico únicamente en la habitación cuarto de estar-comedor, pero es utilizada muy ocasionalmente. Particularmente, la habitación de análisis del segundo nivel no considera artefactos de calefacción ni refrigeración al interior para ninguno de los periodos.

**Fig. 19**  
Registro de temperatura del aire periodo de verano.

**Fig. 20**  
Registro de humedad relativa periodo de verano.

**PERIODO DE VERANO**



La habitación registra temperaturas interiores que oscilan entre los 20,3°C y los 28,3°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose dentro del rango de confort térmico un 95% del tiempo (Figura 19). Los picos de temperatura interior son coincidentes con los días en que se registraron mayores alzas de temperatura exterior (cercas a los 35°C), principalmente los días 26, 27 y 28 de febrero. Como se puede ver en el gráfico, la envolvente amortigua en gran medida las altas temperaturas del ambiente durante el día manteniendo la temperatura interior dentro del rango de confort la mayor parte del tiempo.

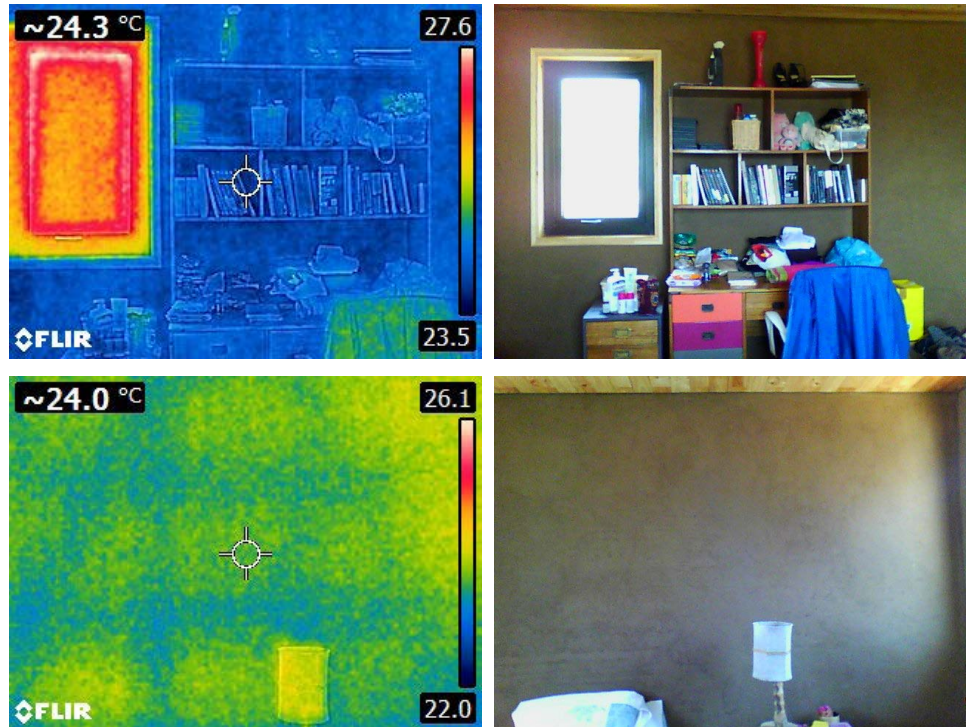
Durante el día más cálido, la habitación alcanza una diferencia importante de alrededor de 8°C en el peak más alto de temperatura, con un retraso de tiempo entre máximas y mínimas de aproximadamente 2 horas. Respecto a las temperaturas mínimas, la envolvente amortigua en gran medida las bajas de temperatura registradas al exterior, disminuyendo considerablemente su oscilación térmica al interior de la habitación.

Respecto a los niveles de humedad en el ambiente (Figura 20), la habitación se mantuvo dentro del rango aceptable de humedad relativa aproximadamente un 90% del tiempo de análisis, llegando a mínimos de sólo un 35% de HR. Se observa que la habitación mantiene niveles constantes de humedad en comparación con las condiciones exteriores, con pequeños picos de humedad entre las 12 y las 14 hrs.

Como se demuestra en la gráfica, la envolvente de la habitación actúa como un amortiguador de los niveles de humedad. Este fenómeno se debe a la propiedad higroscópica que posee la arcilla, ya que, según el gráfico, cuando la humedad es más alta en las noches, la arcilla reacciona absorbiendo la humedad del interior del espacio, evitando que se alcancen niveles incómodos. Mientras que, durante los periodos más secos, la arcilla libera gradualmente la humedad absorbida, manteniendo así un nivel más confortable de humedad interior respecto a las condiciones exteriores.

Fig. 21-24  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.

Según muestran las imágenes termográficas capturadas (figura 12), no se presentan mayores indicios de puentes térmicos en los muros de quincha. Se registra uniformidad en las temperaturas superficiales de los muros, que rodean los 24°C para el periodo de verano.



**PERIODO DE INVIERNO**

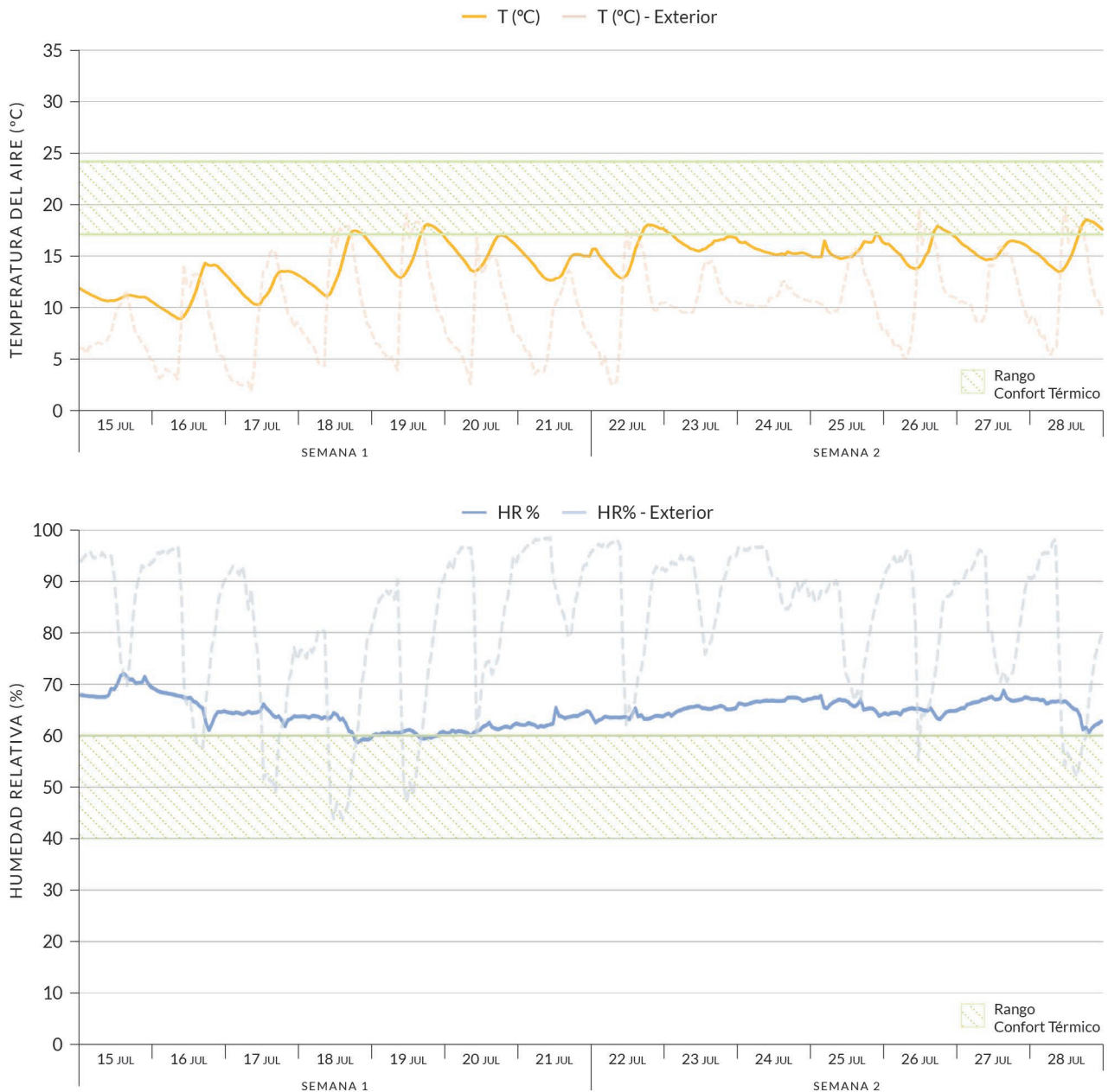


Fig. 25 Registro de temperatura del aire periodo de invierno.

Fig. 26 Registro de humedad relativa periodo de invierno.

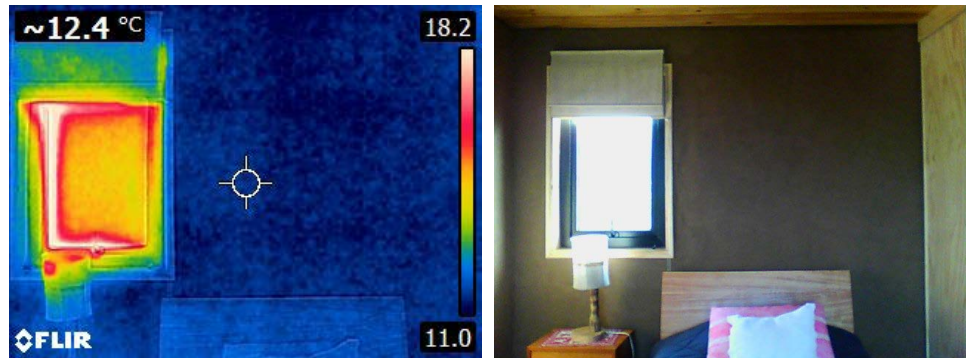
La habitación presenta temperaturas interiores que oscilan entre los 8,9°C y los 18,6°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose en un rango de confort sólo un 13% del tiempo (Figura 25). No hubieron ganancias internas a partir de sistemas de calefacción activos al interior de la habitación. Las temperaturas mínimas que se registraron al exterior se obtuvieron el día 16, 17 y 22 de julio (con mínimas cercanas a los 0°C), correspondientes a los días en que hubo precipitaciones y por tanto mayores índices de humedad exterior durante el día y la noche.

Los días 23, 24 y 25 no se registraron mayores oscilaciones térmicas debido a las condiciones meteorológicas (cielos cubiertos). Se observa que durante los días que se registraron las temperaturas más bajas, el ambiente está menos frío respecto a las condiciones exteriores, lo que refiere a que la envolvente absorbe los excesos de calor y los libera gradualmente durante el día en periodos de entre 2 a 3 horas aproximadamente.

La habitación registra mayores niveles de humedad respecto al periodo de verano, incluso en días más secos (Figura 26). Además, la curva describe una menor oscilación entre los niveles de humedad interior respecto a los resultados que se obtuvieron en verano, con menores picos de humedad y fluctuaciones mucho más leves. Se registró un alza de HR por sobre el 70% durante el día que precipitó (15 de julio), lo que puede referir a una mayor absorción de humedad debido a las condiciones exteriores. Durante el periodo de medición, la habitación se mantuvo sólo un 4% dentro del rango aceptable de humedad relativa.

Fig. 27-28  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.

Según muestran las imágenes termográficas capturadas (figura 12), no se presentan mayores indicios de puentes térmicos en los muros de quincha. Se registra uniformidad en las temperaturas superficiales de los muros, que rodean los 24°C para el periodo de verano.

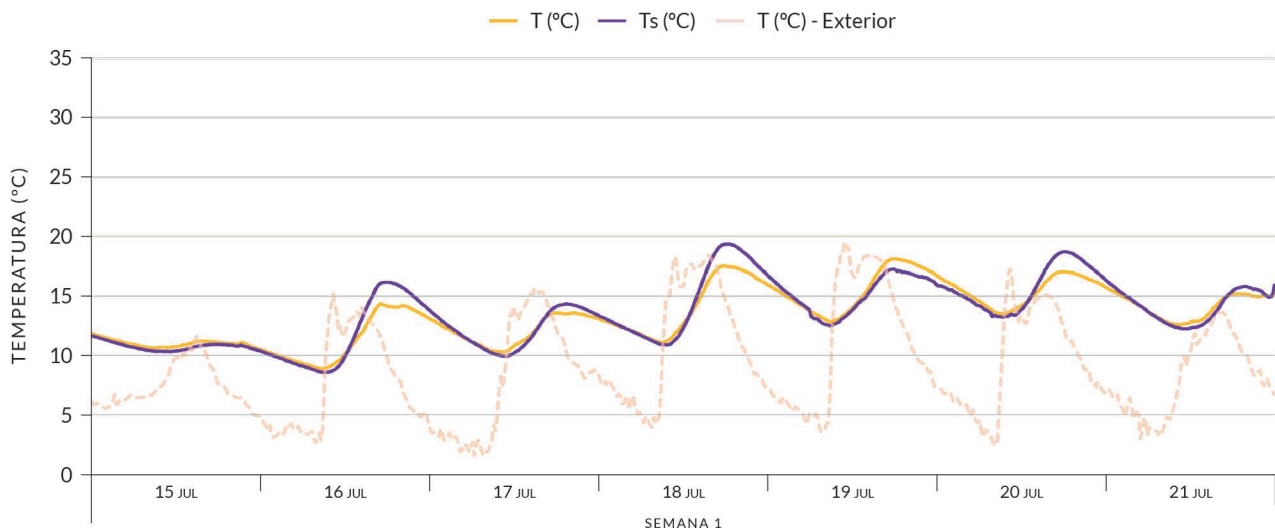


### TEMPERATURA SUPERFICIAL

La temperatura superficial que alcanza el muro durante el periodo de invierno suele ser mayor que la temperatura del aire al interior de la habitación (Figura 29). Pese a ello, no se observa una gran capacidad de absorción de calor durante las horas de mayor temperatura exterior dado que las diferencias entre la temperatura interior y la temperatura superficial son mayoritariamente leves. Para que exista una condición de confort en relación con estos indicadores, no debe haber una diferencia mayor a 3°C promedio entre la temperatura del aire interior y la temperatura superficial del muro.

Este comportamiento demuestra que el muro absorbe solo un poco de energía durante los días más cálidos, lo cual está sujeto a las condiciones meteorológicas que se presentaron durante la semana. Por lo tanto, si bien el muro absorbe los excesos de calor, no posee suficiente inercia térmica como para retener calor y liberarlo gradualmente al ambiente, al menos durante el periodo de invierno. Por lo que, para alcanzar mayores condiciones de confort térmico se deberían utilizar otras estrategias de calefacción al interior de la habitación.

Fig. 29  
Registro de temperaturas superficiales durante el periodo de invierno.



### 4.3.2 VIVIENDA ALBAÑILERÍA CONFINADA V02

La vivienda V02 corresponde al caso de análisis que utiliza albañilería confinada de ladrillo cerámico como solución constructiva para muros perimetrales. Se encuentra orientada al norponiente y consta de un nivel de altura, donde se ubica el cuarto de estar, cocina, comedor, baño y habitaciones (Figura 30). La vivienda es ocupada frecuentemente por dos adultos y dos niños durante periodos estivales.

El sistema constructivo<sup>32</sup> empleado para muros en este caso es la albañilería confinada, que consta de paredes de ladrillo reforzadas con columnas y vigas de hormigón armado. Utiliza un sistema de cimentación de hormigón, en el cual se extiende la capa de radier de cemento reforzado. Los pavimentos utilizados para el suelo son de alfombra para habitaciones, suelos cerámicos para recintos húmedos y piso flotante para la sala de cuarto de estar y comedor. Los muros de albañilería se constituyen de ladrillos cerámicos de 140 mm de espesor con perforaciones, apilados con mortero de pega de dosificación 1:3 de espesor entre 15 a 20 mm.

Los revestimientos exteriores para los muros de albañilería son del tipo revoques de estuco de cemento y arena gruesa en proporción 1:3 con agregado de cal, y con terminación de pintura látex color blanco o falsos de imitación de piedra. Para revestimientos interiores se utiliza la solución VOLCAPOL®, compuesta por una plancha de yeso cartón de 10 mm de espesor y una plancha de poliestireno expandido de 10 mm de densidad 15 kg/m<sup>3</sup>, con barrera de vapor entre ambas capas y adhesivo para su adherencia al muro, con terminación superficial del tipo papel mural color gris claro. Posee tabiquería ligera<sup>33</sup> para las divisiones interiores.

32. A partir del levantamiento realizado en terreno, la descripción de los sistemas constructivos utilizados según el arquitecto N.N son soluciones genéricas ampliamente utilizadas en el rubro inmobiliario, por lo que las especificaciones técnicas de las viviendas V02, V03 y V04 se deducen siguiendo ese criterio a partir del conocimiento y análisis en terreno de la autora.

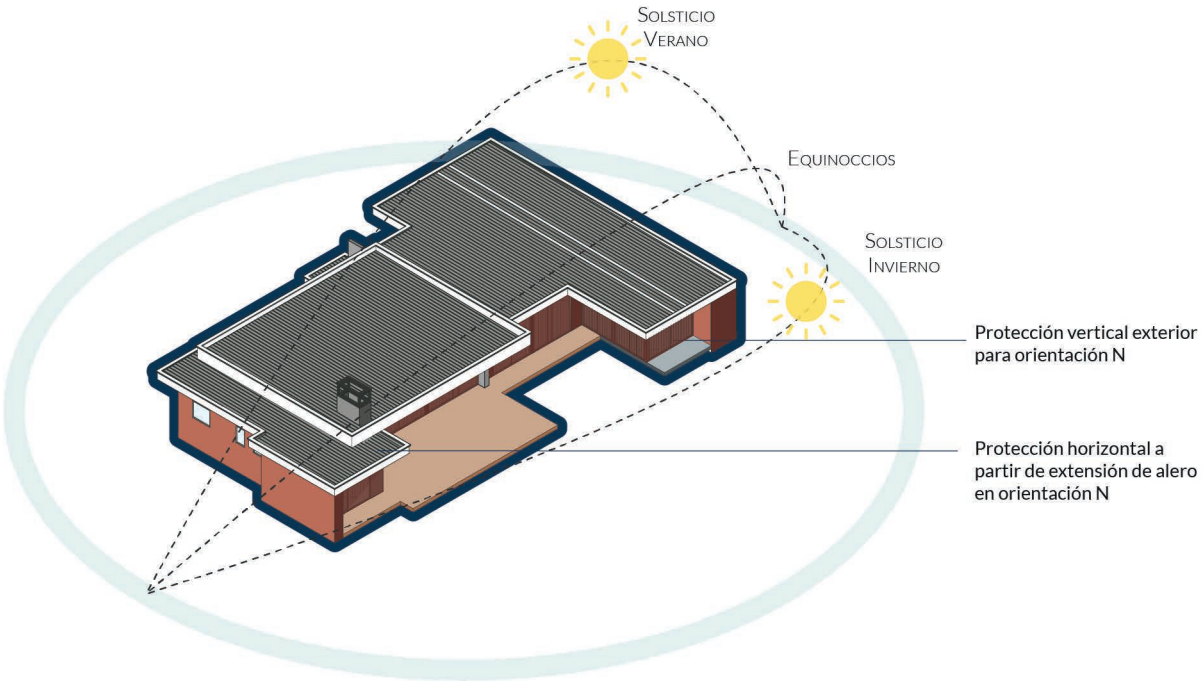
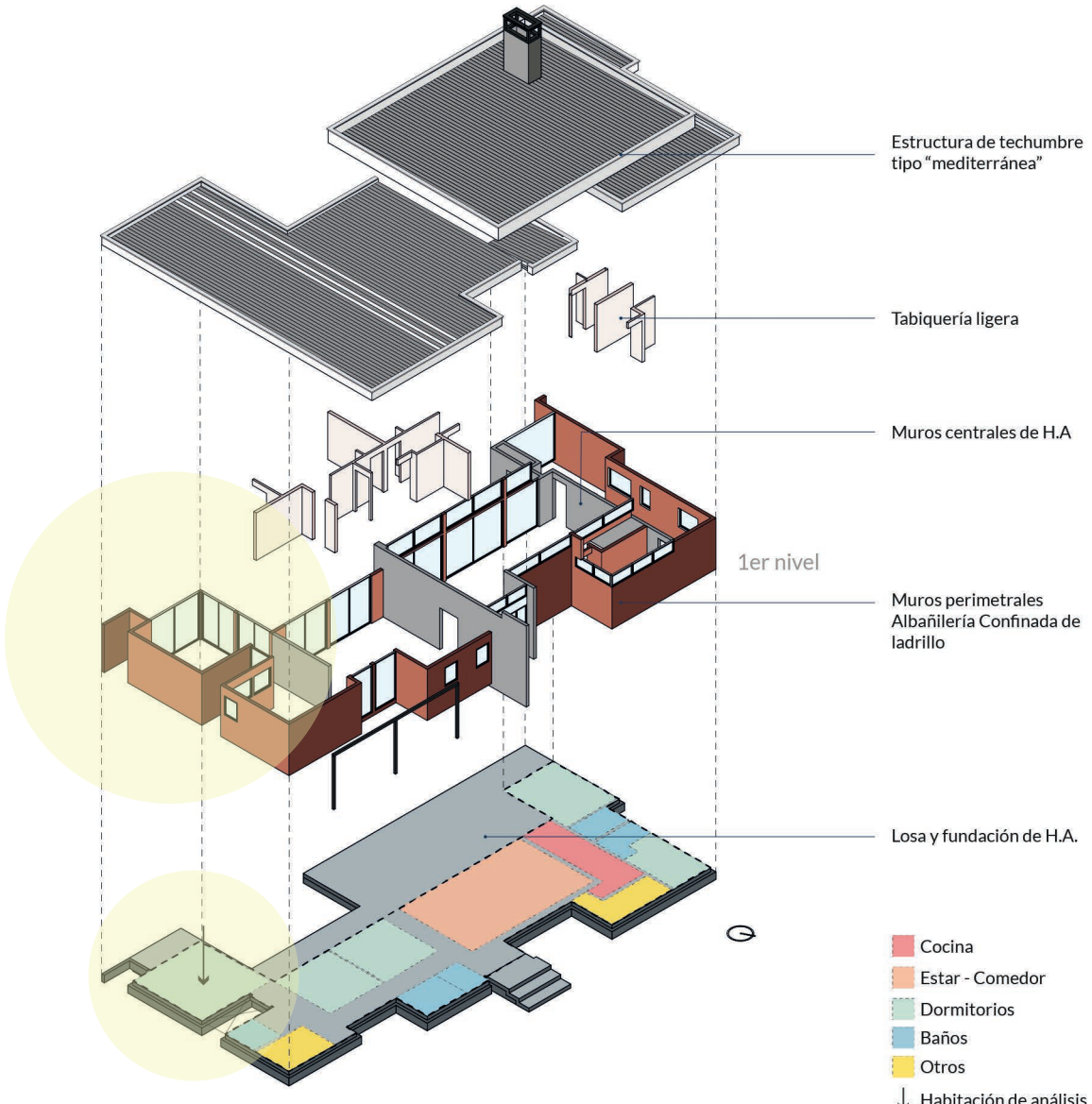
33. La descripción de los tabiques interiores no es necesaria para este caso, dado que la envolvente de la habitación de análisis no considera.

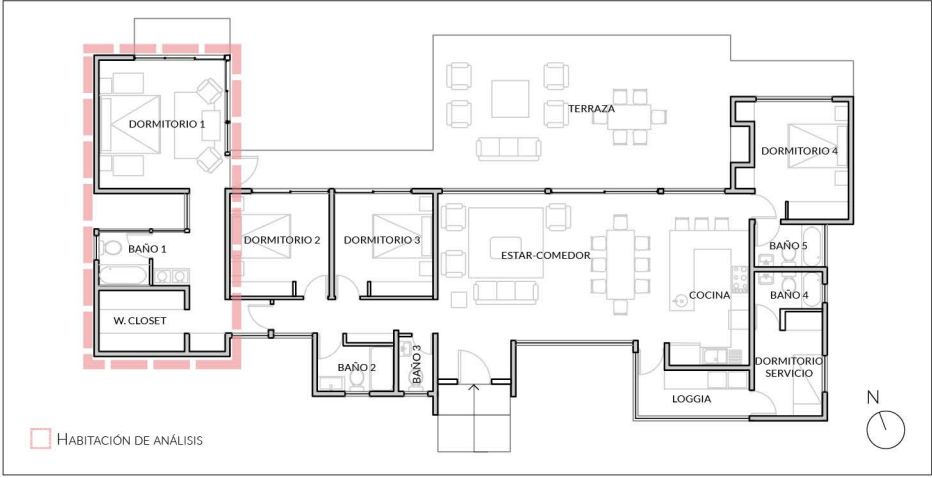

**Fig. 30**

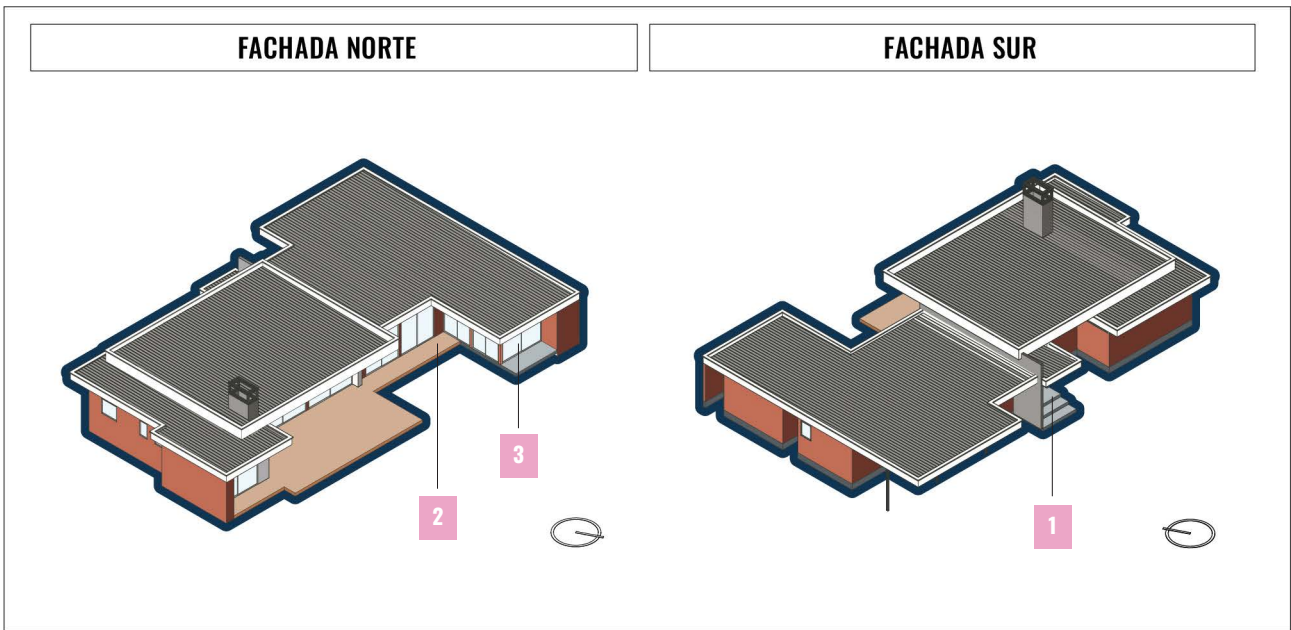
Isométrica detalle materialidad vivienda V02.

**Fig. 31-32 (siguiente página)**

Fichas de registro vivienda V02.



<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>PLANTA DE ARQUITECTURA 1ER NIVEL</b></div>  <p style="font-size: small; margin-top: 5px;"> <input type="checkbox"/> Habitación de Análisis         </p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> 	
<b>EDIFICACIÓN:</b> Obra nueva	<b>ORIENTACIÓN:</b> NW	<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN:</b> 2019
<b>CLASIFICACIÓN EDIFICACIÓN:</b> C3	<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA:</b> ~209 m <sup>2</sup>	<b>UBICACIÓN:</b> Limache, V Región
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>IDENTIFICACIÓN</b></div> <p><b>DESTINO / USO:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Residencial  <input type="checkbox"/> Comercial  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Propietario  <input type="checkbox"/> Arrendatario  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Permanente  <input checked="" type="checkbox"/> Frecuente  <input type="checkbox"/> Poco frecuente  <input type="checkbox"/> Muy poco frecuente</p> <p><b>Nº DE OCUPANTES:</b></p> <p><input type="checkbox"/> 1  <input type="checkbox"/> 2  <input type="checkbox"/> 3  <input checked="" type="checkbox"/> 4  <input type="checkbox"/> Más de 4</p> <p><b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aislada  <input type="checkbox"/> Pareada  <input type="checkbox"/> Continua</p> <p><b>ALTURA:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 1 Nivel  <input type="checkbox"/> 2 Niveles  <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> <p><b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Madera  <input type="checkbox"/> Hormigón armado  <input checked="" type="checkbox"/> Albañilería  <input type="checkbox"/> Acero</p> <p><b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Tabiquería de madera  <input checked="" type="checkbox"/> Perfilera de aluminio  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p> <p><b>FUNDACIONES:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Hormigón armado  <input type="checkbox"/> Pilotes de madera</p> <p><b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Enlucido yeso</u></p> <p><b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Monolítico  <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>INSTALACIONES</b></div> <p><b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias  <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas  <input checked="" type="checkbox"/> Gas</p> <p><b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Calefacción  <input type="checkbox"/> Refrigeración  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input checked="" type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Leña  <input type="checkbox"/> Gas  <input type="checkbox"/> Eléctrica  <input type="checkbox"/> Parafina  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input checked="" type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Aire acondicionado  <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input checked="" type="checkbox"/> Sin información</p> <p><b>USO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sí  <input type="checkbox"/> No</p> <p><b>TIPO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <p><input type="checkbox"/> Lana mineral  <input type="checkbox"/> Lana de vidrio  <input checked="" type="checkbox"/> Poliestireno expandido  <input type="checkbox"/> Fibras vegetales  <input type="checkbox"/> Otro: _____</p>



**IMÁGENES DE REFERENCIA**



**PROPIEDADES MATERIALES MURO DE ANÁLISIS**

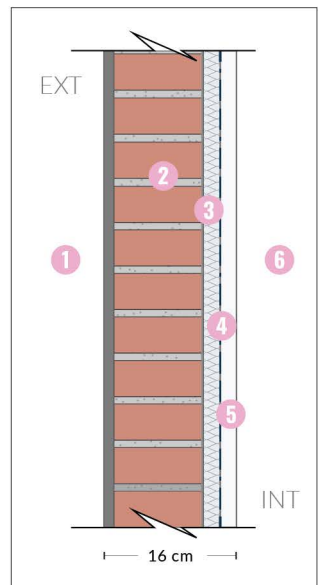
Nº	Material	Espesor (e) [mm]	Densidad [kg/m³]	Conductividad Térmica [W/m²·°K]	Calor específico (c) [J/kg·°K]
1	Estuco térmico	3	1600	0,87	980
2	Ladrillo cerámico	140	1200	0,52	750
3	Adhesivo VOLCAFIX	--	--	--	--
4	Poliestireno expandido 10 mm	10	15	0,043	1200
5	Barrera de vapor	--	--	--	--
6	Yeso cartón VOLCANITA	10	700	0,26	840

**U = 1,55 W/m<sup>20</sup>K**

**Y= 1,93 W/m<sup>20</sup>K**

**Tr = ≈ 4 hrs**

**DETALLE**



## RECINTO DE MEDICIÓN

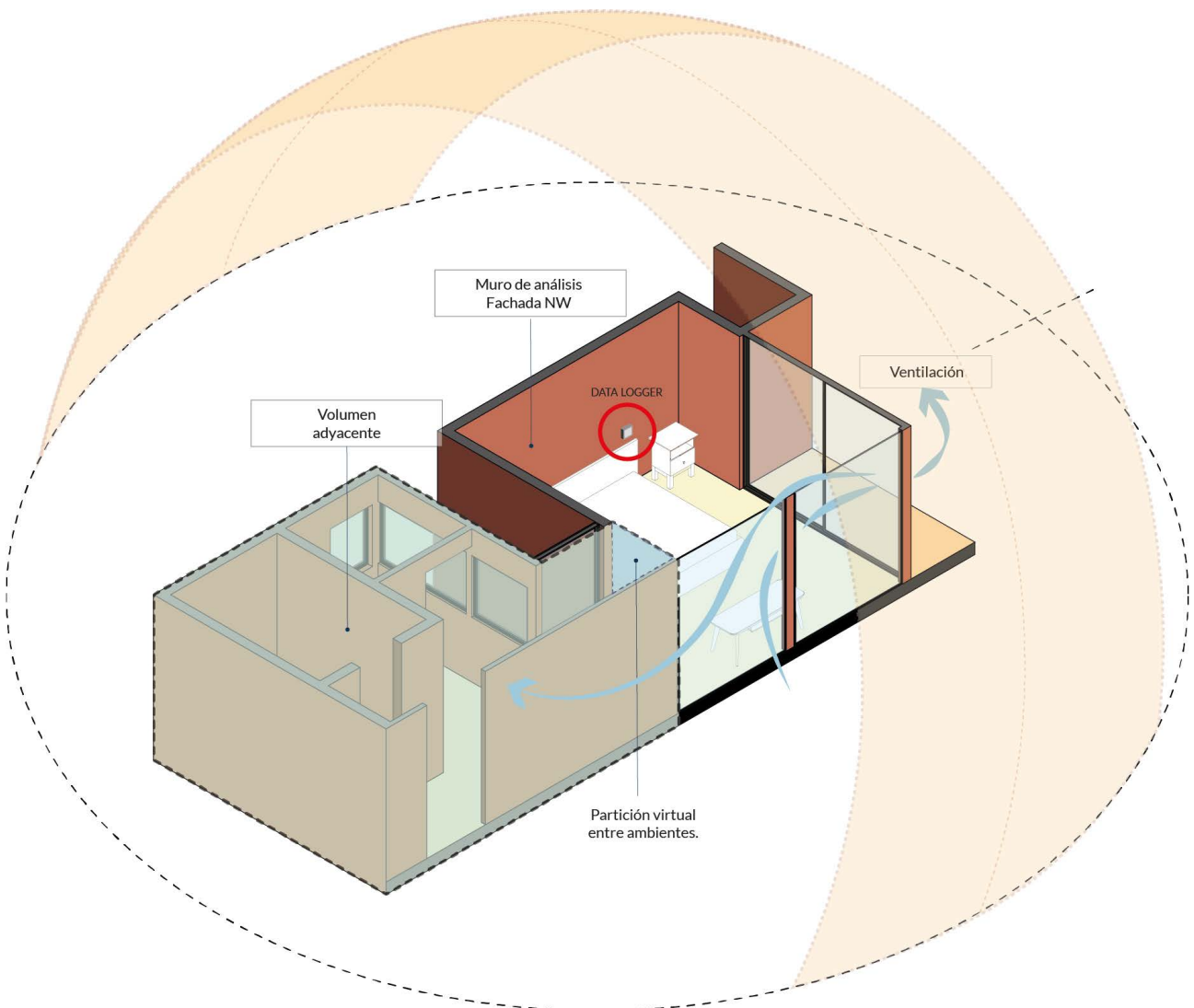
La habitación donde se llevó a cabo el levantamiento de datos corresponde a uno de los dormitorios de la vivienda, ubicado en el primer nivel (Figura 31-32). La zona térmica<sup>34</sup> analizada posee una dimensión de 4,14 m x 4,2 m, resultando en un área de 17,4 m<sup>2</sup>. Posee un volumen de aire de alrededor de 43,5 m<sup>3</sup>. Consta de tres paramentos verticales que dan hacia el exterior, y conecta con un pasillo que da hacia el interior de la vivienda, en el cual se asume mayor circulación de aire que afectaría a la zona térmica de análisis.

La ubicación y dimensión de las ventanas permite que incida radiación solar directa durante todo el día, así como lograr altas tasas de ventilación al interior del recinto. Producto de ello, el diseño considera protecciones solares verticales del tipo persiana exterior P72 Luxaflexd®, que según ficha técnica brinda mayor aislación térmica y acústica al interior de la habitación.

El acristalamiento de las ventanas es de vidrio doble tipo termopanel ( $U=3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) con marcos de PVC color café para ventanas tipo fijas, proyectantes y correderas, con felpas, burletes de sello y herrajes y quincallerías según corresponde. La cabida de los marcos en los vanos se encuentra correctamente sellados y herméticos. La forma de apertura de las ventanas de la habitación son del tipo correderas (V1), (V2) y (V3); puerta vidriada abatible (V4).

34. Si bien la habitación completa presenta una configuración más compleja y por tanto volúmenes de aire distintos, se toma la zona térmica de análisis en base a las proporciones de los cerramientos de la habitación, obviando el pasillo que conecta con el resto de la habitación. En términos más rigurosos, se debe considerar que este punto puede permitir mayor circulación de aire y afectar el comportamiento térmico del área de estudio, pero para este caso se asume despreciable.

Fig. 33  
Diagrama plano recinto de medición V02.



PLANIMETRÍA HABITACIÓN DE ANÁLISIS

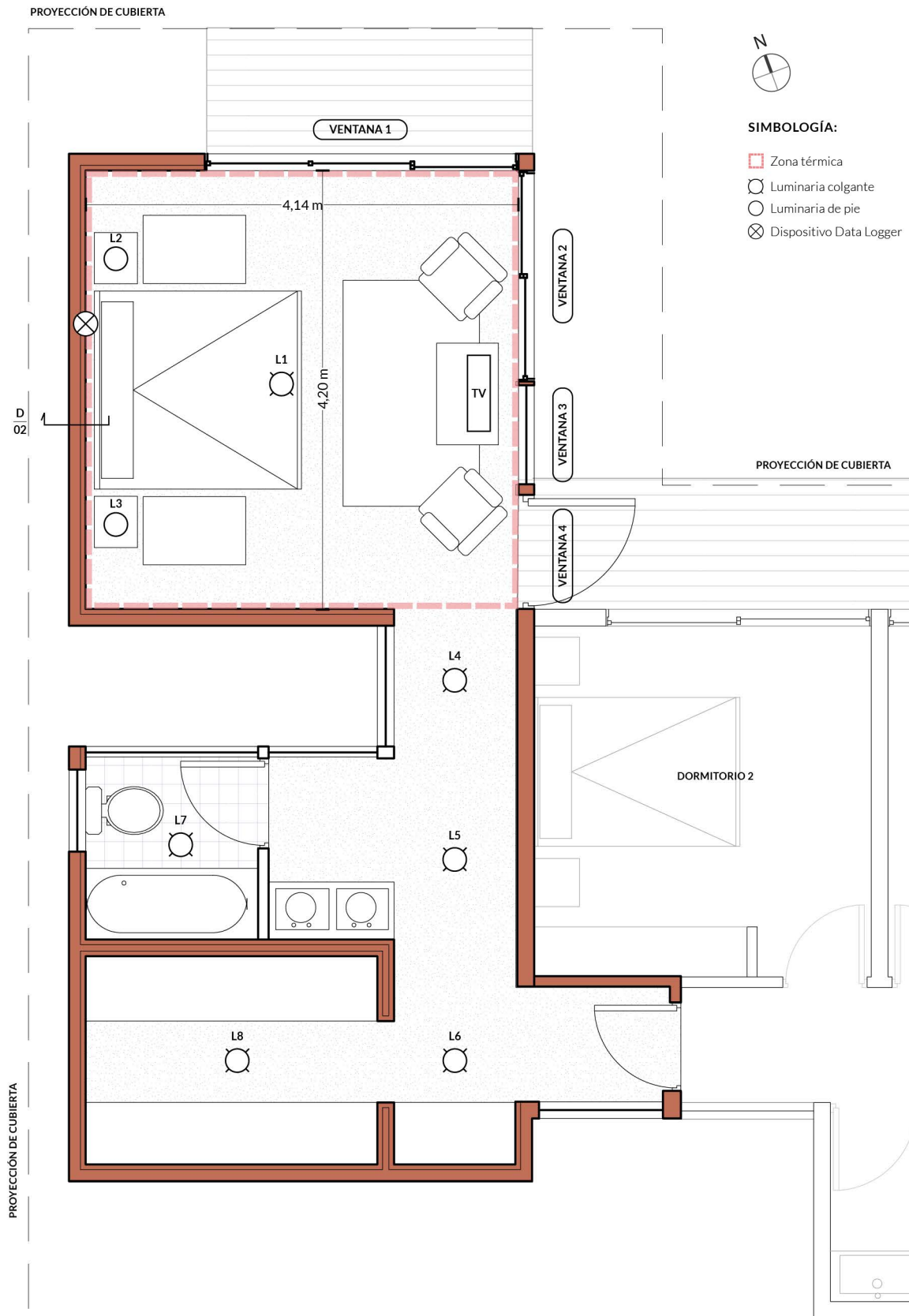


Fig. 34  
 Planimetría habitación de análisis caso  
 V02.

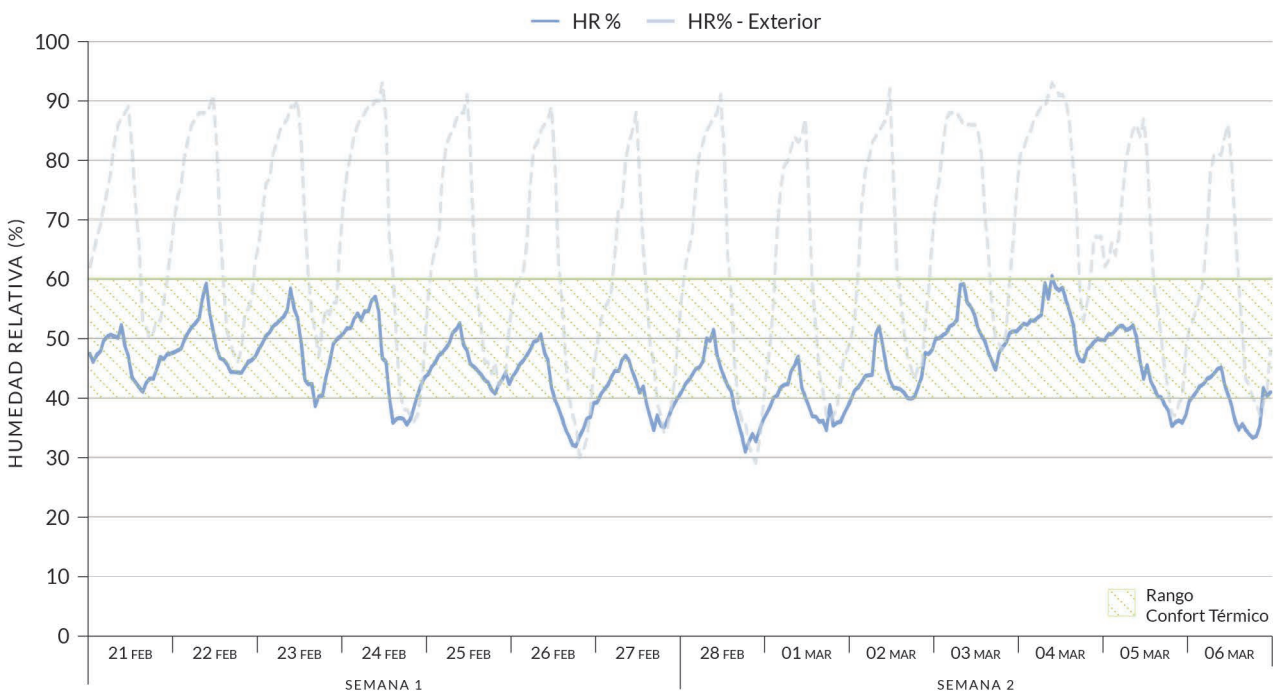
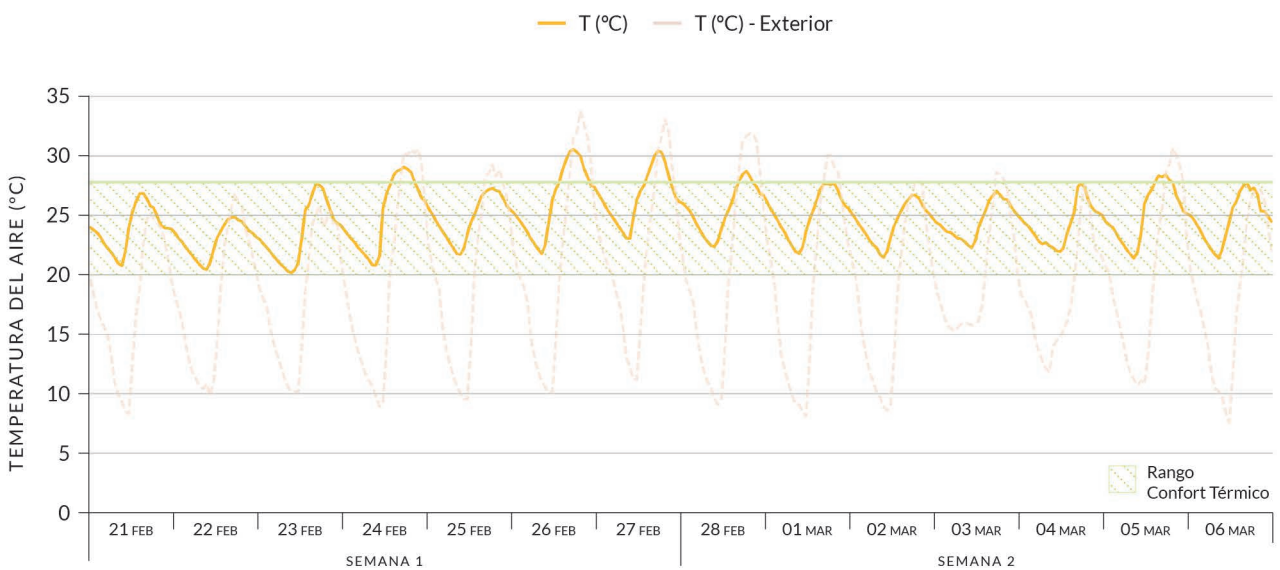
El dispositivo de medición fue colocado en el muro con orientación norte, a 130 cm de altura desde el suelo. El muro en cuestión posee revestimientos exteriores con estuco térmico, y revestimiento interior de VOLCAPOL®, con aislante de poliestireno expandido de 10 mm. Los muros presentan una buena terminación y no registran patologías inherentes a las que se presentan en muros de albañilería confinada, como humedades en zonas de intersección entre columnas de H.A y el relleno de albañilería en base a ladrillo cerámico.

La habitación donde fue realizado el registro permaneció ocupada la mayor parte del periodo de verano por al menos dos ocupantes, mientras que para el caso de invierno solo fue utilizada durante los primeros días del registro. Para el periodo de invierno, los primeros días la habitación fue calefaccionada.

Fig. 35 Registro de temperatura del aire periodo de verano.

Fig. 36 Registro de humedad relativa periodo de verano.

**PERIODO DE VERANO**

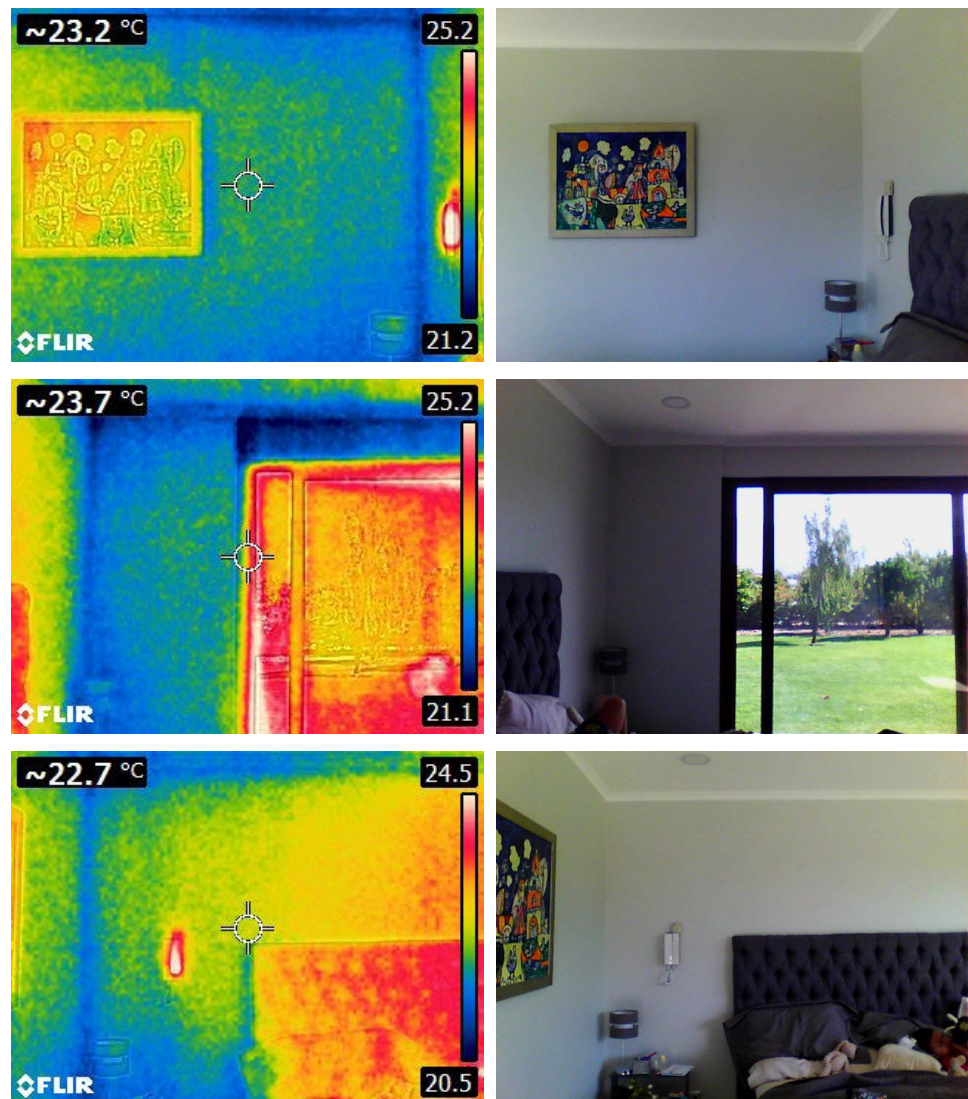


La habitación registra temperaturas interiores que oscilan entre los 20,1°C y los 30,8°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose dentro del rango de confort térmico un 82% del tiempo (Figura 35). Durante el día más cálido, la habitación alcanza una diferencia de casi 4°C en el peak de temperatura respecto al exterior, con un retraso de tiempo entre máximas y mínimas respecto a las condiciones exteriores casi nulas. La envolvente amortigua en gran medida las temperaturas mínimas registradas al exterior, disminuyendo su oscilación térmica al interior de la habitación. No así las altas temperaturas, donde la diferencia entre la Tº exterior e interior es mucho menor o incluso negativa.

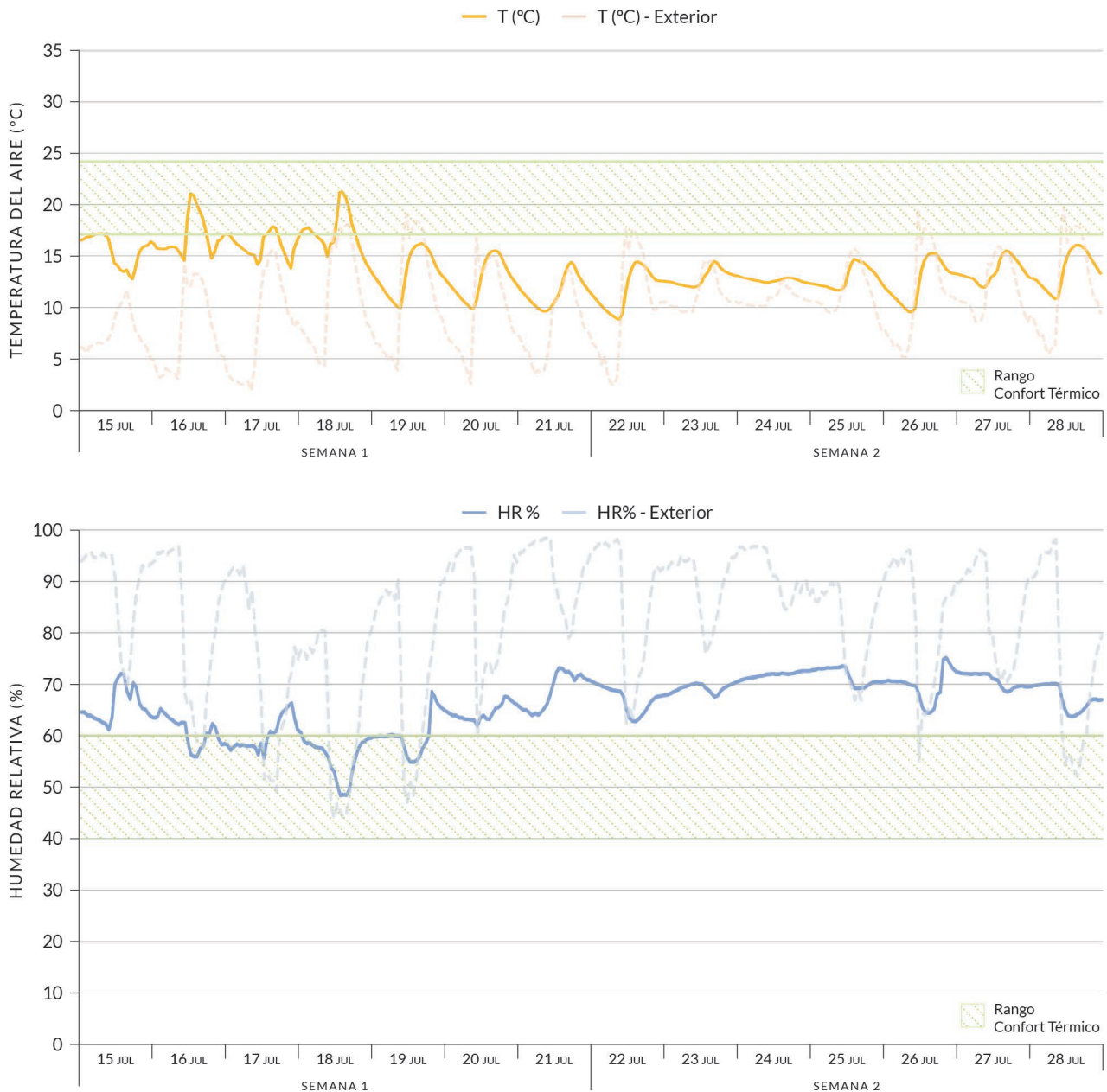
La habitación se mantuvo un 78% del tiempo de análisis dentro del rango aceptable de porcentaje de humedad relativa, alcanzando mínimas de sólo un 31% de HR (Figura 36). La habitación mantiene valores constantes respecto a las condiciones exteriores, amortiguando en gran medida los altos niveles de humedad que se presentan durante la noche. Durante los días más secos la humedad interior se mantiene por sobre la exterior. Los picos de humedad al interior de la habitación se registran entre las 12 y las 14 hrs, coincidiendo probablemente con periodos de ventilación natural diurna producto de la apertura de ventanas.

Fig. 37-42  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.

Según muestran las imágenes termográficas capturadas (figura 23), se observan puentes térmicos característicos del tipo de sistema constructivo utilizado en las juntas entre el muro de albañilería y las columnas y cadenas de hormigón armado, donde se podrán generar mayores pérdidas térmicas.



**PERIODO DE INVIERNO**



Según la Figura 43, la habitación registra temperaturas interiores que oscilan entre los 8,8°C y los 21,3°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose en un rango de confort sólo un 9% del tiempo. Durante el día más frío (máxima de 11,7°C a las 15:00 hrs al exterior), la habitación alcanza una diferencia de 1°C respecto a la temperatura exterior, con un retraso de tiempo entre máximas y mínimas respecto a las condiciones exteriores aproximadamente de 1 hora.

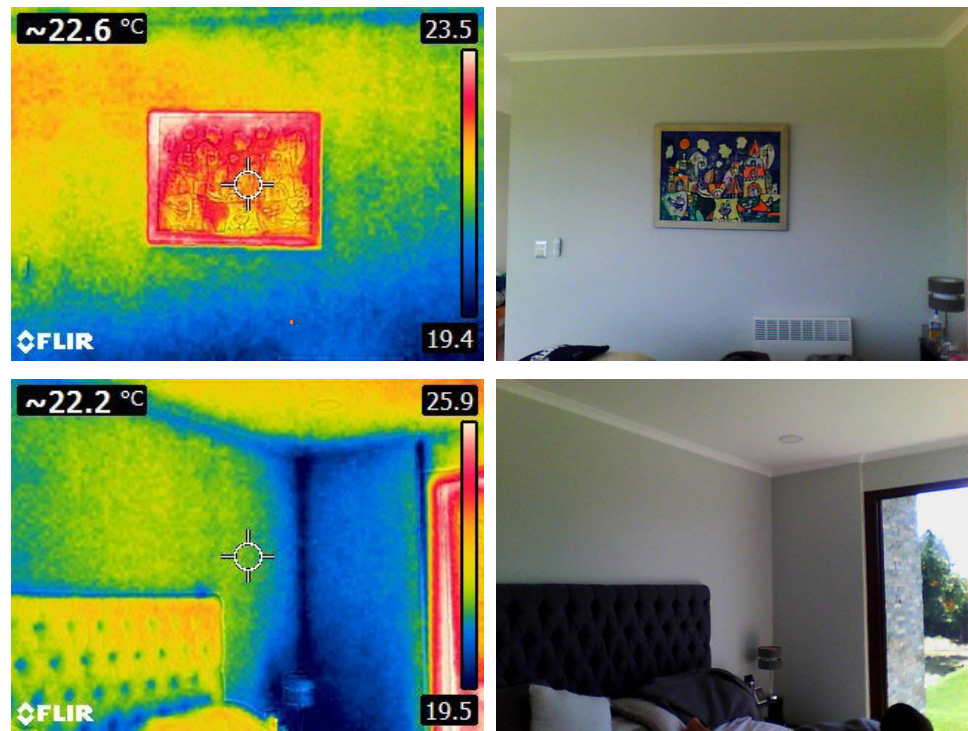
**Fig. 43**  
Registro de temperatura del aire periodo de invierno

**Fig. 44**  
Registro de humedad relativa periodo de invierno.

Los primeros días (entre el 15 y 18 de julio) el registro presenta anomalías respecto a los siguientes días de la semana, con picos de temperatura mucho mayor que el resto de los días. Esto puede haberse producido debido a la ocupación que registró la habitación durante esos días, además de probables inputs de calefacción por medio de sistemas activos durante las noches de los 3 primeros días, y la incidencia de ganancias solares desde la orientación norte de la vivienda. El resto de los días que la habitación se registra sin ocupación las curvas de T° libres (sin calefacción) decrecen considerablemente, siendo mayormente coincidentes con las condiciones exteriores, pero dismi-

nuyendo los picos de temperatura exterior. La envolvente amortigua mayormente las temperaturas mínimas durante la noche.

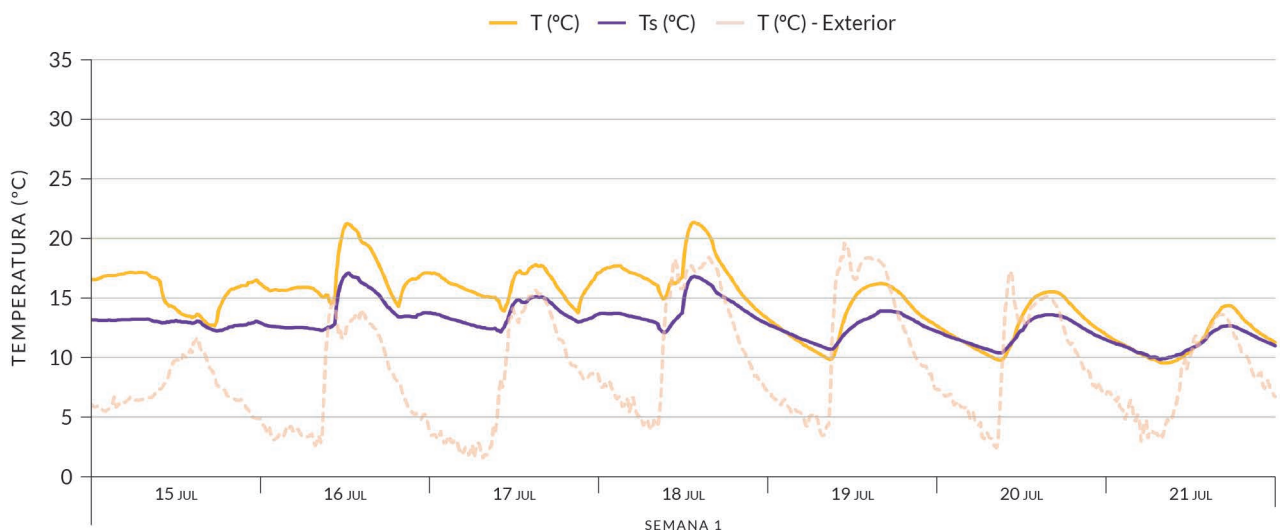
Fig. 45-48  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.



### TEMPERATURA SUPERFICIAL

Según la Figura 49, la temperatura superficial que alcanza el muro durante el periodo de invierno es mucho menor que la temperatura del aire al interior de la habitación durante los días de menor temperatura exterior y donde se estima que la habitación fue calefaccionada. El resto de los días de la semana la temperatura superficial se mantiene constantemente por debajo de la temperatura interior de la habitación, registrando una mayor diferencia de temperaturas frente a temperaturas altas y menores frente a temperaturas bajas. Lo anterior demuestra un bajo rendimiento en cuanto a su inercia térmica, dado que las curvas de temperatura interior y temperatura superficial deberían demostrarse más desfasadas si el muro contemplara una mayor inercia. El muro no está absorbiendo calor al tener el aislante por dentro, incluso cuando hay presencia de climatización activa.

Fig. 49  
Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno.



### 4.3.3 VIVIENDA HORMIGÓN ARMADO V03

La vivienda V03 corresponde al caso de análisis que utiliza hormigón armado como solución constructiva para muros perimetrales. Se encuentra orientada al norponiente y consta de un nivel de altura, donde se ubica el cuarto de estar, cocina, comedor, baño y habitaciones (Figura 50). Corresponde a una segunda vivienda, por lo que es utilizada muy ocasionalmente durante periodos estivales por un adulto.

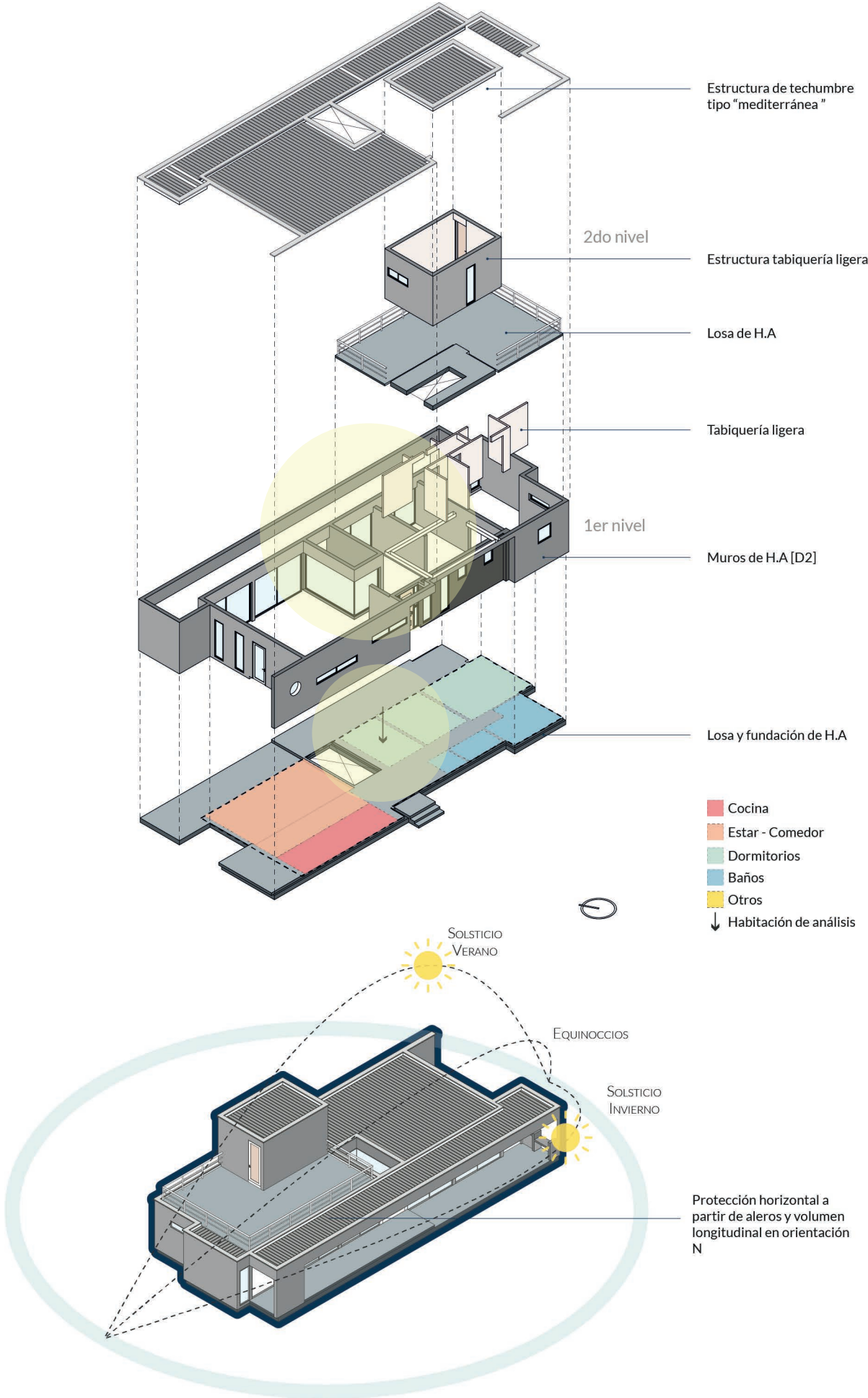
El sistema constructivo empleado para muros portantes en este caso es el hormigón armado, que consta de una mezcla de cemento, grava, arena y agua, con barras de refuerzo de acero. Al igual que el caso V02, la vivienda presenta un sistema de cimentación de hormigón, en el cual se extiende la capa de radier de cemento reforzado. Los pavimentos utilizados para el suelo son de alfombra para habitaciones, suelos cerámicos para recintos húmedos y sala de estar-comedor.

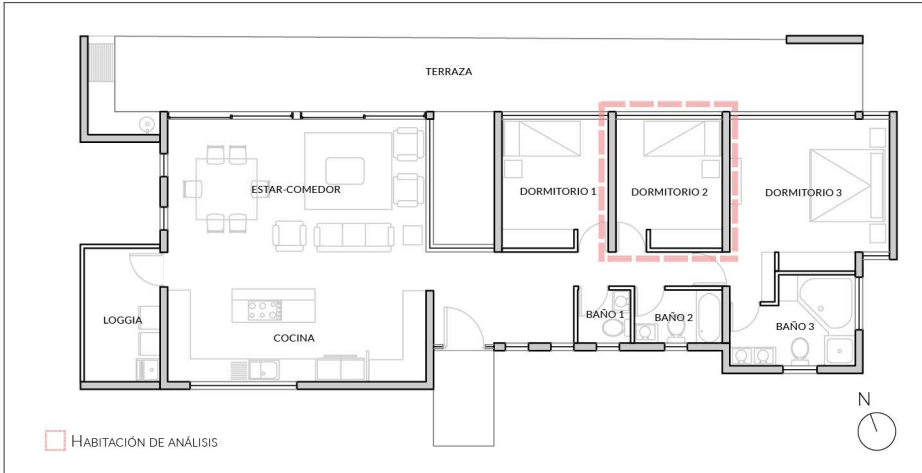

Los revestimientos exteriores para los muros de hormigón son del tipo revoques de estuco de cemento y arena gruesa en proporción 1:3 con agregado de cal, y con terminación de pintura látex color blanco. Para revestimientos interiores se utiliza la solución VOLCAPOL®, compuesta por una plancha de yeso cartón de 10 mm de espesor y una plancha de poliestireno expandido de 10 mm de densidad 15 kg/m<sup>3</sup>, con barrera de vapor entre ambas capas y adhesivo para su adherencia al muro, con terminación superficial del tipo papel mural color blanco. Para las divisiones interiores, considera tabiquería ligera en base a perfilera de acero galvanizado del tipo Metalcon®, con lana de vidrio o fibra de poliéster como aislante y revestidos con planchas de yeso cartón de 10 mm.

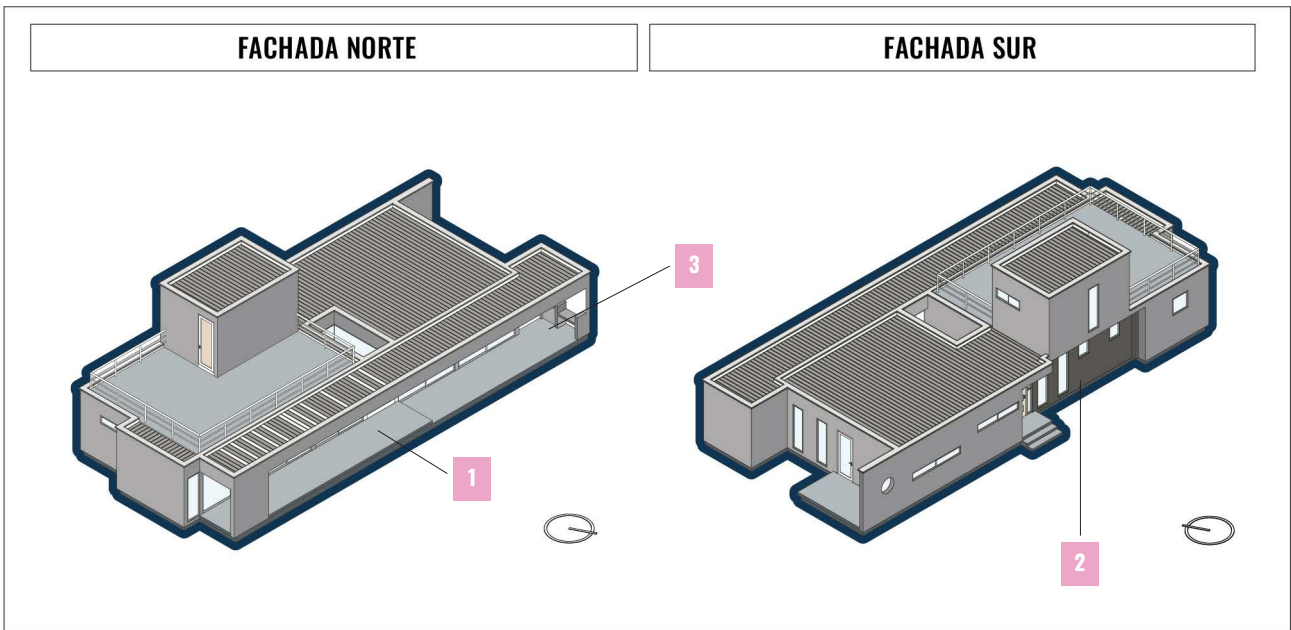
Con relación a las soluciones para cielos y techo, fue utilizado aislante de lana de vidrio y revestimientos. La vivienda posee grandes aleros en la fachada norte.

**Fig. 50**  
Isométrica detalle materialidad vivienda V03.

**Fig. 51-52 (siguiente página)**  
Fichas de registro vivienda V03.



<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>PLANTA DE ARQUITECTURA 1ER NIVEL</b></div> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> 	
<b>EDIFICACIÓN:</b> Obra nueva	<b>ORIENTACIÓN:</b> NW	<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN:</b> 2019
<b>CLASIFICACIÓN EDIFICACIÓN:</b> B2	<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA:</b> ~158 m <sup>2</sup>	<b>UBICACIÓN:</b> Limache, V Región
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>IDENTIFICACIÓN</b></div> <p><b>DESTINO / USO:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otro: _____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> <p><b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b></p> <input type="checkbox"/> Madera <input checked="" type="checkbox"/> Hormigón armado <input type="checkbox"/> Albañilería <input type="checkbox"/> Acero	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>INSTALACIONES</b></div> <p><b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas <input checked="" type="checkbox"/> Gas
<p><b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b></p> <input type="checkbox"/> Propietario <input checked="" type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/> Otro: _____	<p><b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b></p> <input type="checkbox"/> Tabiquería de madera <input checked="" type="checkbox"/> Perfilería de aluminio <input type="checkbox"/> Otro: _____	<p><b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN:</b> (habitación)</p> <input type="checkbox"/> Calefacción <input type="checkbox"/> Refrigeración <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Sin información
<p><b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b></p> <input type="checkbox"/> Permanente <input type="checkbox"/> Frecuente <input type="checkbox"/> Poco frecuente <input checked="" type="checkbox"/> Muy poco frecuente	<p><b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input type="checkbox"/> Otro: _____	<p><b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN:</b> (habitación)</p> <input type="checkbox"/> Leña <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Parafina <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Sin información
<p><b>Nº DE OCUPANTES:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> Más de 4	<p><b>FUNDACIONES:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Hormigón armado <input type="checkbox"/> Pilotes de madera	<p><b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:</b> (habitación)</p> <input type="checkbox"/> Aire acondicionado <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Sin información
<p><b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> Aislada <input type="checkbox"/> Pareada <input type="checkbox"/> Continua	<p><b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b></p> <input type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Enlucido yeso</u>	<p><b>USO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p><b>ALTURA:</b></p> <input checked="" type="checkbox"/> 1 Nivel <input type="checkbox"/> 2 Niveles <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles	<p><b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b></p> <input type="checkbox"/> Monolítico <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada <input type="checkbox"/> Otro: _____	<p><b>TIPO DE AISLACIÓN:</b> (habitación)</p> <input type="checkbox"/> Lana mineral <input type="checkbox"/> Lana de vidrio <input checked="" type="checkbox"/> Poliestireno expandido <input type="checkbox"/> Fibras vegetales <input type="checkbox"/> Otro: _____



**IMÁGENES DE REFERENCIA**



Fachada norte  
Fuente: Archivo de autor



Fachada sur  
Fuente: Archivo de autor



Detalle sistema constructivo  
Fuente: Archivo de autor

**PROPIEDADES MATERIALES MURO DE ANÁLISIS**

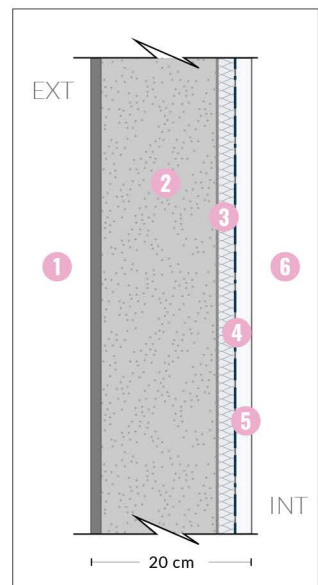
Nº	Material	Esesor (e) [mm]	Densidad [kg/m³]	Conductividad Térmica [W/m²·°K]	Calor específico (c) [J/kg·°K]
1	Estuco térmico	3	1600	0,87	980
2	Hormigón armado	200	2400	1,63	920
3	Adhesivo VOLCAFIX	--	--	--	--
4	Poliestireno expandido 10 mm	10	15	0,043	1200
5	Barrera de vapor	--	--	--	--
6	Yeso cartón VOLCANITA	10	700	0,26	840

**U = 1,73 W/m²·°K**

**Y = 2,35 W/m²·°K**

**Tr = ≈ 7 hrs**

**DETALLE**

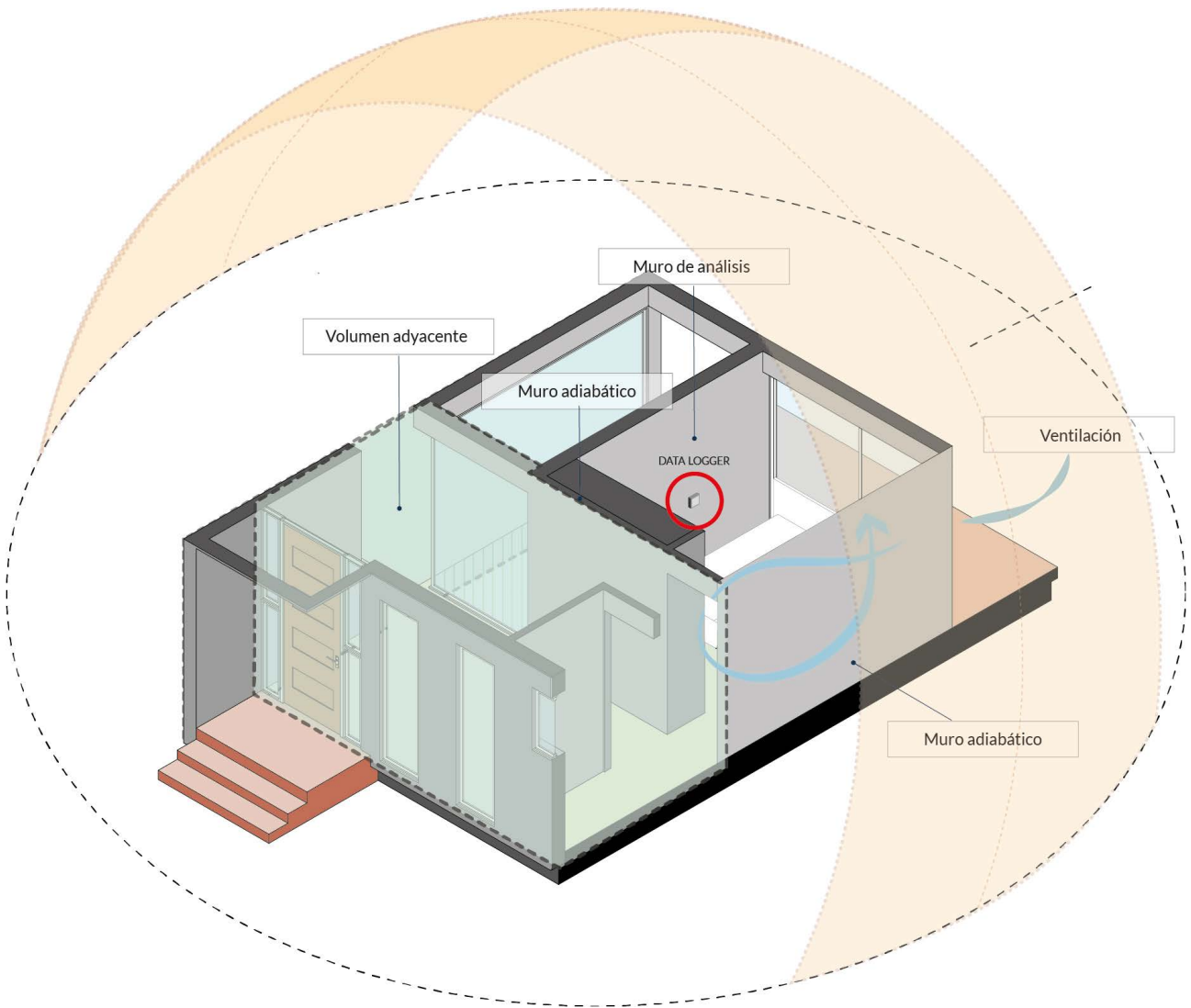


## RECINTO DE MEDICIÓN

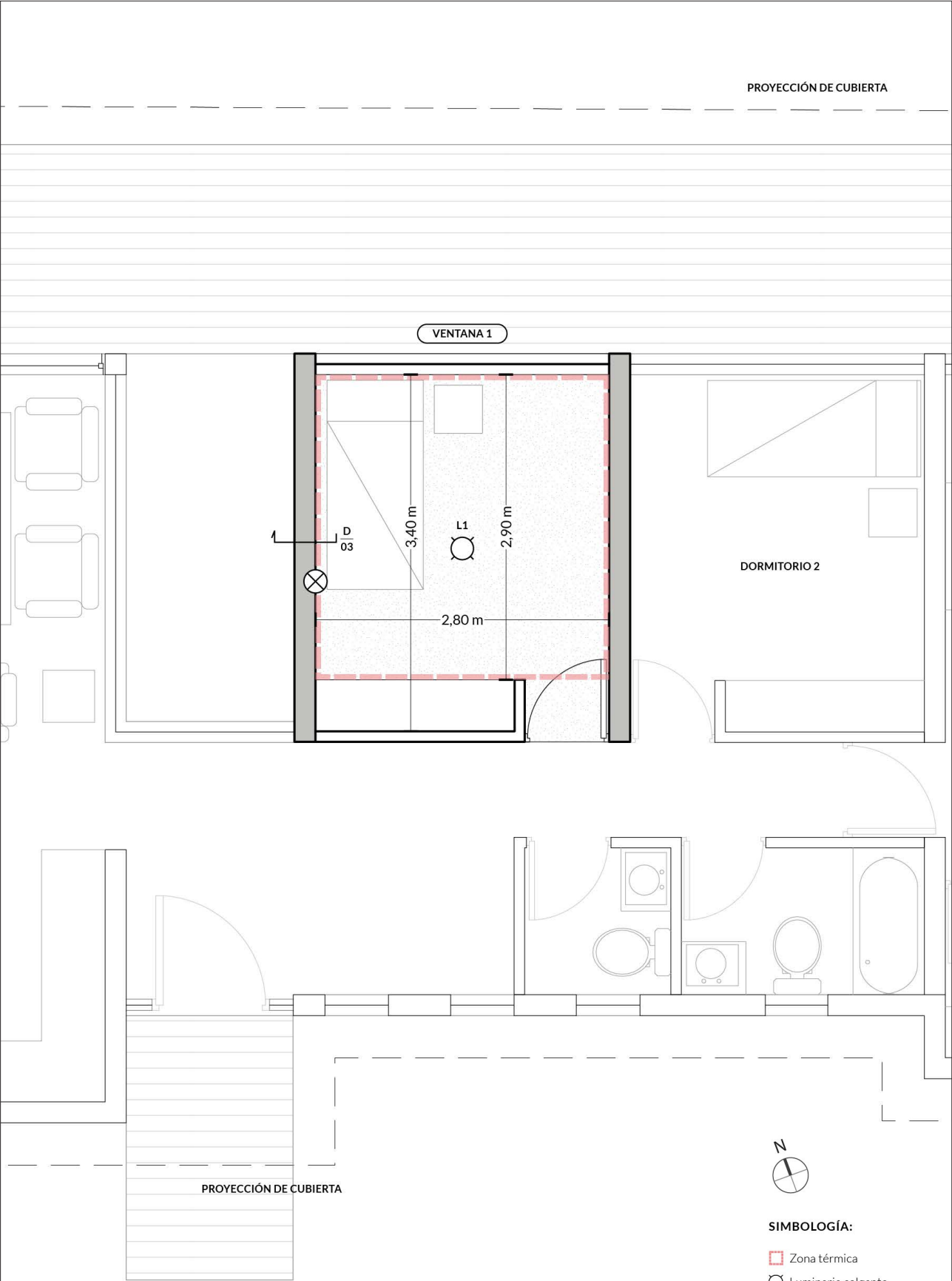
La habitación donde se llevó a cabo el levantamiento de datos corresponde a uno de los dormitorios de la vivienda, ubicado en el primer nivel (Figura 51-52). La zona térmica analizada posee una dimensión de 2,90 m x 2,80 m, resultando en un área de 8,12 m<sup>2</sup>. Con un volumen de aire de alrededor de 19,89 m<sup>3</sup>. Consta de dos paramentos verticales que dan hacia el exterior, y dos que dan hacia el interior.

Posee una ventana con orientación norte del tipo corredera, de 280 x 245 cm. La ubicación y dimensión de las ventanas permite que incida radiación solar directa durante gran parte del día. Producto de ello, el diseño considera protecciones solares verticales de persiana interior tipo black out. El acristalamiento de las ventanas es de vidrio doble tipo termopanel ( $U=3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) con marcos de PVC color café para ventanas tipo fijas, proyectantes y correderas, con felpas, burletes de sello y herrajes y quincallerías según corresponde. La cabida de los marcos en los vanos se encuentra correctamente sellados y herméticos. La forma de apertura de las ventanas de la habitación es del tipo correderas (V1).

Fig. 53  
Diagrama plano recinto de medición V03.



# PLANIMETRÍA HABITACIÓN DE ANÁLISIS



**SIMBOLOGÍA:**

- Zona térmica
- Luminaria colgante
- Luminaria de pie
- X Dispositivo Data Logger

**Fig. 54**  
Planimetría habitación de análisis caso V03.

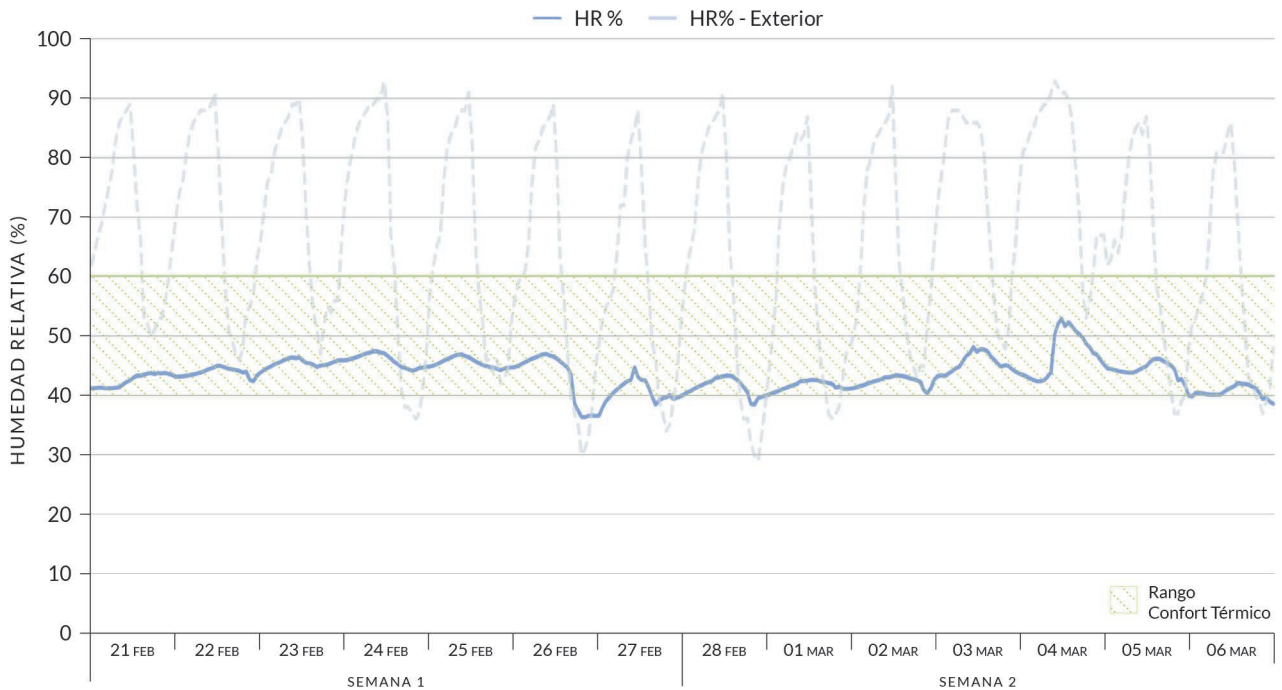
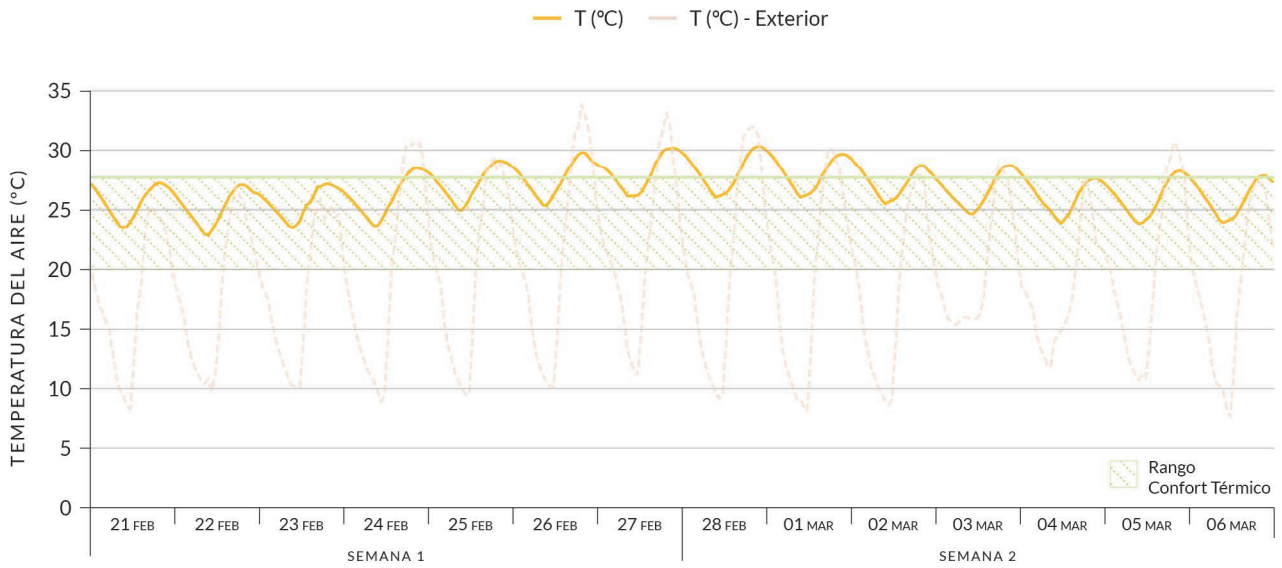
El dispositivo de medición fue colocado en el muro con orientación poniente, a 130 cm de altura desde el suelo. El muro en cuestión posee revestimientos exteriores con estuco térmico, y revestimiento interior de VOLCAPOL®, con aislante de poliestireno expandido de 10 mm (Figura 52). Los muros presentan una buena terminación y no registran patologías inherentes a las que se presentan en muros de hormigón armado.

La habitación donde fue realizado el registro permaneció desocupada durante ambos periodos de medición. Según la ficha de registro, no mantiene artefactos de refrigeración ni de calefacción al interior de la habitación de estudio.

Fig. 55 Registro de temperatura del aire periodo de verano.

Fig. 56 Registro de humedad relativa periodo de verano.

**PERIODO DE VERANO**



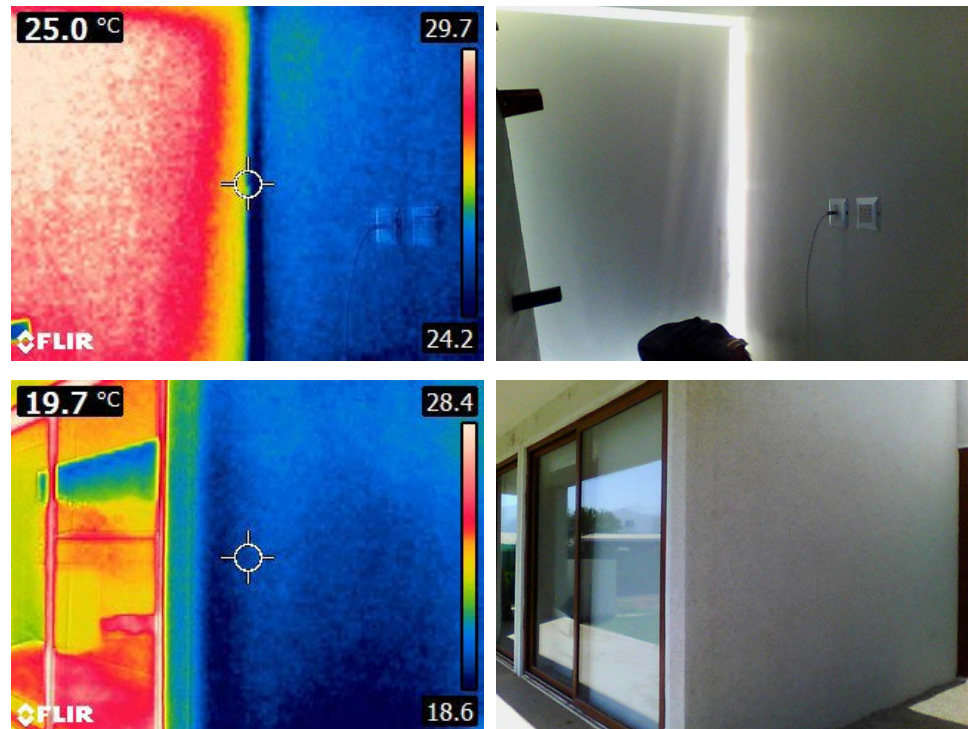
Según la Figura 55, la habitación registra temperaturas interiores que oscilan entre los 22,8°C y los 30,3°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose dentro del rango de confort térmico un 56% del tiempo. Durante el día más cálido, la habitación alcanza una diferencia de casi 4°C en el peak de temperatura respecto al exterior, con un retraso de tiempo entre máximas y mínimas respecto a las condiciones exteriores casi nulas. Pese a lo anterior, durante condiciones de temperatura exteriores más estables demuestra un tiempo de retardo de casi 4 horas.

La envolvente amortigua en gran medida las temperaturas mínimas registradas al exterior, disminuyendo considerablemente su oscilación térmica al interior de la habitación. No así las altas temperaturas, donde la diferencia entre la T° exterior e interior es mucho menor o incluso negativa. El muro al tener el aislante hacia el interior de la envolvente produce que la absorción de calor en el muro sea mucho más baja, las curvas deberían ser mucho más planas a las demostradas en las gráficas.

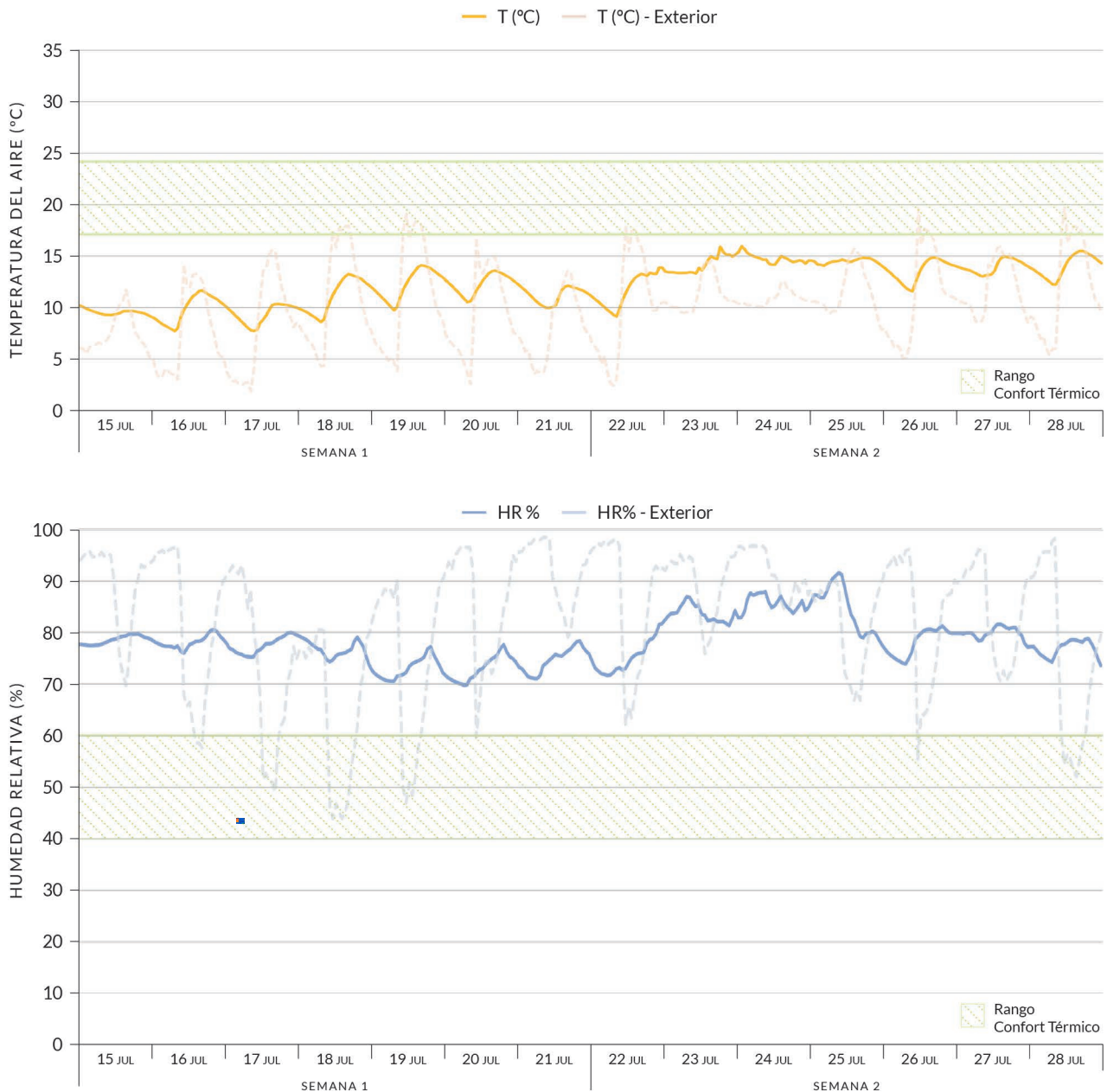
Según la Figura 56, la habitación se mantuvo un 91% del tiempo de análisis dentro del rango aceptable de porcentaje de humedad relativa, alcanzando niveles de humedad entre el 36-53% de HR. La habitación mantiene valores constantes respecto a las condiciones exteriores, amortiguando en gran medida los altos niveles de humedad que se presentan durante la noche. Durante los días más secos la humedad interior se mantiene por sobre la exterior. La habitación se mantiene en bajos niveles de humedad respecto a los casos anteriores y presenta mayores picos de humedad relativa salvo los días 3 y 4 de marzo, lo que refiere al nivel de hermeticidad en el que se mantuvo el recinto durante los días de medición.

Fig. 57-60  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.

Según muestran las imágenes termográficas capturadas se observan temperaturas homogéneas en el muro, con temperaturas de alrededor de 20°C.



**PERIODO DE INVIERNO**



**Fig. 61**  
Registro de temperatura del aire periodo de invierno.

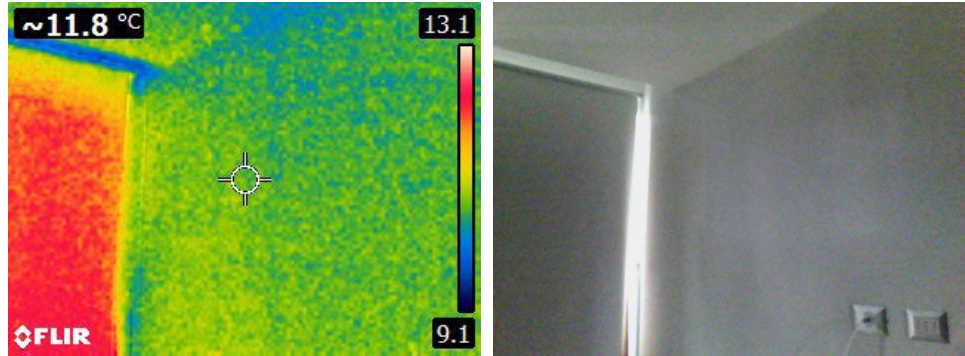
**Fig. 62**  
Registro de humedad relativa periodo de invierno.

Según la Figura 61, la habitación registra temperaturas entre los 7,6°C y los 16,5°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose fuera del rango de confort durante todo el periodo. Las temperaturas mínimas que se registraron al exterior se obtuvieron el día 16, 17 y 22 de julio con mínimas cercanas a los 0°C, correspondientes a los días en que hubo precipitaciones y por tanto mayores índices de humedad exterior durante el día y la noche. No posee ganancias solares directas dado que la habitación permanece con sus ventanas cerradas y protegidas con las cortinas.

Durante el día más frío (máxima de 11,7°C a las 15:00 hrs al exterior), la habitación alcanza una diferencia de 2°C respecto a la temperatura exterior, con un retraso de tiempo entre máximas y mínimas respecto a las condiciones exteriores aproximadamente entre 1 a 2 horas. Como se demuestra en la gráfica, la envolvente amortigua mayormente las temperaturas mínimas durante la noche y mínimamente durante el día, manteniendo temperaturas más bajas durante el día respecto al exterior. En otras palabras, el muro no está absorbiendo mucha energía.

Según la Figura 62, la habitación registra mayores niveles de humedad respecto al periodo de verano, superando el 90% durante el día 25 de julio. La gráfica describe una oscilación similar respecto a las condiciones de verano, pero con mayores picos de humedad. Durante este periodo, la habitación se mantuvo fuera del rango aceptable respecto a los niveles de humedad relativa al interior.

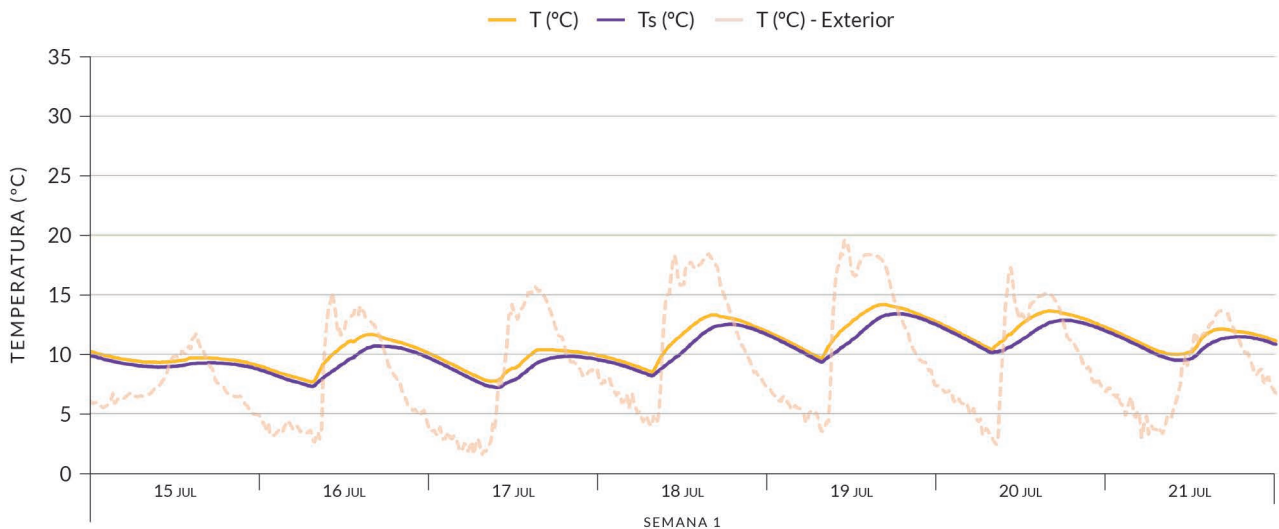
Fig. 63-64  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de invierno.



### TEMPERATURA SUPERFICIAL

Según la Figura 65, la temperatura superficial que alcanza el muro durante el periodo de invierno es menor que la temperatura del aire al interior de la habitación durante la mayor parte de los días de medición y respecto a máximas y mínimas. La temperatura superficial se mantiene constantemente por debajo de la temperatura interior de la habitación, describiendo una curva bastante similar entre sí. Su índice de masa térmica no es lo suficientemente buena al incorporar el aislante hacia el interior, lo que queda demostrado en la gráfica. Hay un tiempo de retardo, pero es leve, y no es lo esperado para un muro de hormigón armado que por lo general demuestra una alta inercia térmica en su comportamiento flujos de calor instalan por fuera.

Fig. 65  
Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno.



#### 4.3.4 VIVIENDA TABIQUERÍA LIGERA V04

La vivienda V04 corresponde al caso de análisis que utiliza un sistema modular de tabiquería ligera como solución constructiva para muros perimetrales. La vivienda se encuentra orientada al norponiente y consta de un nivel de altura, donde se ubica la sala de estar-comedor, cocina baños y dormitorios (Figura 67). La vivienda es utilizada ocasionalmente durante periodos estivales por dos adultos y dos niños.

La vivienda se compone de cuatro módulos prefabricados de la marca TecnoFast®, caracterizados por ser soluciones económicas y de rápida construcción. Los módulos se encuentran unidos a un espacio común construido a partir de una estructura de envigado de madera para el piso y columnas y vigas de acero para los muros. Finalmente, la techumbre de esta área consta de vigas y riostras también en acero, con costaneras de aluminio, forro y cubierta de zinc para la terminación. La vivienda posee fundaciones tipo pilotes de madera impregnada, por lo que se considera piso tipo ventilado. Se compone en base a cuatro unidades modulares de dimensión 6 x 3m, unidas a un espacio común de mayor área.

Según las especificaciones técnicas del fabricante, cada módulo consta de marcos de acero Q235 que demarcan el perímetro de la estructura de volumen simple. Los muros son del tipo tabiquería ligera en base a madera cepillada de pino radiata de dimensiones 42x90mm (2x4") H=12%, con aislante interior del tipo lana de vidrio de 90 mm de espesor (R-12) colocado en el alma del tabique. Como terminación exterior posee revestimiento de siding en madera tipo Smart Panel de 7/16" (11,1 mm), de Lousiana Pacific® (LP) color negro, colocada sobre una membrana hidrófuga. Por último, el revestimiento interior es del tipo yeso cartón de 15 mm con terminación en papel mural color blanco, colocada sobre una barrera de vapor de polietileno (Figura 66).

La vivienda posee un alero con frontón de 80 cm de extensión en el módulo donde se encuentra la habitación de análisis. Además, hacia el lado poniente la vivienda cuenta con una reja de madera a aproximadamente 2 metros de altura que protege la habitación de la radiación solar directa.

Fig. 66  
Detalle constructivo muro. Tabique con Smart Panel LP.

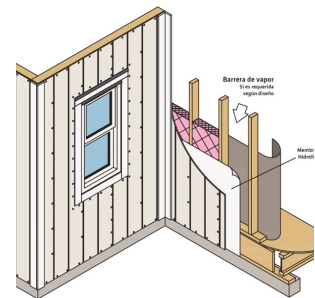
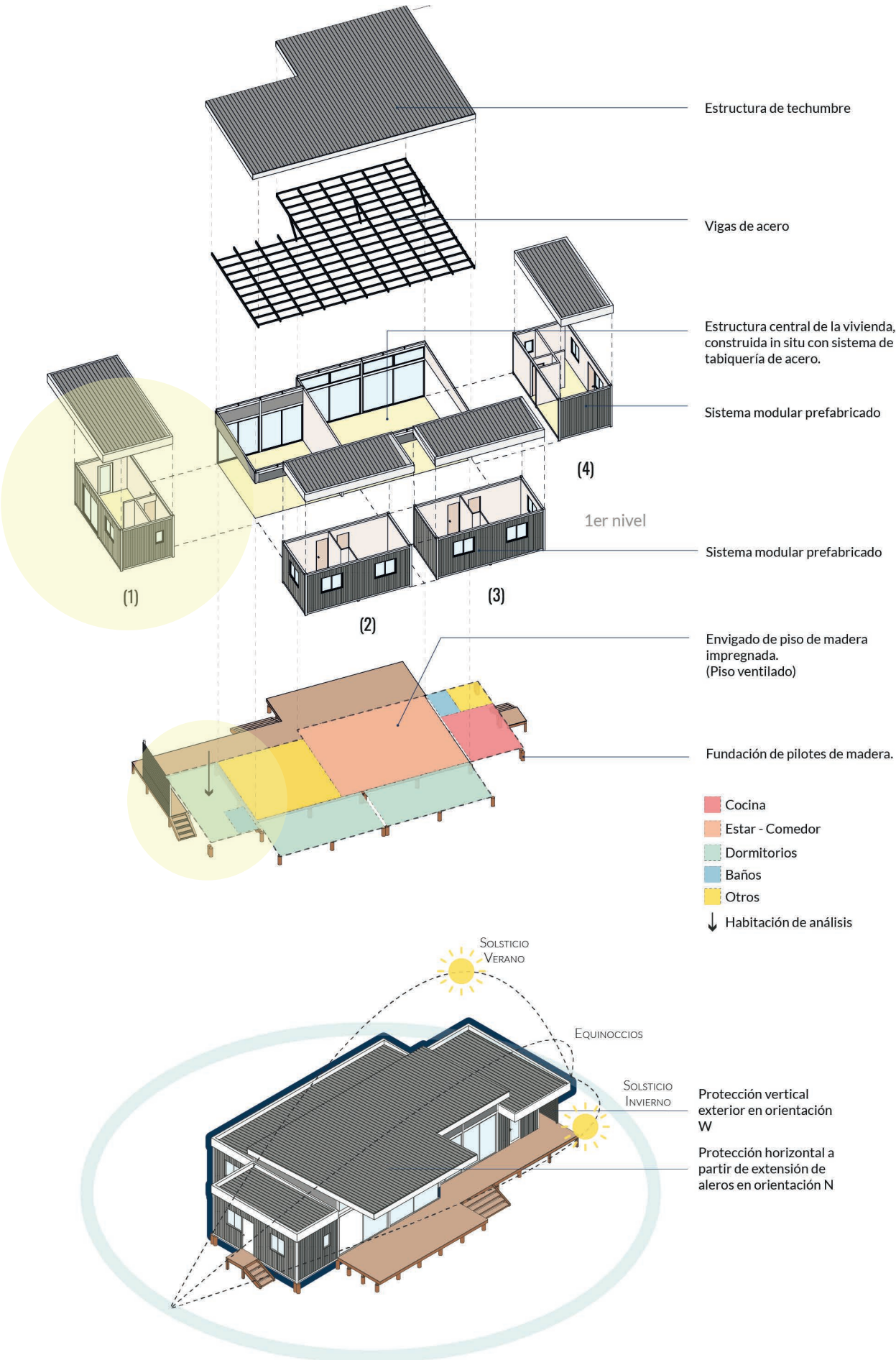
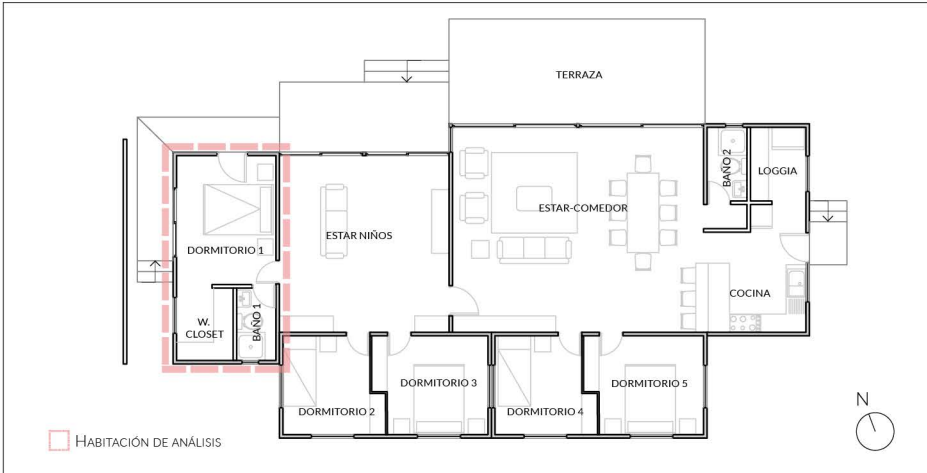

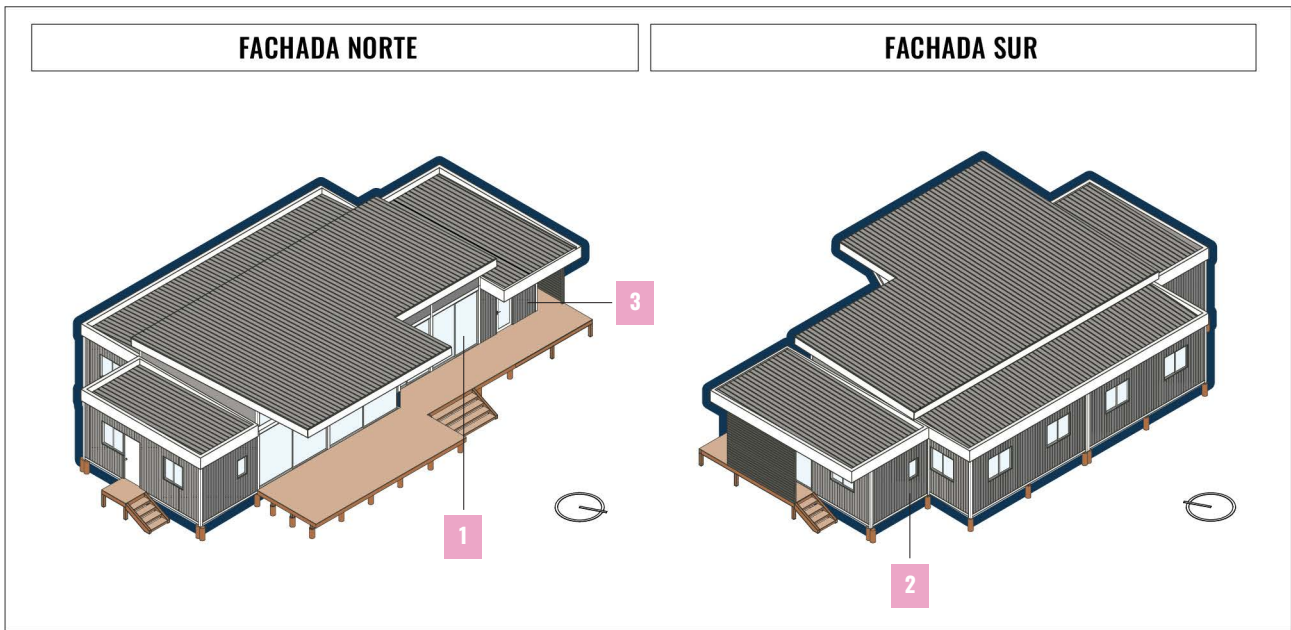


Fig. 67  
Isométrica detalle materialidad vivienda V04.

Fig. 68-69 (siguiente página)  
Fichas de registro vivienda V04.



<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>																																												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>PLANTA DE ARQUITECTURA 1ER NIVEL</b></div> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></div> 																																											
<b>EDIFICACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> Obra nueva	<b>ORIENTACIÓN:</b> <input type="checkbox"/> NW	<b>AÑO DE CONSTRUCCIÓN:</b> 2018																																										
<b>CLASIFICACIÓN EDIFICACIÓN:</b> A3	<b>SUPERFICIE CONSTRUIDA:</b> ~159 m <sup>2</sup>	<b>UBICACIÓN:</b> Limache, V Región																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; padding: 5px;"><b>IDENTIFICACIÓN</b></th> <th style="width: 70%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>DESTINO / USO:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Residencial  <input type="checkbox"/> Comercial  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Propietario  <input type="checkbox"/> Arrendatario  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Permanente  <input type="checkbox"/> Frecuente  <input checked="" type="checkbox"/> Poco frecuente  <input type="checkbox"/> Muy poco frecuente                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>Nº DE OCUPANTES:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> 1  <input type="checkbox"/> 2  <input type="checkbox"/> 3  <input checked="" type="checkbox"/> 4  <input type="checkbox"/> Más de 4                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Aislada  <input type="checkbox"/> Pareada  <input type="checkbox"/> Continua                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>ALTURA:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> 1 Nivel  <input type="checkbox"/> 2 Niveles  <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles                 </td> </tr> </tbody> </table>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>		<b>DESTINO / USO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otro: _____	<b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Propietario <input type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/> Otro: _____	<b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b>	<input type="checkbox"/> Permanente <input type="checkbox"/> Frecuente <input checked="" type="checkbox"/> Poco frecuente <input type="checkbox"/> Muy poco frecuente	<b>Nº DE OCUPANTES:</b>	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> Más de 4	<b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aislada <input type="checkbox"/> Pareada <input type="checkbox"/> Continua	<b>ALTURA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Nivel <input type="checkbox"/> 2 Niveles <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; padding: 5px;"><b>MATERIALIDAD</b></th> <th style="width: 70%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Madera  <input type="checkbox"/> Hormigón armado  <input type="checkbox"/> Albañilería  <input checked="" type="checkbox"/> Acero                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería de madera  <input type="checkbox"/> Perfilera de aluminio  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>FUNDACIONES:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Hormigón armado  <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes de madera                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Yeso cartón  <input type="checkbox"/> Entablado de madera  <input type="checkbox"/> Plancha OSB  <input type="checkbox"/> Plancha cholguán  <input type="checkbox"/> Revoque de tierra  <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Siding madera</u> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Monolítico  <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> </tbody> </table>	<b>MATERIALIDAD</b>		<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b>	<input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Hormigón armado <input type="checkbox"/> Albañilería <input checked="" type="checkbox"/> Acero	<b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería de madera <input type="checkbox"/> Perfilera de aluminio <input type="checkbox"/> Otro: _____	<b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input type="checkbox"/> Otro: _____	<b>FUNDACIONES:</b>	<input type="checkbox"/> Hormigón armado <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes de madera	<b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b>	<input type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Siding madera</u>	<b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b>	<input type="checkbox"/> Monolítico <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada <input type="checkbox"/> Otro: _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%; padding: 5px;"><b>INSTALACIONES</b></th> <th style="width: 70%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias  <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas  <input checked="" type="checkbox"/> Gas                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN: (habitación)</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Calefacción  <input checked="" type="checkbox"/> Refrigeración  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input type="checkbox"/> Sin información                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN: (habitación)</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> Leña  <input type="checkbox"/> Gas  <input type="checkbox"/> Eléctrica  <input type="checkbox"/> Parafina  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input checked="" type="checkbox"/> Sin información                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN: (habitación)</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Aire acondicionado  <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico  <input type="checkbox"/> Ninguna  <input type="checkbox"/> Sin información                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>USO DE AISLACIÓN: (habitación)</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Sí  <input type="checkbox"/> No                 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;"><b>TIPO DE AISLACIÓN: (habitación)</b></td> <td style="padding: 5px;"> <input checked="" type="checkbox"/> Lana mineral  <input type="checkbox"/> Lana de vidrio  <input type="checkbox"/> Poliestireno expandido  <input type="checkbox"/> Fibras vegetales  <input type="checkbox"/> Otro: _____                 </td> </tr> </tbody> </table>	<b>INSTALACIONES</b>		<b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas <input checked="" type="checkbox"/> Gas	<b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN: (habitación)</b>	<input type="checkbox"/> Calefacción <input checked="" type="checkbox"/> Refrigeración <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sin información	<b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN: (habitación)</b>	<input type="checkbox"/> Leña <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Parafina <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Sin información	<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aire acondicionado <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sin información	<b>USO DE AISLACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<b>TIPO DE AISLACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Lana mineral <input type="checkbox"/> Lana de vidrio <input type="checkbox"/> Poliestireno expandido <input type="checkbox"/> Fibras vegetales <input type="checkbox"/> Otro: _____
<b>IDENTIFICACIÓN</b>																																												
<b>DESTINO / USO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											
<b>RELACIÓN PROPIEDAD:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Propietario <input type="checkbox"/> Arrendatario <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											
<b>NIVEL DE OCUPACIÓN:</b>	<input type="checkbox"/> Permanente <input type="checkbox"/> Frecuente <input checked="" type="checkbox"/> Poco frecuente <input type="checkbox"/> Muy poco frecuente																																											
<b>Nº DE OCUPANTES:</b>	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> Más de 4																																											
<b>TIPO DE AGRUPACIÓN:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aislada <input type="checkbox"/> Pareada <input type="checkbox"/> Continua																																											
<b>ALTURA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> 1 Nivel <input type="checkbox"/> 2 Niveles <input type="checkbox"/> Más de 2 niveles																																											
<b>MATERIALIDAD</b>																																												
<b>ESTRUCTURA PRINCIPAL:</b>	<input type="checkbox"/> Madera <input type="checkbox"/> Hormigón armado <input type="checkbox"/> Albañilería <input checked="" type="checkbox"/> Acero																																											
<b>ESTRUCTURA SECUNDARIA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería de madera <input type="checkbox"/> Perfilera de aluminio <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											
<b>REVESTIMIENTO INTERIOR:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											
<b>FUNDACIONES:</b>	<input type="checkbox"/> Hormigón armado <input checked="" type="checkbox"/> Pilotes de madera																																											
<b>REVESTIMIENTO EXTERIOR:</b>	<input type="checkbox"/> Yeso cartón <input type="checkbox"/> Entablado de madera <input type="checkbox"/> Plancha OSB <input type="checkbox"/> Plancha cholguán <input type="checkbox"/> Revoque de tierra <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Siding madera</u>																																											
<b>SUPERFICIE VIDRIADA:</b>	<input type="checkbox"/> Monolítico <input checked="" type="checkbox"/> Doble vidriada <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											
<b>INSTALACIONES</b>																																												
<b>INSTALACIONES DOMICILIARIAS:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Sanitarias <input checked="" type="checkbox"/> Eléctricas <input checked="" type="checkbox"/> Gas																																											
<b>SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN: (habitación)</b>	<input type="checkbox"/> Calefacción <input checked="" type="checkbox"/> Refrigeración <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sin información																																											
<b>SISTEMA DE CALEFACCIÓN: (habitación)</b>	<input type="checkbox"/> Leña <input type="checkbox"/> Gas <input type="checkbox"/> Eléctrica <input type="checkbox"/> Parafina <input type="checkbox"/> Ninguna <input checked="" type="checkbox"/> Sin información																																											
<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aire acondicionado <input type="checkbox"/> Ventilador eléctrico <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Sin información																																											
<b>USO DE AISLACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No																																											
<b>TIPO DE AISLACIÓN: (habitación)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Lana mineral <input type="checkbox"/> Lana de vidrio <input type="checkbox"/> Poliestireno expandido <input type="checkbox"/> Fibras vegetales <input type="checkbox"/> Otro: _____																																											



**IMÁGENES DE REFERENCIA**



Fachada norte  
Fuente: Archivo de autor



Fachada poniente - Modularidad  
Fuente: Archivo de autor



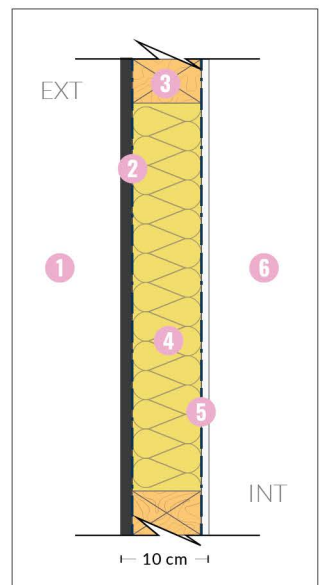
Envoltorio habitación de análisis  
Fuente: Elaboración propia

**PROPIEDADES MATERIALES MURO DE ANÁLISIS**

Nº	Material	Espesor (e) [mm]	Densidad [kg/m³]	Conductividad Térmica [W/m²K]	Calor específico (c) [J/kgK]
1	Siding madera tipo LP® Smart Panel 7/16"	11,1	650-700	0,10	2093
2	Membrana hidrófuga	--	--	--	--
3	Tabique madera de pino 2x4"	90	410	0,104	2805
4	Lana de vidrio 90 mm	90	40	0,033	840
5	Barrera de vapor	--	--	--	--
6	Yeso cartón VOLCANITA	15	700	0,28	840

$U = 0,43 \text{ W/m}^2\text{°K}$      
  $Y = 0,75 \text{ W/m}^2\text{°K}$      
  $Tr = \approx 1 \text{ hrs}$

**DETALLE**



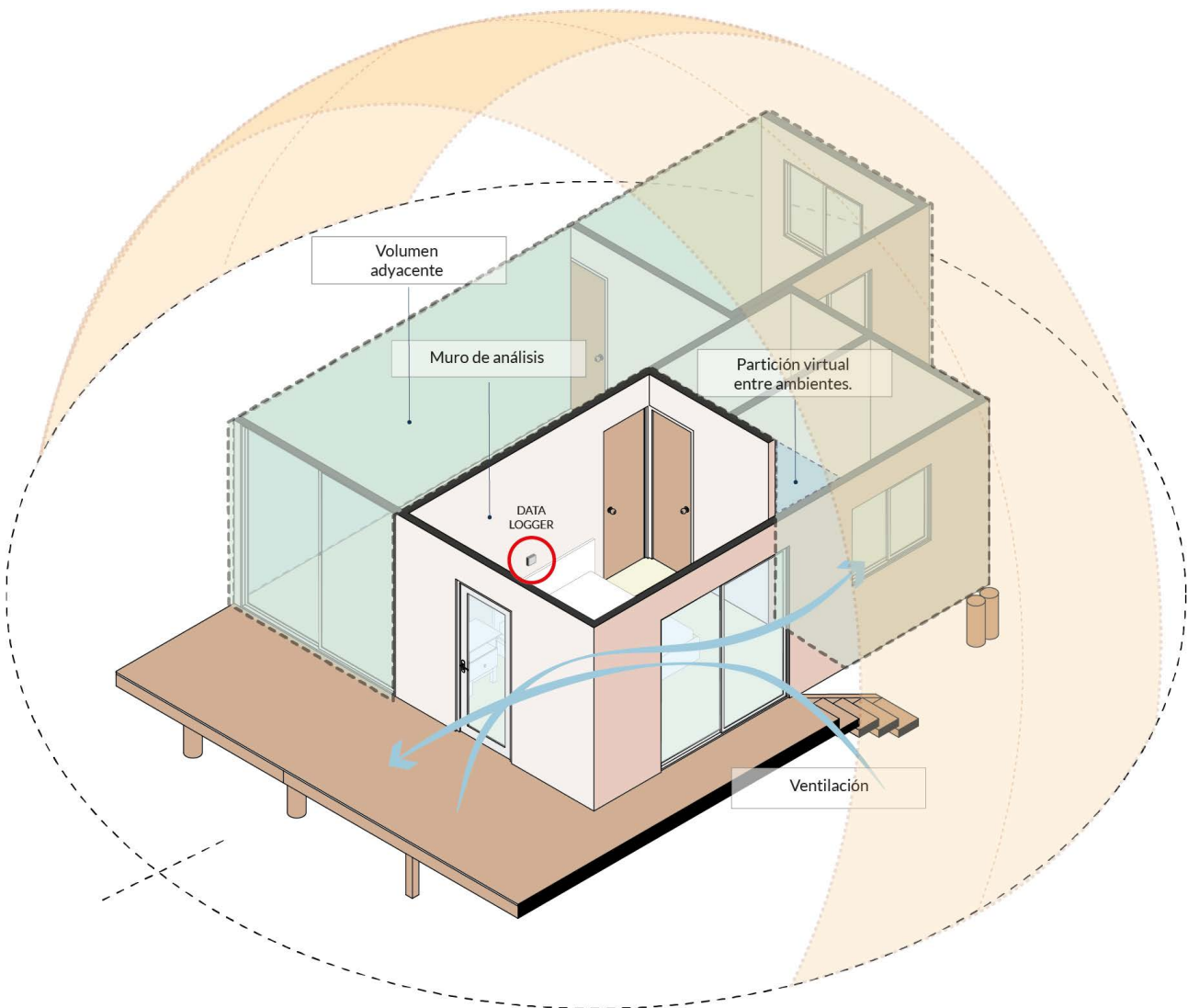
## RECINTO DE MEDICIÓN

La habitación donde se llevó a cabo el levantamiento de datos corresponde a uno de los dormitorios de la vivienda, ubicado en el primer nivel (Figura 68-69). La zona térmica analizada posee una dimensión de 2,65 m x 2,80 m, resultando en un área de 7,42 m<sup>2</sup>, con un volumen de aire de alrededor de 18,18 m<sup>3</sup>. Consta de tres paramentos verticales que dan hacia el exterior, y uno adiabático.

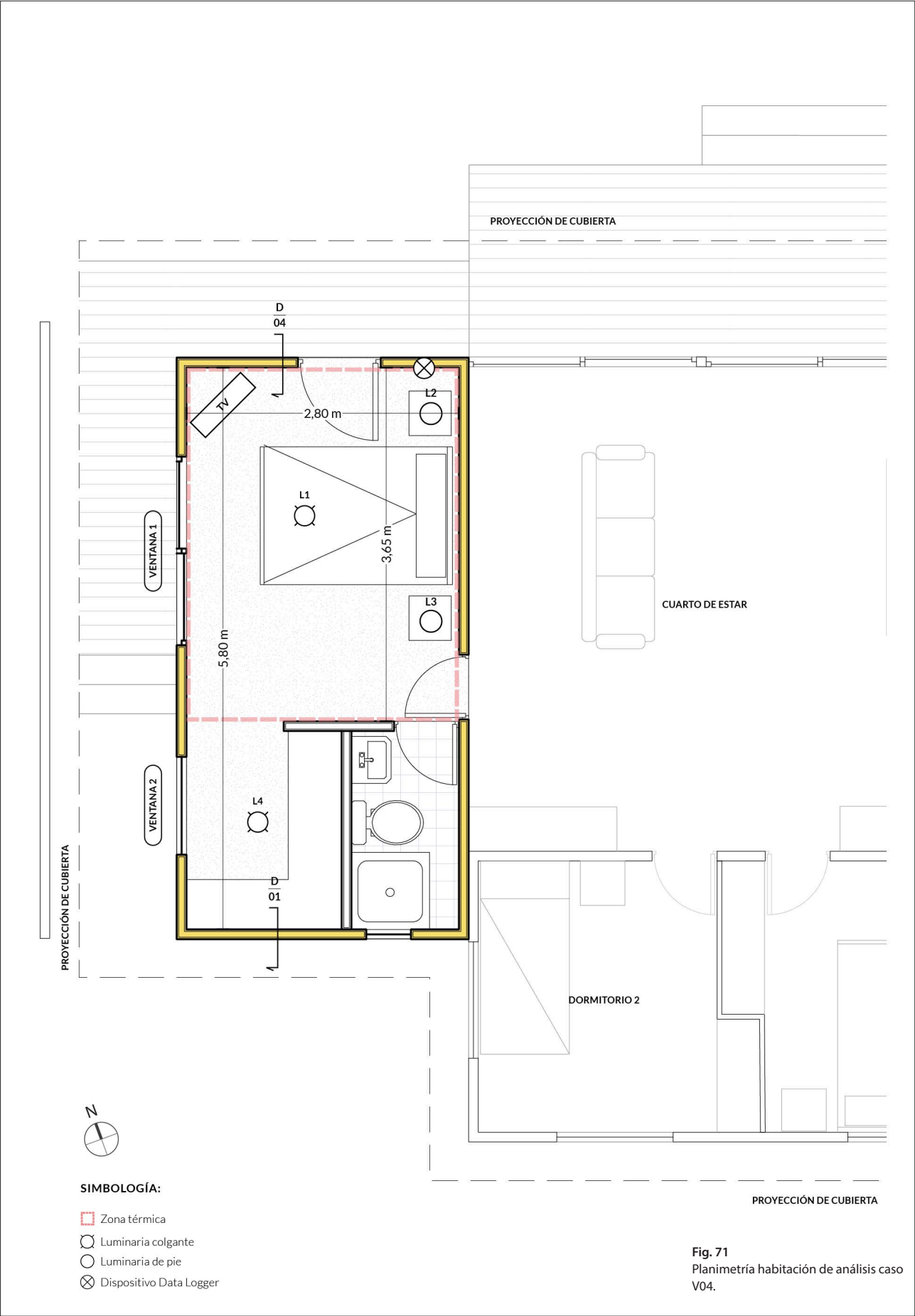
La habitación cuenta con dos ventanas con orientación poniente del tipo corredera, de 280 x 245 cm (V1) y 100 x 140 cm (V2); y una puerta vidriada abatible con orientación norte, de 200 x 90 cm (V3). El acristalamiento de las ventanas es de vidrio tipo termo panel ( $U=3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), con marcos de aluminio termo esmaltado color blanco, con felpas, burletes de sello y herrajes y quincallerías según corresponde. La cabida de los marcos en los vanos se encuentra correctamente sellados y herméticos.

El dispositivo de medición fue colocado en el muro con orientación norte, a 150 cm de altura desde el suelo. El muro en cuestión posee revestimientos exteriores con siding en madera tipo Smart Panel, con aislante de lana de vidrio de 90 mm, barrera de vapor, membrana hidrófuga y revestimiento interior de yeso cartón de 15 mm. Los muros presentan una buena terminación y no registran patologías inherentes a las que se presentan en tabiques interiores.

Fig. 70  
Diagrama plano recinto de medición V04.



# PLANIMETRÍA HABITACIÓN DE ANÁLISIS

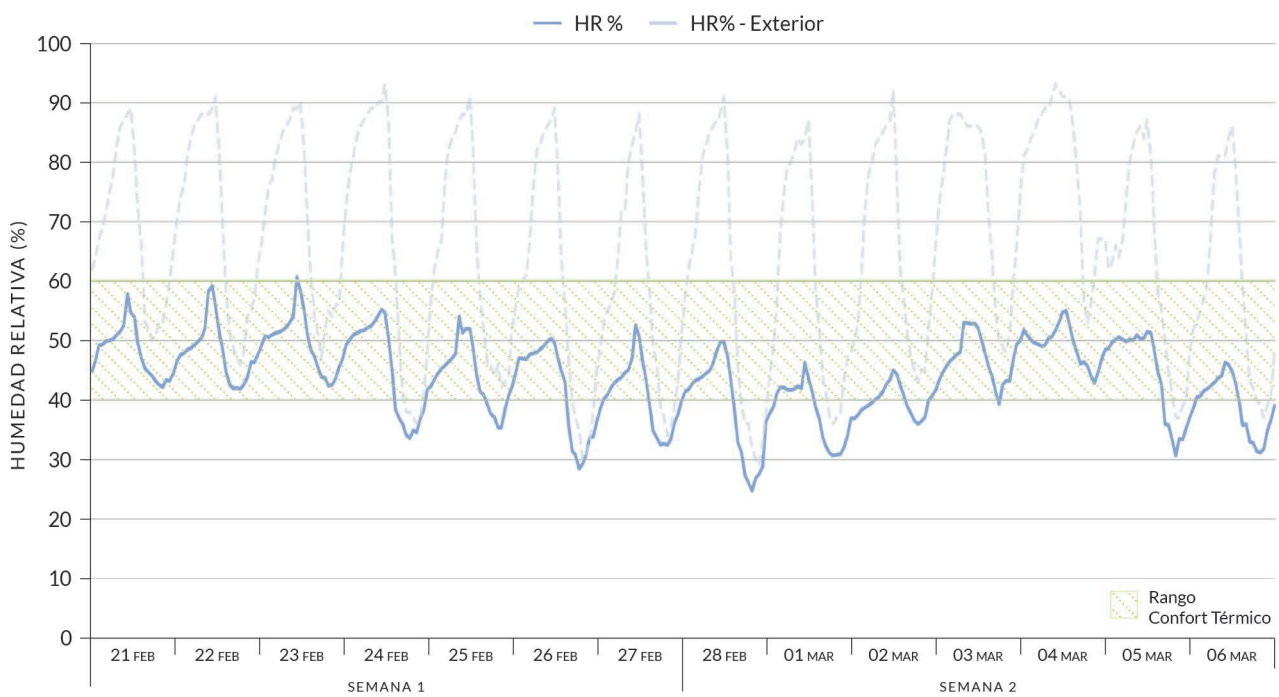
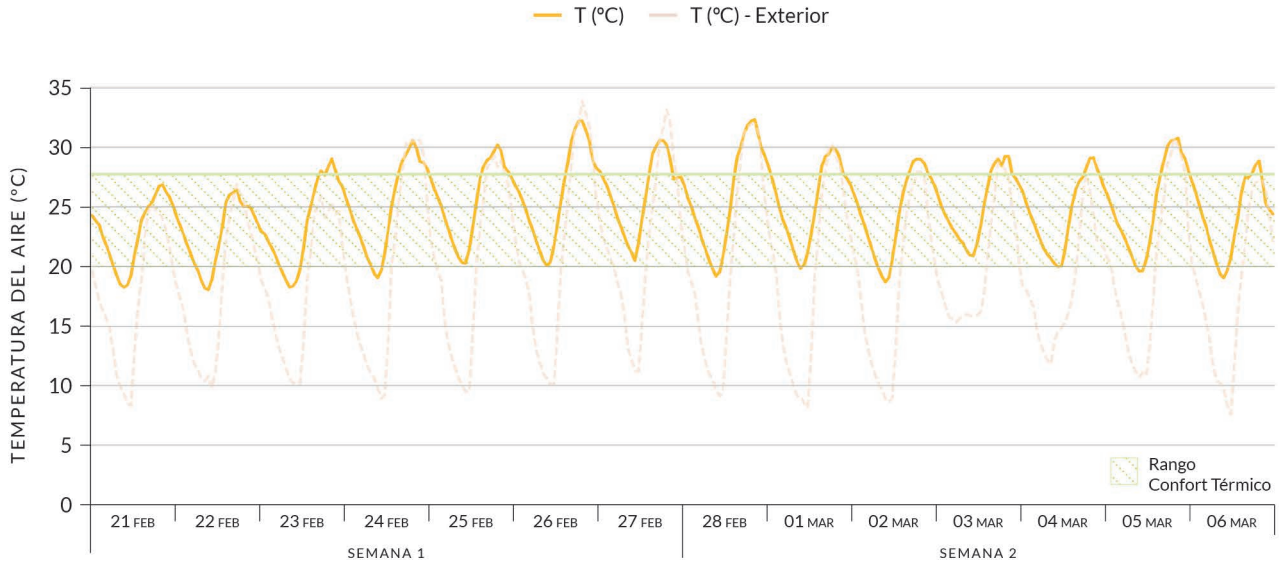


La habitación donde fue realizado el registro fue ocupada de manera permanente por al menos dos ocupantes para el periodo de verano. Para el periodo de invierno, fue utilizada de manera intermitente. Según la ficha de registro, no mantiene artefactos de refrigeración ni de calefacción al interior de la habitación de estudio.

Fig. 72 Registro de temperatura del aire periodo de verano.

Fig. 73 Registro de humedad relativa periodo de verano.

**PERIODO DE VERANO**



De acuerdo con la Figura 72, la habitación registró temperaturas interiores que oscilan entre los 18°C y los 32,7°C durante las dos semanas de análisis, siendo el caso de estudio que registra una mayor oscilación térmica durante el periodo de verano.

La habitación se mantuvo dentro del rango de confort térmico un 60% del tiempo de análisis. En las gráficas no se demuestra un desfase de tiempo importante entre las temperaturas exteriores e interiores, lo cual demuestra la poca capacidad de absorción y liberación de calor en tiempos prolongados durante el día.

La envolvente redujo en gran medida las pérdidas gracias al aislante interior que posee el muro, amortiguando las bajas temperaturas durante la noche. Sin embargo, no tuvo el mismo efecto con altas temperaturas, ya que la diferencia entre la temperatura exterior e interior es mucho menor e incluso excede a la temperatura exterior la mayor parte del tiempo. En definitiva, la envolvente es propensa a grandes fluctuaciones de temperatura según las condiciones exteriores por la baja inercia térmica que posee.

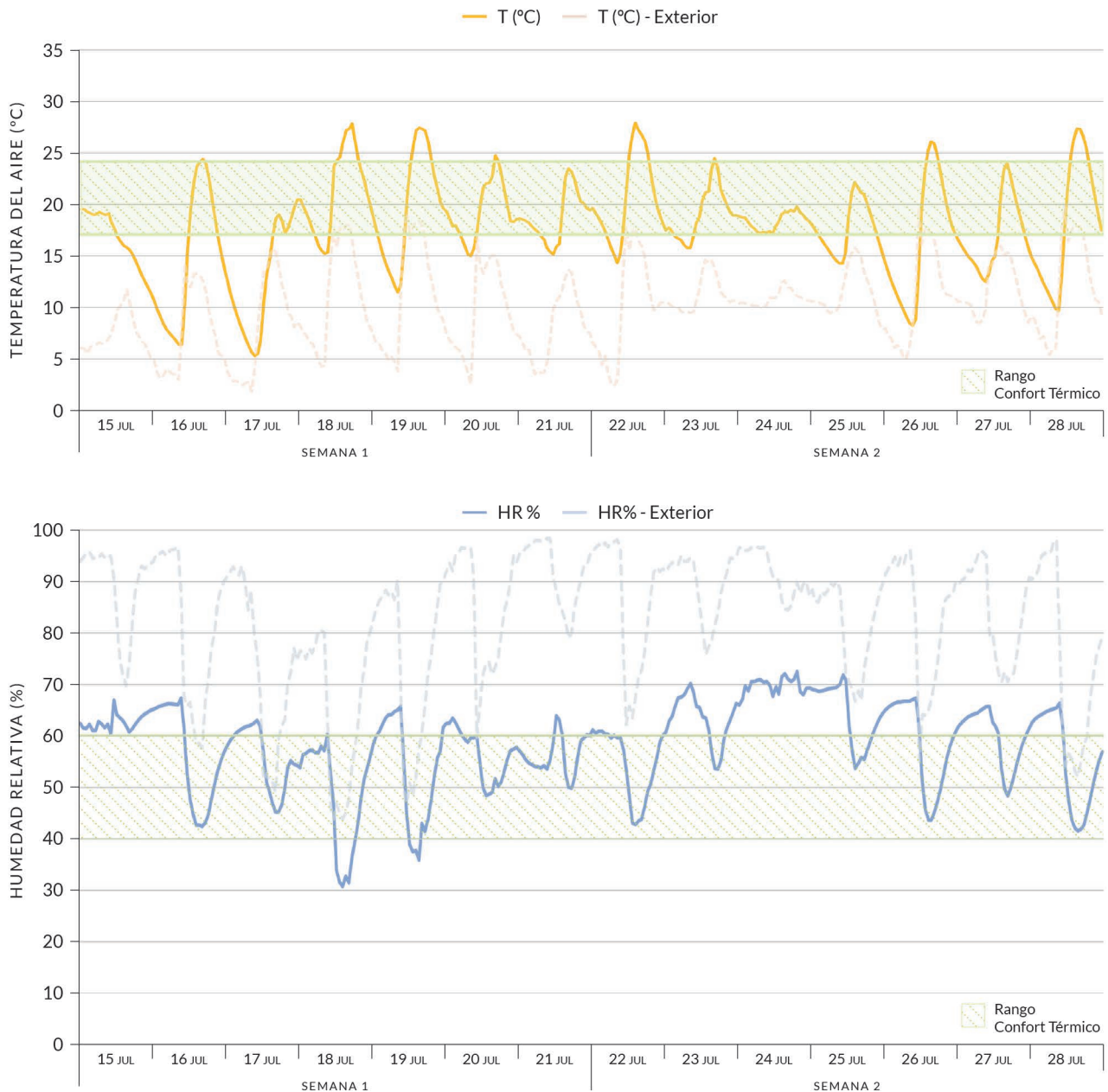
En relación con los niveles de humedad, la habitación se mantuvo un 70% del tiempo de análisis dentro del rango aceptable de humedad relativa al interior, en un rango entre 25 y 63% (Figura 73). La habitación mantuvo condiciones interiores más secas respecto al resto de los casos estudiados, con picos de humedad durante las tardes, que pueden hacer referencia a procesos de ventilación natural.

Fig. 74  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano.

Según muestran las imágenes termográficas capturadas se evidencian puentes térmicos donde se ubican los pies derechos del tabique de madera, demostrando una alta conducción de calor a través de este.



**PERIODO DE INVIERNO**



**Fig. 75**  
Registro de temperatura del aire periodo de invierno.

**Fig. 76**  
Registro de humedad relativa periodo de invierno.

De acuerdo con la Figura 75, la habitación registró temperaturas interiores que oscilan entre los 5,3°C y los 28,1°C durante las dos semanas de análisis, manteniéndose dentro un rango de confort térmico un 52% del tiempo. La habitación alcanzó oscilaciones muy altas de temperaturas durante el periodo en comparación con el resto de los casos, considerando la época del año y la variación de temperaturas registradas al exterior de la vivienda. Además, se demuestran diferencias de temperatura en horarios diurnos que superan los 10°C entre el interior y el exterior durante casi todo el periodo de análisis, lo que refiere a que el muro está absorbiendo mucho calor, pero su capacidad de liberarlo al ambiente en tiempos prolongados es mínima.

Según la Figura 76, la habitación registró mayores niveles de humedad respecto al periodo de verano, registrando entre un 30 y un 73% de humedad relativa al interior de la habitación. La gráfica describe una oscilación muy similar a las condiciones exteriores, pero en menor amplitud. Durante este periodo, la habitación se mantuvo un 47% del tiempo dentro del rango aceptable respecto a los niveles de humedad relativa al interior.

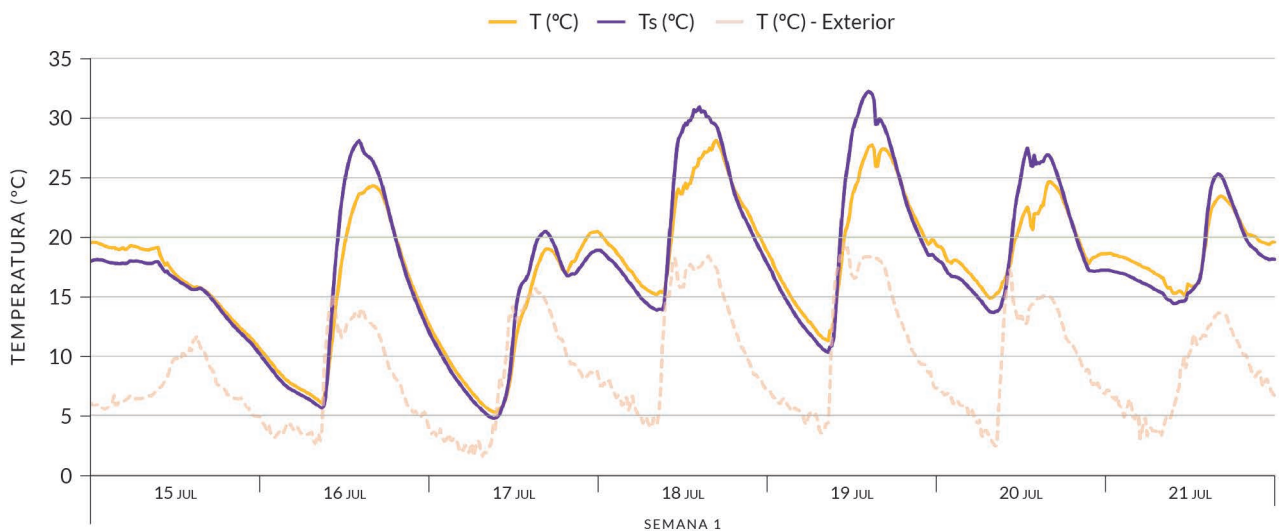
Fig. 77-80  
Imágenes termográficas registradas durante el periodo de invierno.



### TEMPERATURA SUPERFICIAL

Según la Figura 81, la temperatura superficial que alcanza el muro durante el periodo de invierno es mayor que la temperatura del aire al interior de la habitación durante la mayor parte de los días de medición respecto a las temperaturas máximas. La temperatura superficial se mantiene constantemente por encima de la temperatura interior de la habitación. Lo anterior demuestra un bajo rendimiento en cuanto a su inercia térmica, dado que la temperatura interior y la temperatura superficial se encuentran muy sintonizadas, sin describir grandes tiempos de retardo en la transmisión de calor desde el muro. El muro absorbe mucho calor en los momentos de mayor temperatura exterior, que se demuestran en los picos que describe la curva. Pese a que el muro aumenta su temperatura, por su baja inercia térmica este no es capaz de retener dicha temperatura.

Fig. 81  
Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno.



### 4.4 COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS

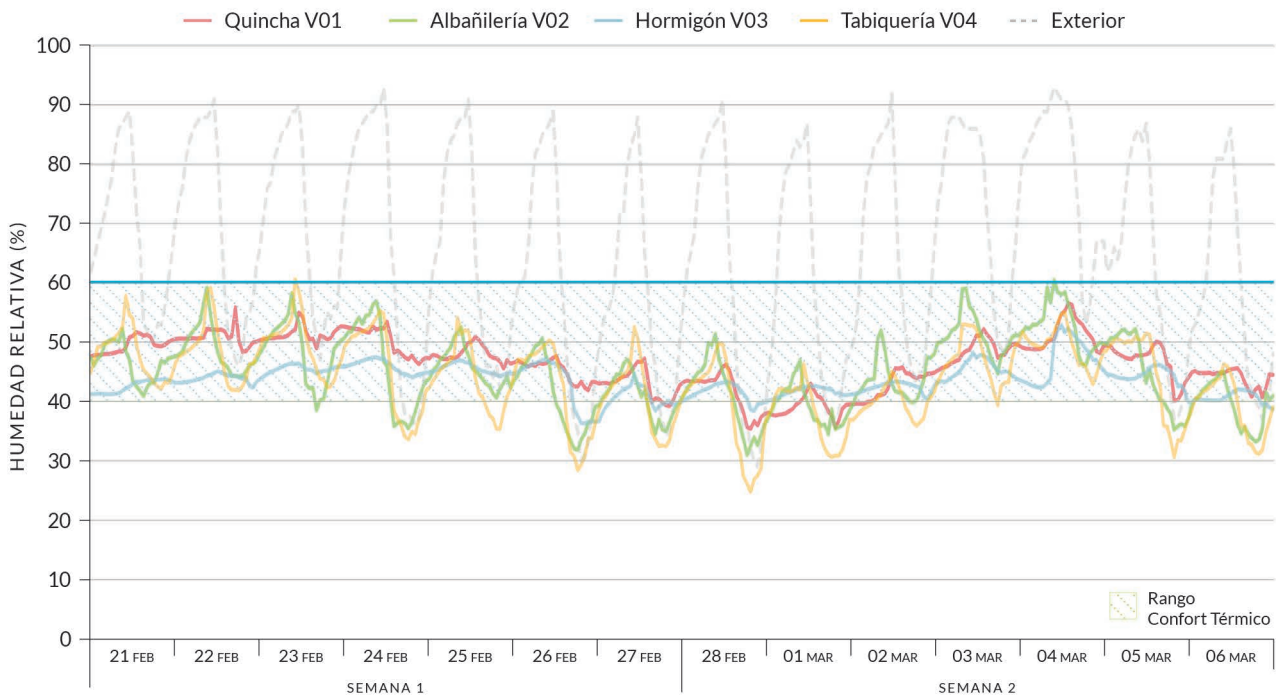
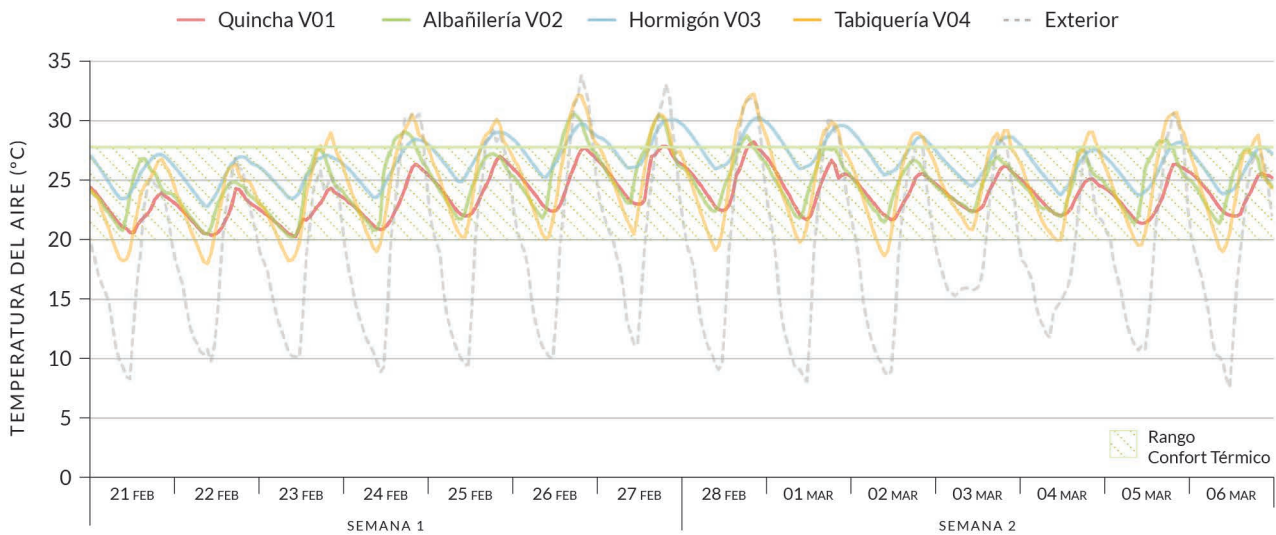
#### PERIODO DE VERANO

Durante el periodo de verano (Figuras 82 y 83), la solución de quincha liviana seca (V01) describe un comportamiento muy similar a la albañilería de ladrillo (V02) pero con una menor amplitud respecto a las diferencias entre máximas y mínimas de temperatura registrada al interior de la habitación. Para el caso de hormigón armado (V03), se registraron oscilaciones de temperatura más regulares durante el periodo de análisis, pero a mayores grados de temperatura en comparación con la quincha liviana seca.

En comparación, se observan mayores desfases entre la temperatura exterior e interior en el caso V01, lo que demuestra que el muro está absorbiendo calor y liberándolo en periodos más prolongados respecto al resto de los casos de estudio. Pese a ello, la solución demuestra bajos tiempos de retardo para el intercambio de calor.

Fig. 82 Comparativa temperatura del aire interior del periodo de verano.

Fig. 83 Comparativa humedad relativa del aire interior del periodo de verano.



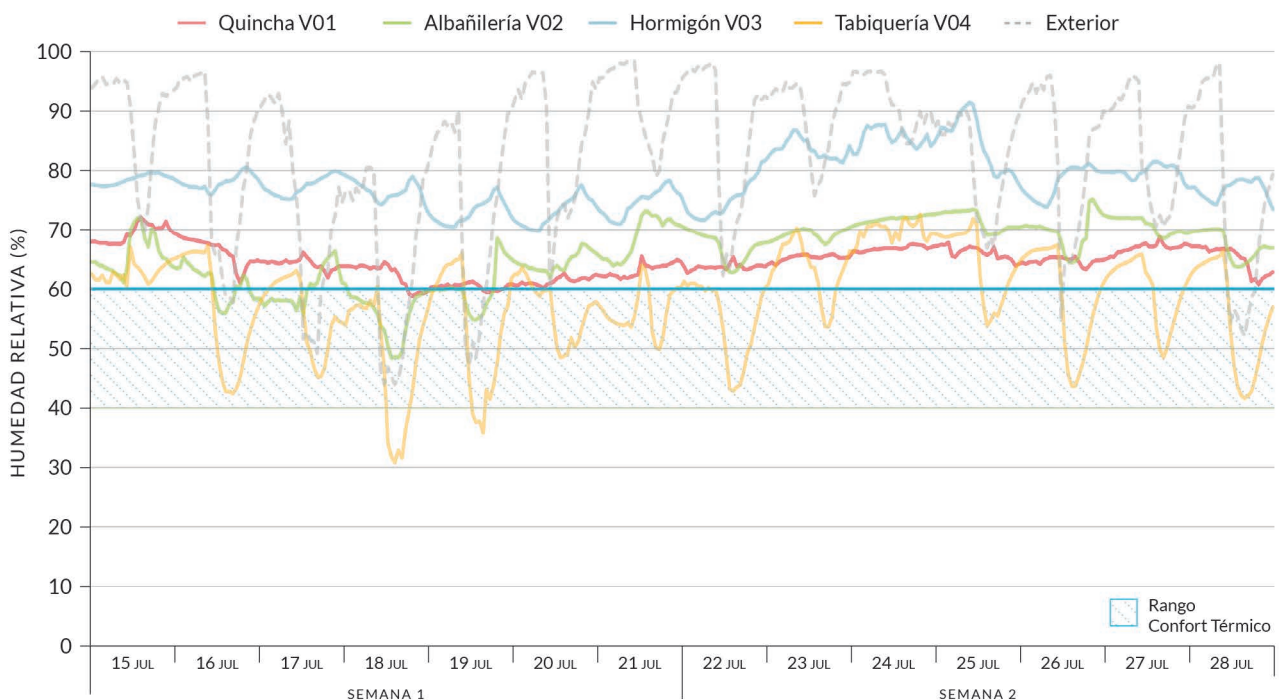
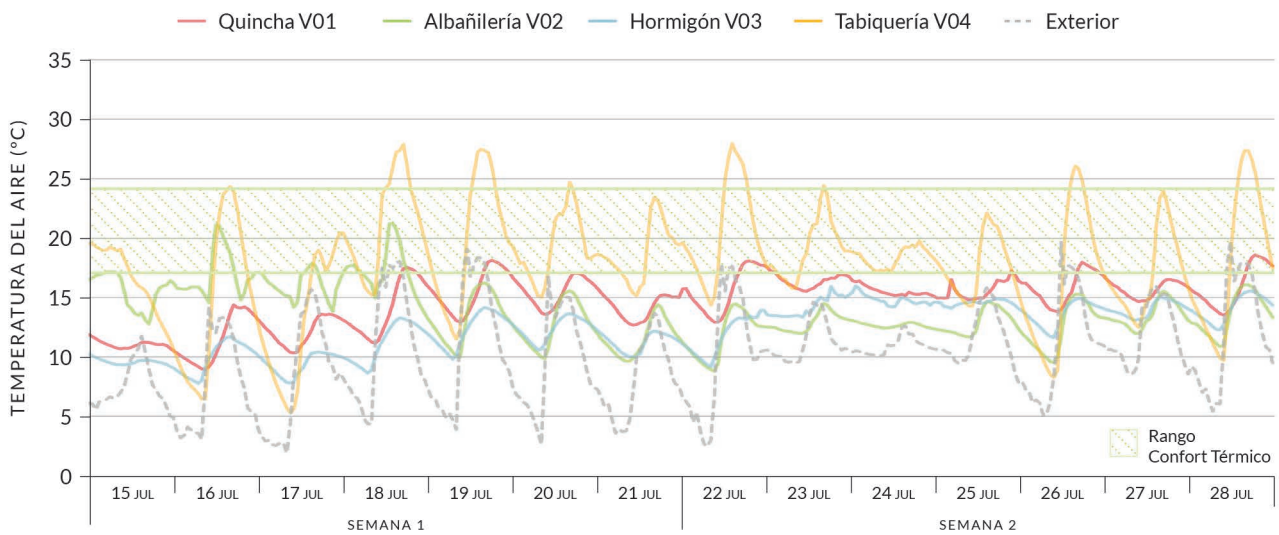
**PERIODO DE INVIERNO**

Durante el periodo de invierno (Figuras 84 y 85) el caso de quincha tiende a calentarse menos, pero alcanza una mayor temperatura interior respecto a los casos V02 y V03 sin considerar artefactos de calefacción al interior de la habitación. El caso de quincha no alcanza rangos de confort térmico óptimos durante el periodo de invierno, lo que indica la necesidad de estrategias complementarias para calefaccionar el interior en esta época del año.

El caso V04 si bien alcanza mayores tiempos dentro del rango de confort térmico, demuestra oscilaciones de temperatura interior muy abruptas entre el día y la noche durante el periodo de invierno, alcanzando temperaturas máximas incluso más altas que la temperatura exterior. Lo anterior refiere a lo susceptible que es el muro de tabiquería ligera a las fluctuaciones de temperatura exterior, demostrando pulsaciones de calor similares a las condiciones exteriores.

Fig. 84  
Comparativa temperatura del aire interior del periodo de invierno.

Fig. 85  
Comparativa humedad relativa del aire interior del periodo de invierno.



### TOTAL HORAS DE CONFORT HIGROTÉRMICO

En cuanto a las horas de confort higrotérmico, la habitación del caso V01 se mantiene un 95% del tiempo dentro de un rango de confort térmico y un 90% en un rango aceptable de nivel de humedad relativa durante el periodo de verano, siendo el caso de estudio que alcanza mayores tiempos de confort higrotérmico en relación con el resto de los casos (Figura 86). Seguido del caso de quincha liviana seca, se encuentra el caso de albañilería (V02) con un 82% y 78% respectivamente. Durante el periodo de invierno, los casos V01, V02 y V03 no alcanzan a mantenerse en confort higrotérmico ni un 20% del tiempo. En este ámbito puede haber influido que las habitaciones permanecieron desocupadas la mayor parte del tiempo. El caso V04, en cambio, registró confort térmico y una humedad relativa confortable un 52% y 47% respectivamente. Sin embargo, la habitación no fue utilizada durante este periodo, y según el comportamiento que tuvo la envolvente descrito por la temperatura superficial del muro, la envolvente absorbe mucha temperatura pese a las condiciones exteriores.

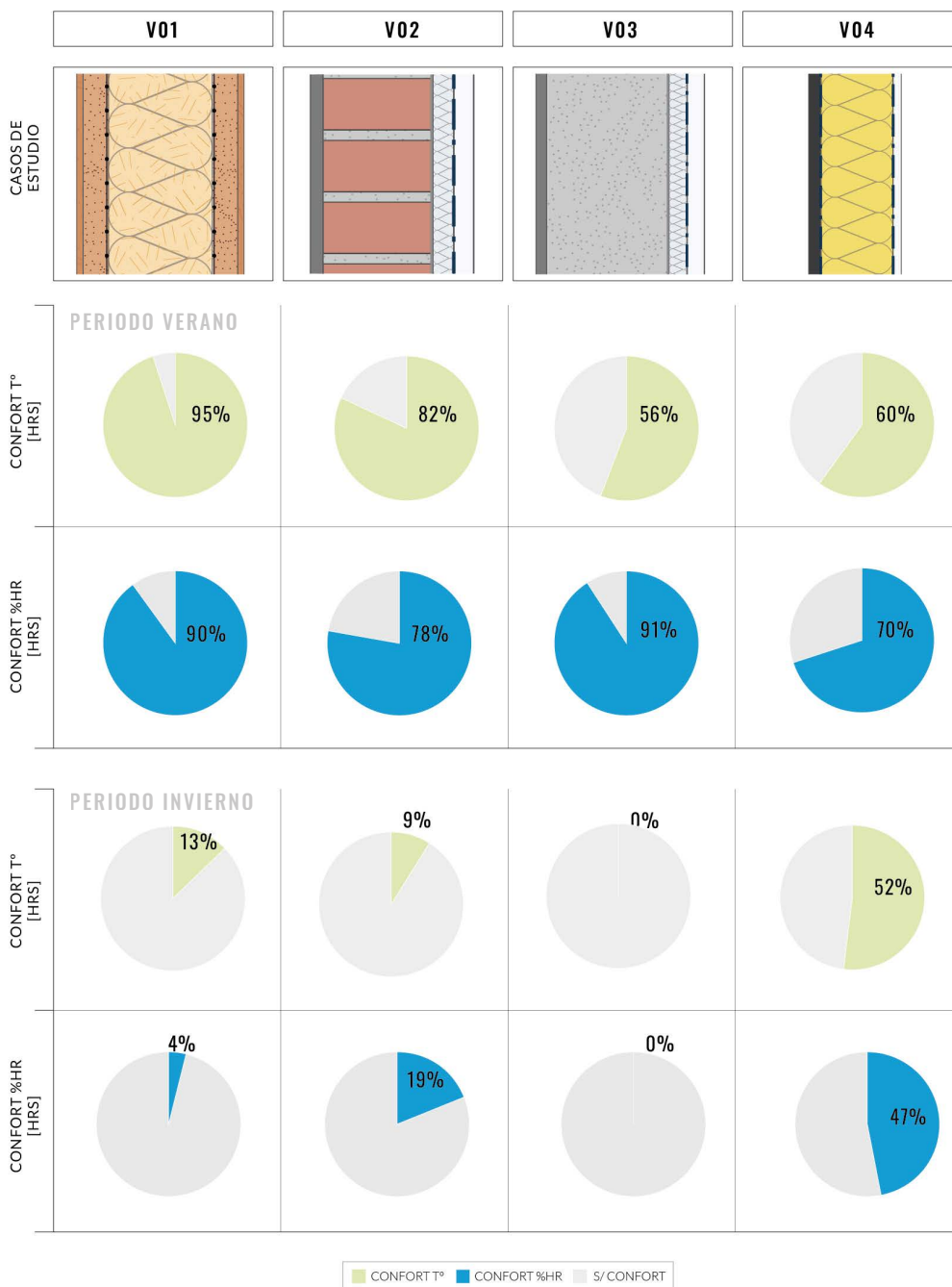


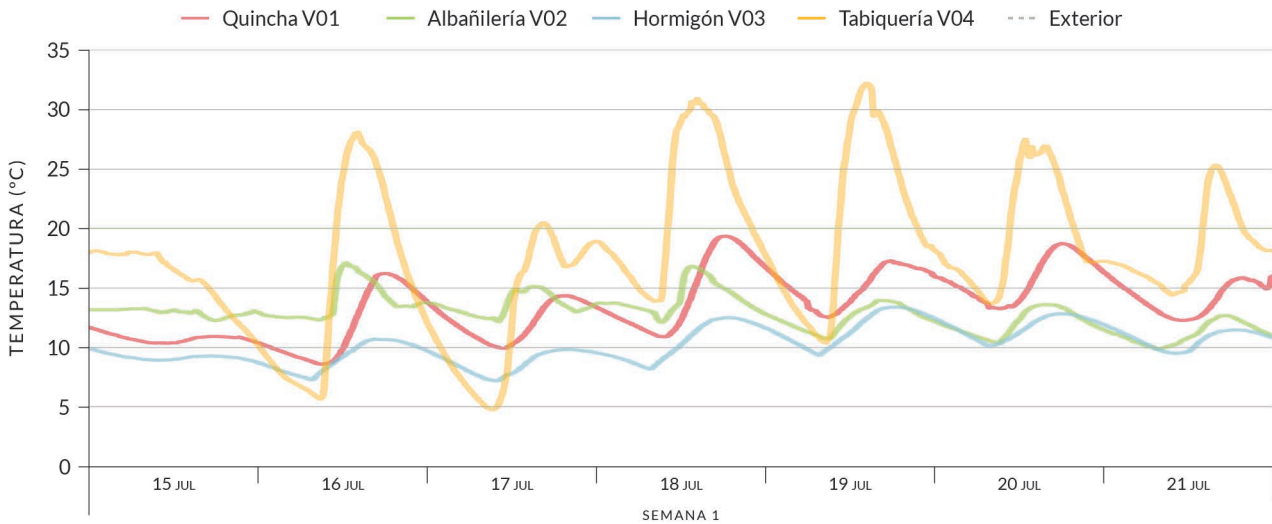
Fig. 86 Comparativa porcentajes totales de Horas de Confort Higrotérmico según periodo de análisis.

### TEMPERATURA SUPERFICIAL PERIODO INVIERNO

Respecto a las temperaturas superficiales (Figura 87), el caso de tabiquería ligera (V04) demuestra temperaturas superficiales del muro muy altas en comparación al resto de los casos de análisis, lo que demuestra la tendencia que posee el muro a sobrecalentarse. En ninguna de las soluciones analizadas se observan comportamientos acordes a una solución de alta masa térmica, dado que los casos que presentan masa térmica, como la albañilería de ladrillo (V02) y el hormigón armado (V03), poseen el material aislante hacia la cara interior del muro, lo que disminuye su capacidad de inercia térmica y, por lo tanto, puede limitar la eficacia del intercambio de calor hacia el interior de la habitación.

Según la gráfica, la solución de albañilería y hormigón demuestran un mayor amortiguamiento en cuanto a los flujos de calor a través del muro, con temperaturas superficiales más bajas respecto al caso de quincha o tabiquería ligera. La quincha demuestra tener valores constantes en su temperatura superficial, y con valores sobre 10°C en la mayoría de los casos.

Fig. 87  
Comparativa temperatura superficial de los muros de estudio del periodo de invierno.



#### 4.5 SÍNTESIS DEL CAPÍTULO

Las mediciones realizadas han evidenciado diferencias significativas en el desempeño térmico entre las distintas opciones constructivas analizadas. Durante el periodo de verano, la habitación V01 (quincha liviana seca), en particular, demuestra un desempeño favorable gracias a su moderada inercia térmica e higroscópica, proporcionando ambientes más frescos en verano. En base a su comportamiento, se plantea que aumentar el espesor de la quincha podría mejorar aún más estos atributos, según se ha observado en las mediciones de campo. Pese a ello durante el periodo de invierno no alcanza mayores tiempos de confort térmico ni tiempos de humedad relativa confortable, requiriendo de estrategias activas de calefacción para conseguir confort térmico.

La habitación de albañilería (V02) y de hormigón armado (V03) consiguen estar gran parte del tiempo dentro del rango de confort (sobre un 50%), no así en invierno. Sin embargo, los resultados del periodo de invierno son menos consistentes por no encontrarse habitados durante el periodo de análisis. El caso de tabiquería ligera, en cambio, presenta tiempos de confort durante ambos periodos, pero considerando que el muro tiende a ganar más temperatura y liberarlo al ambiente en ciclos de tiempo muy cortos.

A pesar de que los casos pueden variar en volumen, área o configuración espacial, los resultados son consistentes con el comportamiento esperado de las soluciones constructivas.

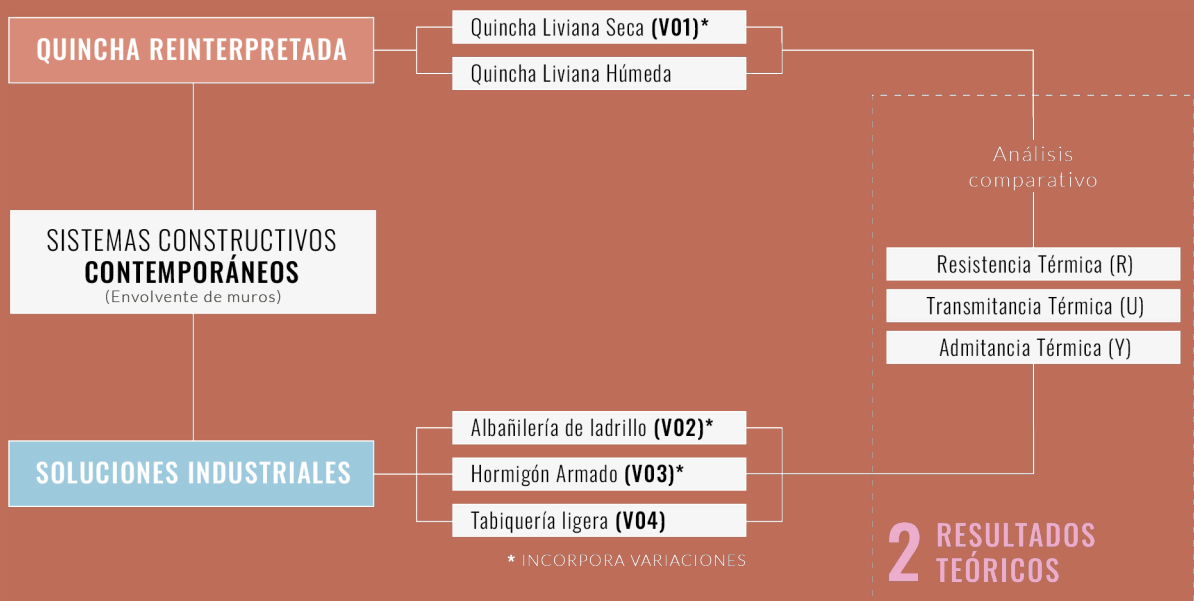




## CAPÍTULO 5: CÁLCULO TEÓRICO PERFORMANCE TÉRMICA

En un contexto donde se enfatiza la necesidad de edificaciones más eficientes en ámbitos de consumo energético (MPA The Concrete Center, 2019), resulta fundamental explorar el comportamiento térmico e higrotérmico de los materiales que componen la envolvente térmica de los edificios, en miras de reducir los requerimientos energéticos durante su ciclo de vida útil y maximizar su rendimiento general. Lo anterior implica examinar las propiedades térmicas intrínsecas de los materiales de construcción y analizar como interactúan con el ambiente circundante, a modo de tomar rigurosas decisiones de diseño. Esta exploración detallada proporciona una comprensión más profunda de como los materiales pueden interactuar con el clima y el medio, entendiendo cómo sus propiedades pueden influir en el comportamiento general de la envolvente. Al mismo tiempo, optimizar las propiedades térmicas o higroscópicas de los materiales permite descubrir estrategias para mejorar la eficiencia energética y el confort al interior de los edificios.

Fig. 1  
Diagrama método de análisis.



## 5.1 CONFORT AMBIENTAL

Como menciona (Costa Carrapiço et al., 2014), lograr una sensación de bienestar térmico a partir de estrategias pasivas de diseño, aumentar la eficiencia energética mediante la incorporación de energías renovables y reducir al mínimo el impacto ambiental asociado a la construcción durante todas las etapas del ciclo de vida de un edificio son requisitos cada vez más cruciales para el diseño y planificación de la arquitectura contemporánea.

El bienestar ambiental o confort ambiental refiere al conjunto de condiciones ambientales que se consideran adecuadas para un espacio habitable donde las personas realizan sus actividades (Bustamante, 2009). El confort higrotérmico se encuentra estrechamente relacionado con las diversas condiciones ambientales con las que un cuerpo interactúa (Bustamante, 2009). Desde la perspectiva del intercambio de calor, el confort higrotérmico se puede describir como el estado en el cual el intercambio de calor con el entorno se encuentra en equilibrio (D'alençon, 2008). Este equilibrio queda definido según las condiciones interiores de un recinto, siendo influenciado por la temperatura del aire, la temperatura radiante de las superficies, los niveles de humedad relativa y el movimiento del aire. La condición de confort higrotérmico define el grado de satisfacción que puede presentar una persona respecto al ambiente que lo rodea (Bustamante, 2009).

En este ámbito, una de las aristas de investigación cada vez más explorada en torno a los valores de sostenibilidad ambiental presentes en la arquitectura vernácula es la del rendimiento higrotérmico de los materiales (Lawrence en Piesik, 2017). La inercia higroscópica corresponde a la capacidad de un material de absorber, almacenar y liberar humedad (vapor de agua) al entorno en el que se encuentra. Esta característica permite que las fluctuaciones en la humedad relativa del aire dentro de un espacio presente una atenuación de los picos diarios de humedad, mejorando el confort interior y reduciendo los gastos energéticos relacionados con él (Mesquita, 2012). Por ejemplo, materiales aislantes de fibras naturales poseen la capacidad de crear paredes “respirables” que absorben y liberan la humedad de manera efectiva en respuesta a las variaciones en la humedad relativa y presión de vapor en el ambiente (Lawrence en Piesik, 2017). Esta capacidad de transpiración produce un efecto de amortiguación de la humedad, comparable al efecto amortiguador térmico (ibid.).

La combinación inteligente de estas propiedades materiales y estrategias de diseño puede crear un entorno interior confortable en términos de temperatura, promoviendo así el bienestar térmico de los ocupantes y reduciendo la dependencia de sistemas de calefacción y refrigeración, que a su vez tiene un impacto positivo en la eficiencia energética y la sostenibilidad de la edificación.

## 5.2 VARIABLES DE ANÁLISIS DE LA PERFORMANCE TÉRMICA

Considerando las condiciones climáticas del lugar de estudio seleccionado (Csb) para la zona central, caracterizado por ser un clima del tipo templado cálido con lluvias invernales y estación seca de 7-8 meses (Figura 2-3), con una alta oscilación térmica durante el día y la noche, es fundamental maximizar las ganancias internas y minimizar las pérdidas de calor en la envolvente como estrategias de diseño pasivo.

Fig. 2

Utilizar la ganancia de calor proveniente de las luces, las personas y los equipos reduce en gran medida las necesidades de calefacción, por lo que debe mantener la casa hermética y bien aislada (para reducir la temperatura del punto de equilibrio).

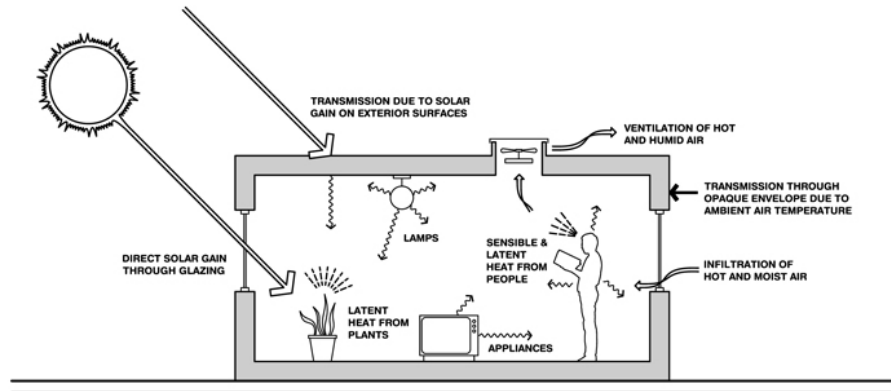
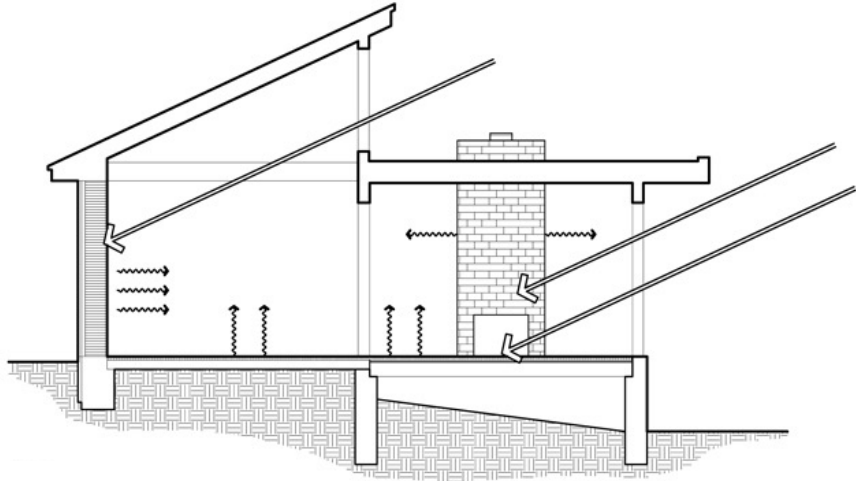


Fig. 3

Utilizar superficies interiores de gran masa, como pisos de losa, paredes de gran masa y una chimenea de piedra, para almacenar el calor pasivo del invierno y el "frescor" de la noche del verano.

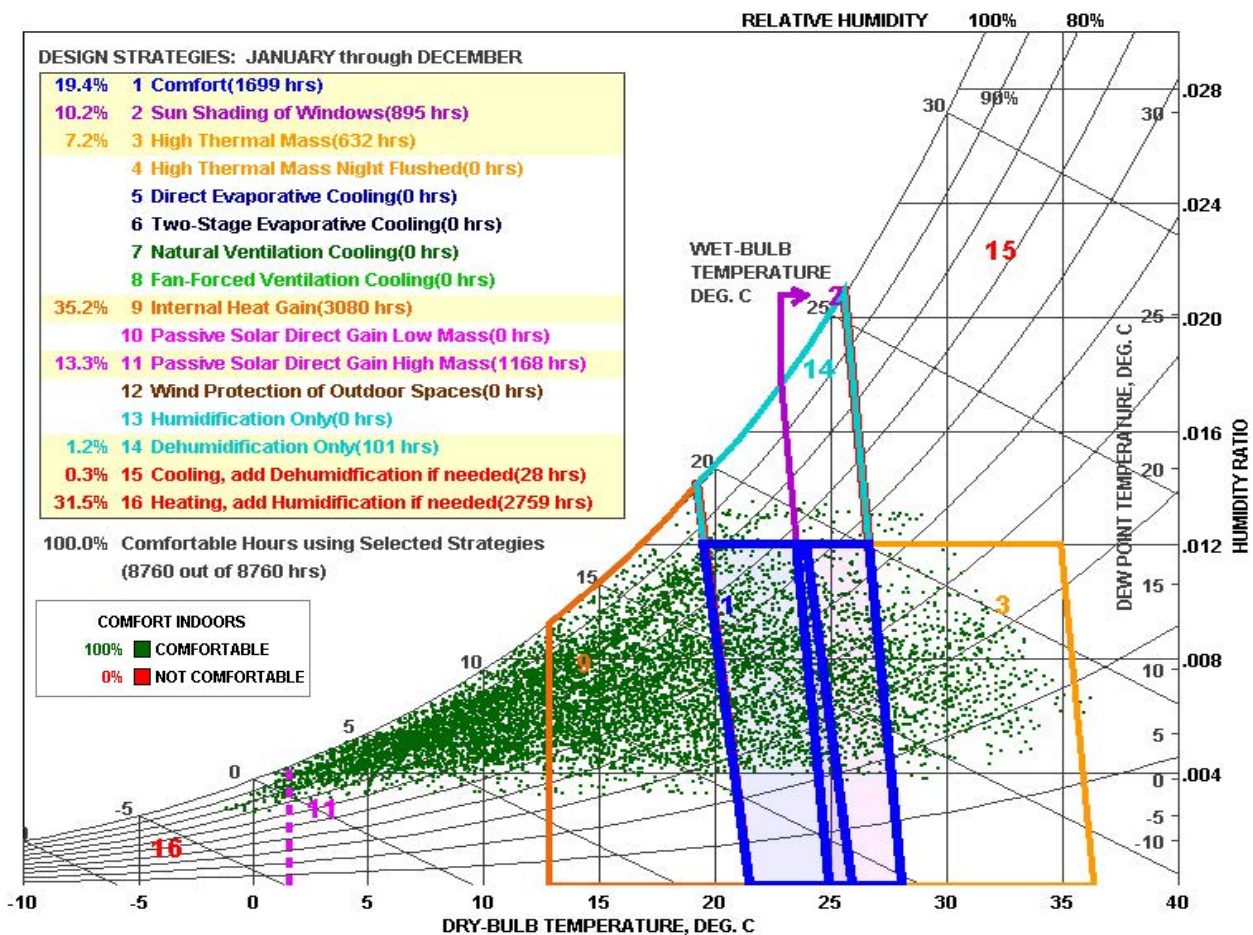


El cuadro psicométrico (Figura 4) presentado demuestra las estrategias pasivas y activas adecuadas para alcanzar una temperatura confortable para el clima de Limache, conforme a los estándares de la norma ASHRAE55 basados en el método PMV (Predicted Mean Vote).

Según los datos, es importante que la envolvente arquitectónica retenga las ganancias de calor internas al menos un 35,2% de las horas anuales. Esto subraya la importancia de integrar materiales aislantes en su diseño. En cuanto a la masa térmica, según el gráfico durante el 13,3% del tiempo se puede conseguir confort térmico mediante el aprovechamiento de ganancias solares pasivas por medio de estructuras de alta masa térmica. Además, una alta masa térmica contribuye a un 7,2% adicional de las horas de confort. Cabe señalar que es importante que la masa del material aislante interactúe directamente con el espacio interior para alinear su función con la estrategia de inercia térmica, favoreciendo la estabilidad de temperatura interior y la reducción del consumo de energía (Costa Carrapiço et al., 2014)

En cuanto a estrategias activas, se requiere un 31,5% del tiempo utilizar sistemas de calefacción para conseguir confort, dado las bajas temperaturas que se alcanzan durante el invierno. Es importante mencionar que, de manera autónoma, el clima por sí solo proporciona condiciones de confort aproximadamente un 20% del tiempo.

En definitiva, para climas con alta variación térmica diaria como el de Limache, se aconseja incorporar estrategias de diseño para obtener ganancias solares directas por medio de elementos de alta masa térmica, así como considerar elementos aislantes para retener las ganancias internas de la envolvente.



### 5.2.1 RESISTENCIA Y TRANSMITANCIA TÉRMICA

La transmitancia térmica (U) refiere al flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento (NCh 853, 2007). Mientras mayor sea la transmitancia térmica de un elemento constructivo, menor es el efecto de aislamiento térmico que adquiere. Por el contrario, mientras menor sea la transmitancia térmica, mejor resulta su efecto de aislación térmica y por tanto genera menores pérdidas de calor a través del elemento (Bustamante, 2009). Para obtener una menor transmitancia térmica, se deben considerar materiales con una menor conductividad térmica (l) y que permanezcan secos, dado que el nivel de humedad de los materiales puede aumentar su conductividad térmica (ibid.). Sumado a lo anterior, también se debe considerar que, si el sistema constructivo incluye cámaras de aire en su interior, estas no deben intercambiar aire entre el ambiente exterior e interior, es decir, las cámaras de aire deben mantenerse estancas (ibid.).

El inverso a la transmitancia corresponde a la resistencia térmica (Rt) del material, que indica la oposición que ofrece el sistema constructivo al paso de calor a través de él (Bustamante, 2009). Su resultado depende del espesor que posee el material y su respectiva conductividad térmica. La resistencia térmica total finalmente se obtiene a partir de la suma de las resistencias térmicas de cada uno de los componentes del sistema constructivo, tanto sólidos como cámaras de aire, incluyendo las resistencias que pueden presentar las superficies exteriores e interiores. El alcance que poseen estas propiedades permite anticipar el comportamiento que posee un sistema constructivo en relación con el acondicionamiento térmico de la envolvente del edificio. Actualmente estos parámetros son los únicos que rigen las exigencias normativas respecto al acondicionamiento térmico de viviendas en Chile.

Fig. 4 Gráfico psicrométrico para el clima de Lima.

### 5.2.2 MASA TÉRMICA

Por definición, la característica de masa térmica de un edificio describe la capacidad de ciertos materiales para absorber calor, que les otorga inercia para contrarrestar los cambios de temperatura (MPA The Concrete Center, 2019). Los materiales que poseen una mayor inercia térmica tienen la capacidad de almacenar calor durante periodos más largos de tiempo y liberarlo gradualmente al ambiente, lo que puede ayudar a regular la temperatura interior de la edificación.

Esta propiedad está condicionada por tres variables: la densidad, la conductividad térmica y el calor específico de un material. La densidad ( $\rho$ ) de un material describe la cantidad de masa por una unidad de volumen dado. Mientras mayor sea la densidad del material, mayor podrá ser el calor que este pueda almacenar. La conductividad térmica ( $\lambda$ ) refiere a la cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa a través de un material cuando existe una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras (NCh 853, 2007). Si la conductividad térmica es moderada, la cantidad de calor que entra y sale del material se encuentra en cierta sintonía con el ciclo diario de calentamiento y enfriamiento del edificio (MPA The Concrete Center, 2019). Por último, el calor específico o capacidad calorífica específica ( $c$ ) corresponde al calor necesario para elevar en una unidad la temperatura de un kilogramo de material (Bustamante, 2009). Si la capacidad calorífica es alta, quiere decir que el material optimiza la cantidad de calor presente en cada kilogramo (MPA The Concrete Center, 2019).

En definitiva, para que un material proporcione una mayor inercia térmica requiere de la combinación entre una alta densidad, una alta capacidad calorífica y una conductividad térmica moderada, indicadores que definen el comportamiento de la resistencia al flujo de calor entre las capas de los materiales de una solución constructiva (Tabla 1). La inercia térmica, está fuertemente ligada al almacenamiento de energía térmica (Costa Carrapiço et al., 2014), entre más calor tenga un material para almacenar calor, su respuesta ante cambios térmicos será más lenta (Lawrence en Piesik, 2017). Los materiales con una alta masa térmica, como el hormigón o el adobe, pueden almacenar calor durante el día y liberarlo lentamente durante la noche. Esta propiedad ayuda a estabilizar las temperaturas dentro de un edificio, obteniendo un mayor control térmico pasivo y reduciendo la necesidad de sistemas de calefacción o refrigeración.

**Tabla 1.**  
Masa térmica efectiva para ciertos materiales de construcción.

MASA TÉRMICA EFECTIVA				
Materiales	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad térmica [W/m <sup>2</sup> K]	Calor específico [J/kg <sup>o</sup> K]	Masa térmica efectiva
Madera	380 - 880	0,1 - 0,16	1759	Baja
Acero	7850	58	500	Baja
Hormigón con áridos ligeros	1000 - 1400	0,33 - 0,55	920	Media
Hormigón armado	2400	1,63	920	Alta
Ladrillo macizo hecho a máquina	1000 - 2000	0,46 - 1	750	Alta
Adobe	1000 - 1800	0,90	1100	Alta
Arcilla	2100	0,93	920	Alta
Revoque de tierra	1880	0,70	840	Alta
Arena	1500	0,58	920	Alta

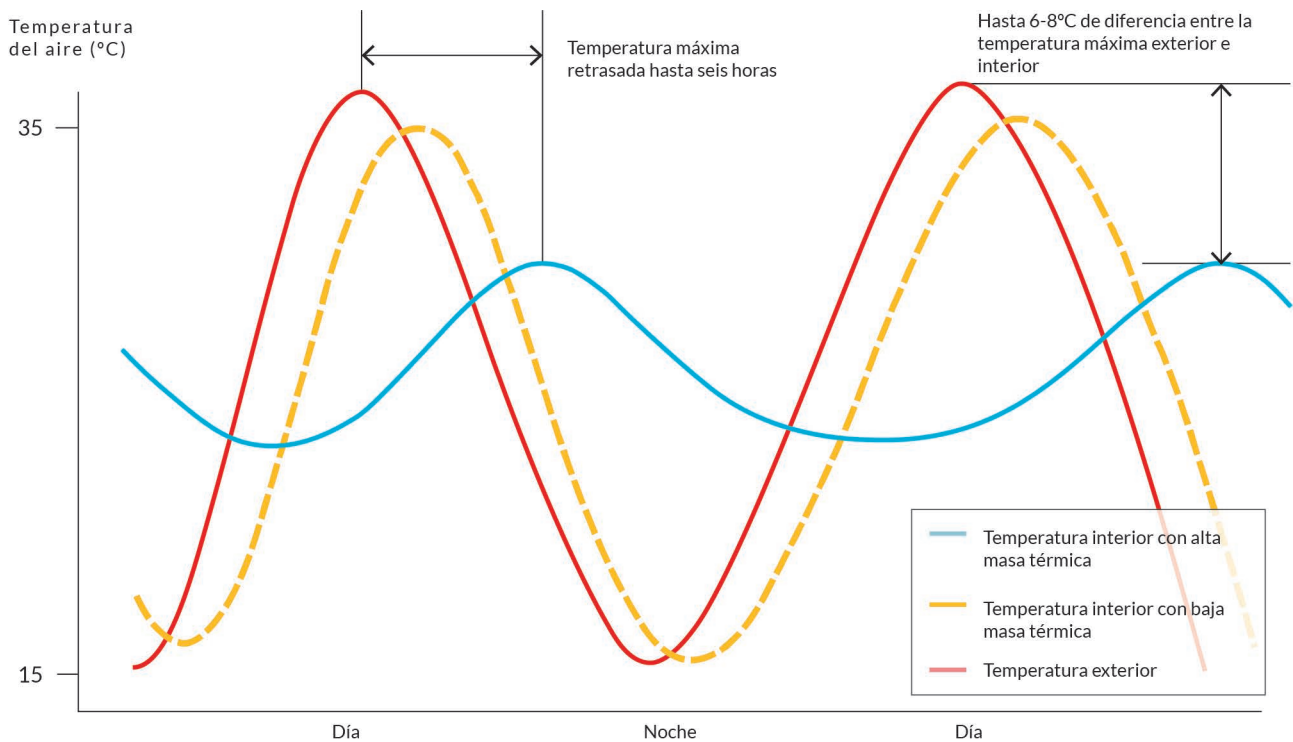


Fig. 5 Efecto estabilizador de la masa térmica sobre la temperatura interna.

Al reducir la dependencia de sistemas de climatización mecánica, los edificios con una adecuada masa térmica pueden mejorar significativamente la eficiencia energética a partir de la disminución del consumo de energía y, por ende, los costos operativos asociados a este. Al mismo tiempo disminuir el consumo energético reduce las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) asociadas con la generación de energía para calefacción y refrigeración.

Estas variables son importantes de considerar al momento de diseñar la envolvente del edificio, teniendo en cuenta que la combinación de ciertos materiales tendrá directa influencia en el confort térmico que perciban los habitantes en su interior. Desde esta perspectiva, el análisis de la masa térmica es esencial para crear edificios más confortables y sostenibles desde el punto de vista energético y ambiental, entendiendo que una alta inercia térmica revela una contribución significativa a la edificación en términos de sostenibilidad económica y ambiental (Costa Carrapiço et al., 2014).

Un elemento constructivo con una mayor masa térmica genera un efecto estabilizador sobre la temperatura interna de un recinto al retrasar el intercambio de calor entre las condiciones exteriores e interiores por medio de la envolvente, actuando como un amortiguador contra las variaciones climáticas externas. Un muro con una mayor masa térmica puede retrasar hasta en seis horas el intercambio de calor del exterior hacia el interior del recinto, y disminuir la diferencia entre temperaturas hasta en 8°C respecto de las condiciones diurnas y nocturnas (Figura 5). Por el contrario, una baja masa térmica registra menores tiempos de retraso en el intercambio de calor y un menor amortiguamiento de la temperatura respecto de las condiciones exteriores, evidenciando mayores fluctuaciones de temperatura en sintonía con el clima exterior.

Teniendo estas consideraciones, una solución liviana como lo es un tabique de madera forrado por ambas caras posee una baja masa térmica y por tanto una baja inercia para resistir grandes fluctuaciones de temperatura. En caso contrario, un muro de hormigón armado o adobe poseen una alta masa térmica dada su alta densidad y alto calor específico, por tanto, una mayor inercia para resistir grandes fluctuaciones de temperatura.

### 5.2.3 ADMITANCIA TÉRMICA

La admitancia térmica refiere a la capacidad que posee un material para intercambiar calor con el medio cuando se somete a variaciones cíclicas de temperatura, generalmente durante un periodo de 24 horas (MPA The Concrete Center, 2019). Al igual que la transmitancia térmica, la admitancia térmica se mide en  $W/m^2^{\circ}K$ , sin embargo, la variación en grados de temperatura refiere a la diferencia entre la temperatura interna media y la temperatura real del material en un momento específico del día. En el caso de la transmitancia térmica ( $U$ ), la variación en grados de temperatura refiere a la diferencia entre la temperatura interna y externa de un recinto, que se supone constante, motivo por el que los valores  $U$  se consideran estables (ibid.).

El cálculo de la admitancia térmica permite obtener un mayor alcance sobre los efectos de absorción de calor que se producen a través de los materiales en respuesta a ciclos normales de calentamiento y enfriamiento de la envolvente (ibid.), siendo un indicador práctico para evaluar el rendimiento que poseen los materiales que componen la solución de envolvente (sean estos paredes, pisos o cubiertas) en relación con los flujos de calor que ocurren durante el día a través de ellos.

La aproximación a partir de la emulación de la masa térmica por medio del cálculo de la admitancia térmica proporciona una base para realizar comparaciones más rigurosas entre los efectos de absorción y liberación de calor de diversas soluciones constructivas. Este enfoque revela cómo la composición de los materiales puede influir en la resistencia al intercambio de calor. Al comprender cómo diferentes configuraciones de materiales afectan el flujo de calor, se pueden tomar decisiones informadas durante el proceso de diseño arquitectónico, asegurando ambientes interiores más confortables y edificaciones más sostenibles desde el punto de vista energético.

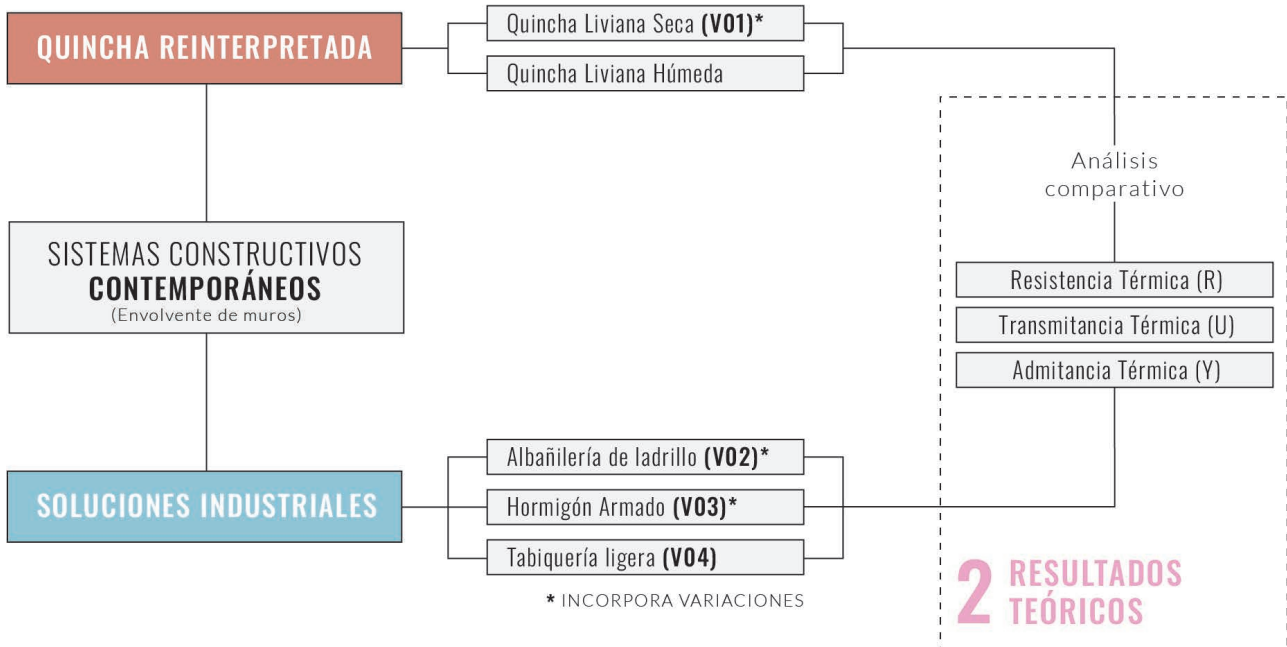
Fig. 6  
Posición de aislación en muros exteriores para maximizar la masa térmica de la envolvente.



### 5.3 MÉTODO DE ANÁLISIS

Para comprender mejor cómo la masa térmica de los elementos constructivos puede influir en el confort higrotérmico al interior de la edificación, y en este caso concreto a la vivienda particular, a continuación se desarrolla una aproximación al comportamiento térmico desde métodos de cálculo teórico de algunas combinaciones materiales para muros perimetrales.

Fig. 7  
Método de análisis



A partir de este análisis, se busca construir una base de datos que evidencie el comportamiento térmico de diferentes soluciones constructivas siguiendo los métodos de cálculo de la norma chilena NCh 853 Of.2007 para determinar los valores de resistencias y transmitancias térmicas; y la herramienta de emulación térmica Dynamic Thermal Property Calculator de The Concrete Center (2019) para determinar valores de admitancia térmica.

#### 5.3.1 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO

##### MÉTODO DE CÁLCULO DE TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TÉRMICA

La norma chilena NCh 853 Of.2007 proporciona un método de cálculo para determinar los valores de resistencias y transmitancias térmicas de un paquete constructivo en estado estacionario, particularmente de los elementos constructivos que componen la envoltura térmica, sean estos muros perimetrales, complejos de techumbre o pisos.

**Método de cálculo para elementos homogéneos:**

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Se expresa en W/ m<sup>2</sup>°K

Siendo:

$$Rt = \frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}$$

En que:

$\sum e/\lambda$  = sumatoria de las resistencias térmicas de las capas que conforman el elemento.

### Método de cálculo para elementos heterogéneos simples:

$$\bar{U} = \frac{1}{Rt} = \frac{\sum U_i \times A_i}{\sum A_i}$$

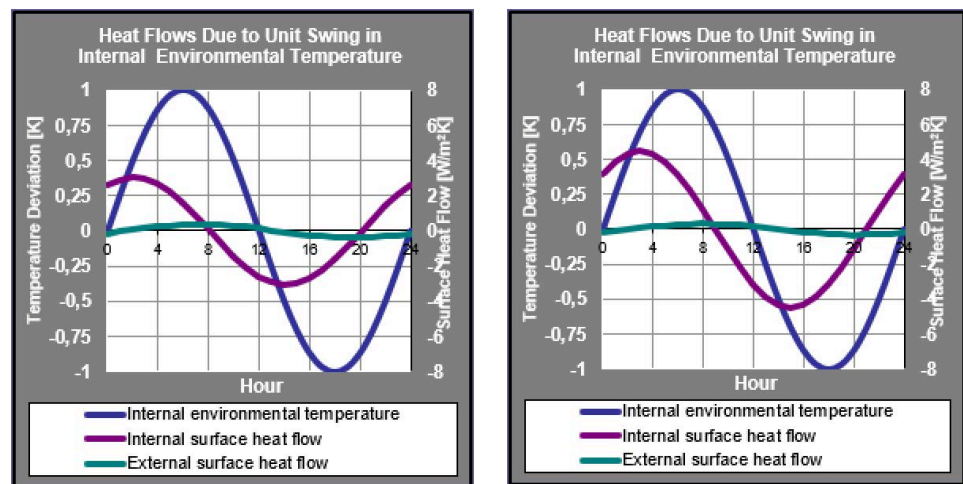
Siendo:

$A_i$  la superficie de la parte del elemento a la que corresponda una transmitancia térmica  $U_i$ .

### MÉTODO EMULACIÓN DE MASA TÉRMICA

Se realiza un cálculo teórico a partir de la herramienta Dynamic Thermal Property Calculator® para obtener la admitancia térmica ( $A_d$ ) y tiempo de retardo ( $T_r$ ) que poseen las diferentes combinaciones según sean las propiedades térmicas de cada uno de sus materiales, teniendo en consideración principalmente su espesor, densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica del material. La herramienta consiste en una planilla Excel diseñada para calcular la masa térmica de suelos y paredes a partir de la configuración de las capas de un elemento constructivo.

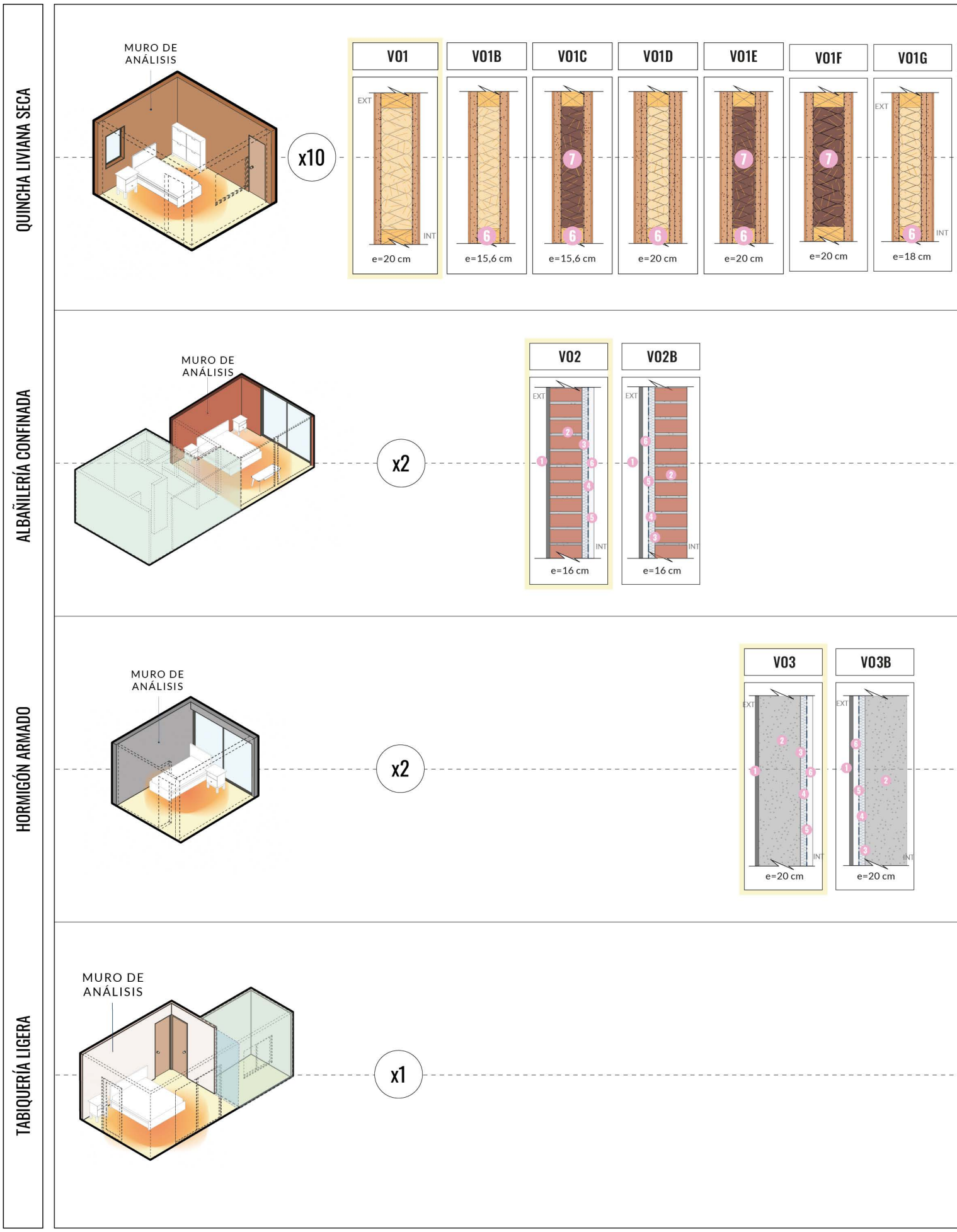
Fig. 8-9  
Resultados obtenidos a partir de la herramienta Dynamic Thermal Property Calculator® desarrollada por The Concrete Center.



### DESCRIPCIÓN DE LAS VARIANTES

En el caso de la quinchina liviana seca (V01), se definieron tres variantes: el espesor del revoque grueso y su posición hacia el interior o el exterior del muro; el espesor y el tipo de aislante (si es húmedo o seco) y por último el espesor completo del muro, considerando escuadrías de 2x4" o 2x6" para la estructura de madera. La modificación de los rellenos incluyó espesores aproximados de 90 y 138 mm. Respecto al grosor de los revoques, se experimentó con el aumento de 25 a 50 mm tanto en ambas caras del muro o solo hacia el interior. El propósito de estas variaciones fue estudiar el comportamiento de la masa térmica exclusivamente hacia el interior del muro. Cabe destacar que esta modificación requeriría la instalación de una nueva malla electrosoldada entre las capas de revoque, con el fin de contener el relleno y asegurar la verticalidad del muro. En cuanto al resto de viviendas, fueron modificadas solo el caso de albañilería de ladrillo (V02) y de hormigón armado (V03). Se efectuaron cambios destinados a evaluar cómo varía el rendimiento del muro al situar el aislamiento en su parte exterior (Figura 10).

Fig. 10 (siguiente página)  
Descripción de variantes de análisis.  
Fuente: Elaboración propia.



	Nº	Material	Espesor (e) [mm]	Densidad [kg/m³]	Conductividad Térmica [W/m²°K]	Calor específico (c) [J/kg°K]
	1	Revoque fino 3 mm	3	1883	0,7	840
	2	Revoque grueso 25 mm	25	1883	0,7	840
	3	Malla electrosoldada ACMA-90	4,2	7850	58	500
	4	Paja de trigo seca 60 kg/m³	138	60	0,07	1800
	5	Tabique de madera de pino IPV 2x6"	138	410	0,104	2805
	6	Tabique de madera de pino IPV 2x4"	90	410	0,104	2805
	7	Paja de trigo con barbotina 600 kg/m³	90	600	0,2	1800
	1	Estuco térmico	3	1600	0,87	980
	2	Ladrillo cerámico	140	1200	0,52	750
	3	Adhesivo VOLCAFIX	--	--	--	--
	4	Poliestireno expandido 10 mm	10	15	0,043	1200
	5	Barrera de vapor	--	--	--	--
	6	Yeso cartón VOLCANITA	10	700	0,26	840
	1	Estuco térmico	3	1600	0,87	980
	2	Hormigón armado	200	2400	1,63	920
	3	Adhesivo VOLCAFIX	--	--	--	--
	4	Poliestireno expandido 10 mm	10	15	0,043	1200
	5	Barrera de vapor	--	--	--	--
	6	Yeso cartón VOLCANITA	10	700	0,26	840
	1	Siding madera tipo LP® Smart Panel 7/16"	11,1	650-700	0,10	2093
	2	Membrana hidrófuga	--	--	--	--
	3	Tabique madera de pino 2x4"	90	410	0,104	2805
	4	Lana de vidrio 90 mm	90	40	0,033	840
	5	Barrera de vapor	--	--	--	--
	6	Yeso cartón VOLCANITA	15	700	0,28	840

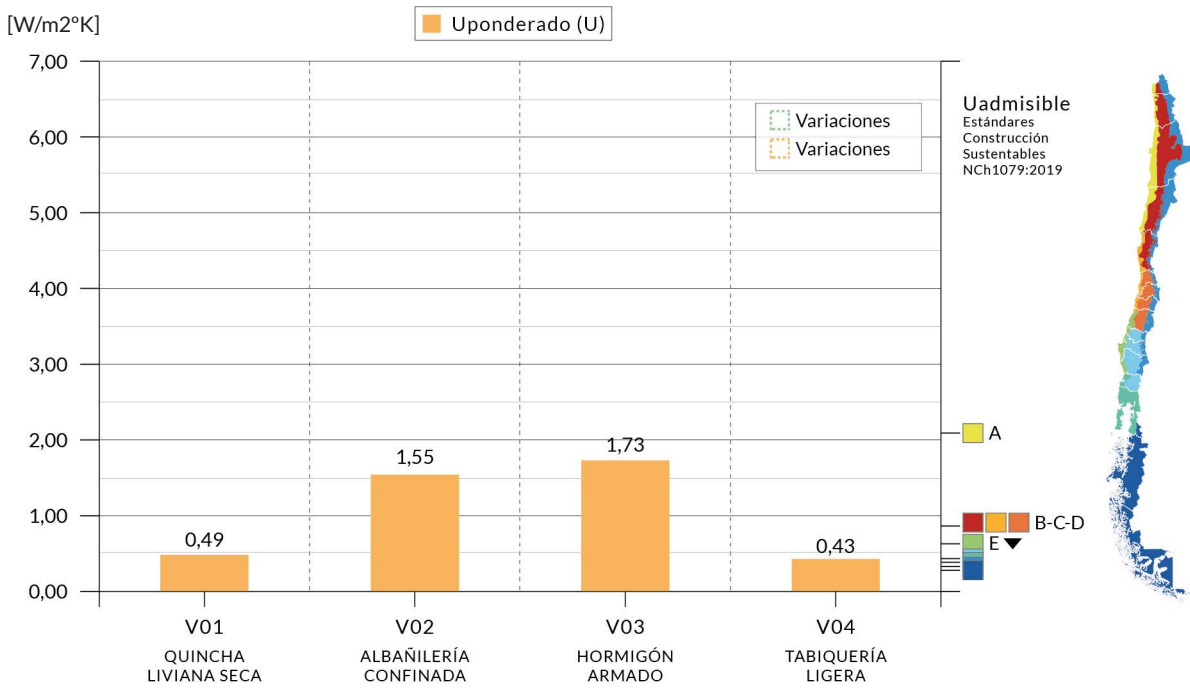
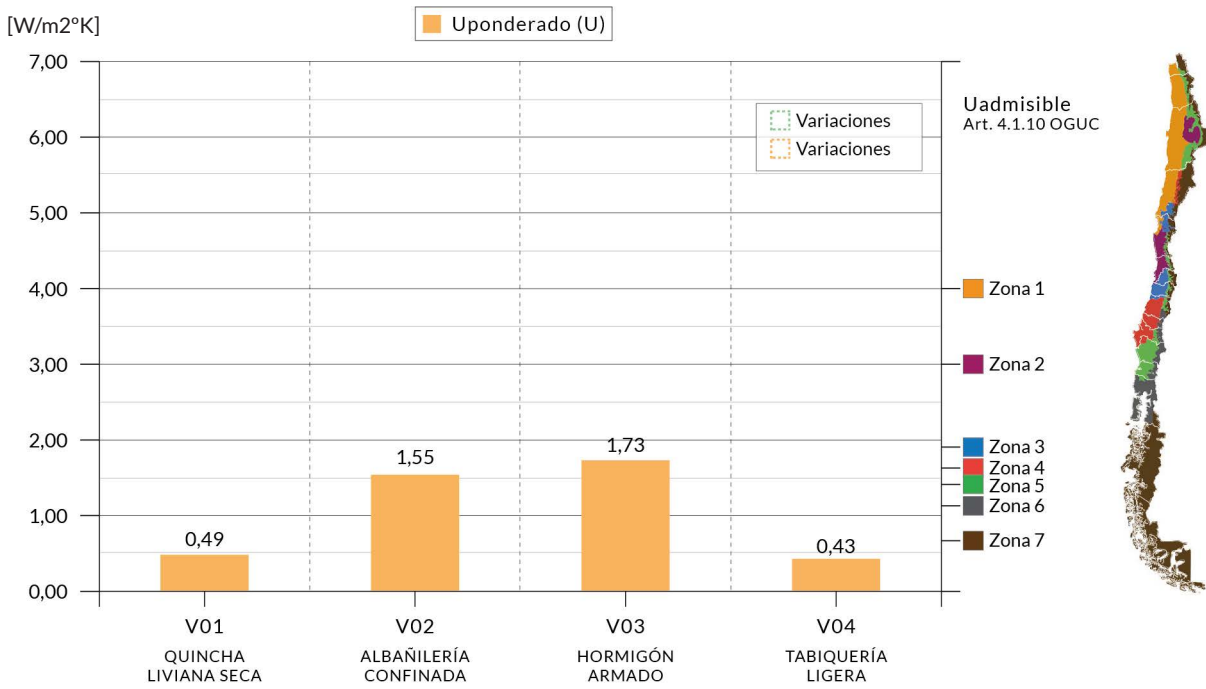
### 5.4 COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS

Respecto a los valores de transmitancia térmica (Figura 11), el caso de quincha liviana seca (V01) y tabiquería ligera (V04) obtuvieron los resultados más bajos (0,49 y 0,43 W/m<sup>2</sup>°K), lo cual indica una buena capacidad aislante de la solución constructiva (U<1). Para el caso de albañilería (V02) y de hormigón armado (V03), se obtuvieron resultados de 1,55 W/m<sup>2</sup>°K y 1,73 W/m<sup>2</sup>°K.

Cabe señalar que, según ensayo del laboratorio del CITEC Universidad del Bío Bío, el valor U para un muro de quincha liviana seca de escuadría 2x4" es de 0,73 W/m<sup>2</sup>°K. Según lo obtenido por cálculo, la variación es de alrededor de un 30%, probablemente debido al mayor espesor del elemento aislante (138 mm). Para el caso del muro de albañilería y hormigón, se tienen como referencia los valores U emitidos según fabricante (1,32 y 1,91 W/m<sup>2</sup>°K, respectivamente). Por último, en el caso de la tabiquería ligera, según detalle de fabricante el sistema cumple hasta la zona 6-7 según RT vigente, por lo que se asume un valor entre 0<x<0,6 W/m<sup>2</sup>°K como máximo probable. De esta manera, en los cuatro resultados se respaldan los valores de transmitancia térmica según ensayos previos.

Fig. 11 Resultados soluciones de muro analizadas.

SOLUCIONES DE ENVOLVENTE DE MUROS			
QUINCHA LIVIANA SECA	ALBAÑILERÍA CONFINADA	HORMIGÓN ARMADO	TABIQUERÍA LIGERA
<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Revoque fino 3 mm</li> <li>2 Revoque grueso 25 mm</li> <li>3 Malla electrosoldada ACMA-90</li> <li>4 Paja de trigo seca 60kg/m<sup>3</sup></li> <li>5 Tabique madera de pino IPV 2x6"</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Estuco de mortero</li> <li>2 Muro de Albañilería</li> <li>3 Adhesivo Volcafix®</li> <li>4 Poliestireno expandido 10 mm</li> <li>5 Barrera de vapor</li> <li>6 Yeso cartón Volcanita®</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Estuco de mortero</li> <li>2 Muro de H.A</li> <li>3 Adhesivo Volcafix®</li> <li>4 Poliestireno expandido 10 mm</li> <li>5 Barrera de vapor</li> <li>6 Yeso cartón Volcanita®</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Siding madera - Tipo LP® Smart Panel 7/16"</li> <li>2 Membrana hidrófuga</li> <li>3 Tabique madera de pino 2x4"</li> <li>4 Lana de vidrio 90 mm</li> <li>5 Barrera de vapor</li> <li>6 Yeso cartón</li> </ol>
U = 0,49 W/m <sup>2</sup> °K	U = 1,55 W/m <sup>2</sup> °K	U = 1,73 W/m <sup>2</sup> °K	U = 0,43 W/m <sup>2</sup> °K
Y = 3,06 W/m <sup>2</sup> °K	Y = 1,93 W/m <sup>2</sup> °K	Y = 2,35 W/m <sup>2</sup> °K	Y = 0,75 W/m <sup>2</sup> °K
Tr = 4 Hrs	Tr = 4 Hrs	Tr = 6,6 Hrs	Tr = 1,2 Hrs



**Fig. 12**  
Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para casos de estudio. Comparación con transmitancia exigida en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C.

**Fig. 13**  
Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para casos de estudio. Comparación con transmitancia exigida en los Estándares de Construcción Sustentable (Basado en NCh 1079:2019)

Según estos valores, la solución de quincha liviana seca, al igual que la solución de tabiquería ligera analizada, pueden ser utilizadas dentro de todas las zonas térmicas que define la RT (Figura 12), mientras que la solución de albañilería y la de hormigón armado son admisibles hasta la zona 5 y 4, respectivamente.

En cuanto a los valores de admitancia térmica (Figura 14), la quincha liviana seca obtuvo el resultado más alto entre las soluciones, con una admitancia de 3,06 W/m²K que indica un nivel moderado de inercia térmica (2<Y<4) debido al espesor de los revoques de tierra, con tiempos de retardo

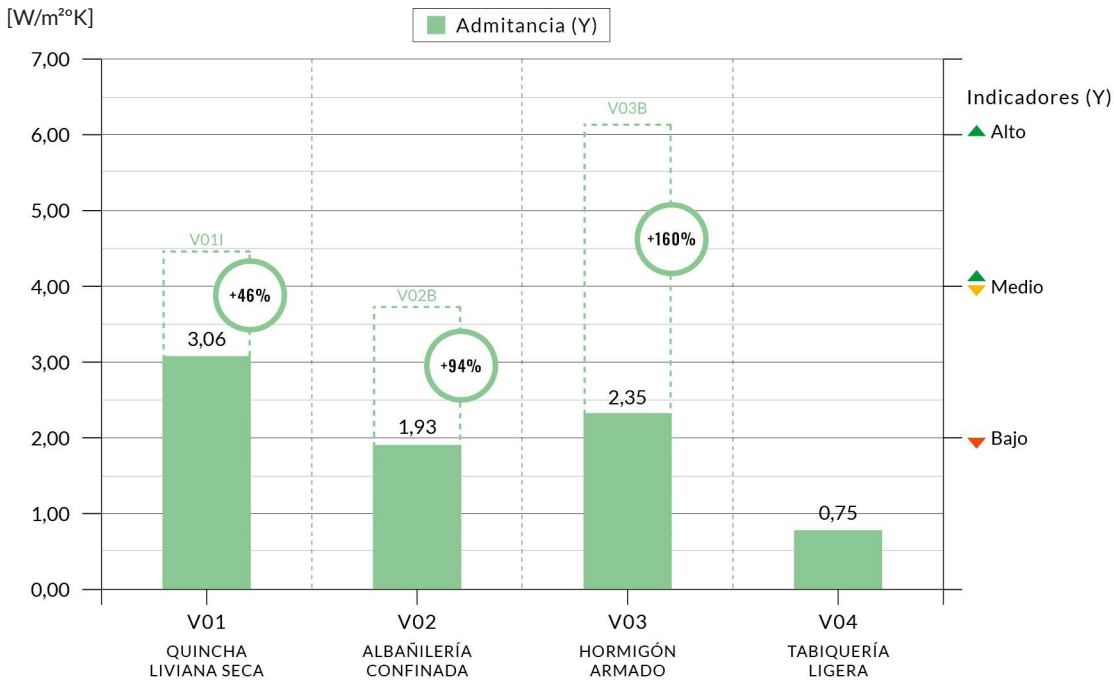
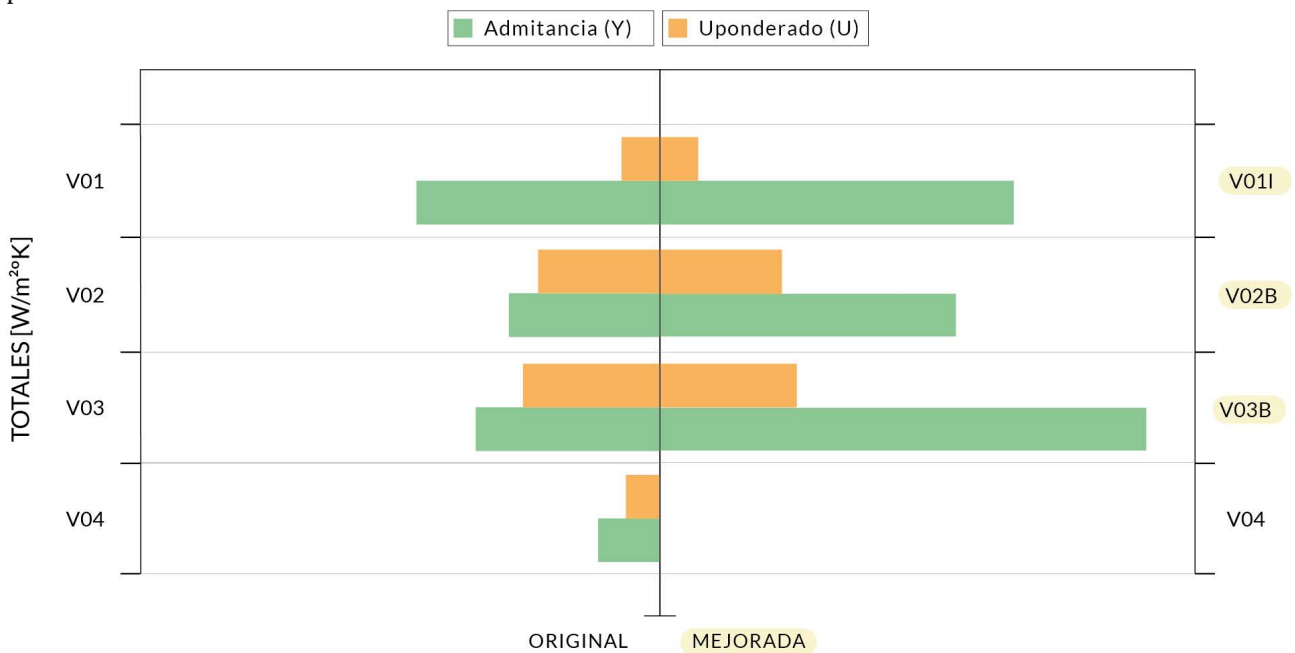


Fig. 14 Resultados admitancia térmica según casos de estudio.

en los pulsos de calor de aproximadamente 4 horas. Seguido de este, está el hormigón armado, con 2,35 W/m²K y la albañilería con 1,92 W/m²K.

El caso de albañilería, presenta tiempos de retardo en los pulsos de calor de 4 horas, al igual que el caso de quincha. Este indicador demuestra mayor rapidez en los pulsos de calor respecto a los tiempos esperados para soluciones de albañilería (sobre 7 horas) posiblemente por la posición en la que se encuentra el elemento aislante (cara exterior del muro). Al contrario, el caso de hormigón armado presenta tiempos de retardo de 6,6 hrs, demostrando una capacidad media para retrasar los flujos de calor al interior de la envolvente. En el caso de tabiquería ligera presenta una muy baja inercia térmica debido a que los materiales son más aislantes, con tiempos de retardo en los pulsos de calor de tan solo 1 hora.

Fig. 15 Resumen gráfico resultados obtenidos para transmitancia y admitancia térmica de las soluciones calculadas y sus versiones mejoradas.



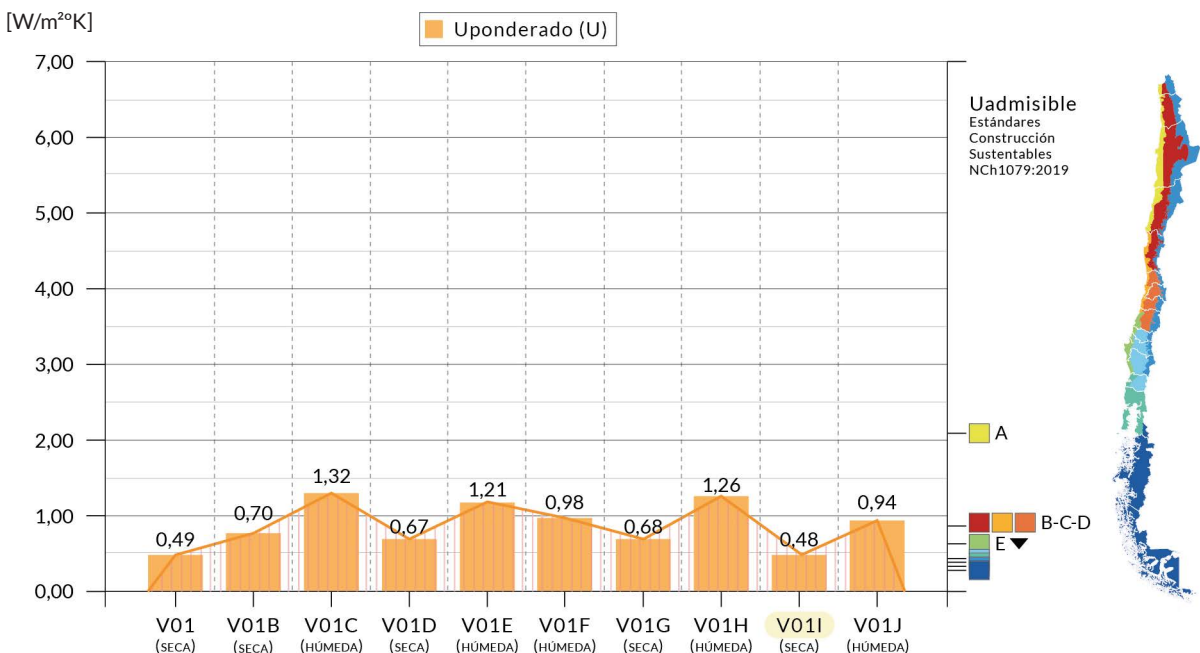
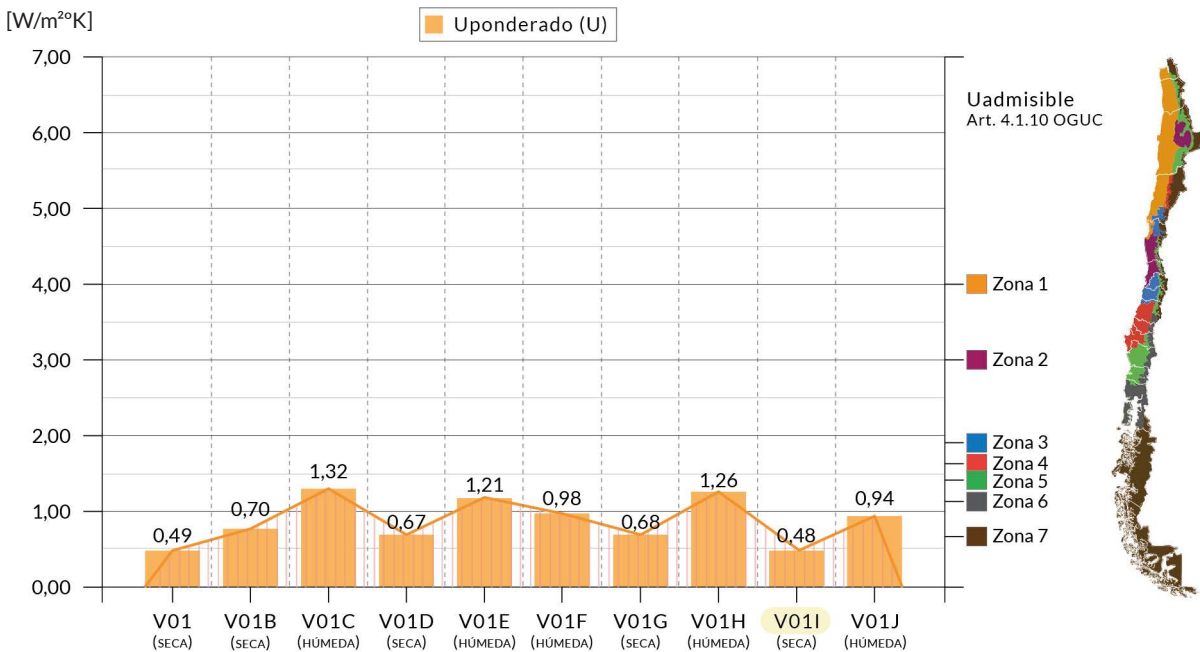
Al analizar las variaciones en las soluciones constructivas y compararlas con las variantes modificadas (Figura 16-17), se observa un incremento significativo en la admitancia térmica cuando se aplica el aislante por fuera de la envolvente de muros. Específicamente, en la albañilería (V02B) este aumento

es del 94% (casi el doble), mientras que en el muro de hormigón (V03B) el incremento es de 160% (2.6 veces el valor inicial) alcanzando el resultado más alto entre las variantes analizadas, con 6,1 W/m<sup>2</sup>°K. En relación con los pulsos de calor, ambos casos muestran una demora adicional de alrededor de 30 minutos en la transmisión de la temperatura hacia el interior del recinto. Estos resultados resaltan la importancia de la ubicación del aislante en las estructuras de alta masa térmica, como es el caso del hormigón armado y las albañilerías, dado el impacto que poseen en el rendimiento térmico de la envolvente.

**Fig. 16**  
Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para variables de quincha estudiadas. Comparación con transmitancia exigida en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C.

**Fig. 17**  
Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para variables de quincha estudiadas. Comparación con transmitancia exigida en los Estándares de Construcción Sustentable (Basado en NCh 1079:2019)

En el caso de la quincha liviana, de las nueve variaciones realizadas, la variante V01I corresponde a la solución que mejor equilibra un menor valor de transmitancia térmica (0,48 W/m<sup>2</sup>°K) y un aumento de su admitancia térmica de un 46%. La variante V01I incorpora una mayor cantidad de aislante seco (138 mm), y mayor cantidad de revoque grueso ubicado sólo hacia el interior del muro (53 mm). La solución demuestra un incremento de 4 a 5 horas.



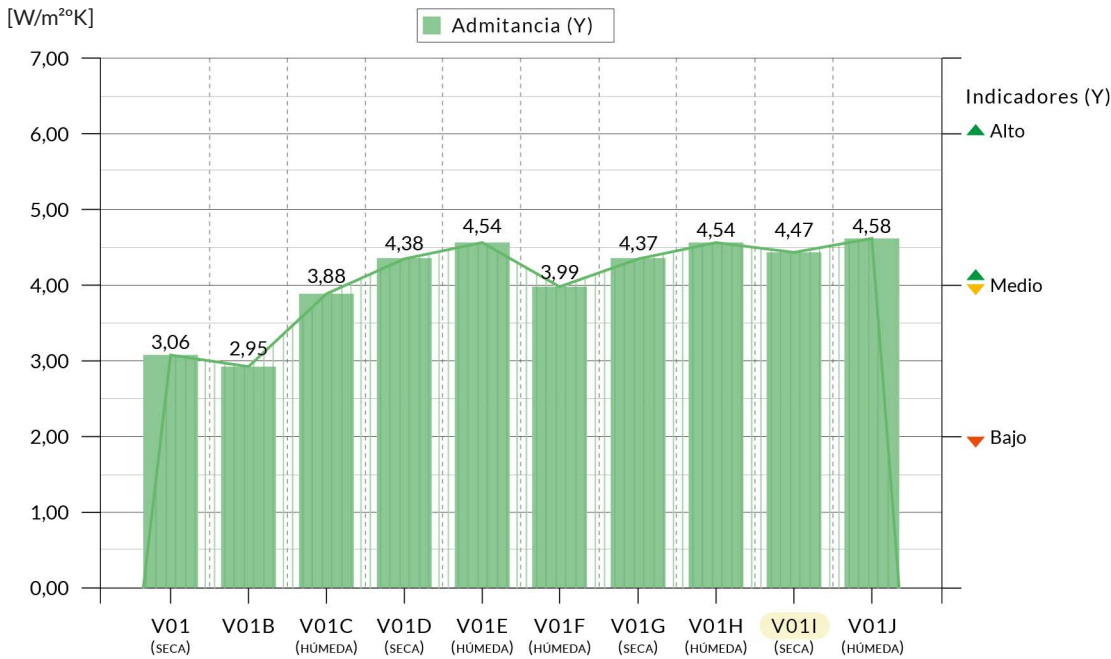


Fig. 18 Resultados admitancia térmica según variables de quincha estudiadas.

Las variaciones demuestran bajos valores de transmitancia térmica, siendo las variantes que incorporan relleno seco las que poseen mejores capacidades de aislación térmica ( $U < 1$ ). De estas variantes, la opción de quincha liviana seca analizada en el caso de estudio (V01), y su versión mejorada con un aumento en el revoque grueso interior (V01I) cumplen hasta la zona térmica 7 según la RT vigente y la zona “E” según la NCh 10190:2019, cumpliendo con el estándar de construcción sustentable en cuanto a aislación. En cuanto al resto de variantes, se observa que la quincha en sus versiones húmedas son admisibles hasta la zona 5 y 6, con valores U que varían entre los 0,98 a 1,32  $W/m^2K$  según sean sus modificaciones, cumpliendo con las zonas “A”, “B”, “C” y “D”.

En cuanto a su admitancia térmica (Figura 18), los resultados se encuentran en un rango entre 2,95 a 4,58  $W/m^2K$ , con diferencias mínimas en algunos casos. Las variantes de quincha liviana con relleno seco demuestran una disminución mínima en su capacidad de inercia térmica al disminuir el espesor del aislante de 138mm a 90mm (-4%), en cambio, al aumentar el espesor de los revoques gruesos para la cara interna y/o externa del muro su admitancia térmica aumenta hasta en un 46%. En el caso de las variantes con relleno húmedo, los valores de Y alcanzan los resultados más altos, con incrementos de hasta un 50% al incorporar mayor cantidad de aislante de paja con barbotina y combinarlo con un aumento de su revoque grueso hacia el interior del muro (Figura 19).



**Fig. 19**  
Resumen gráfico resultados obtenidos para transmitancia y admitancia térmica de las soluciones de variantes de quincha estudiadas según espesor de aislante y revocos.

En cuanto a los tiempos de retardo en los pulsos de calor (Figura 20), para el caso de la quincha liviana es donde se obtuvieron mayores diferencias al variar sus capacidades de aislante y/o masa térmica, con tiempos de retardo al interior del muro de hasta cerca de 9 horas (V01I), siendo la opción que posee un mayor retraso en la transmisión de temperatura hacia el interior en un ciclo de 24 horas.

Se observa que para los casos de quincha liviana húmeda con relleno de paja con barbotina se consiguen mayores tiempos de retardo principalmente cuando se aumenta el espesor del relleno aislante de 90 a 138 mm (V01F-V01I), o al aumentar el revoco grueso (de 25 a 50 mm) en ambas caras del muro (V01E). Mientras que para los casos de quincha liviana seca se alcanza un máximo de 1.4 horas de retardo en el flujo de calor al incorporar mayor espesor en los revocos gruesos (V01D) o 1.3 horas al combinar un mayor espesor aislante con un mayor espesor de revoco grueso para la cara interior del muro (V01I).

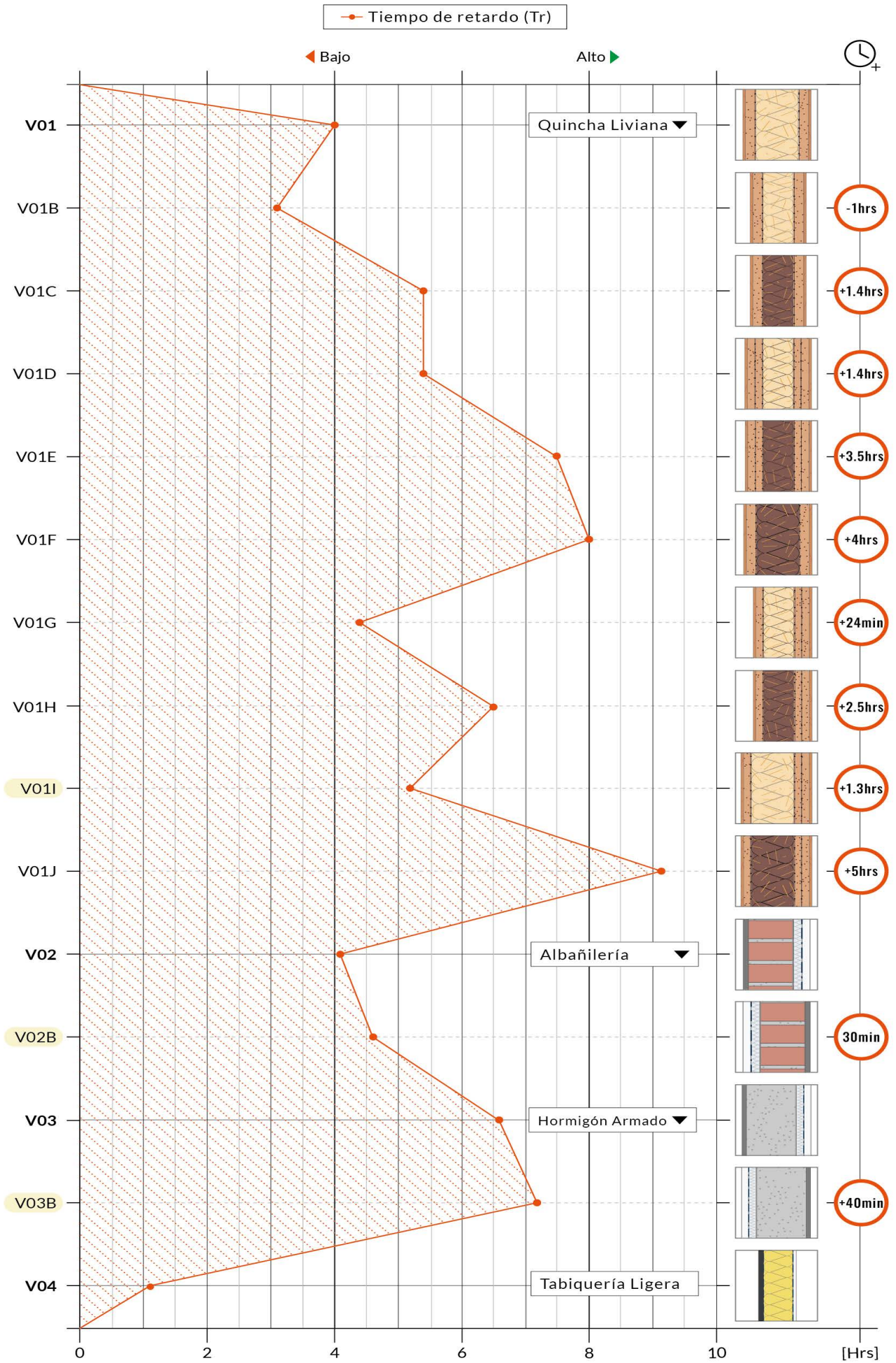


Fig. 20  
Resultados de tiempos de retardo para las soluciones constructivas analizadas.

## 5.5 SÍNTESIS DEL CAPÍTULO

El capítulo se enfoca en el análisis teórico de la performance térmica en edificaciones, destacando la importancia de optimizar la envolvente térmica para mejorar la eficiencia energética y el confort interior. Se examinan las propiedades térmicas de los materiales de construcción, como la resistencia y transmitancia térmica, la masa térmica y la admitancia térmica, y su impacto en el comportamiento higrotérmico de la envolvente.

En cuanto a los resultados, la solución de quincha liviana seca, presenta una gran capacidad aislante, lo que indica una eficiencia óptima para todas las zonas térmicas según las regulaciones vigentes. En contraste, las construcciones de albañilería y hormigón armado, aunque adecuadas hasta ciertas zonas térmicas, tienen una transmitancia térmica más alta, lo que sugiere un aislamiento menos eficiente.

Las comparaciones entre diversas soluciones constructivas revelan que la colocación externa del aislante en estructuras de alta masa térmica como la albañilería y el hormigón armado aumenta significativamente la admitancia térmica, mejorando así la inercia térmica. Del mismo modo, la admitancia térmica resultó ser más alta para la quincha liviana seca, seguida por el hormigón armado y la albañilería, implicando una moderada inercia térmica que contribuye a retrasar el flujo de calor hacia el interior, beneficiando el confort térmico. Sin embargo, la ubicación del aislante y su espesor es crucial; su aplicación externa en estructuras de alta masa térmica aumenta notablemente la admitancia térmica y, por tanto, el rendimiento térmico de la envolvente.

Los ajustes en las variantes constructivas muestran que el incremento en el espesor del aislante y del revoque grueso puede mejorar significativamente la inercia térmica, como en la variante V01I de la quincha liviana seca, que logra el mejor equilibrio entre baja transmitancia térmica y aumento de la admitancia térmica. Estos cambios influyen directamente en el retardo de los pulsos de calor, siendo cruciales para ampliar los periodos de confort sin necesidad de climatización activa y, por ende, menores demandas de calefacción y refrigeración durante el año.

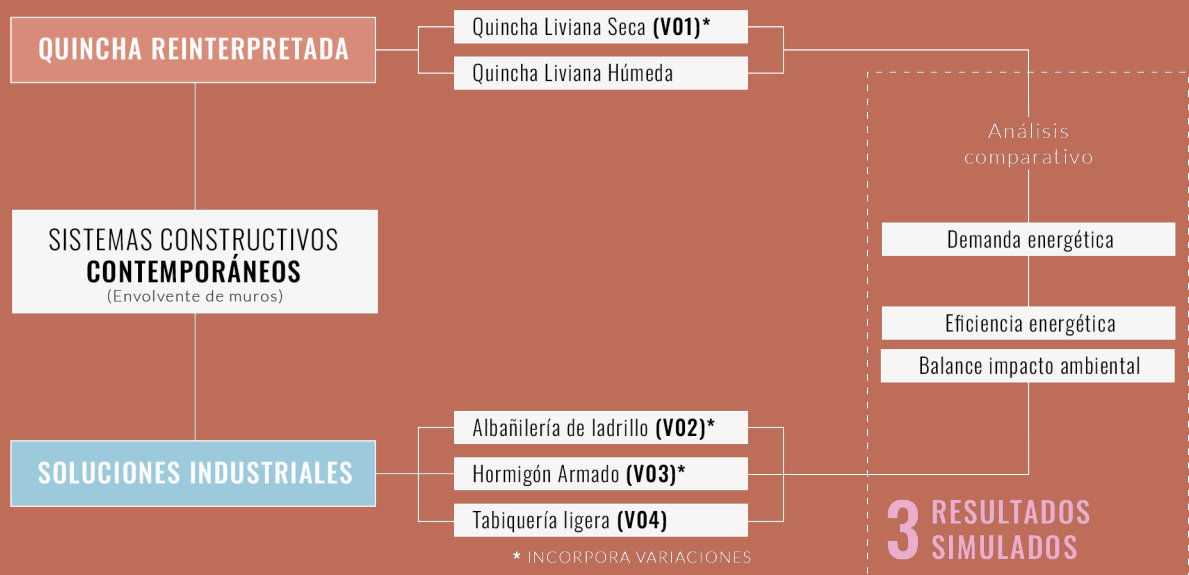


## CAPÍTULO 6: SIMULACIÓN PERFORMANCE TÉRMICA

La performance térmica de los materiales juega un rol importante en la eficiencia energética y el confort de los espacios habitables. Esta performance se centra en dos aspectos: la capacidad aislante y la inercia térmica. La elección adecuada de la configuración de los materiales dentro de un paquete constructivo puede contribuir a un ambiente interior más o menos confortable y, por lo tanto, puede resultar en un mayor o menor ahorro energético durante el ciclo de vida útil de la edificación.

Los altos índices de requerimiento energético en cuanto a calefacción en el país se originan principalmente por los bajos estándares de aislación térmica con los que cuenta la vivienda en Chile. Aproximadamente, el 53% de las viviendas existentes en Chile, tanto casas como departamentos, se construyeron antes de la promulgación de la reglamentación térmica el año 2001 (Ministerio de Energía, 2020), la cual recién el año 2007 amplió sus requerimientos a muros y techumbres.

Fig. 1  
Diagrama método de análisis.



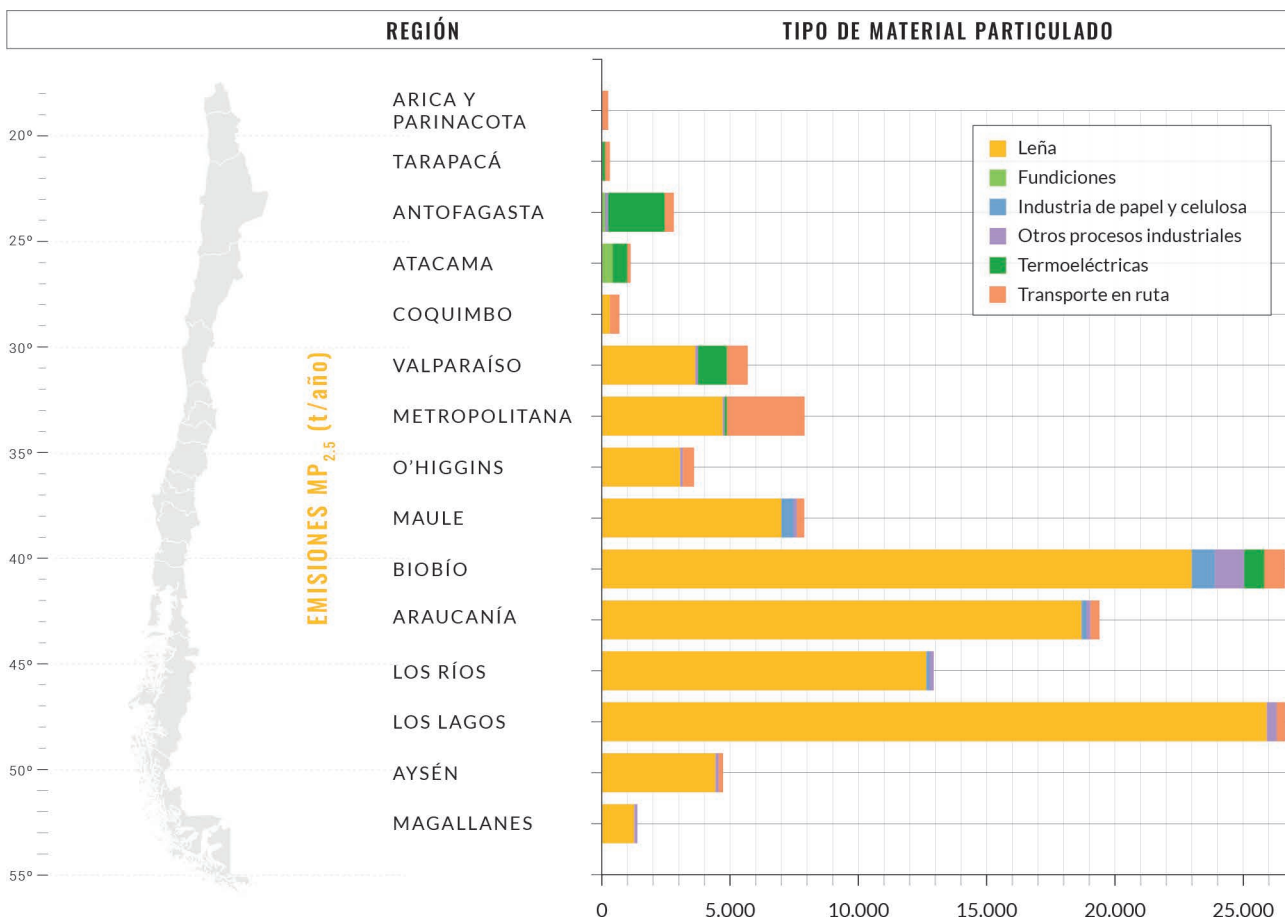
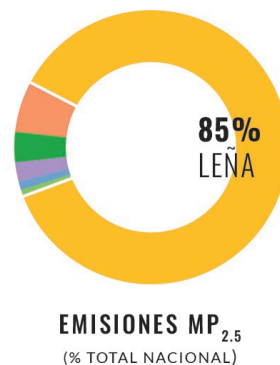
Es decir, más de la mitad de las viviendas existentes son precarias en cuanto a aislación térmica para la envolvente. En contraste, al año 2020 tan solo un 34% de las nuevas viviendas en Chile cumplía con la normativa de aislación térmica, cuyos estándares se encuentran muy por debajo de los criterios de eficiencia energética de la OCDE (ibid.). Como resultado, el consumo energético en calefacción aún sigue siendo elevado, impidiendo que las familias alcancen un adecuado confort higrotérmico y calidad del aire al interior de sus hogares, el cual resulta alcanzable mediante estrategias de diseño arquitectónico (Bustamante, 2009).

En Chile, alrededor de tres millones 600 mil viviendas presentan deficiencias energéticas significativas, con altas pérdidas térmicas y uso de sistemas de calefacción ineficientes (Contreras, 2008 en Whitman et al., 2016), cuyo resultado equivale a que un 60% de la población que soporta temperaturas invernales inferiores a los 15°C (con un promedio nacional al año 2006 de 13,8°C); mientras que un 21% pasa el verano a más de 30°C producto de la configuración de la envolvente térmica, lo cual afecta a todas las clases sociales según el CNE/GTZ (2006). La relación entre energía, pobreza<sup>35</sup> y medio ambiente se manifiesta en la alta demanda energética para calefacción residencial, especialmente en la zona centro y sur del país, y en elevado porcentaje del ingreso que las familias destinan a este fin, el que puede alcanzar hasta un 50% de los ingresos del hogar (Whitman et al., 2016). Este factor no solo incide en menores estándares de confort, sino que además influyen en la salud de los habitantes, ya que puede conllevar consecuencias negativas por humedad, hongos y mala calidad del aire interior (ibid.).

Según informes nacionales (Figura 2-3), el uso de la leña para calefacción (ampliamente utilizado entre las regiones de O’higgins y Aysén) contribuye a un 85% del total de emisiones de material particulado fino (MP2.5) a nivel

35. El concepto pobreza energética, fue definido por Lewis 1982, y revisado por Healy 2004 indicando “la inhabilidad de permitir calentar adecuadamente el hogar a causa de bajos ingresos, y viviendas de baja eficiencia energética” y es aplicable a los hogares donde tienen que gastar más de un 10 % de sus ingresos mensuales para tener niveles de confort térmico mensuales” (Whitman et al., 2016, p.2)

Fig. 2-3 Emisiones de material particulado (MP2.5) por tipo de fuente, total nacional y por región.

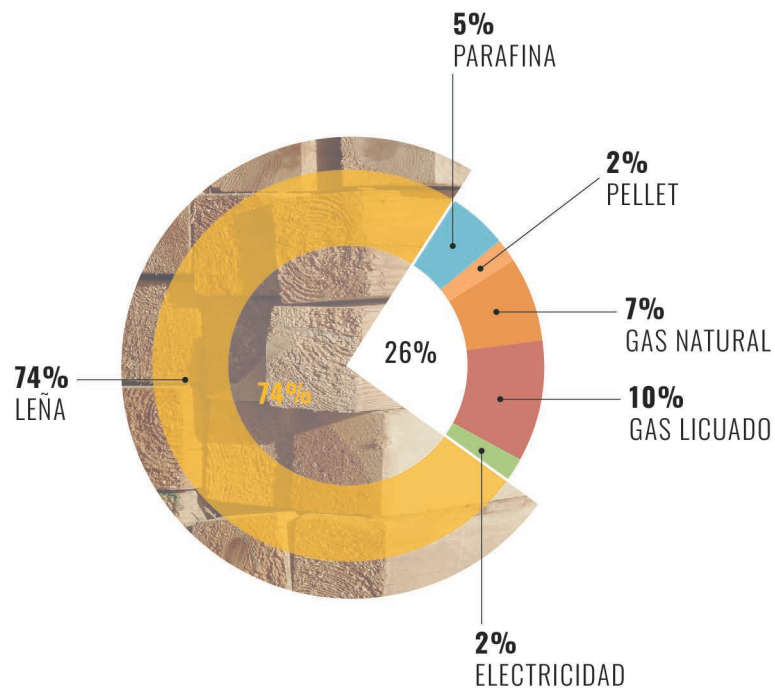


nacional, lo que impacta directamente en la salud de las personas y su calidad de vida (Ministerio de Energía, 2020).

Además, según el estudio “Usos Residenciales de la Energía en Chile” de la CDT y la empresa In-Data SpA en 2019, la calefacción y el aire acondicionado constituyen más del 52% del consumo energético de las casas chilenas, seguido por el agua caliente sanitaria con un 20% y la refrigeración con un 6%, mientras que otros usos<sup>35</sup> comparten el 22% restante (Ministerio de Energía, 2020). Frente a estos indicadores, el uso de biocombustibles sólidos con gran porcentaje de emisiones de material particulado como la leña húmeda y los pellets se vuelve significativo. Al analizar el consumo energético de calefacción y aire acondicionado en los hogares de Chile (Figura 4), se observa que un 74% de la energía utilizada proviene de biomasa, con la leña como principal fuente de consumo de energía en el sector residencial (74%); mientras que el otro 22% lo conforman la parafina, el gas natural (GN), el gas licuado de petróleo (GLP) y la electricidad.

36. La cocción de alimentos, iluminación, lavado de ropa, energización de equipos electrónicos, entre otros.

**Fig. 4**  
Porcentajes de consumo de energía para calor y frío por fuente, en el sector residencial.



La Tabla 1 muestra que muchas de las viviendas en el centro-sur de Chile usan leña para calefacción, especialmente en las zonas térmicas 5 y 6. También hay ciudades como Coyhaique que, aunque no se detallan en las estadísticas, presentan un alto uso de leña. A nivel nacional, una casa que se calefacciona con leña consume en promedio 10m<sup>3</sup>st al año, lo que equivale a 9.831kWh anuales de energía (Ministerio de Energía, 2020).

**Tabla 1.**  
Penetración y consumo de leña en hogares en Chile según Zona Térmica. La cifra de 43% representa el conjunto de hogares en ambas regiones.

Zona Térmica	Aproximación de zona térmica a regiones	Hogares que consumen leña respecto al total de cada zona térmica	Número de hogares que consumen leña	Energía promedio leña por hogar [kWh/año]	Consumo promedio leña por hogar [m <sup>3</sup> st]
1	Desde Arica y Parinacota hasta Coquimbo	14%	23.548	-	-
<b>2</b>	<b>Valparaíso</b>	<b>21%</b>	<b>138.601</b>	<b>3.459</b>	<b>3,5</b>
3	O'higgins y Metropolitana	8%	297.198	3.532	3,6
4	Maule, Biobío y Nuble	61%	728.647	7.217	7,3

5	La Araucanía y Los Ríos	71%	449.528	12.456	12,7
6	Los Lagos	83%	285.227	21.405	21,8
7	Aysén y Magallanes	43% (*)	42.943	17.429	17,7
Total		30%	1.965.692	9.831	10,0

La Tabla 2 demuestra la energía requerida que se necesita para calefaccionar a 18°C un metro cuadrado al año para distintas configuraciones materiales. Entre ellas se comparan sistemas constructivos más convencionales, como el muro de albañilería confinada con ladrillo o un muro con panel Covintec, versus un muro de fardo de paja. Para el caso de este último, la energía requerida anual para calefaccionar durante el periodo de invierno en Chile se reduce alrededor de un 90% respecto al sistema constructivo de albañilería confinada, sistema utilizado ampliamente para la construcción de viviendas en el país.

Tabla 2. Energía en kWh/m2año requerida para calefaccionar según sistema constructivo.

CALEFACCIONAR A 18°C 1m² AL AÑO

Sistema constructivo	Transmitancia térmica ponderada (Ü) [W/m²K]	Superficie A [m²]	Grados día GD [K24h/año]	Energía Q [kWh/año]
Muro de albañilería confinada con ladrillo	1,74	1,00	1538	64
Muro con panel Covintec	0,71	1,00	1538	26
Muro de hormigón celular autoclavado	1,92	1,00	1538	71
Muro de panel SIP	0,62	1,00	1538	23
Muro de madera con aislación térmica de lana mineral	0,85	1,00	1538	31
<b>Muro de fardo de paja</b>	<b>0,15</b>	<b>1,00</b>	<b>1538</b>	<b>6</b>

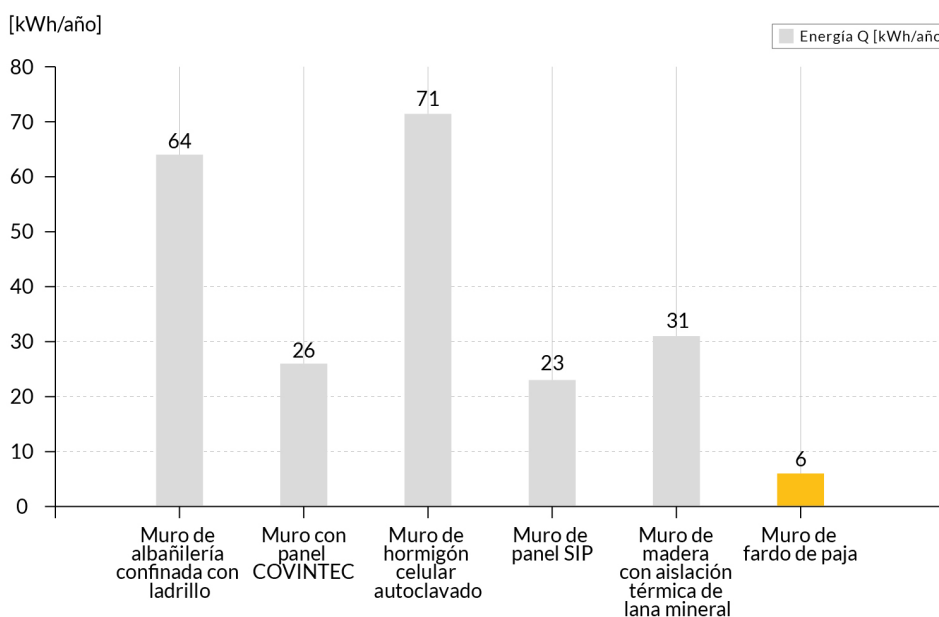


Fig. 5. Energía en kWh/m2año requerida para calefaccionar según sistema constructivo.

### 6.1 BALANCE IMPACTO AMBIENTAL SEGÚN INDICADORES GWP

En Chile las emisiones de gases de efecto invernadero del sector de la construcción pueden inferirse a partir de las emisiones totales en la producción y transporte de materiales e insumos, que representa cerca de un 23% del total nacional al año 2019. La construcción chilena, impulsada por el crecimiento poblacional previsto en más de 21 millones para el año 2025, tiende a un consumo intensivo de materiales industriales como el cemento y el acero, contribuyendo al aumento de emisiones. Como demuestra la Figura 6, materiales metales como el aluminio o el cobre son emisores de CO<sub>2</sub>, dado que poseen una mayor intensidad de dióxido de carbono (CDIR) por peso, a diferencia de materiales orgánicos como la madera o la paja que corresponden a materiales sumideros de CO<sub>2</sub>. Un sumidero neto de CO<sub>2</sub> es un material que contiene una cantidad de carbono en su interior mayor que el equivalente en cantidad de CO<sub>2</sub> liberada durante las etapas anteriores del ciclo de vida del material (Macmath & Fisk, 1999).

Fig. 6  
Relaciones de intensidad de dióxido de carbono (CDIR) por peso para 24 materiales de construcción comunes.



Para obtener una orden de magnitud sobre la huella de carbono de los sistemas constructivos evaluados, se realizó un cálculo estimado del Global Warming Potential (GWP) de 1 m2 de muro construido considerando todas las capas materiales y su respectivo volumen mediante la plataforma de <https://materialepyramiden.dk> (Figura 7-11). El GWP es una medida que compara el impacto de distintos gases sobre el calentamiento global en relación con un mismo volumen de CO2. Al calcular el GWP para 1 m2 de muro se estima su huella de CO2 equivalente<sup>37</sup> a otros gases durante un periodo de tiempo determinado (United States Environmental Protection Agency, 2023).

La quincha liviana seca posee una huella de carbono negativa por metro cuadrado de muro construido (-20,90 kgCO2eq/m2), dado que cuenta con paja de trigo como aislante (-127,0 kg CO2eq/m3) y el uso de madera para la estructura portante (-680,0 kg CO2eq/m3), ambos materiales capturan CO2. La tierra posee tan solo 9,6 kg CO2eq/m3, mientras que el acero galvanizado utilizado para la malla ACMA que implementa el sistema como estructura secundaria es la más alta, la cual ronda los 23.482,5 kg CO2eq/m3.

En segundo lugar, un metro cuadrado de muro construido en tabiquería ligera de madera posee una huella de carbono total de 0,70 kg CO2eq/m2, dado que también cuenta con el uso de madera como estructura portante. En tercer lugar, está el caso del hormigón armado, con una huella de carbono total de 41,50 kg CO2eq/m2, cuyos materiales se encuentran por sobre los 45 kg CO2eq/m3. Por último, un m2 de muro de albañilería confinada en ladrillo posee una huella de carbono de 78,20 kg CO2eq/m2, dado que el ladrillo de arcilla cocido posee aproximadamente una huella de carbono de 523,0 kg CO2eq/m3.

37. El GWP se calcula en equivalentes de CO2 (CO2eq), lo que significa que el CO2 se utiliza como sustancia de referencia y unidad indicadora. El uso de "equivalentes" es común a todos los impactos ambientales, en el sentido de que existen muchas sustancias diferentes que pueden causar el mismo daño al medio ambiente, pero en diferentes órdenes de magnitud. Por ejemplo, 1 kg de metano causa el mismo daño potencial que aproximadamente 25 kg de CO2 cuando se emite a la atmósfera. GWP es también lo que se conoce como "huella de carbono" en relación con los productos.

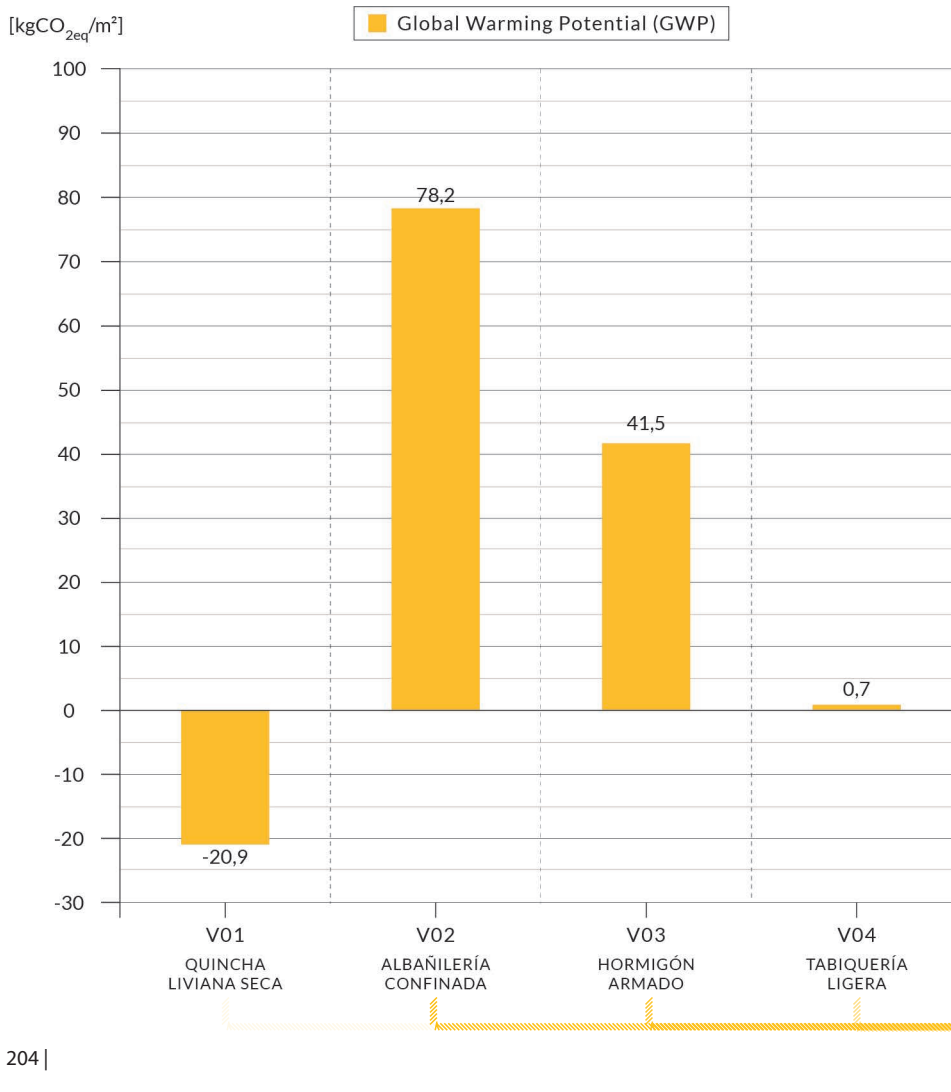
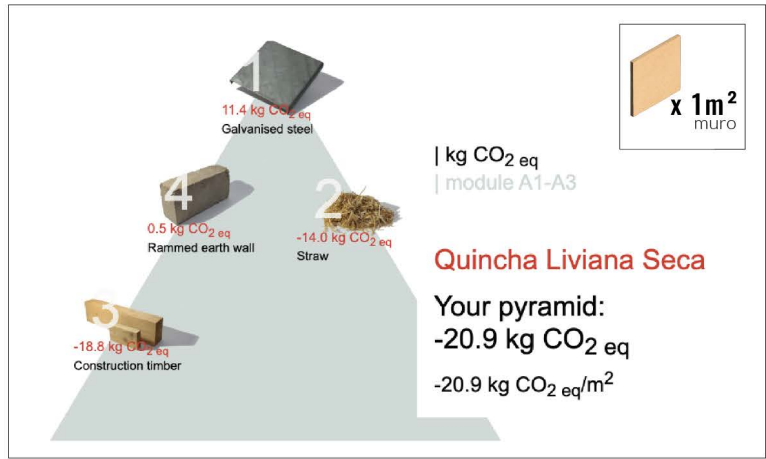
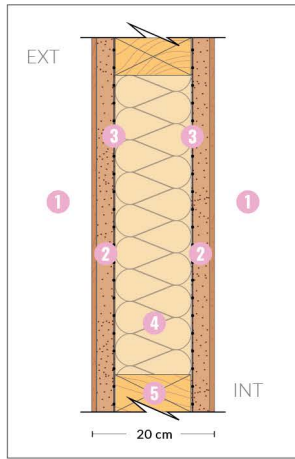
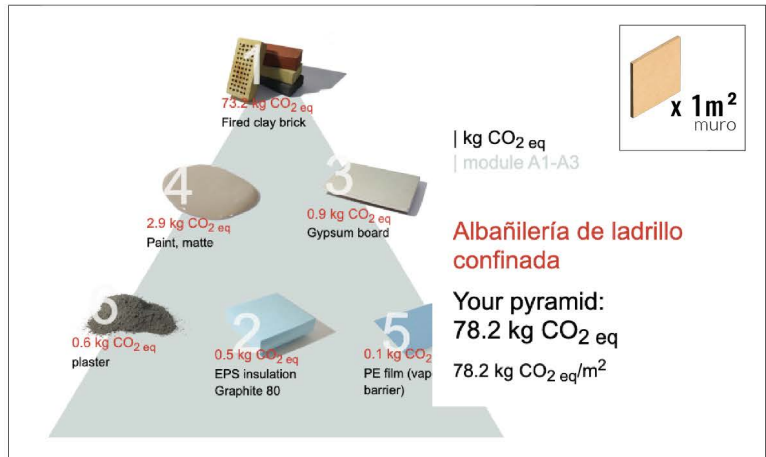
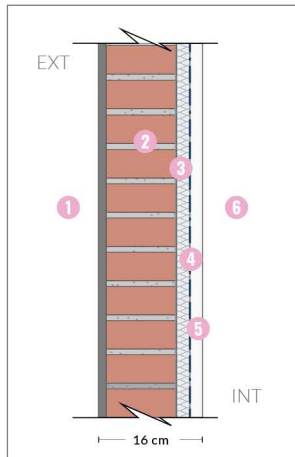


Fig. 7-11 Indicadores GWP de casos de estudio.

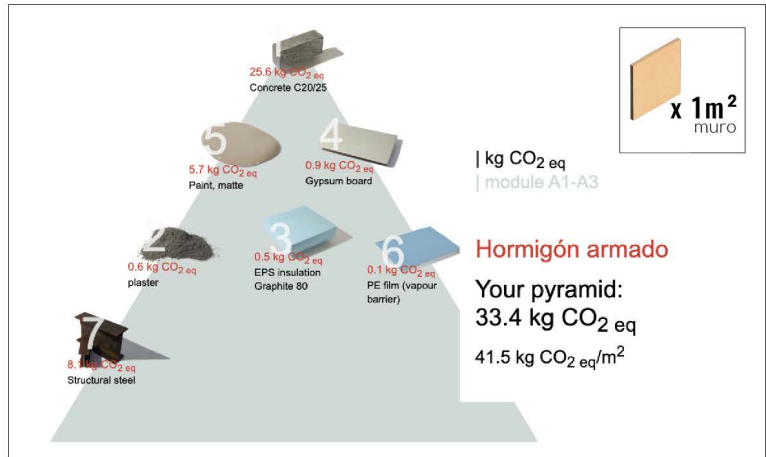
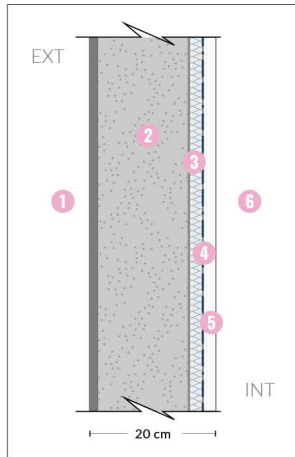
QUINCHA LIVIANA SECA



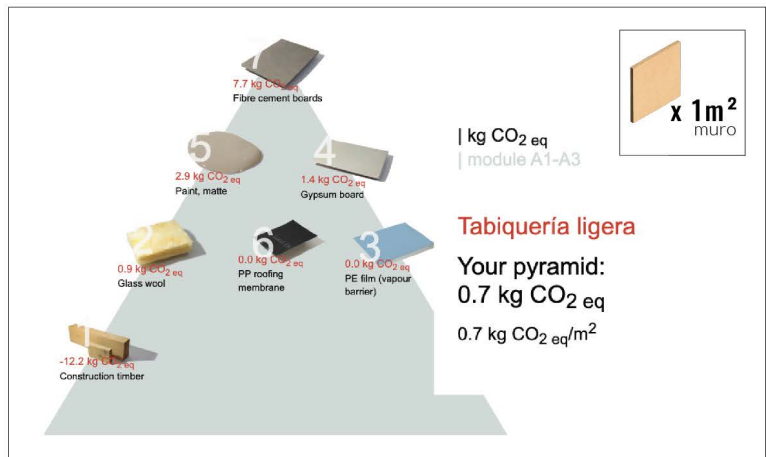
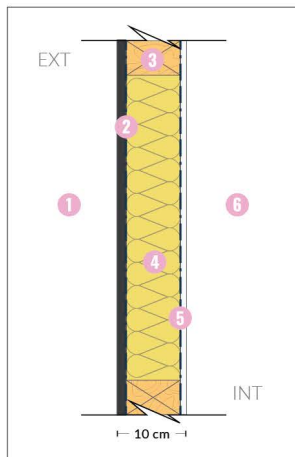
ALBAÑILERÍA CONFINADA



HORMIGÓN ARMADO



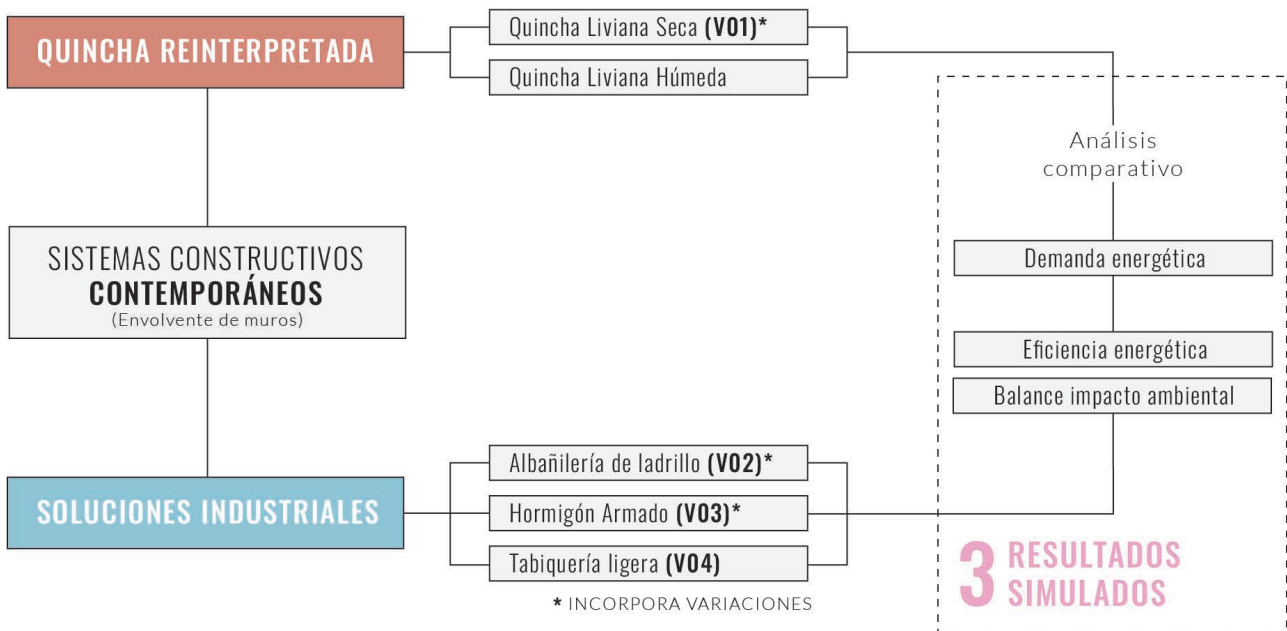
TABICUERÍA LIGERA



## 6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS

Tomando como marco de referencia los valores anteriores, el siguiente análisis tiene como fin examinar con mayor detalle las tipologías de vivienda estudiadas desde un ámbito cuantitativo, con el objetivo de identificar los valores de demanda energética anual de calefacción y refrigeración por metro cuadrado para cada caso, a modo de obtener un orden de magnitud respecto a la situación actual de demanda y comentar acerca del potencial ahorro que podría derivarse de una modificación en la envolvente térmica de estas viviendas.

Fig. 12  
Método de análisis.



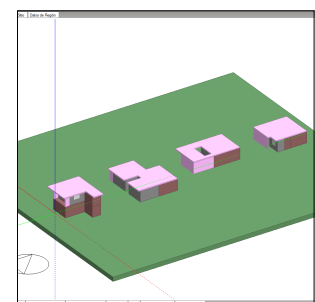
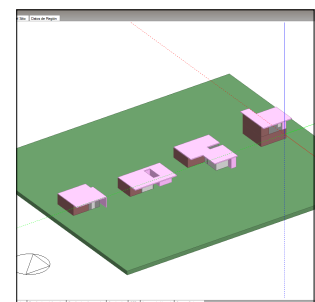
Para llevar a cabo las simulaciones sobre el comportamiento térmico dinámico de las viviendas, se utiliza el software Design Builder® en su versión 7.0.2.006. El software permite realizar simulaciones energéticas avanzadas mediante el modelado de edificios, permitiendo obtener una aproximación representativa acerca del actual desempeño térmico de la envolvente.

Para el análisis, se decide tomar la habitación de estudio de cada caso y someterla a simulación térmica dinámica para obtener un orden de magnitud acerca de su demanda energética actual, analizando individualmente cada elemento constructivo para identificar la combinación de materiales que mejor se adapta a las condiciones específicas del contexto de estudio. Tomando como referencia los valores reales, se realizan diferentes variaciones en la envolvente de muros de cada habitación, a modo de explorar alternativas para su optimización. Las iteraciones de cada sistema constructivo evalúan cómo influye en el comportamiento de la envolvente térmica la cantidad y posición tanto del material aislante como de su respectiva masa térmica.

### CONDICIONES DE SIMULACIÓN

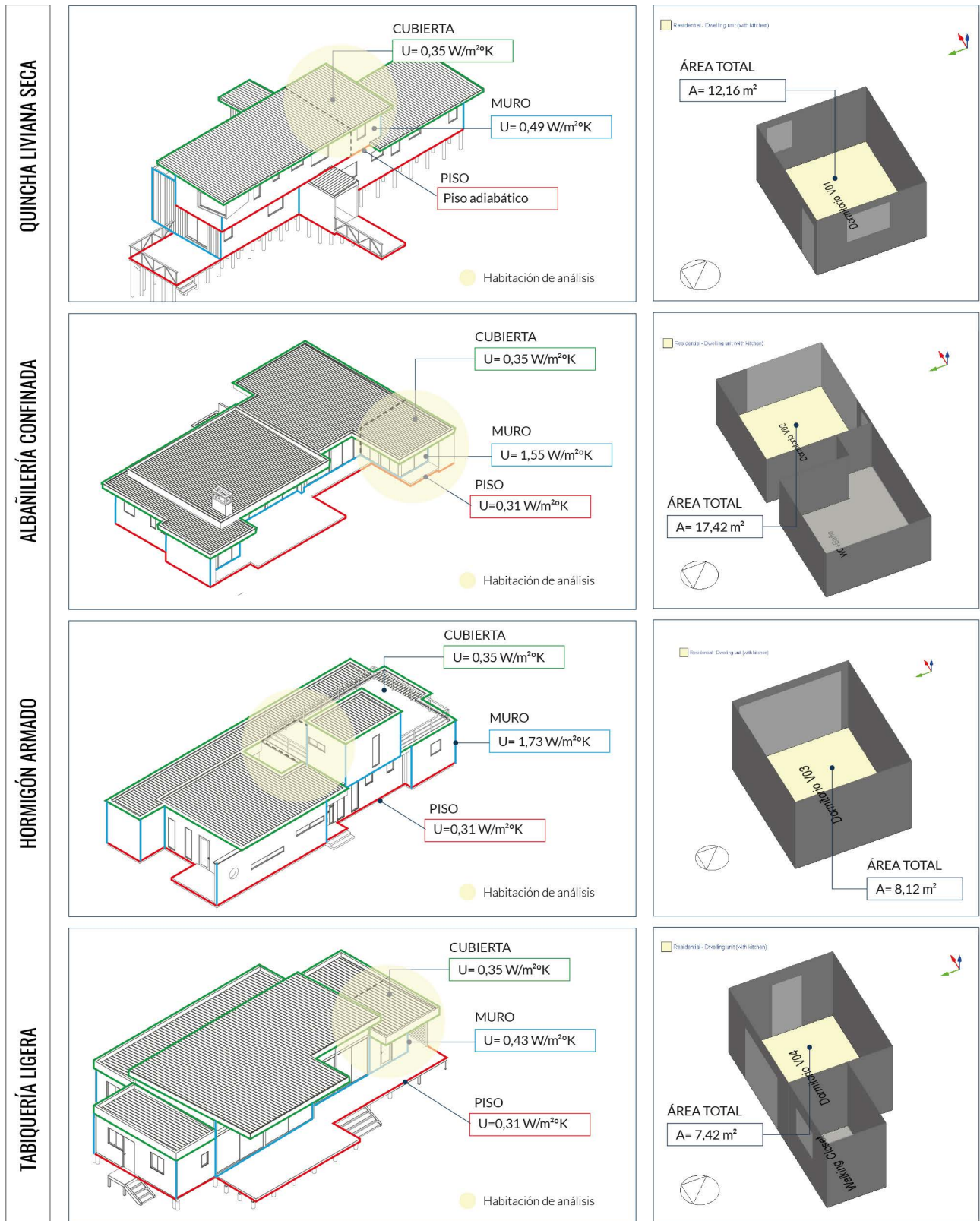
Dado que el objetivo principal de esta etapa es demostrar la eficiencia energética que puede alcanzar el diseño arquitectónico a partir del uso del sistema constructivo de Quincha Liviana Seca en su actualización y en comparación a otros materiales, se toman como objeto de análisis principalmente paredes y acristalamientos de la habitación de análisis, no así los otros componentes de piso y techo que permanecen inalterados durante las simulaciones (Figura 15). Cada caso fue calibrado en función al área de ocupación de la habitación por persona (m<sup>2</sup>/persona), considerando una renovación de aire por hora (1,00 ren/h) y suponiendo una programación 24/7.

Fig. 13-14  
Modelos de simulación térmica dinámica. Habitaciones simuladas.



Las zonas térmicas definidas en los modelos de simulación son similares en términos de proporción, no obstante, su área y volumen difieren caso a caso. También difieren en cuanto a porcentajes de superficie vidriada según el diseño ejecutado para cada vivienda. Para este caso, no son considerados dentro del cálculo posibles infiltraciones en la envolvente. Los modelos de simulación fueron calibrados a partir de los datos climáticos de Santiago, Región Metropolitana, cuyo clima corresponde al tipo “Csb” al igual que el contexto de análisis de la investigación (Limache, Región de Valparaíso).

Fig. 15  
Condiciones modelos de simulación.

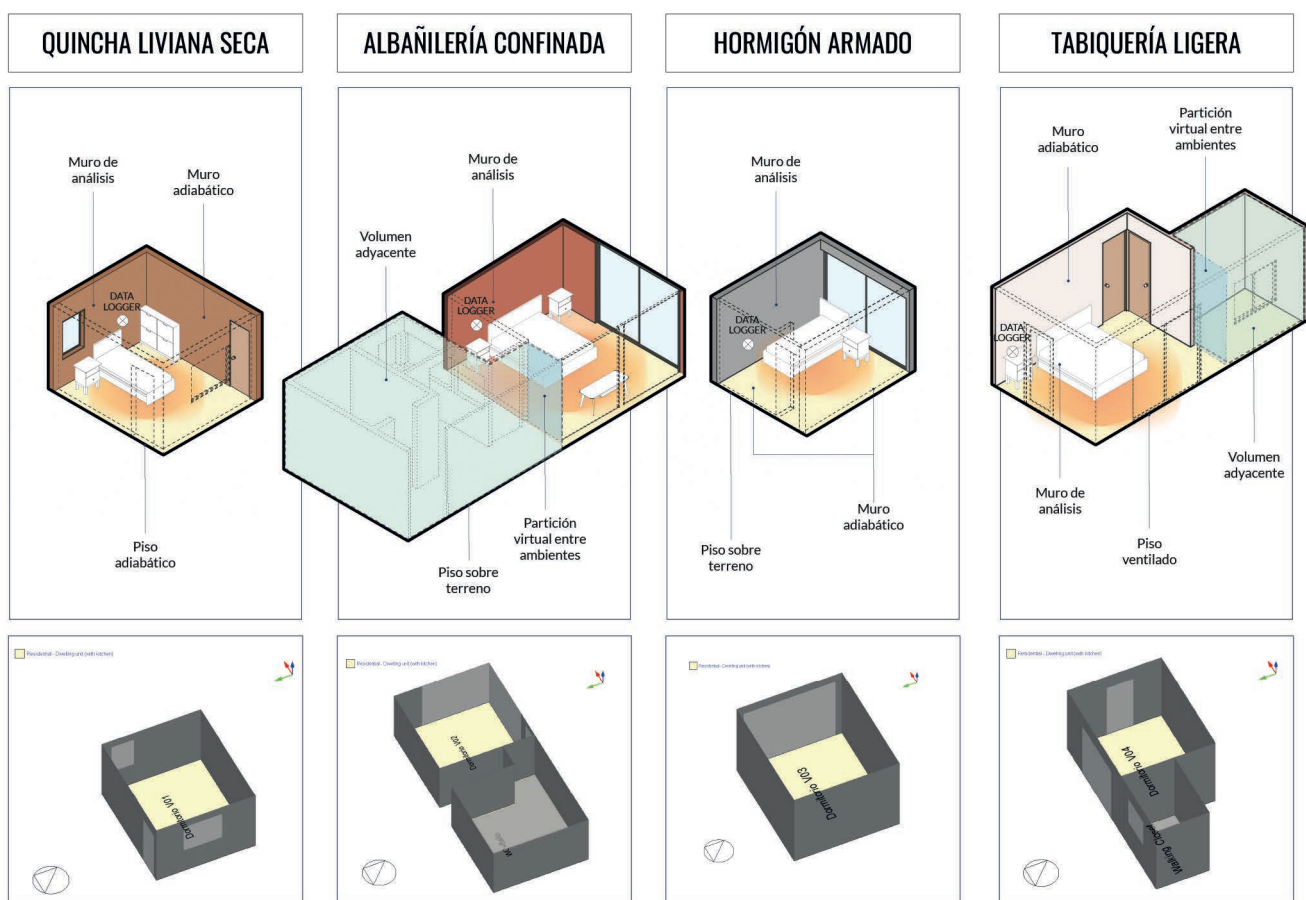


## DESCRIPCIÓN DE LAS VARIANTES

Para el caso de la Quincha Liviana, se decide realizar 9 variaciones del sistema constructivo evaluado in situ mediante la campaña de mediciones desarrollada en verano e invierno, modificando las variables de (1) espesor del aislante de paja seca o húmeda y/o (2) espesor de los revoques gruesos de tierra cruda (ver Figura 10 del Capítulo 5). De esta manera, las variables demuestran el desempeño del muro respecto a sus capacidades aislantes y/o de inercia térmica respectivamente.

Para el caso de los sistemas constructivos con materiales de uso común, la modificación evaluada para el caso V02 y V03 (V02B y V03B) de la envolvente térmica de muros fue a partir del reordenamiento de sus capas materiales (ver Figura 10 del Capítulo 5), analizando de qué manera influye la posición del aislante hacia el interior o el exterior del muro en las demandas de calefacción y refrigeración. Para el caso V04 no se realizan variaciones.

Fig. 16 Descripción de las variantes para simulación térmica.

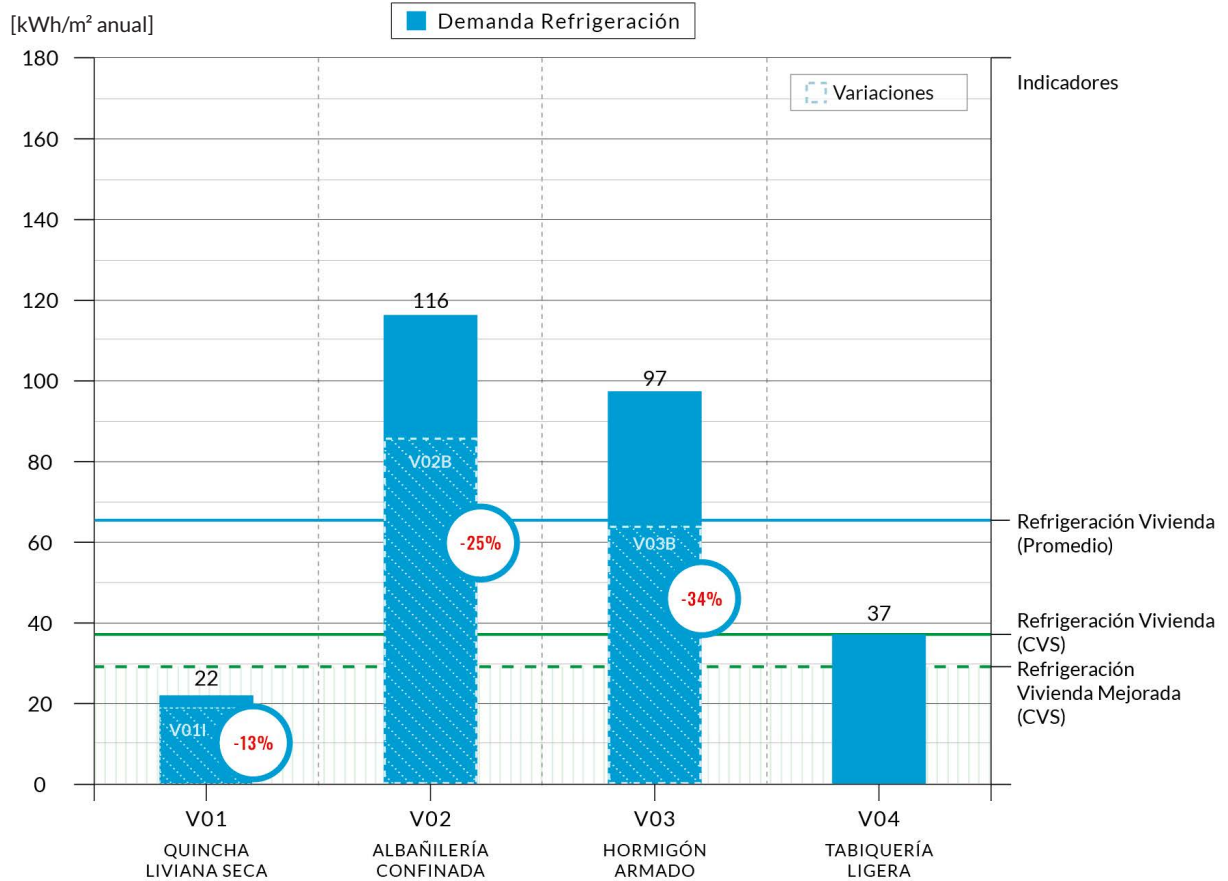
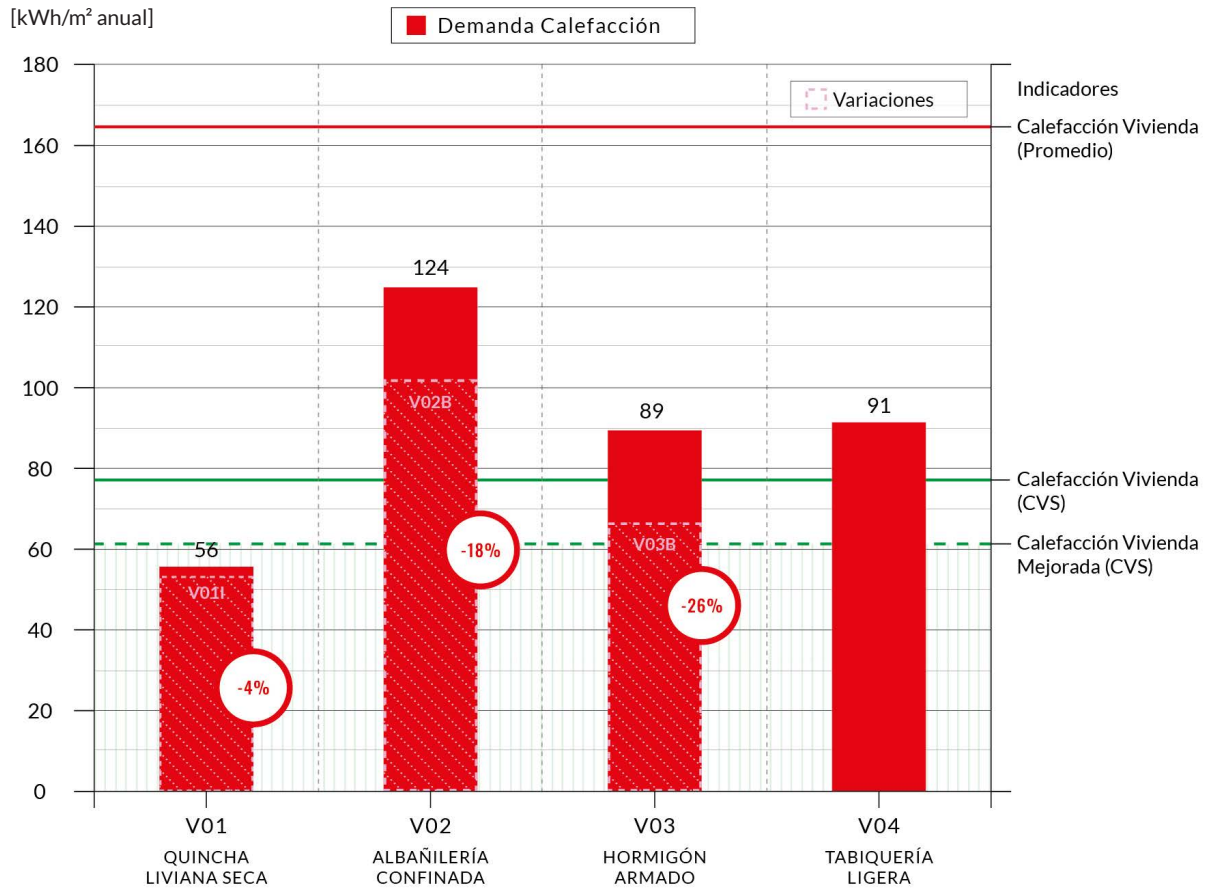


## 6.3 COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS

Tomando como referencia los valores de demanda energética para calefacción y refrigeración que propone la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) en Chile (ver Tabla 5 y 6 del Capítulo 3) y considerando los valores promedio a nivel nacional según la herramienta de Calificación Energética de Vivienda (CEV), todos los casos analizados poseen una demanda anual de calefacción inferior al promedio nacional (164 kWh/m<sup>2</sup>), no así la demanda anual de refrigeración en el caso V02 (albañilería confinada), V02B (albañilería confinada mejorada) y V03 (hormigón armado), que se encuentran por sobre los 64 kWh/m<sup>2</sup> promedio. El caso de estudio que presenta una mayor demanda de refrigeración y calefacción es el caso V02, el cual alcanza los 116 kWh/m<sup>2</sup> y 124 kWh/m<sup>2</sup> de demanda anual respectivamente (Figuras 17 y 18).

Fig. 17 Demanda de calefacción anual según casos de estudio. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV.

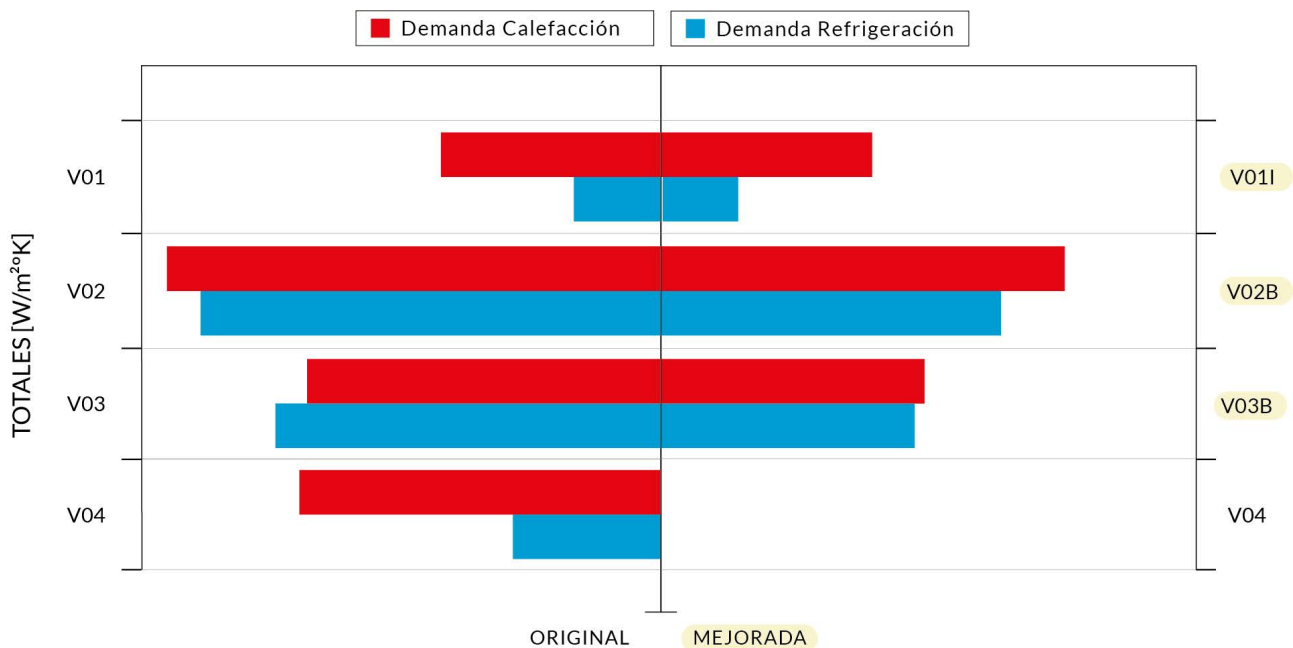
Fig. 18 Demanda de refrigeración anual según casos de estudio. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV.



En segundo lugar, el caso con mayor demanda energética corresponde al V03, con 97 kWh/m<sup>2</sup> y 89 kWh/m<sup>2</sup> de demanda anual respectivamente. Con las modificaciones evaluadas para ambos casos (V02B y V03B) al considerar el material aislante por fuera de la envolvente, las demandas de calefacción y refrigeración se reducen en un 18 y 25% para el caso de albañilería y un 26 y 34% para el caso de hormigón armado, respectivamente. El caso V04 (tabiquería ligera) cumple con el requisito de demanda máxima para refrigeración propuestos por la CVS (con 37 kWh/m<sup>2</sup>\*anuales), no así la demanda de calefacción, la cual alcanza los 91 kWh/m<sup>2</sup>\*anual.

El caso V01 (quincha liviana seca) presenta una menor demanda de refrigeración (22 kWh/m<sup>2</sup>\*año) y calefacción (56 kWh/m<sup>2</sup>\*año), cumpliendo para ambos casos con los estándares de demanda energitèrmica propuestos en la CVS, alcanzando incluso requisitos de demanda máxima para el caso de la envolvente mejorada en el caso de exigencias de calefacción. Los resultados demuestran que el sistema de reinterpretación de quincha liviana seca presenta una menor demanda energitèrmica por metro cuadrado respecto a los otros sistemas constructivos evaluados, con una reducción de demanda de calefacción de un 81% y de refrigeración de un 55% respecto a la resultante más alta de los otros casos estudiados, correspondiente al caso del sistema de albañilería confinada (V02).

Fig. 19 Resumen gráfico demanda energitèrmica anual de las soluciones calculadas y sus versiones mejoradas.

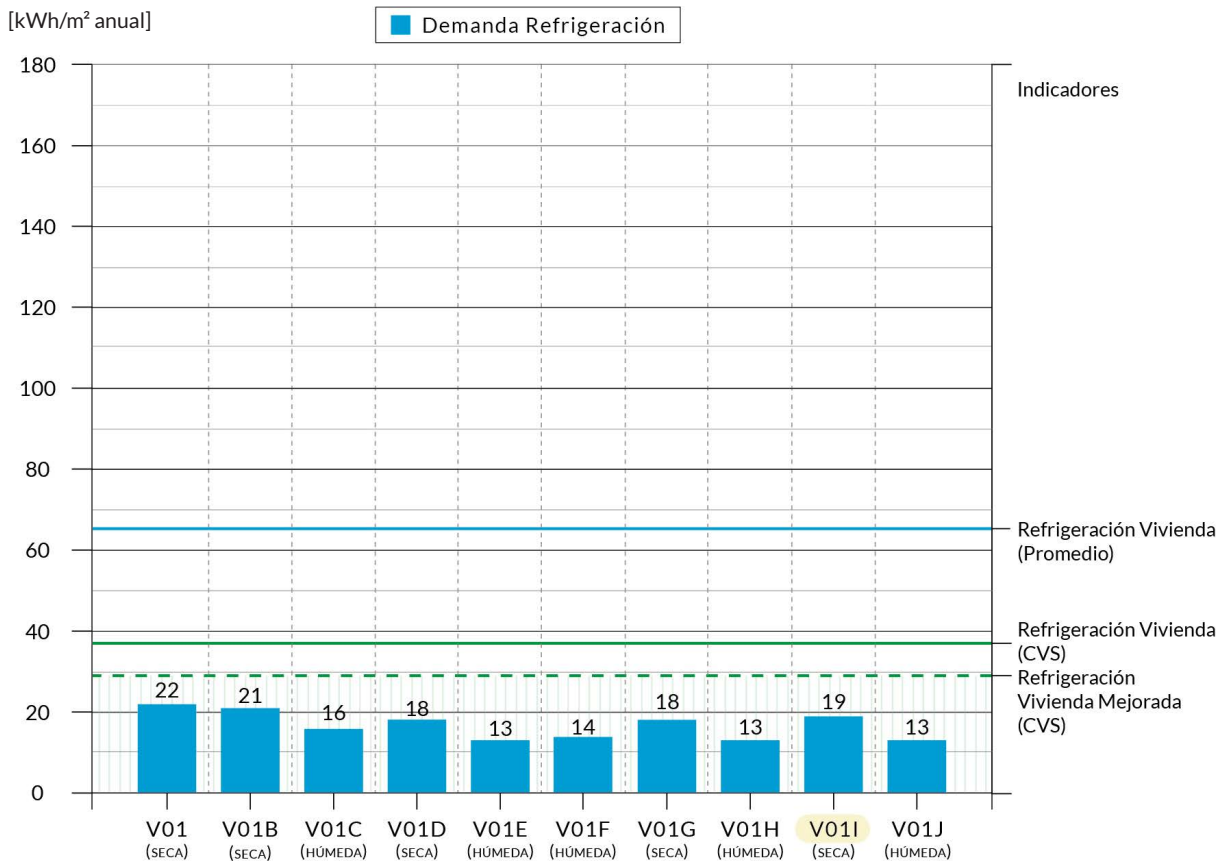
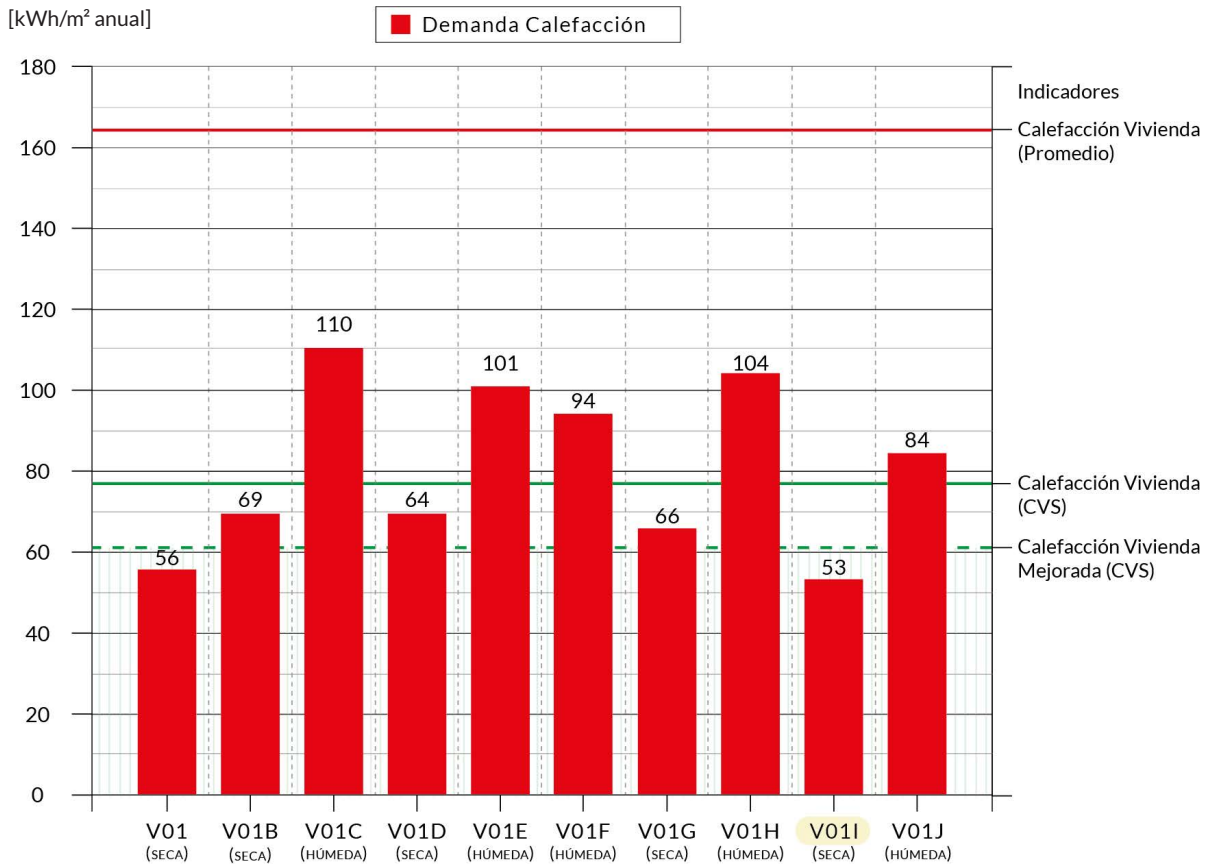


Respecto a los resultados de las variaciones realizadas para el caso de la quincha reinterpretada (Figura 20-21), la demanda anual de refrigeración demuestra una variación positiva en todos los casos, siendo las variaciones que utilizan relleno húmedo las que presentan una menor demanda de enfriamiento a nivel general. Además, se observa que, al modificar el relleno de seco a húmedo, aumentar el espesor de dicho elemento aislante y aumentar su masa térmica a partir de un mayor espesor en los revoques gruesos de tierra cruda<sup>38</sup>, se demuestra una mayor reducción de demanda de refrigeración respecto a la configuración original de la envolvente estudiada (hasta un 41%) resultado que se demuestran principalmente en los casos V01E, V01F y V01H (Figura 22). También, se observa que la variación en el espesor de los revoques gruesos de tierra de 25 a 50 mm altera mínimamente la demanda de refrigeración del recinto en cuanto no se combine con un mayor espesor de aislante, siendo despreciable en la mayoría de los casos; no así la variación del elemento aislante, en el cual influye significativamente el material que se incluya en el alma del tabique (sea este seco o húmedo).

38. Cabe señalar que para este caso la posición de una mayor masa térmica hacia el exterior o el interior del muro es despreciable, dado que no altera la demanda de energía. Para esta investigación solamente se exponen las combinaciones más representativas realizadas con un mayor espesor de revoque grueso hacia el exterior e interior del recinto o sólo hacia el interior.

Fig. 20 Demanda de calefacción anual según variantes de quincha estudiadas. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV.

Fig. 21 Demanda de refrigeración anual según variantes de quincha estudiada. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV.



En cuanto a la demanda anual de calefacción, al contrario que la demanda de refrigeración, esta tiende a aumentar al modificar el relleno de seco a húmedo, logrando incluso duplicar la demanda como es el caso V01C, V01E, V01F y V01H, que presentan un aumento mayor a los 100 kWh/m<sup>2</sup>\*año al utilizar un relleno húmedo por sobre los 55 kWh/m<sup>2</sup>\*año que se obtiene con un mayor espesor en el relleno seco como elemento aislante, como es el caso V01 estudiado in situ. Las demandas de calefacción son mucho más susceptibles a incrementarse al modificar el tipo de relleno en comparación con las demandas de refrigeración.

Dado lo anterior, el caso con mayor reducción respecto a la demanda energética en cuanto a refrigeración y calefacción para el caso de la quincha corresponde a la variante V01I que considera un mayor espesor del aislante y del revoque grueso hacia el interior, con una reducción de las demandas de energía de un 14% y 3% respectivamente. Es decir, mientras mayor sea el espesor del aislante del tipo seco, combinado con un mayor espesor en los revoques gruesos de tierra cruda, menor será la demanda de refrigeración y calefacción.

Fig. 22 Resumen gráfico demanda energética anual variantes de quincha estudiadas, según espesor de aislante y revoques.



A partir de estos resultados, se confirma que el aumento del espesor del aislante del tipo relleno seco puede disminuir la demanda de calefacción anual por metro cuadrado, no así la demanda de refrigeración, la cual se ve disminuida solamente al considerar aislante del tipo relleno húmedo. Ahora bien, las demandas de refrigeración en todos los casos poseen valores por debajo de los requisitos máximos que propone la CVS e incluso del promedio nacional que indica la CEV para una casa, siendo probablemente prescindibles durante el año según los requerimientos del usuario.

#### 6.4 SÍNTESIS DEL CAPÍTULO

En Chile, la mayoría de las viviendas presentan deficiencias en aislación térmica, lo que resulta en un alto consumo energético para calefacción. Debido a la tardía implementación de la RT introducida en 2001, muchas viviendas no cumplen con estándares de acondicionamiento térmico, contribuyendo al incremento del uso de sistemas de calefacción activa principalmente mediante artefactos de combustión de leña, altamente contaminantes.

Los resultados presentados demuestran que el tipo de construcción y los materiales usados influyen significativamente en la demanda energética para calefacción y refrigeración de las viviendas en Chile. Los casos estudiados muestran que la demanda anual de calefacción se encuentra muy por debajo del promedio nacional de viviendas según el indicador del CEV. No así la demanda de refrigeración, que en el caso de albañilería y hormigón superan el promedio nacional.

En cuanto a los estándares de construcción sustentable, el caso V01, que utiliza quincha liviana seca, se destaca por cumplir ampliamente con los estándares de CVS, incluso para vivienda mejorada, presentando demandas mucho menores de energía tanto para calefacción como para refrigeración, demostrando la efectividad de los materiales naturales y las técnicas de construcción sostenibles.

Las variaciones del sistema de quincha liviana estudiados indican que la utilización de aislante seco y un mayor espesor en los revoques gruesos de tierra cruda contribuyen significativamente a la reducción de la demanda energética. Sin embargo, al cambiar de relleno seco a húmedo, se observa una disminución en la demanda de refrigeración, pero un incremento en la demanda de calefacción, lo que resalta la importancia de la selección de materiales según las necesidades climáticas específicas.



## CONCLUSIONES

### SÍNTESIS PREVIA

El diálogo entre materiales tradicionales y contemporáneos ha permitido mejorar las deficiencias que presentaba el sistema tradicional de quincha liviana, entregando un precedente de reinterpretación de un sistema constructivo de carácter patrimonial con estándares que cumplen con los requerimientos actuales. Estas prácticas contemporáneas, enraizadas en la historia, perpetúan un conocimiento ancestral, a la vez que proyectan su uso a futuro por medio de su actualización, fomentando la innovación dentro de un marco de integración del patrimonio construido.

Los resultados confirman la importancia del diseño y la elección de materiales en la construcción para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico en las viviendas, dado que la combinación entre capacidad aislante e inercia térmica es ideal para la demanda energética que representa la zona térmica evaluada, resultando en una mayor eficiencia energitérmica respecto a otros sistemas constructivos convencionales. De este modo, la quincha liviana se posiciona como un ejemplo exitoso de construcción sostenible en el contexto de Chile, según sean los requerimientos climáticos.

En conclusión, la optimización de la envolvente térmica de las viviendas mediante el uso de materiales sostenibles y técnicas constructivas adecuadas puede conducir a una significativa mejora en la eficiencia energética, en la calidad del aire interior, y en la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción. Esto último se alinea con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Eficiencia Energética de Chile hacia una transición energética sustentable.

## RESPECTO A LA INNOVACIÓN

La reinterpretación histórica de sistemas de construcción con tierra cruda refleja la evolución y modernización de prácticas ancestrales arraigadas en las técnicas constructivas de tierra en Chile. Esta reinterpretación, que ha comenzado a cobrar protagonismo en el país durante las últimas dos décadas, integra el dominio tecnológico de la era contemporánea desde el siglo XX para lograr mejoras estructurales y térmicas, entre otras. Esta innovación no es nueva, ya que se ha presentado en distintas escalas a lo largo de toda la historia constructiva de Chile en respuesta a eventos culturales, económicos y ambientales. Su implementación en el diseño arquitectónico de viviendas se ha extendido por todo el territorio chileno, incluso en regiones con climas cálidos y templados, así como en áreas más al sur del país, con climas más lluviosos.

El proceso de reinterpretación se manifiesta en sistemas como el Tapial Parasísmico, el Terrapanel, la Quincha Metálica o la Quincha Liviana, entre otros, los cuales representan un precedente de innovación desarrollado a partir de los sistemas constructivos tradicionales de tierra cruda. Estos sistemas incorporan conceptos de estructura antisísmica en elementos de tabiquería, disipadores de energía ante el sismo y/o mejoras en la mezcla de relleno para lograr estructuras más ligeras y con una capacidad aislante mejorada.

En este ámbito, Chile se ha convertido en un precursor en estas áreas, facilitando el avance de este tipo de estructuras mientras sigue preservando un patrimonio construido reconocido mundialmente por poseer cualidades más sostenibles debido al uso de la tierra y las fibras vegetales. Por este motivo, estos avances constituyen un importante antecedente en materias de sostenibilidad en la edificación.

## RESPECTO AL CONFORT HIGROTÉRMICO

El estudio de la quincha contemporánea tomada como caso de estudio, aunque dista de ser una representación tradicional de las construcciones patrimoniales, proporciona un primer paso importante para el estudio de los materiales según sus respectivas mejoras considerando valores previamente validados. Por este motivo, el análisis más bien ilustra un rango operativo en el que se puede mover este tipo de edificaciones en cuanto a desempeño higrotérmico.

Los valores  $U$  y  $R_t$ , por sí solos, no proporcionan una comprensión completa del comportamiento térmico del muro, dado que sólo respaldan su capacidad aislante en un estado estacionario y no reflejan necesariamente la manera en que el muro opera respecto a los intercambios de calor con el medio en función del tiempo. Esto queda evidenciado desde la lectura del comportamiento de las temperaturas superficiales de los muros respecto a las condiciones del ambiente interior y las horas totales de confort térmico para periodos de verano e invierno.

Al igual que ocurre con los sistemas de hormigón armado o la albañilería, la quincha ofrece una variedad de combinaciones y posibilidades que pueden ajustarse para satisfacer distintos requerimientos térmicos según las condiciones climáticas. Esta versatilidad demuestra que la quincha puede adaptarse a las necesidades higrotérmicas de un espacio a partir de modificaciones sutiles en la configuración del muro. El caso de quincha liviana seca es el que posee el valor más alto de admitancia térmica entre los cuatro casos, ya que los revoques exteriores e interiores en tierra alivianada actúan como masa térmica. Sin embargo, no alcanzan a ser suficientemente gruesos como para

obtener un resultado más eficiente en términos de inercia térmica, lo que provoca que los periodos de intercambio de calor no sean tan prolongados en el tiempo a lo largo del día. En cuanto a su valor de transmitancia térmica, el muro presenta una buena capacidad aislante, cuyos valores van desde los 0,48 a los 1,32 W/m<sup>2</sup>K variando los espesores de aislante y masa térmica. El sistema constructivo mantiene las temperaturas internas de la vivienda más estables al reducir la transferencia de calor hacia dentro en verano y hacia afuera en invierno.

En términos de confort higrotérmico, en un periodo de dos semanas de medición para verano obtuvo el valor más alto entre los casos, de un 95% dentro de la temperatura ideal de confort térmico y un 90% del tiempo en el rango óptimo de humedad relativa, esto debido al equilibrio entre su capacidad aislante e inercia térmica; no así para el periodo de invierno, donde se requieren mayores inputs de calefacción mientras la habitación no esté siendo utilizada.

En base a estos resultados, la quincha se presenta como una opción competitiva respecto a los requerimientos térmicos de climas templados y de alta oscilación térmica, ya que ofrece un equilibrio entre capacidad aislante y masa térmica que la hace ideal para amortiguar las fluctuaciones extremas de temperatura. De esta manera, permite una mayor flexibilidad al momento de seleccionar estrategias bioclimáticas, como la orientación de la vivienda o la captación de calor durante el día. Sus diferentes configuraciones, basadas en los mismos componentes, permiten mediar entre las capacidades aislantes y de masa térmica de la envolvente.

## **RESPECTO A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

En el contexto nacional, la mayoría de las viviendas presentan deficiencias en aislación térmica, lo que resulta en un alto consumo energético para calefacción. Debido a la tardía implementación de la Reglamentación Térmica introducida en 2001, muchas viviendas no cumplen con estándares de acondicionamiento térmico, contribuyendo al incremento del uso de sistemas de calefacción activa principalmente mediante artefactos de combustión a leña, altamente contaminantes. Considerando que, además, las viviendas en Chile son construidas mayoritariamente a partir de estructuras de hormigón armado, tabiquería de madera o acero forrada y albañilerías de ladrillo, los resultados dan cuenta de la eficiencia energética que involucra el uso de la quincha liviana como envolvente de muros para soluciones habitacionales, cuyos indicadores se encuentran por sobre del resto de soluciones.

Además, el estudio demuestra que algunas variaciones en la quincha liviana, como utilizar paja seca o paja aglomerada con barbotina, aumentar el espesor del material aislante y/o de los revoques gruesos, pueden mejorar la eficiencia energitérmica de la vivienda. Sin embargo, el tipo de aislante y su espesor son determinantes; mientras que el aislante seco mejora la demanda de calefacción, el aislante húmedo reduce la necesidad de refrigeración. Basado en los resultados, se puede adelantar que mientras mayor sea el espesor del aislante del tipo relleno seco para el caso de la quincha, menor será la demanda energética requerida para calefaccionar. Esto, sumado a un ideal espesor en los revoques de tierra, garantiza también una reducción en la demanda de refrigeración anual.

Los resultados de la investigación destacan la importancia de elegir materiales y diseños constructivos adecuados para la optimización de la performance térmica de los edificios, con el objetivo de alcanzar la máxima eficiencia energética y confort ambiental posible.

## **RESPECTO AL POTENCIAL DE SOSTENIBILIDAD**

Los resultados de la investigación respaldan que la valorización de tecnologías como la quincha liviana, son alternativas viables para la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, basándose en la huella de carbono de los materiales y en las estrategias de diseño arquitectónico pasivo que ofrecen las propiedades higrotérmicas de dichos sistemas.

Como se pudo ver en los resultados, la elección y disposición de los materiales en la envolvente son fundamentales para el rendimiento térmico y el confort, incidiendo directamente en la sostenibilidad energética y por ende económica de la edificación. Estos resultados se traducen en un menor consumo energético, y, por ende, un ahorro monetario en sistemas activos de climatización.

La quincha liviana seca demuestra una reducción significativa en la demanda energética anual únicamente aprovechando las propiedades de los materiales que la conforman. En cuanto a su huella de carbono y considerando que materiales como la tierra, la paja y la madera son ecológicos, reutilizables, más económico y/o locales, un metro cuadrado de quincha posee una huella de carbono negativa, la cual se ve incrementada por los componentes de acero que se le agregan al sistema como refuerzo estructural (malla galvanizada) y posibles elementos de fijación. Sin este componente, y en sus versiones tradicionales o contemporáneas que utilizan madera o fibra como estructuras secundarias, su huella se vería aún más reducida.

Estos indicadores subrayan el valor que poseen los sistemas constructivos tradicionales para desarrollar envolventes más eficientes, reconocidas por cumplir con estándares de acondicionamiento térmico y energía.

## **RESPECTO A LA PREVALENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN CON TIERRA**

Desde la aproximación territorial a partir de la estadística del uso de técnicas tradicionales para vivienda en Chile, se observa que el aumento entre el año 2002 al 2017 en el uso de muros exteriores construidos mediante sistemas tradicionales, en algunas ciudades puede atribuirse a las nuevas corrientes de diseño que revalorizan el uso de la tierra como material de construcción, que predominan en las zonas norte, centro y centro-sur y que presentan una tendencia de extensión hacia sectores más hacia el sur de Chile. Por otro lado, comunas como Arica y Parinacota o Tarapacá hacia el extremo norte de Chile demuestran un mayor uso de materiales tradicionales para construcción de viviendas en contraste con materiales industrializados, identificando los sectores dónde efectivamente predomina el uso de la tierra por sobre otros en la actualidad.

## **RESPECTO A LA APLICACIÓN NORMATIVA**

Chile ha progresado en términos normativos al proteger el patrimonio material e inmaterial, incluyendo en cierta medida el reconocimiento de técnicas ancestrales de construcción con tierra cruda. Sin embargo, se necesitan mayores esfuerzos normativos para incluir estas prácticas en el rubro, de manera de visibilizar las potencialidades que presentan las nuevas innovaciones y así desestigmatizar la construcción con tierra cruda.

Por otro lado, aunque se han establecido normativas en cuanto a acondicionamiento térmico, estas aún no satisfacen plenamente las necesidades actuales de eficiencia energética y sostenibilidad en construcción, ya que los requerimientos exigidos por normativa priorizan el aislamiento por sobre la

inercia térmica de la envolvente. Como menciona (Wieser et al., 2018), esto sucede tanto en reglamentaciones latinoamericanas como en países desarrollados, en los cuales se establecen valores máximos de transmitancia térmica para el aislamiento de la envolvente desde el objetivo de ahorrar energía frente a un eventual uso de sistemas activos de climatización. Pese a ello, políticas como la Ley 21.305 y el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2025 recién promulgado en el año 2023 exigen avanzar en prácticas que regulen y promuevan mayores estándares de acondicionamiento térmico en la vivienda, para conseguir los objetivos de mejorar la calidad térmica de las edificaciones y reducir en un 30% el consumo de calefacción en el centro y sur de Chile en la próxima década.

Actualmente es posible construir a partir de quincha liviana dado que el componente estructural y sismorresistente recae en la estructura principal de la tabiquería en madera, siendo clasificado como una construcción del tipo “E”, para construcción liviana. De esta manera entra en esta categoría los sistemas de reinterpretación patrimonial que utilizan como estructura la madera o el metal, y que utilizan el relleno seco o húmedo como material aislante.

La quincha liviana, por sus propiedades térmicas, reducción acústica, resistencia al fuego y conformidad con los estándares de construcción sostenible, se destaca como una opción viable para la lograr una mayor eficiencia energética en la edificación. El sistema, ya certificado, cumple con la reglamentación térmica vigente en varias zonas térmicas del territorio, incluyendo algunas donde se exigen mayores requerimientos térmicos en ciudades con Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA). Además, se demuestra que satisface criterios de eficiencia energética incluidos en certificaciones habitacionales nacionales como la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) y la Calificación Energética de Vivienda (CEV).

En este ámbito, uno de los aportes de esta investigación puede ser el fortalecimiento de políticas públicas respecto al incentivo de construcción de vivienda en Chile a partir de estos sistemas constructivos, a modo de enfrentar el déficit habitacional u otras problemáticas adyacentes.

## **RESPECTO A LA HIPÓTESIS PLANTEADA**

En conclusión, queda demostrado que la reinterpretación de sistemas constructivos patrimoniales, ejemplificado por la quincha liviana y su enriquecimiento a través de nuevas tecnologías, representa una alternativa sostenible y eficiente en términos energéticos y de habitabilidad. Este enfoque contrasta favorablemente con los métodos de construcción contemporáneos, como lo son sistemas industrializados de tabiquería ligera, hormigón armado o albañilerías.

La investigación y la implementación de modelos innovadores que rescatan y modernizan técnicas y tecnologías tradicionales han demostrado su eficacia, facilitando la transición hacia prácticas constructivas contemporáneas más sostenibles. Además, se ha verificado que la aplicación de este conocimiento tradicional, intrínseco al patrimonio construido con tierra, fortalece la visibilización de sus valores ambientales y energéticos, pudiendo promover prácticas de resguardo en el futuro.

## RESPECTO A LAS DIFICULTADES DE INVESTIGACIÓN

Durante el desarrollo de la investigación fue difícil realizar un seguimiento del uso de los habitantes al interior de los recintos durante el periodo de análisis, dada la poca información que se entregó acerca de las principales actividades realizadas. Sin embargo, se logró monitorear la actividad a partir del análisis de datos.

Respecto a los resultados de las mediciones in situ, las habitaciones durante el periodo de invierno no fueron frecuentemente utilizadas, lo que influyó en los resultados obtenidos sobre el comportamiento de la habitación en todos los casos. Sin embargo, los resultados fueron respaldados a partir de cálculos teóricos y bibliografía para tener indicadores más fehacientes y poder concluir los alcances demostrados.

El estudio de la quincha contemporánea tomada como caso de estudio, aunque dista de ser una representación tradicional de las construcciones patrimoniales, proporciona un primer paso importante para el estudio de los materiales. En un inicio, se planteó la dificultad que supone el cálculo y medición in situ de viviendas que incorporan sistemas constructivos de quincha tradicional, principalmente por el poco control de las variables ambientales que influyen en el desempeño térmico real de la edificación considerando el estado de la edificación.

En relación con la base de datos consultadas, resulta muy difícil obtener una aproximación aún más rigurosa en ámbitos normativos de los resultados considerando que no hay una base de datos nacional oficial que incluya las propiedades térmicas de la tierra en sus diferentes proporciones, ni de fibras vegetales utilizadas en construcción históricamente en Chile, como la paja, la brea o el colihue. Los valores utilizados para el cálculo fueron extraídos a partir de bibliografía nacional e internacional que demuestran el comportamiento térmico de estos materiales. Dicho esto, hace falta una mayor rigurosidad técnica desde ámbitos normativos para facilitar la validación del comportamiento de estos materiales en el país.

## PRÓXIMOS ESTUDIOS

Esta investigación es sólo una aproximación al comportamiento mejorado que tiene la quincha en cuanto a propiedades térmicas, con el propósito de establecer una base numérica comparable con próximos ensayos, de manera de tener valores prescriptivos iniciales acerca del comportamiento de diferentes soluciones constructivas. Por ende, se necesita realizar próximos estudios que incorporen un desarrollo más acabado acerca de las condiciones de monitoreo y simulación para evitar imprecisiones y así obtener resultados más específicos.

Puntualmente en los indicadores de demanda energética, el análisis pretende comparar en orden de magnitud las ventajas que poseen sólo las soluciones de muro, extrapolando los resultados que pueden alcanzar dichas viviendas considerando el uso de cada sistema constructivo en su totalidad. Por ello, se debe tener en consideración que la metodología expuesta entrega valores que sirven como un primer antecedente sobre el desempeño de esta solución aplicada en muros, siendo necesario un análisis más exhaustivo respecto a las condiciones totales de una vivienda para próximas investigaciones. Las próximas investigaciones deberían enfocarse en evaluar de manera más precisa el comportamiento total de una vivienda, teniendo en consideración todas las variables reales que afectan la demanda de energía en la edificación, como infiltraciones, transmitancia en pisos y techos, entre otros.

La tesis abre la oportunidad de realizar herramientas de categorización de soluciones de quincha según restricciones climáticas para diferentes zonas del país, evaluando los requerimientos que se necesitan para obtener mayores índices de confort térmico. Su implementación puede estar orientada a demostrar estrategias para un buen acondicionamiento térmico de las viviendas según las características de cada elemento. El análisis de todas estas variables permite tener una noción acerca de las estrategias que se pueden aplicar considerando el comportamiento prescriptivo de los muros, a modo de potenciar sus capacidades en función de las propiedades de los materiales.

Por último, considerando la aprobación de la hipótesis, se podría investigar de qué manera fortalecer políticas públicas que promuevan el uso de este sistema en la construcción de vivienda en Chile, así como estrategias adecuadas para la rehabilitación energéticamente sostenible de este tipo de construcciones.





## REFERENCIAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acevedo, R., Broughton, J., & Carrillo, O. (2022). Construcción en Quincha Liviana. Sistemas Constructivos Sustentables de Reinterpretación Patrimonial.
2. Acevedo, R., Broughton, J., & Carrillo, O. (2019). Validación ante normas chilenas de sistemas constructivos: quincha liviana húmeda y quincha liviana seca. SIACOT 2019 Conservación sostenible del paisaje: tierra y agua, 42–53. <http://www.redproterra.org>
3. Aninat, A. (2020, enero 25). ¿Es la quincha una alternativa posible para atender la demanda mundial por vivienda?. Fundación Altiplano. <https://www.fundacionaltiplano.cl/post/es-la-quincha-una-alternativa-posible-para-atender-la-demanda-mundial-por-vivienda>
4. Barros, L., & Sarabia, G. (2016). Sistemas Constructivos Básicos.
5. Barros, L., Álvarez, L., & Imhoff, F. (2014). Terra: Desde la tradición a la innovación tecnológica en sistemas constructivos a base de tierra cruda.
6. Blaitt, R., & Bonczos, C. (2003). Construcciones Bioclimáticas en Barro y Totorá: Hacienda El Tangué, Tongoy, Coquimbo, Chile.
7. Broughton, J. (Mayo de 2023). Taller de Construcción en Fardos de Paja [Comunicación en presentación online].
8. Brstilo, V. (2018). Estrategias de Control Térmico a través de la Envolvente: Emulación de Masa Térmica en Construcciones Livianas para el Clima de Santiago.
9. Bustamante, W. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social.
10. Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., & Santa María, H. (2009). Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. En Camino al Bicentenario Propuestas para Chile (pp. 253–282).
11. Cabrera, S., Guilarducci, A., González, D., & Suarez, M. (2023). Evaluation of the thermal conductivity and transmittance coefficient of earthen constructive elements. *Habitat Sustentable*, 13(1), 8–19. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.01>
12. Carazas, W. (2021). Construir con Bajareque Cerén. Experiencias en el contexto de Oaxaca, México. 1era Edición. Ciudad de México
13. Colectivo RE. (2020). Huevo de Pato #02 Oportucrisis. [https://issuu.com/proyectore01/docs/huevo\\_de\\_pato\\_02\\_3ae018fef4a386](https://issuu.com/proyectore01/docs/huevo_de_pato_02_3ae018fef4a386)
14. Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2012). Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda: Manual de terreno (Vol. 32). Ediciones Raizfutura.
15. Corporación Memoria Austral. (2020). Cuaderno de campo: Arquitectura Vernácula-adobe y quincha- Aysén. [https://memoriaaustral.cl/wp-content/uploads/2022/09/libro\\_acordeon-Adobe-y-Quincha-.pdf](https://memoriaaustral.cl/wp-content/uploads/2022/09/libro_acordeon-Adobe-y-Quincha-.pdf)
16. Costa Carrapiço, I., Gomes, F., Correia, M., & Rocha, S. (2014). Walls of high thermal inertia. En M. Correia, L. Dipasquale, & S. Mecca (Eds.), *VERSUS Heritage for Tomorrow: Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture* (pp. 213–221).
17. Correia, M., Dipasquale, L., & Mecca, S. (2014). *VERSUS Heritage for Tomorrow: Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture* (C. Mariana, L. Dipasquale, & S. Mecca, Eds.). <https://www.esg.pt/versus/>

18. Cortez, D. (2014). Sistemas constructivos tradicionales como sistemas de conocimiento local. Universidad de Chile. <https://es.scribd.com/document/246496652/SISTEMAS-CONSTRUCTIVOS-TRADICIONALES-COMO-SISTEMAS-DE-CONOCIMIENTO-LOCAL>
19. Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., & Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, 67(537). <https://doi.org/10.3989/ic.12.082>
20. Cuitiño, G., Esteves, A., Rotondaro, R., Maldonado, G., & Alejandro, H. (2011). Análisis del comportamiento termico de muros de quincha. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15, 23–26. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/102872>
21. D'alençon, R. (2008). *Acondicionamientos: arquitectura y técnica* (Ediciones ARQ, Ed.; Vol. 2).
22. Dávila, V., & Contreras, J. (2022). *El Adobillo. Cultura constructiva de Valparaíso* (Á. Riquelme, Ed.). Fondo Nacional de Desarrollo Cultural y las Artes.
23. Escorcio, O., Sarmiento, J.M. & Jorquera, N. (9-10 de noviembre 2023). Preservando el patrimonio, Conversatorio sobre Oficios Tradicionales, Vivienda de Interés Cultural y Sismorresistencia en la construcción con tierra [Conversatorio]. Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra (SIACOT), Bogotá, Colombia.
24. Fullerton, D., & Medina, P. (2017). *Saberes arquitectónicos. Las formas vernáculas del altiplano* (RIL editores, Ed.).
25. Gatupalli, A. (01 de diciembre 2022). Pioneros en el renacimiento de la arquitectura con tierra: Egipto, Francia e India. En ArchDaily. Recuperado [17 marzo 2024] de <https://www.archdaily.co/co/993094/pioneros-en-el-renacimiento-de-la-arquitectura-con-tierra-egipto-francia-e-india>
26. Gerencia de Estudios CChC. (2019). *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global*.
27. ICOMOS CIAV. (2022). *CIAV Newsletter 2022*. <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/HERITAGE/>
28. ICOMOS-ISCEAH. (n.d). *History*. Recuperado [17 de marzo 2024] de [https://isceah.icomos.org/?page\\_id=183](https://isceah.icomos.org/?page_id=183)
29. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2007). NCh853:2007 *Acondicionamiento térmico -Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*.
30. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2013). NCh3322:2013 *Estructuras – Intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda - Requisitos proyecto estructural*.
31. Instituto Nacional de Normalización (INN). (2019). NCh1079:2019 *Arquitectura y construcción -Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.
32. Jorquera, N. (2013). El patrimonio vernacular, fuente de saberes tecnológicos y de sostenibilidad. En CORDERO, E. (editor). *Taller [Sur] 2012. Patrimonio Cultural Sostenible*. Valdivia: Universidad Austral de Chile, p. 175-185.
33. Jorquera, N. (2014). *Culturas sísmicas: Estrategias vernaculares de sismorresistencia del patrimonio arquitectónico chileno*. *Arquitecturas del Sur*, XXXII(46), 6–17.

34. Jorquera, N. (2015). Aprendiendo del Patrimonio Vernáculo: tradición e innovación en el uso de la quincha en la Arquitectura Chilena. *Revista de Arquitectura*, 20(29), 4–11. <https://doi.org/10.5354/0719-5427.2015.37087>
35. Jorquera, N. (2022). *Patrimonio chileno construido en tierra* (Primera edición).
36. Labadi, S., Giliberto, F., Rosetti, I., Shetabi, L., & Yildirim, E. (2021). Heritage and the sustainable development goals: policy guidance for heritage and development actors. [www.icomos.org](http://www.icomos.org)
37. Macedo, C. (2009). *Thermal Performance of Contemporary Earth Architecture in Portugal* [Oxford Brookes University]. <https://www.researchgate.net/publication/319931521>
38. Macmath, R., & Fisk, P. (1999). CARBON DIOXIDE INTENSITY RATIOS: A Method of Evaluating the Upstream Global Warming Impact of Long-Life Building Materials. [https://www.researchgate.net/publication/238116420\\_CARBON\\_DIOXIDE\\_INTENSITY\\_RATIOS\\_A\\_Method\\_of\\_Evaluating\\_the\\_Upstream\\_Global\\_Warming\\_Impact\\_of\\_Long-Life\\_Building\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/238116420_CARBON_DIOXIDE_INTENSITY_RATIOS_A_Method_of_Evaluating_the_Upstream_Global_Warming_Impact_of_Long-Life_Building_Materials)
39. Manríquez, C. (2019). *Rehabilitación Sostenible de la Vivienda tipo Palafito de Castro: Estudio de su desempeño higrotérmico actual y medidas de conservación del uso residencial en el barrio Pedro Montt 2o sector*. [Tesis de postgrado].
40. Mesquita, C. (2012). *Revestimientos Continuos Interiores de Varias Capas con Características de Barrera de Vapor e Higroscopicidad*. Tesis (Doctoral), E.T.S. Arquitectura (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.14898>
41. Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia de transición energética residencial*. Gobierno de Chile.
42. Ministerio de Energía. (2021). Ley 21.305 “Sobre Eficiencia Energética”. Disponible en <https://bcn.cl/3i38c>
43. Ministerio de Energía. (2022). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026*. Gobierno de Chile.
44. Ministerio de Energía. (2023). Decreto 4 “Por el cual se aprueba el Plan Nacional de Eficiencia Energética”. Disponible en <https://bcn.cl/3dr5y>
45. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2011). Decreto 61 “Aprueba reglamento que fija el diseño sísmico de edificios y deroga decreto N°117 de 2010. Disponible en <https://bcn.cl/2fauu>
46. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2013). NTM 002: Proyecto de intervención estructural de construcciones de tierra. Gobierno de Chile.
47. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2014). Anteproyecto de norma NTM 11: Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico. Gobierno de Chile.
48. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2018). *Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile Tomo II: Energía*. (2ª ed.). Gobierno de Chile.
49. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2019). Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Gobierno de Chile.

50. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2019). Manual de procedimientos calificación energética de viviendas en Chile. Gobierno de Chile.
51. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2021). Decreto 21 Exento “Reemplaza como norma oficial de la república de Chile la norma técnica que indica”. Disponible en <https://bcn.cl/2wrqf>
52. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2021). Manual de aplicación de la certificación vivienda sustentable. Gobierno de Chile
53. Ministerio del Medio Ambiente. (n.d). Planes de Descontaminación Atmosférica. Recuperado [17 de marzo 2024] de <https://ppda.mma.gob.cl/>
54. Minke, G. (2010). Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual (EcoHabitar S.L., Ed.; 2010a ed.).
55. MPA The Concrete Center. (2019). Thermal Mass Explained. [www.concretecentre.com/](http://www.concretecentre.com/)
56. Naciones Unidas (ONU). (2015). Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
57. Naciones Unidas. (2015). 70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.
58. Naciones Unidas. (25 de septiembre 2015). La Asamblea General adopta a Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Recuperado [17 de marzo 2024] de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
59. Naciones Unidas. (s. f.). La Agenda para el Desarrollo Sostenible. Recuperado 10 de julio de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
60. Pérez Gil, J. (2018). Un marco teórico y metodológico para la arquitectura vernácula. *Ciudades*, 21, p. 01-28. <https://doi.org/10.24197/ciudades.21.2018.01-28>
61. Pérez, C., & Castillo, C. (2020). Arquitectura en adobe y quincha: construcción de una identidad en torno a los recursos naturales de la ribera del Lago General Carrera en la región de Aysén, Chile. *Ge-Conservacion*, 18, 56–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.37558/gec.v18i1.769>
62. Piesik, S. (2017). Hábitat: Arquitectura vernácula en un mundo cambiante (BLUME, Ed.).
63. Red PROTERRA. (n.d.). Historia. Recuperado [17 marzo 2024], de <https://redproterra.org/es/historia/>
64. Rivera Vidal, A., & Giribas Contreras, C. (2019). Cultura constructiva de tierra ariqueña, Chile: el caso de la casa copaja. *SIACOT 2019 Conservación sostenible del paisaje: tierra y agua*, 530–540. <http://www.redproterra.org>
65. Servicio Nacional del Patrimonio Cultural (SNPC). (n.d). Patrimonio cultural inmaterial. Recuperado [17 marzo 2024] en <https://www.patrimoniocultural.gob.cl/patrimonio-cultural-inmaterial>
66. Trebbi, R. (1985). *Arquitectura espontánea y vernácula en América Latina: Teoría y forma*.

67. Trebilcock, M. (17 de marzo de 2023). Chile necesita una nueva reglamentación térmica. En Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño, Universidad del Bío Bío. Recuperado [17 marzo 2024] de <https://farcodi.ubio-bio.cl/reportajes-y-articulos/vinculacion-con-el-medio/2023/03/17/chile-necesita-una-nueva-reglamentacion-termica-por-maureen-trebilcock/>
68. United Nations Environment Programme. (2022). Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción en 2022: Hacia un sector de los edificios y la construcción con cero emisiones, eficiente y resistente. <http://www.un.org/Depts/Cartographic/>
69. United States Environmental Protection Agency. (2023). Understanding Global Warming Potentials. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
70. Velásquez, P., & Torres, L. (2017). INCERTIDUMBRE TÉRMICA EN EL ALMA DE UN MURO DE QUINCHA: Matriz de experimentación de mezclas de tierra-paja para relleno de muros en las zonas térmicas 3 y 4 de Chile. Universidad del Bío-Bío.
71. Whitman, C., Armijo, G., & Roubelat, L. (2016). POBREZA ENERGÉTICA: PERSPECTIVA DESDE LA INTERVENCIÓN URBANA, EDIFICACIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE. <https://www.researchgate.net/publication/303231066>
72. Wieser, M., Onnis, S., & Meli, G. (2018). CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LA TIERRA ALIVIANADA CON FIBRAS NATURALES EN PANELES DE QUINCHA.
73. Yuste, B., Pereira, M., Mamani, E., Aninat, A., & Altiplano, F. (2019). CARUNA, EL RESCATE DE UN AISLATE NATURAL DE TIERRA. SIACOT 2019 Conservación sostenible del paisaje: tierra y agua , 630–638. <http://www.redproterra.org>

## REFERENCIAS DE FIGURAS

### Introducción:

- Fig. 1. Recuperación de adobes. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 2. Registro participación de taller de bioconstrucción en Limache, año 2021. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 3. Participación de energía a nivel mundial relacionada con emisiones de CO2 según sector (2015). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 4-5. Uso de materiales de envolvente para muros exteriores en viviendas particulares a nivel nacional según Censo 2002-2017. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 5-6. Temperaturas promedio soportadas por la población en Chile. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 7. Vivienda construida en adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Santiago. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 8. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU. Se destacan con color cuyos objetivos hacen alusión a las oportunidades del conocimiento tradicional en la arista de sostenibilidad ambiental. Fuente: Modificado de <https://www.un.org/es/>
- Fig. 9. Diagrama Marco Teórico. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 10. Diagrama Estado del Arte. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 11. Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación, comuna de Paine, Región Metropolitana. En la fotografía se muestra la fachada que aún se encuentra deteriorada. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 12-14. Imágenes investigación de Wieser et al. 2018, acerca de la conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. Fuente: (Wieser et al., 2018)
- Fig. 15-17. Probetas realizadas en la investigación de Cabrera et al. 2023, para evaluar los valores de conductividad y transmitancia térmica en sistemas constructivos de tierra. Fuente: (Cabrera et al., 2023)
- Fig. 18-19. Muro de ensayo de quincha liviana durante el estudio de Comportamiento al Fuego en Laboratorio IDIEM. Fuente: (Acevedo et al., 2019)
- Fig. 20. Preguntas de investigación. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 21. Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 22. Alcance de investigación. Región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 23. Esquema valorización del Patrimonio Construido e importancia de prácticas de tutela en torno al estudio de sistemas constructivos. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 24. Alcance de investigación. Región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 25. Alcance de investigación. Casos de estudio analizados en la comuna de Limache, Región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 26. Vista panorámica hacia los valles de Limache. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 27. Diseño metodología de investigación. Fuente: Elaboración propia.

### Capítulo 1:

- Fig. 1. Vivienda de adobe en proceso de rehabilitación. Comuna de Paine, Región Metropolitana. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 2. Dimensiones de la sostenibilidad en el patrimonio vernáculo construido. Fuente: Elaboración propia basado en Jorquera, 2015.
- Fig. 3. Mapa de la construcción con tierra en el mundo. Fuente: Elaboración propia basada en archivos de CRAterre.

Fig. 4-6. Ejemplos de técnicas de construcción con barro en el continente africano. (4) Gran Mezquita, Mopti, Malí, construida en 1935. (5) Mesquita, Kaschan, Irán. (6) Mesquita de Nando del siglo 12, Malí. Fuente: Minke, 2010, pág. 14;17.

Fig. 7-8. Línea de tiempo, principales antecedentes de la historia de la construcción con tierra en el país. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 9. Línea de tiempo, principales antecedentes de la historia de la construcción con tierra en el país. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 10. Aldea de Tulo, San Pedro de Atacama. Fuente: <https://GoChile.cl>

Fig. 11. Sistema constructivo altiplánico de mampostería en piedra. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 12. Ejemplo de vivienda andina ubicada en la localidad de Tacora, región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 13. Recreación de quincha prehispánica de ramas y tierra. @Colección Museo Arqueológico de la Serena. Fuente: Jorquera, 2020.

Fig. 14. Casa colonial chilena en Vichuquén, Valle central. ©Natalia Jorquera. Fuente: Jorquera, 2020.

Fig. 15. Estructura mixta de tierra y madera en edificación en el barrio Yungay, Región Metropolitana. ©Natalia Jorquera. Fuente: Jorquera, 2020.

Fig. 16. Vivienda colectiva en Valparaíso, Chile. ©Natalia Jorquera. Fuente: Jorquera, 2020.

Fig. 17. Sistema de plataforma integrado durante el periodo republicano. Fuente: Guzmán 1980, en (Dávila & Contreras, 2022).

Fig. 18. Plaza Echaurren, posterior al terremoto de 1906 que afectó la ciudad de Valparaíso. Fuente: Vistas del terremoto: 16 de agosto de 1906. Valparaíso : J. W. Hardy, 1906 (Valparaíso : Universo) Disponible en <https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-99134.html>

Fig. 19-21

Casa Munita-Patricia Arias, implementación de la quincha metálica.

Fotografías: ©Luis García. Fuente: ArchDaily. <https://www.archdaily.cl/cl/02-264070/casa-munita-gonzalez-arias-arquitectos-surtierra-arquitectura>

Fig. 22-23. Construcción de vivienda de quincha liviana seca. Instancia de “minga” participativa. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.

Fig. 24. Línea de innovación en la construcción con tierra. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 25. Componentes de la tierra cruda y su respectiva función dentro de la mezcla. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 26. En la imagen se observa como las fibras vegetales actúan como conector del aglomerado de tierra cruda, dándole estabilidad a la mezcla. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 27-28. Comparación valores de conductividad térmica según densidad y proporciones de mezcla. Fuente: Izquierda: (Minke, 2010). Derecha: (Velásquez & Torres, 2017).

Fig. 29. Influencia del espesor de las capas de barro en relación a la absorción de humedad, a una temperatura de 21°C y luego a un incremento súbito de la humedad del ambiente de 50 a 80%. Fuente: Minke, 2010., p. 21.

Fig. 30. Clasificación de las técnicas constructivas con tierra en Chile según Jorquera 2022. Fuente: Elaboración propia en base a (Jorquera, 2022)

Fig. 31. Esquema desarrollo tecnológico de las técnicas de construcción con tierra cruda en Chile. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 32. Encofrado de Tapial escala 1:1. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 33. Tapial terminado. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 34. Sistema constructivo de Tapial. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 35. Adobes recogidos de vivienda en proceso de rehabilitación. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 36. Muro construido con sistema de adobes con algunos refuerzos metálicos. Fuente: Elaboración propia.

- Fig. 37. Sistema constructivo de Adobe. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 38. Estructura principal tabique de madera. Fuente: (Dávila & Contreras, 2022).
- Fig. 39-40. Técnica de adobe en pandereta. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 41. Sistema constructivo de Adobe en pandereta. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 42. Diferentes moldes para hacer adobillos. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 43. Adobillo terminado, recién sacado del molde. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 44. Sistema constructivo de Adobillo. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 45. Sistema constructivo de Quincha tradicional. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 46. Sistema de quincha con cañas. En la imagen se identifican las capas del sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 47. Quincha con totora. Fuente: Jorquera, 2022.
- Fig. 48. Tabique de madera con relleno de adobes. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 49. Paisaje del valle central interior en la Región de Atacama. En la imagen se muestra plantaciones de brea nativa. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 50. Detalle de cañas utilizadas en el sistema constructivo de quincha hacia el interior de la Región de Arica y Parinacota. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 51. Detalle de Brea nativa en la comuna de Totoral. ©Valentina Cabrera. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 52. Vivienda construida con sistema de quincha con brea, en la comuna de Totoral, Región de Atacama. ©Valentina Cabrera. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 53. Zonificación climática según Köppen-Geiger con las culturas constructivas en tierra cruda presentes en Chile superpuestas. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 54. Método cruce de variables de análisis a partir de la herramienta RE-DATAM Web Server del INE, según datos de Censo de Población y Vivienda realizados el año 2002 y 2017. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 55. Gráfica porcentaje de uso material para envolvente en muros exteriores en viviendas particulares a nivel nacional según Censo 2002-2017. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 56. Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Casos totales de muros exteriores construidos con “Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional”. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 57. Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Porcentaje de casos totales de muros exteriores construidos con “Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional” respecto al total de viviendas censadas. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 58. Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de casos totales de viviendas particulares según material de envolvente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 59. Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de porcentaje de viviendas particulares respecto al total de viviendas censadas según material de envolvente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 60. Mapa de clasificación climática según Köppen-Geiger superpuesto con la predominancia de casos de construcción con tierra actuales (según datos CENSO 2017). Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 2:

- Fig. 1. Instancia de construcción con quincha liviana seca en minga participativa, comuna de Limache, Región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

- Fig. 2. Modelo de socialización del conocimiento. Fuente: Elaboración propia basada en Cortez, 2014.
- Fig. 3. Instancia de minga participativa como referente de sistemas de conocimiento local. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 4. Síntesis objeto de estudio respecto a los conceptos de patrimonio y sostenibilidad aplicadas al desarrollo de tecnologías constructivas. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 5-6. Casa Jorge y Karin, construida a partir de sistema mixto de madera y fardos de paja. Región Metropolitana, Chile. Fuente: <https://arquitecturaenfardos.cl/wp/>
- Fig. 7. Casa Munita-Patricia Arias, implementación de la quincha metálica. Arquitecto Marcelo Cortés. ©Luis García. Fuente: ArchDaily. <https://www.archdaily.cl/cl/02-264070/casa-munita-gonzalez-arias-arquitectos-surtierra-arquitectura>
- Fig. 8. Casa Casablanca, implementación de sistema constructivo Nebraska. ©Jorge Broughton. Fuente: <https://arquitecturaenfardos.cl/wp/>
- Fig. 9. Principales innovaciones en la construcción con tierra cruda en Chile. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 10. Construcción con quincha liviana seca durante la instancia de minga participativa, Limache, Región de Valparaíso. ©Sebastián Astroza.
- Fig. 11. Condominio Los Maitenes, Peñalolén. Es el 5° Condominio Sustentable diseñado por AYMA, implementando las técnicas, consideraciones y recursos de la Arquitectura Sustentable Regenerativa. Fuente: <https://www.ayma.cl/>
- Fig. 12. Predominancia de viviendas particulares con uso de materiales tradicionales para la envolvente de muros (según datos CENSO 2017), superpuestos con los casos catastrados que incluyen SCR. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 13. Diagrama escantillón representativo de quincha liviana seca. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 14. Sistema constructivo de quincha liviana seca. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 15. Elementos metálicos para mejorar la adhesión de los revoques al aislante de paja de trigo. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 16. Paja de trigo seca incorporada al interior del tabique de madera. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 17. Detalle revoque grueso elaborado con tierra cruda (proporción 1:1 de tierra arcillosa y arena gruesa, más el 15% volumen con paja de trigo picada). ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.
- Fig. 18. Detalle revoque fino elaborado con tierra cruda (proporción 1:2 de tierra arcillosa y arena fina de río, más aditivos). ©Claudia Bustamante. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 19. Casa Argandoña. Combinación Sistema Nebraska y Sistema Poste + Viga, La Campana, Olmué, Región de Valparaíso. ©Jorge Broughton. Fuente: <https://arquitecturaenfardos.cl/wp/>
- Fig. 20-21. Detalle quincha liviana seca contemporánea (madera-madera). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 22-23. Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (madera-madera). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 24-25. Detalle quincha liviana seca contemporánea (madera-metal). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 26-27. Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (madera-metal). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 28-29. Detalle quincha liviana húmeda contemporánea (metal-metal). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 30-31. Detalle quincha liviana húmeda contemporánea con cámara de aire (madera-madera). Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 32-33. Detalle quincha con fardos de paja seca. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 34. Ensayo comportamiento al fuego. ©Acevedo et al. Fuente: Acevedo et al., 2022.

Fig. 35. Ensayo comportamiento térmico. ©Acevedo et al. Fuente: Acevedo et al., 2022.

Fig. 36. Ensayo comportamiento acústico. ©Acevedo et al. Fuente: Acevedo et al., 2022.

Fig. 37. Construcción con quincha liviana seca, Limache, Región de Valparaíso. ©Sebastián Astroza. Fuente: Archivo de autor.

### Capítulo 3:

Fig. 1. Escombros de edificación construida con sistema de adobillo en la comuna de Limache, Región de Valparaíso, producto de un incendio estructural. ©Claudia Bustamante. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 2-4. Fotografías de edificios patrimoniales de adobe afectados por el sismo del año 2010 en Chile. Fuente: [https://www.bbc.com/mundo/america\\_latina/2010/08/100728\\_galeria\\_patrimonio\\_chile\\_terremoto\\_aw](https://www.bbc.com/mundo/america_latina/2010/08/100728_galeria_patrimonio_chile_terremoto_aw)

Fig. 5. Registro histórico de principales sismos ocurridos en Chile. Fuente: Elaboración propia basado en (Centro Sismológico Chile y Jorquera 2022).

Fig. 6. Comparativa zonificación térmica y climática según normativa.

Fig. 7. Objetivos del Plan de Eficiencia Energética 2025. Fuente: Elaboración propia basado en Ministerio de Energía, 2022.

Fig. 8. Medidas de eficiencia energética propuestas para el sector edificaciones. Fuente: Elaboración propia basado en Ministerio de Energía, 2022.

Fig. 9. Iniciativas de certificación de Estándares de Construcción Sustentable. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 10. Demanda de calefacción y enfriamiento en [kW/m<sup>2</sup>] esperada para el año 2020 según zonificación térmica. Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Energía, 2021.

Fig. 11. Demanda de calefacción promedio según tipología y zona térmica (kWh/m<sup>2</sup>año). Fuente: Elaboración propia en base a MINVU, 2019.

Fig. 12. Demanda de enfriamiento promedio según tipología y zona térmica (kWh/m<sup>2</sup>año)

Fuente: Elaboración propia en base a MINVU, 2019.

### Capítulo 4:

Fig. 1. Caso de estudio de vivienda construida con el sistema constructivo de quincha liviana seca. ©Claudia Bustamante. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 2. Diagrama método de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 3. Ubicación casos de estudio. Comuna de Limache, Región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 4. Corte geográfico representativo de los valles interiores de la región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 5. Climas predominantes en la región de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6. Rango de temperatura anual para la comuna de Limache según datos epw.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos ingresados en Climate Consultant®

Fig. 7. Temperatura de bulbo seco (°C) y porcentaje de humedad relativa del aire (%) según datos epw. de la comuna de Limache. Fuente: Elaboración propia a partir de datos ingresados en Climate Consultant®

Fig. 8. Comparativa zonificación térmica para la comuna de Limache según normativas y clasificación climática. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 9. Condiciones meteorológicas registradas para la comuna de Limache durante el periodo de estudio de verano. Fuente: Elaboración propia basado en datos de METEOCHILE®.

Fig. 10. Condiciones meteorológicas registradas para la comuna de Limache durante el periodo de estudio de invierno. Fuente: Elaboración propia según datos HOBO®.

Fig. 11-12. Imágenes termográficas obtenidas. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 13. Instalación de sensores HOBO® U12-012 con sensor termocupla adherido al muro de medición. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 14. Isométrica detalle materialidad vivienda V01. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 15-16. Fichas de registro vivienda V01. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 17. Diagrama plano recinto de medición V01. Planta arquitectura segundo nivel. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 18. Planimetría habitación de análisis caso V01. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 19. Registro de temperatura del aire periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 20. Registro de humedad relativa periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 21-24. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 25. Registro de temperatura del aire periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 26. Registro de humedad relativa periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 27-28. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 29. Registro de temperaturas superficiales durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 30. Isométrica detalle materialidad vivienda V02. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 31-32. Fichas de registro vivienda V02. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 33. Diagrama plano recinto de medición V02. Planta arquitectura segundo nivel. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 34. Planimetría habitación de análisis caso V02. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 35. Registro de temperatura del aire periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 36. Registro de humedad relativa periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 37-42. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 43. Registro de temperatura del aire periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 44. Registro de humedad relativa periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 45-48. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 49. Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 50. Isométrica detalle materialidad vivienda V03. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 51-52. Fichas de registro vivienda V03. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 53. Diagrama plano recinto de medición V03. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 54. Planimetría habitación de análisis caso V03. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 55. Registro de temperatura del aire periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 56. Registro de humedad relativa periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.

- Fig. 57-60. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 61. Registro de temperatura del aire periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 62. Registro de humedad relativa periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 63-64. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 65. Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 66. Detalle constructivo muro. Tabique con Smart Panel LP. Fuente: Ficha técnica de fabricante. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 67. Isométrica detalle materialidad vivienda V04. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 68-69. Fichas de registro vivienda V04. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 70. Diagrama plano recinto de medición V04. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 71. Planimetría habitación de análisis caso V04. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 72. Registro de temperatura del aire periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 73. Registro de humedad relativa periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 74. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 75. Registro de temperatura del aire periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 76. Registro de humedad relativa periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 77-80. Imágenes termográficas registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 81. Temperaturas superficiales registradas durante el periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 82. Comparativa temperatura del aire interior del periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 83. Comparativa humedad relativa del aire interior del periodo de verano. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 84. Comparativa temperatura del aire interior del periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 85. Comparativa humedad relativa del aire interior del periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 86. Comparativa porcentajes totales de Horas de Confort Higrotérmico según periodo de análisis. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 87. Comparativa temperatura superficial de los muros de estudio del periodo de invierno. Fuente: Elaboración propia.

### Capítulo 5:

- Fig. 1. Diagrama método de análisis. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 2. Utilizar la ganancia de calor proveniente de las luces, las personas y los equipos reduce en gran medida las necesidades de calefacción, por lo que debe mantener la casa hermética y bien aislada (para reducir la temperatura del punto de equilibrio). Fuente: Climate Consultant®
- Fig. 3. Utilizar superficies interiores de gran masa, como pisos de losa, paredes de gran masa y una chimenea de piedra, para almacenar el calor pasivo del invierno y el "frescor" de la noche del verano. Fuente: Climate Consultant®
- Fig. 4. Gráfico psicrométrico para el clima de Limache. Fuente: Climate Consultant®

Fig. 5. Efecto estabilizador de la masa térmica sobre la temperatura interna. Fuente: MPA The Concrete Center, 2019.

Fig. 6. Posición de aislación en muros exteriores para maximizar la masa térmica de la envolvente. Fuente: MPA The Concrete Center, 2019.

Fig. 7. Método de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8-9. Resultados obtenidos a partir de la herramienta Dynamic Thermal Property Calculator® desarrollada por The Concrete Center. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 10. Descripción de variantes de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 11. Resultados soluciones de muro analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 12. Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para casos de estudio. Comparación con transmitancia exigida en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 13. Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para casos de estudio. Comparación con transmitancia exigida en los Estándares de Construcción Sustentable (Basado en NCh 1079:2019). Fuente: Elaboración propia.

Fig. 14. Resultados admitancia térmica según casos de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 15. Resumen gráfico resultados obtenidos para transmitancia y admitancia térmica de las soluciones calculadas y sus versiones mejoradas. Fuente: Elaboración propia

Fig. 16. Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para variables de quincha estudiadas. Comparación con transmitancia exigida en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 17. Resultados transmitancia térmica según cálculo de U ponderado para variables de quincha estudiadas. Comparación con transmitancia exigida en los Estándares de Construcción Sustentable (Basado en NCh 1079:2019). Fuente: Elaboración propia.

Fig. 18. Resultados admitancia térmica según variables de quincha estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 19. Resumen gráfico resultados obtenidos para transmitancia y admitancia térmica de las soluciones de variantes de quincha estudiadas según espesor de aislante y revoques. Fuente: Elaboración propia

Fig. 20. Resultados de tiempos de retardo para las soluciones constructivas analizadas. Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 6:

Fig. 1. Diagrama método de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 2-3. Emisiones de material particulado (MP2.5) por tipo de fuente, total nacional y por región. Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Energía, 2020.

Fig. 4. Porcentajes de consumo de energía para calor y frío por fuente, en el sector residencial.

Fuente: Elaboración propia basada en Ministerio de Energía, 2020.

Fig. 5. Energía en kWh/m<sup>2</sup>año requerida para calefaccionar según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia basada en Broughton, 2023 (Comunicación personal).

Fig. 6. Relaciones de intensidad de dióxido de carbono (CDIR) por peso para 24 materiales de construcción comunes. Fuente: Elaboración propia en base a (Macmath & Fisk, 1999).

Fig. 7-11. Indicadores GWP de casos de estudio. Fuente: Elaboración propia basada en resultados de <https://materialepyramiden.dk>.

Fig. 12. Método de análisis. Fuente: Elaboración propia.

Fig. 13-14. Modelos de simulación térmica dinámica. Habitaciones simuladas. Fuente: Elaboración propia

- Fig. 15. Condiciones modelos de simulación. Fuente: Elaboración propia
- Fig. 16. Descripción de las variantes para simulación térmica. Fuente: Elaboración propia
- Fig. 17. Demanda de calefacción anual según casos de estudio. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV. Fuente: Elaboración propia
- Fig. 18. Demanda de refrigeración anual según casos de estudio. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV. Fuente: Elaboración propia
- Fig. 19. Resumen gráfico demanda energitérmica anual de las soluciones calculadas y sus versiones mejoradas. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 20. Demanda de calefacción anual según variantes de quincha estudiadas. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 21. Demanda de refrigeración anual según variantes de quincha estudiada. Comparación con indicadores CVS y valores promedios indicados en CEV. Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 22. Resumen gráfico demanda energitérmica anual variantes de quincha estudiadas, según espesor de aislante y revoques. Fuente: Elaboración propia.

## REFERENCIAS DE TABLAS

### Capítulo 1:

Tabla 1. Principales propiedades de la tierra cruda. Fuente: Elaboración propia basado en Minke, 2010.

Tabla 2. Estrategias arquitectónicas para las zonas climáticas de Chile. Fuente: Elaboración propia basada en (D'alencón, 2008)

### Capítulo 2:

Tabla 1. Tipologías de quincha. Fuente: Elaboración propia basada en (Acevedo et al., 2020, p. 17)

Tabla 2. Resultados ensayo comportamiento al fuego. Fuente: (Acevedo et al., 2022)

Tabla 3. Resultados ensayo comportamiento térmico. Fuente: (Acevedo et al., 2022)

Tabla 4. Resultados ensayo comportamiento acústico. Fuente: (Acevedo et al., 2022)

### Capítulo 3:

Tabla 1. Exigencias transmitancia térmica para comunas con PDA. Fuente: (Ministerio de Medio Ambiente, n.d)

Tabla 2. Tabla exigencias de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros y pisos ventilados según Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C). Fuente: Elaboración propia en base a Artículo 4.1.10 O.G.U.C

Tabla 3. Tabla recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y elementos vidriados verticales según NCh-1079 Of.2008. Fuente: NCh1079 Of.2008.

Tabla 4. Tabla recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y complejo de puerta según propuesta actualización regulación térmica Art.4.1.10 O.G.U.C. Fuente: NCh 1079, Ministerio de Energía, 2019.

Tabla 5. Demanda máxima del proyecto (kWh/m<sup>2</sup>año) según zona térmica y sistema de agrupamiento. Fuente: MINVU, 2021.

Tabla 6. Demanda máxima (mejorada) del proyecto (kWh/m<sup>2</sup>año) según zona térmica y sistema de agrupamiento. Fuente: MINVU, 2021.

#### **Capítulo 4:**

Tabla 1. Exigencias de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros y pisos ventilados según Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C). Fuente: Elaboración propia en base a Artículo 4.1.10 O.G.U.C

Tabla 2. Recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) y resistencia térmica total (Rt) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y elementos vidriados verticales según NCh-1079 Of.2008. Fuente: Elaboración propia en base a NCh-1079 Of.2008

Tabla 3. Recomendaciones de valores de transmitancia térmica (U) para complejos de techumbre, muros, pisos ventilados y complejo de puerta según propuesta actualización regulación térmica Art.4.1.10 O.G.U.C. Fuente: Elaboración propia en base a (Ministerio de Energía, 2018)

#### **Capítulo 5:**

Tabla 1. Masa térmica efectiva para ciertos materiales de construcción. Fuente: Elaboración propia basado en NCh 853:2007 y (MPA The Concrete Center, 2019)

#### **Capítulo 6:**

Tabla 1. Penetración y consumo de leña en hogares en Chile según Zona Térmica. La cifra de 43% representa el conjunto de hogares en ambas regiones. Fuente: Fuente: Ministerio de Energía, 2020

Tabla 2. Energía en kWh/m<sup>2</sup>año requerida para calefaccionar según sistema constructivo. Fuente: Elaboración propia basada en Broughton, 2023 (Comunicación personal).





# ANEXOS

## ANEXO 1

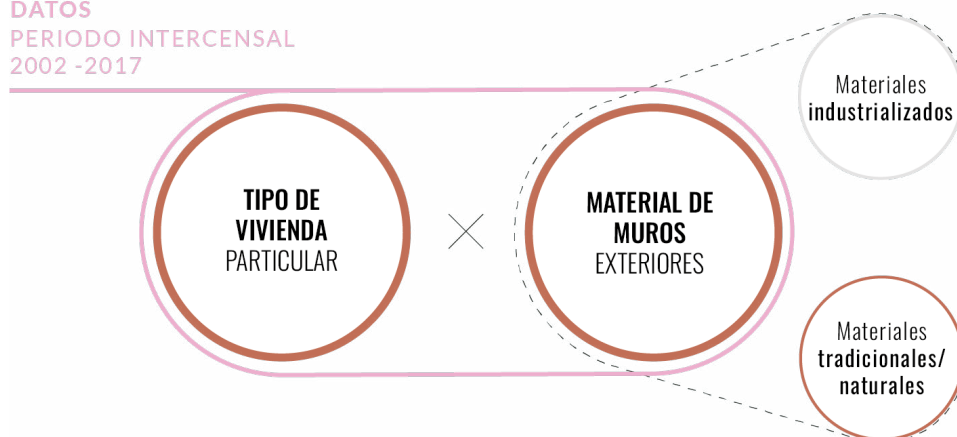
### GEORREFERENCIACIÓN DEL USO DE LA TIERRA COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO EN CHILE

Para recabar información territorial acerca del uso histórico de sistemas constructivos en tierra en la ejecución de muros exteriores para la construcción de viviendas en Chile, se utilizó la herramienta REDATAM Web Server<sup>38</sup> alojada en la plataforma web del Instituto Nacional de Estadísticas (INE) para el procesamiento y análisis de microdata obtenida en el Censo de Población y Vivienda realizados el año 2002 y 2017.

A partir de la información sociodemográfica, se realizó un cruce entre las variables de a) tipos de vivienda y b) materiales de muros exteriores para obtener información y dar cuenta de la evolución en el uso y porcentaje de predominancia de los diferentes tipos de materiales que se han utilizado para la construcción de viviendas particulares en las últimas décadas. Se seleccionó la muestra de datos según la división comunal de cada región, considerando la información de las 346 comunas de las 16 regiones que actualmente conforman el territorio chileno.

#### DATOS

PERIODO INTERCENSAL  
2002 - 2017



<sup>38</sup> Herramienta REDATAM WebServer, es un sistema web para la consulta, procesamiento, análisis y diseminación de datos e indicadores sociodemográficos a partir de la información censal.

Figura 1. Método cruce de variables de análisis a partir de la herramienta REDATAM Web Server del INE, según datos de Censo de Población y Vivienda realizados el año 2002 y 2017.

La clasificación de tipos de vivienda particulares para los tres periodos censados incluye: casa; departamento en edificio; pieza en casa antigua o conventillo; mejora, mediagua; rancho o choza; y móviles. Cabe destacar que para el Censo de 2017 se agregó como ítem “vivienda tradicional indígena” para la clasificación de tipos de vivienda particulares.

En los datos del Censo del año 2002, la variable incluía: hormigón armado, piedra; ladrillo; paredes estructurales, bloques (prefabricados); madera o tabique forrado; internit; adobe, barro empajado; desechos (lata, cartones, plásticos, etc). En cambio, para el caso del Censo del año 2017, la variable de tipos de materiales utilizados en la ejecución de muros exteriores en las tipologías de vivienda incluía los siguientes sistemas constructivos: albañilerías en bloques de cemento, piedra o ladrillo; hormigón armado; tabiquerías con forro interior o sin forro interior; adobe, quincha, pirca, u otro material tradicional; y materiales precarios, como latas, cartón, plástico, entre otros. Cabe destacar que para el año 2017 se tenía en consideración un mayor espectro de sistemas y técnicas constructivas basadas en el uso de la tierra para la elaboración de muros, como es el caso de la quincha, respecto al año 2002.

El análisis se focalizó en el total muestral<sup>39</sup> de “tipo de vivienda”<sup>40</sup> para el tipo específico de “Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional” (para el año 2017) y “Adobe, barro empajado” (para el año 2002) como

<sup>39</sup> Para efectos de la investigación, se consideró únicamente el periodo intercensal entre 2002 y 2017 para efectos comparativos, dado que corresponden a los datos más actuales del periodo contemporáneo.

<sup>40</sup> Los tipos de vivienda particular incluían: “casa”, “departamento en edificio”, “vivienda tradicional indígena (ruka, pae pae, entre otras)”, “pieza en casa antigua o en conventillo”, “mediagua, mejora, rancho o choza”, “móvil (carpa, casa rodante, o similar” u “otro tipo de vivienda particular”.

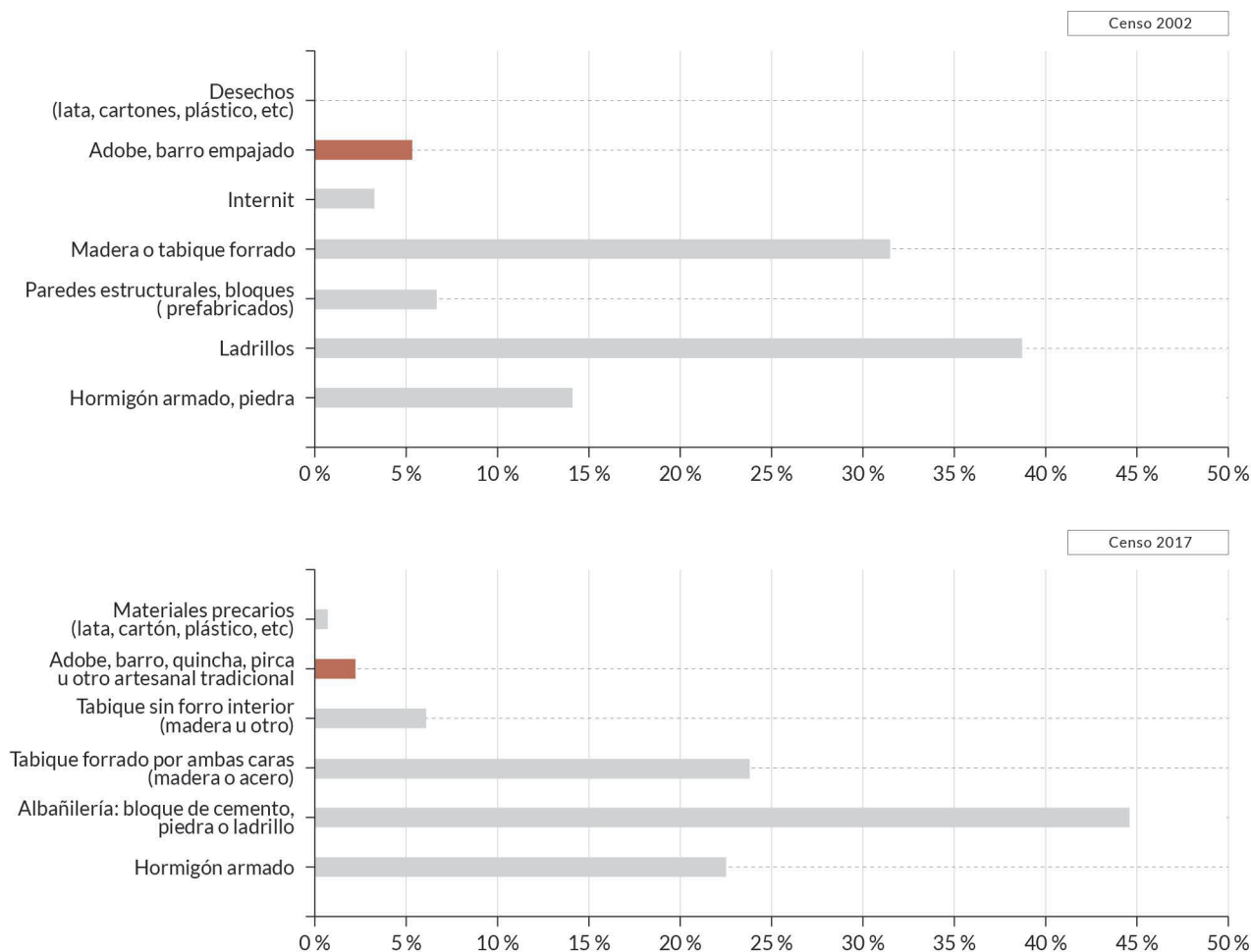
materiales de muros exteriores. Cabe señalar que en este caso la muestra no especifica el uso de la quincha como sistema constructivo particular, si no que comparte el ítem junto con otros tipos de sistemas constructivos elaborados a partir de tierra. Por ende, la muestra de datos no es representativa del uso de la quincha únicamente, más bien define una aproximación a territorios donde se evidencie el uso de la tierra como material constructivo en viviendas particulares, cuyo catastro sí puede incluir dicha técnica constructiva entre los resultados. Por último, para entregar una mejor lectura de los datos se desarrolló un análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) para procesar los datos contenidos en la información censal e interpretarlos territorialmente. De esta manera, se obtiene mayor claridad del despliegue que ha tenido el uso de la tierra en Chile.

El análisis territorial tiene como fin identificar un área de interés para llevar a cabo la investigación según indicadores cuantitativos de la presencia de sistemas constructivos en tierra dentro del territorio nacional.

## RESULTADOS

Según el despliegue de información censal a escala comunal, los índices de uso de materiales tradicionales en sistemas como el adobe, quincha, pirca o barro empajado son mucho menores que otros materiales industrializados, concentrando solo un 2% de presencia de estas técnicas constructivas a nivel nacional para el año 2017 (Figura 2), disminuyendo de un 5 a un 2% el uso de tierra como elemento constructivo entre el año 2002 y 2017. Según los resultados, el sistema constructivo más predominante según la estadística del año 2017 en Chile es la albañilería (cerca del 45%), ya sea de bloque de cemento, piedra o ladrillo; seguido por el tabique forrado a ambas caras (24%) y el hormigón armado (23%).

Figura 2.  
Gráfica porcentaje de uso material para envoltorio en muros exteriores en viviendas particulares a nivel nacional según Censo 2002-2017.



En cuanto a los sistemas tradicionales, a partir del cruce de datos de los Censos de 2002 y 2017 se obtuvo una referencia temporal de la trascendencia en el uso de sistemas constructivos en tierra en un periodo de 15 años, evidenciando su decrecimiento a nivel general en todas las regiones, principalmente en las macrozonas Norte, Centro y Centro Sur y en la región Metropolitana.

La Figura 3 y 5 representan la cantidad de casos totales de viviendas particulares censadas que presentaban materiales tradicionales en la ejecución de los muros exteriores. Los resultados demuestran que las macrozonas Norte, Centro y Centro Sur (desde la región de Antofagasta hasta Ñuble) son aquellas que presentan mayor cantidad de viviendas particulares con muros elaborados a partir de “Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional” respecto a las macrozonas Sur y Austral. Independiente de estos resultados, las comunas de Concepción en Bío Bío, Angol en La Araucanía y Chile Chico en Aysén evidencian cierto porcentaje de casos de viviendas particulares construidas a partir de técnicas constructivas en tierra, correspondiendo a sectores más australes del país.

Las comunas de Valparaíso y Santiago presentan una mayor cantidad de casos, lo cual coincide con que ambas poseen mayor densidad de población y que corresponden a cascos fundacionales que presentaron auges de construcción con tierra. En la Figura 5 se grafica la presencia de la construcción con sistemas constructivos en tierra dentro del escenario habitacional del país, según los resultados del último Censo realizado el año 2017, lo que permite tener un panorama más actualizado del uso de la tierra como material constructivo a lo largo del territorio ubicando en el mapa las mayores concentraciones de casos.

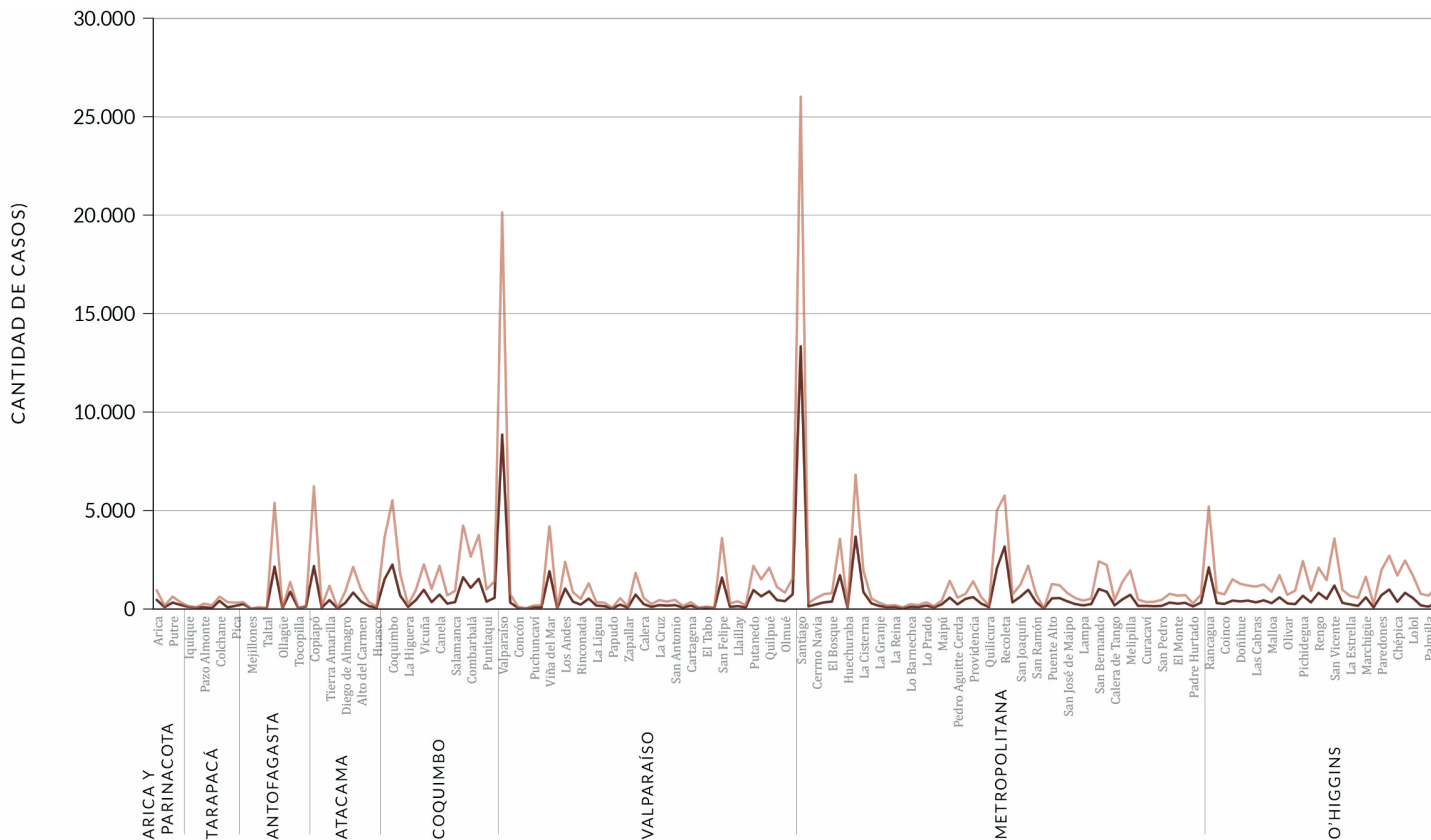
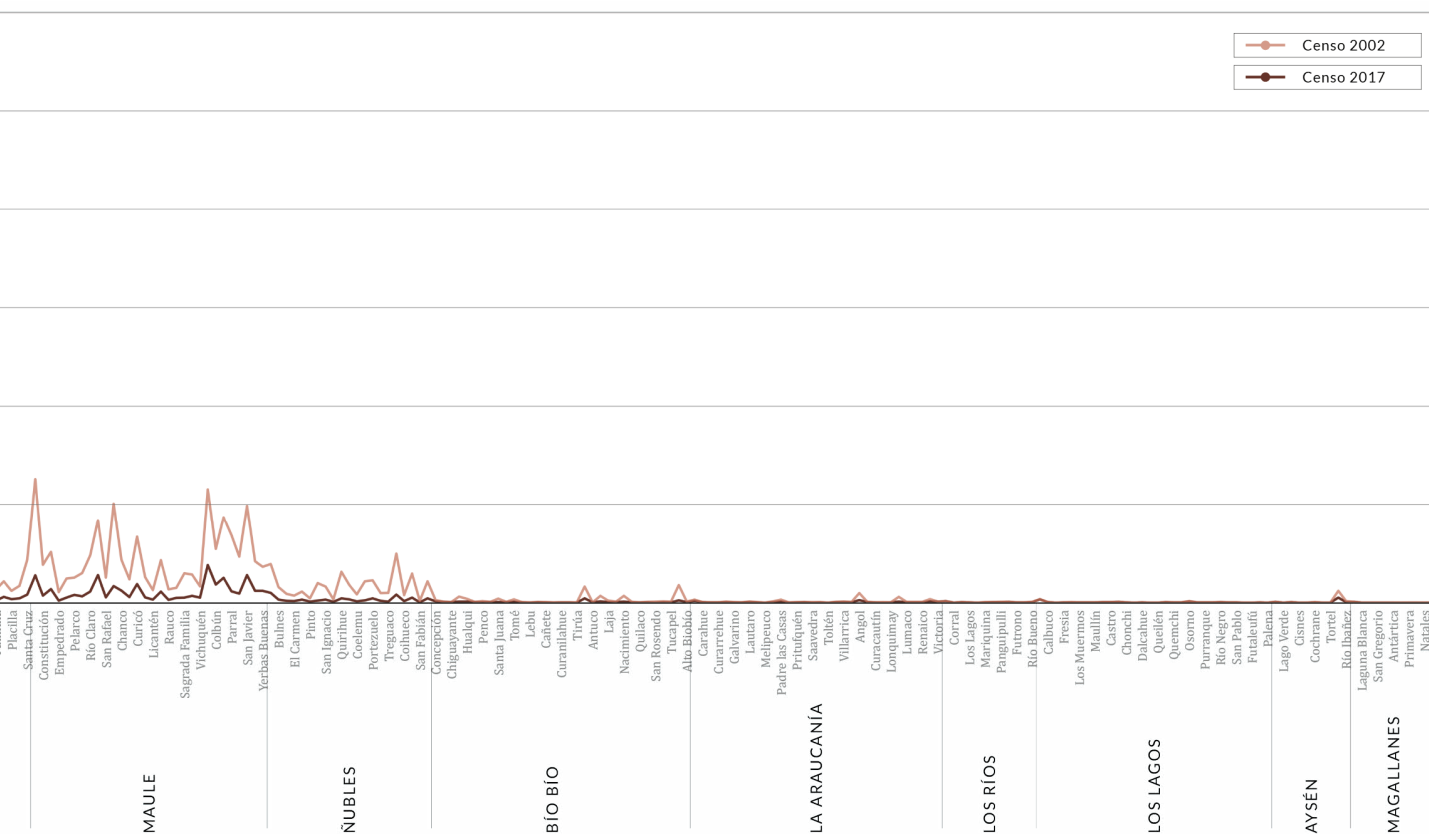


Figura 3  
Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Casos totales de muros exteriores construidos con "Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional".



## PREDOMINANCIA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES EN CHILE

En las Figuras 4 y 6 se demuestra la evolución que ha tenido entre el año 2002 y 2017 la predominancia en el uso de materiales tradicionales en la ejecución de muros exteriores a nivel comunal, es decir, la cantidad de viviendas particulares que presentaban técnicas constructivas en tierra en los muros exteriores respecto al total de viviendas censadas en una comuna en particular. De este modo, se obtiene un valor porcentual más representativo de aquellas comunas dónde el uso de la tierra como material constructivo para muros exteriores es más o menos predominante que otro tipo de material industrializado.

Las comunas de Putre (55, 37%) y General Lagos (87,32%) en la región de Arica y Parinacota; y Colchane (84,52%) en la región de Tarapacá, son las que concentran un mayor porcentaje de predominancia del uso de materiales tradicionales respecto a otros materiales industrializados para el año 2017. Se puede observar que varias comunas de las regiones de O’ Higgins, Maule y Ñuble presentan un considerable decrecimiento en el uso de sistemas constructivos en tierra entre los periodos de 2002 a 2017, evidenciando el fenómeno de sustitución de materiales tradicionales por otros industriales, probablemente debido a los sismos de mayor magnitud ocurridos el año 2010<sup>41</sup> y 2015<sup>42</sup> en el país.

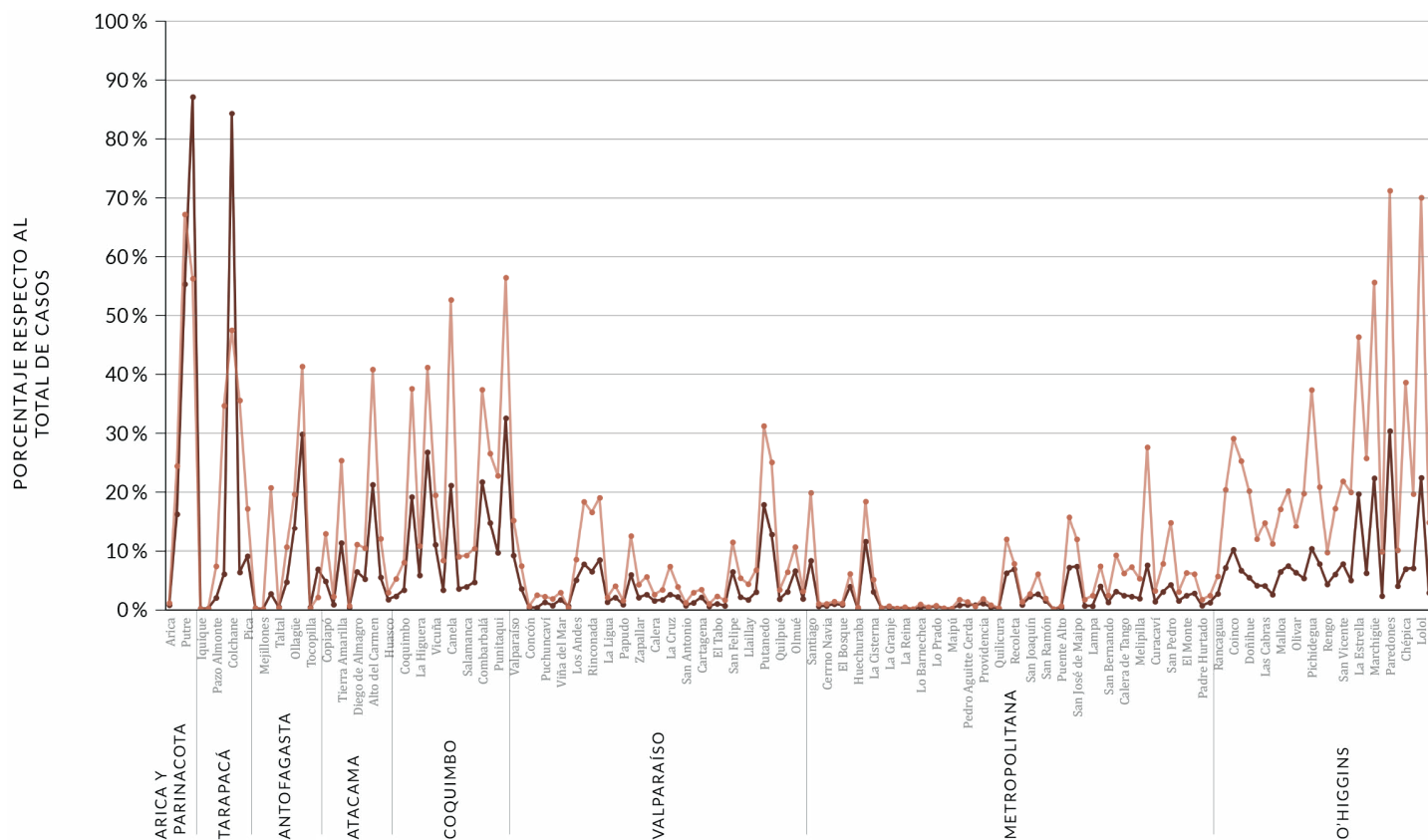
En la Figura 6, se grafica el porcentaje de predominancia de viviendas particulares que presentan muros exteriores construidos con materiales tradicionales respecto al total de viviendas censadas en la comuna según el último Censo realizado el año 2017. La lectura de los datos se hizo a partir de intervalos de ruptura natural para enfatizar las comunas donde hay mayor predominancia de casos construidos en adobe, quincha, pirca u otro respecto de los totales de viviendas censadas en el estudio, es decir, respecto de otros materiales industrializados.

<sup>41</sup> Las regiones afectadas de norte a sur fueron la región de Valparaíso, Metropolitana, O’ Higgins, Maule, Bio bio y La Araucanía. Correspondiente cerca del 80% de la población del país.

Fuente: <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/el-terremoto-de-chile-de-2010/>

<sup>42</sup> Las localidades más afectadas fueron Illapel, Salamanca y Canela, de la región de Coquimbo.

Fuente: <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/terremoto-de-illapel/>



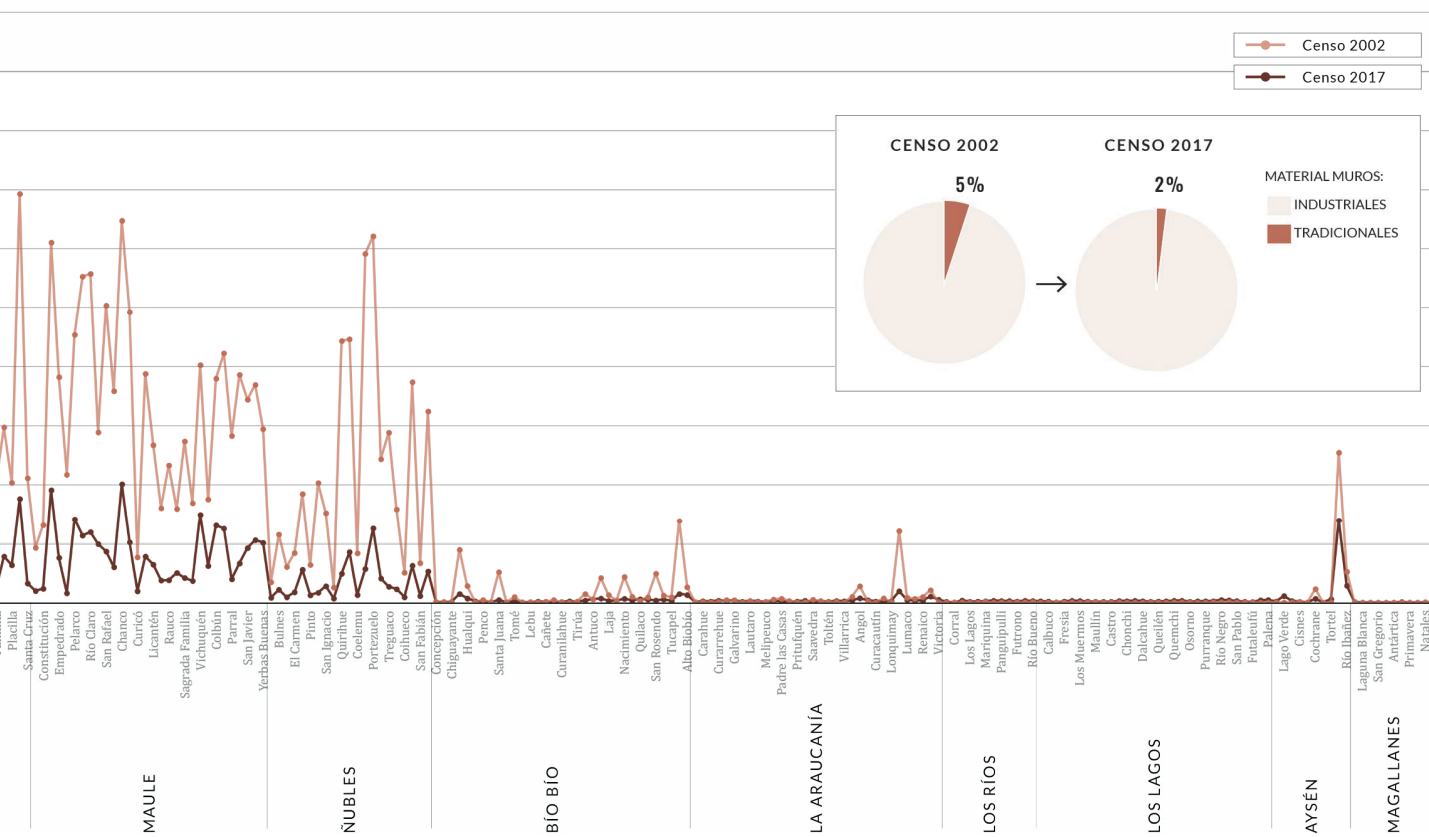


Figura 4. Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Porcentaje de casos totales de muros exteriores construidos con "Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional" respecto al total de viviendas censadas.

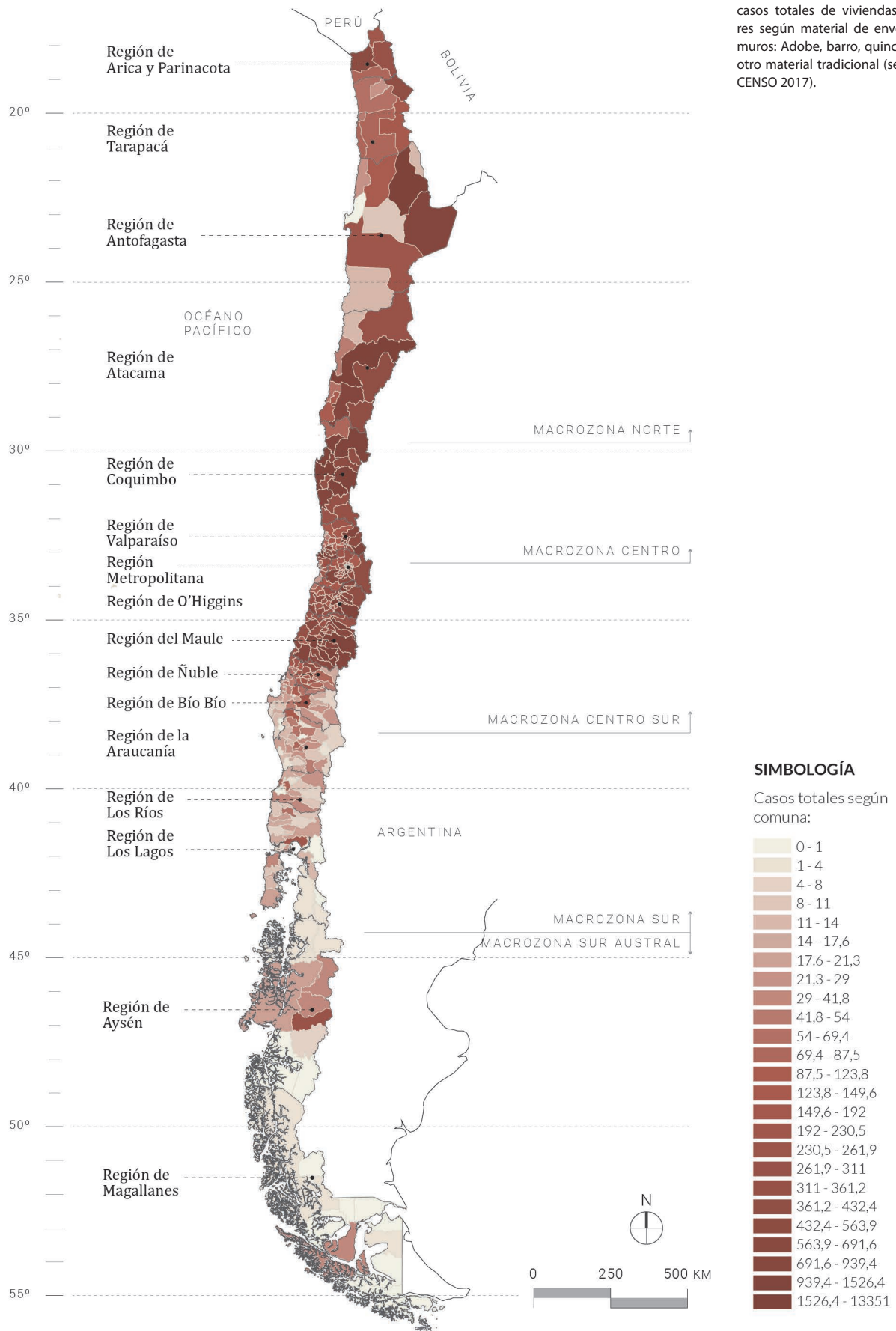


Figura 5. Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de casos totales de viviendas particulares según material de envolvente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017).

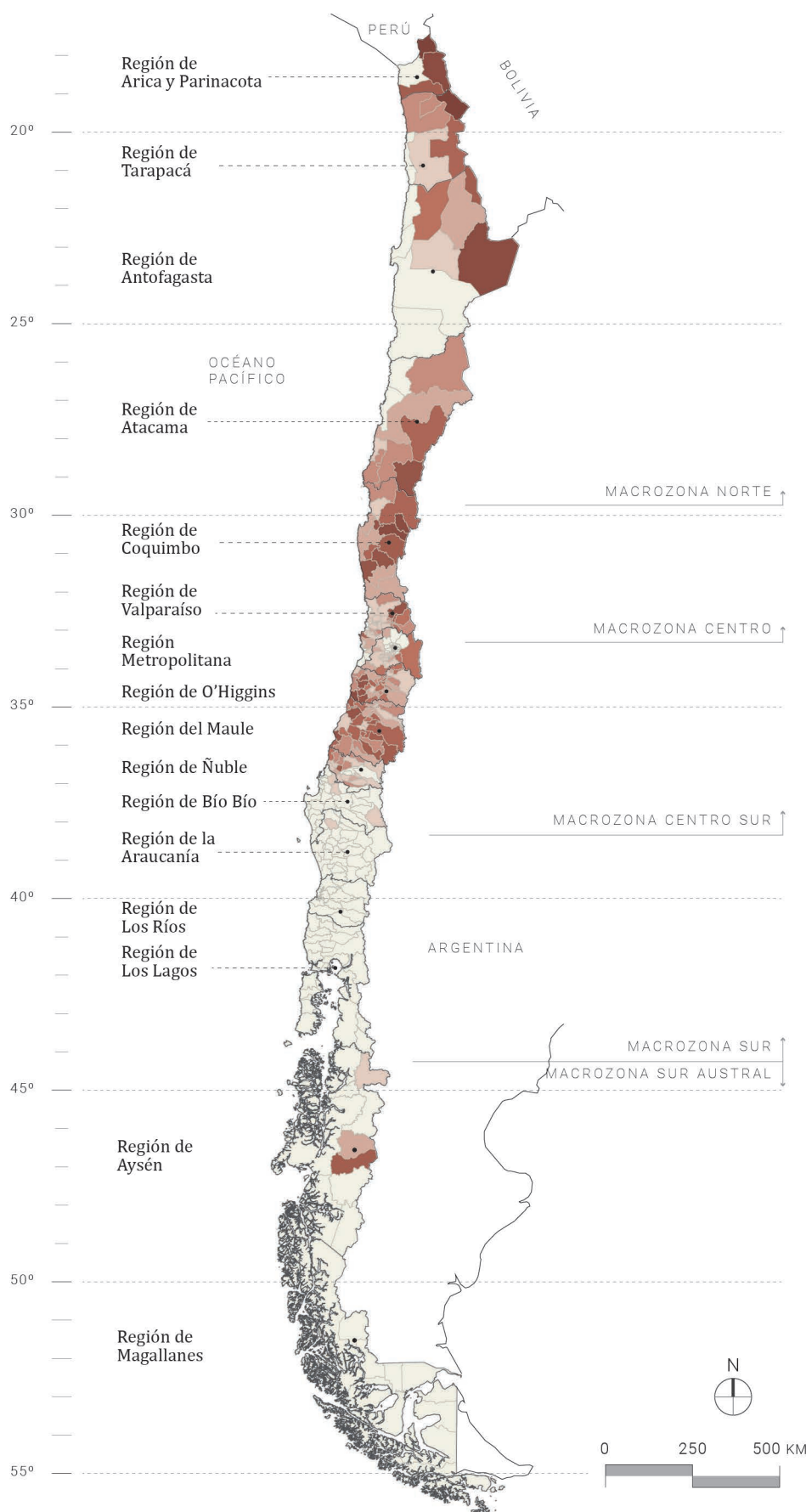


Figura 6. Análisis por medio de Sistemas de Información Georreferenciada (SIG) de porcentaje de viviendas particulares respecto al total de viviendas censadas según material de envolvente de muros: Adobe, barro, quincha, pirca u otro material tradicional (según datos CENSO 2017).

**SIMBOLOGÍA**

Porcentaje casos totales respecto al total comunal de viviendas censadas:

- 0 - 1
- 1 - 2,7
- 2,7 - 4,8
- 4,8 - 6,6
- 6,6 - 8,6
- 8,6 - 11,9
- 11,9 - 16,3
- 16,3 - 22,5
- 22,5 - 55,4
- 55,4 - 87,3%

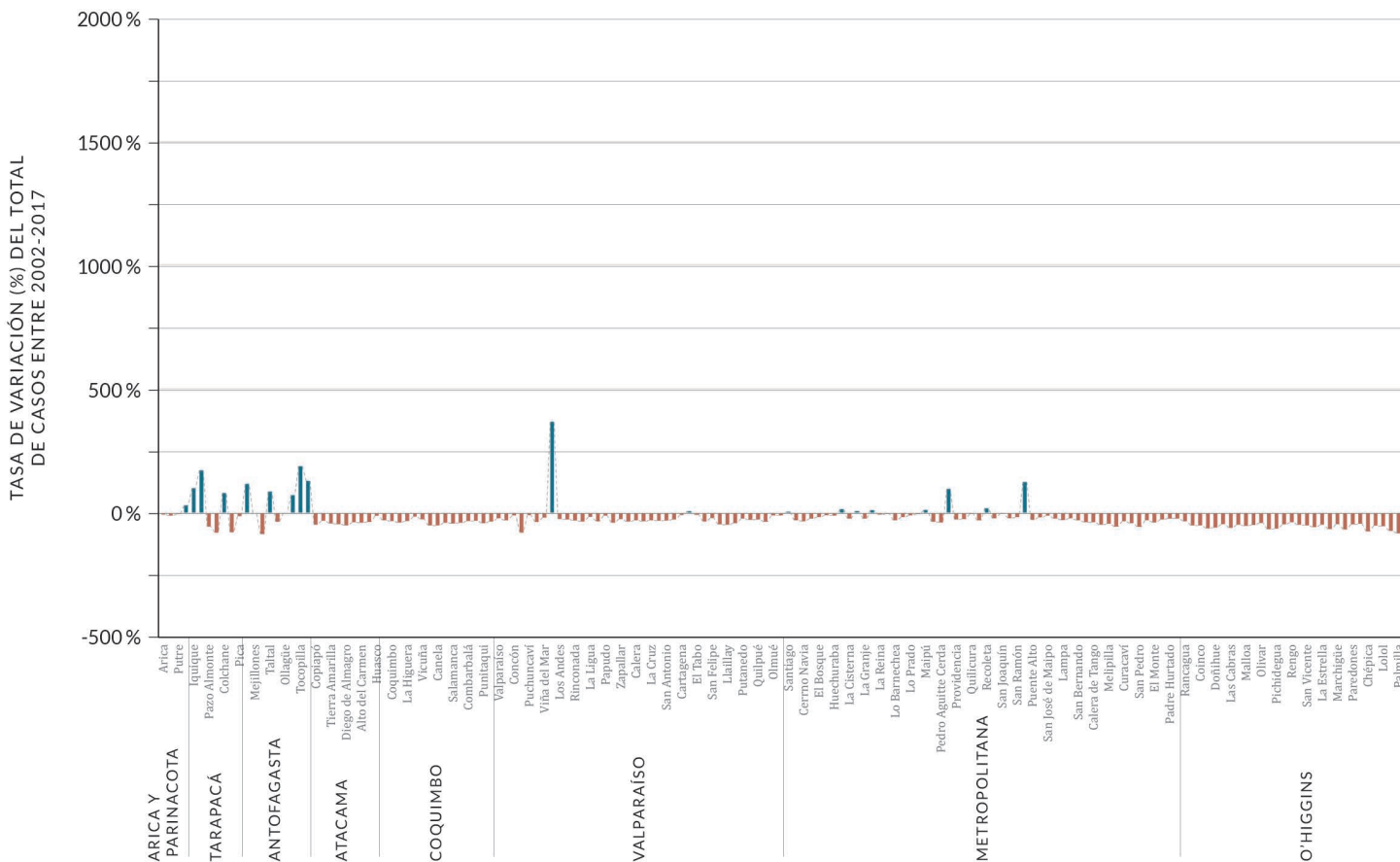
Se calculó la tasa de variación<sup>43</sup> de la estadística de casos totales de viviendas particulares con muros exteriores de adobe, quincha, pirca, u otros materiales tradicionales de entre los años 2002 y 2017, con el fin de observar el cambio porcentual en el tiempo de dicha variable, evidenciando las tasas de crecimiento o decrecimiento que se produjeron durante el periodo intercensal (Figura 7).

<sup>43</sup> Representa el cociente de dos observaciones de una misma variable en dos periodos, por lo que expresa un cambio porcentual en el tiempo.

Comuna	Total casos 2002	Total casos 2017	Variación cuantitativa 2002 a 2017	Tasa de variación (%)
Santiago	1.727	13.351	+624	5%
Recoleta	2.637	3.136	+499	19%
Independencia	3.176	3.651	+475	15%
San Pedro de Atacama	495	849	+354	72%
<b>Peñalolén</b>	<b>252</b>	<b>495</b>	<b>+243</b>	<b>96%</b>
Colchane	218	393	+175	80%
Puerto Montt	9	169	+160	1778%
Antofagasta	106	230	+124	117%
Valdivia	8	73	+65	813%
Osorno	11	69	+58	527%

Tabla 1. Comunas con mayor crecimiento en cantidad de viviendas particulares que utilizan sistemas de adobe, quincha, pirca u otros materiales tradicionales durante el periodo intercensal 2002-2017 para la elaboración de muros exteriores. Fuente: Elaboración propia.

La comuna de Peñalolén, ubicada en la precordillera de Santiago, presenta un crecimiento de casi el doble (96%) de viviendas construidas con muros exteriores de adobe, quincha, pirca u otros sistemas tradicionales respecto al año 2002, aumentando de 252 casos a un total de 495 para el año 2017.



Este caso es particularmente interesante, dado que como se mencionó en el capítulo anterior, a finales de la década de 1980 la Comunidad Ecológica de Peñalolén comenzó a construir a partir de sistemas constructivos de carácter patrimonial.

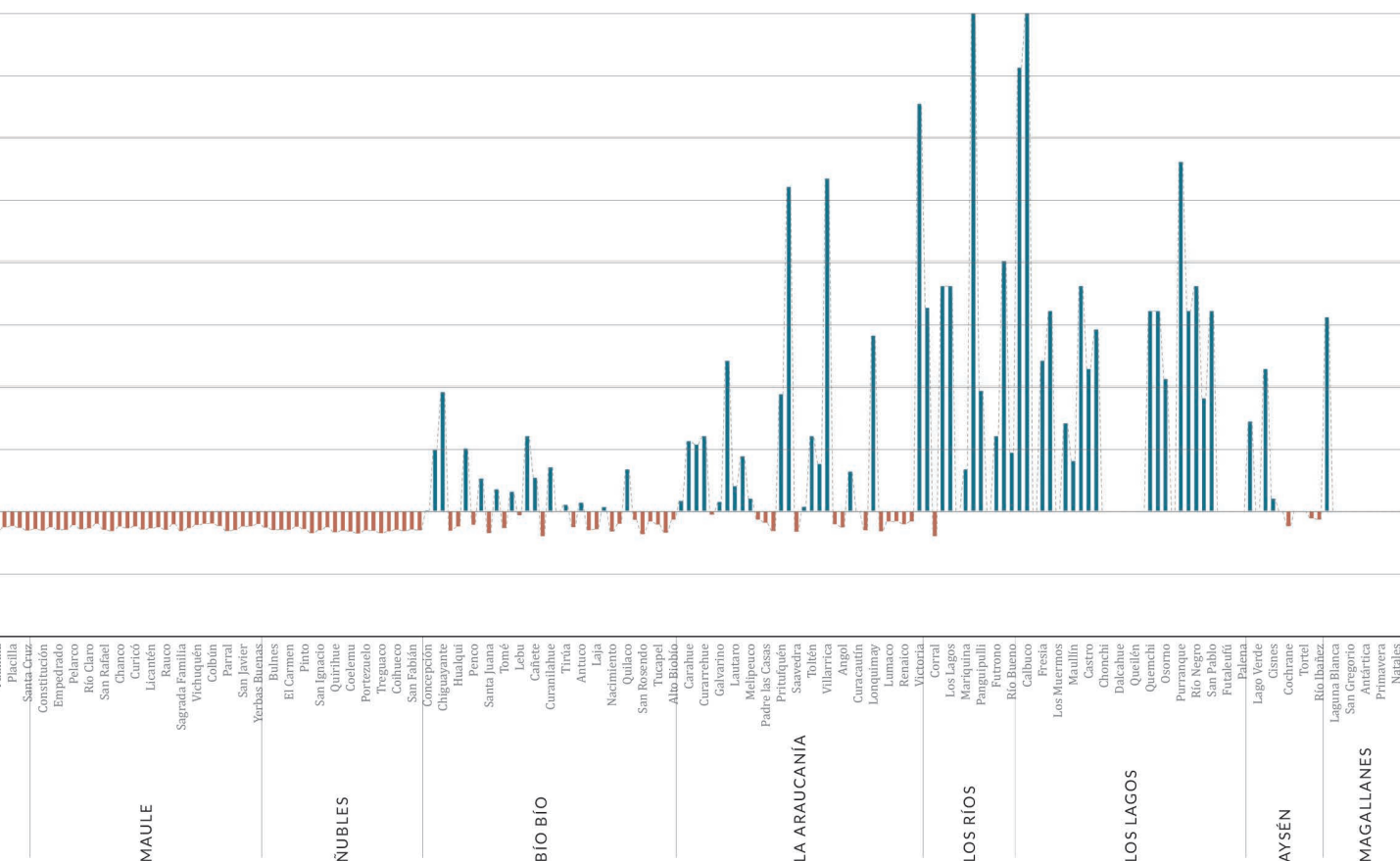
Las comunas más australes presentan mayores tasas de variación en el uso de sistemas constructivos en tierra desde el 2002 al 2017. Estas gráficas más que entregar resultados cuantitativos de variación, son representativas de aquellas comunas donde se evidenció una tasa de variación positiva durante el periodo de estudio, confirmando el aumento de los casos principalmente en algunas de las comunas más australes del país, así como algunas comunas en las regiones de Arica, Tarapacá, Antofagasta, Valparaíso y Metropolitana. Si bien algunas comunas de la región de Arica y Parinacota o Tarapacá poseen una menor cantidad de casos construidos con adobe, quincha, pirca u otros materiales tradicionales respecto a otras regiones, a su vez algunas de ellas alcanzan mayores porcentajes de uso de estos materiales tradicionales en contraste con materiales industrializados. Identificando así aquellas comunas dónde efectivamente predomina el uso de la tierra por sobre otro.

Los cambios cuantitativos más relevantes que se identificaron en el análisis fueron en las comunas de Colchane, Antofagasta y San Pedro de Atacama en la macrozona Norte; Valdivia, Puerto Montt y Osorno en la macrozona Sur; y Santiago, Independencia, Peñalolén y Recoleta en la región Metropolitana.

Se destaca la tasa de variación que evidencia la comuna de Puerto Montt, que tuvo un crecimiento de 17,8 veces la cantidad original, con un aumento de 160 casos para el año 2017. Puerto Montt es la comuna más austral que evidencia un crecimiento significativo de viviendas particulares con materiales tradicionales en muros exteriores según las cifras estudiadas.

Figura 7.

Evolución del uso de la tierra como material constructivo en Chile. Tasa de variación de casos totales de muros exteriores construidos con "Adobe, quincha, pirca u otro material tradicional" respecto al total de viviendas censadas entre el año 2002 y 2017.



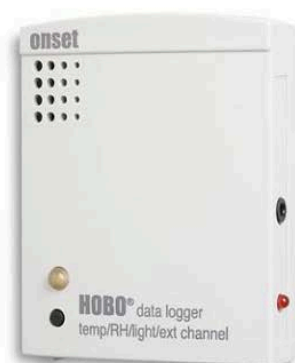
En términos generales, se puede adelantar que el aumento<sup>44</sup> en el uso de muros exteriores ejecutados a partir de sistemas tradicionales como el adobe, la quincha o la pirca, en algunas de las ciudades anteriormente señaladas, puede justificarse en las nuevas corrientes de diseño a partir de la revalorización del uso de la tierra como elemento constructivo.

<sup>44</sup> Hay que considerar el rango de error de la estadística. Por ejemplo, que como para el 2017 se reconocieron más tipos de sistemas constructivos en tierra, como la pirca y la quincha en particular, puede ser que para el censo de 2002 no se hayan considerado dentro la clasificación y los resultados estén subestimados.

## ANEXO 2

## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

## INSTRUMENTO DE MEDICIÓN 1



<b>Tipo</b>	Termómetro- Higrómetro-Luxómetro (Temperatura/Humedad Relativa/Luz/Data Logger externo)
<b>Modelo</b>	Data Logger HOBO U12-012
<b>ESPECIFICACIONES</b>	
<b>Dimensiones</b>	58 x 74 x 22 mm (2.3 x 2.9 x 0.9 pulgadas)
<b>Peso</b>	46 g (1.6 oz)
<b>Entorno de operatividad</b>	Ambiente interno
<b>RANGO DE MEDICIÓN</b>	
<b>Temperatura</b>	-20 ° a 70 ° C (-4 ° a 158 ° F)
<b>Humedad relativa</b>	5% a 95% HR
<b>Intensidad de luz</b>	1 a 3000 pie-candelas (lúmenes / pie <sup>2</sup> ) típico; el valor máximo varía de 1500 a 4500 pie-candelas (lúmenes / pie <sup>2</sup> )
<b>Canales análogos</b>	0 a 2,5 V <sub>CC</sub> (con CABLE-2.5-STEREO); 0 a 5 V <sub>CC</sub> (con CABLE-ADAP5 ); 0 a 10 V <sub>CC</sub> (con CABLEADAP10); 4-20 mA (con CABLE-4-20MA )
<b>PRESICIÓN</b>	
<b>Temperatura</b>	± 0,35 °C de 0 ° a 50 °C (± 0,63 °F de 32 ° a 122 °F)
<b>Humedad relativa</b>	± 2,5 % de 10 % a 90 % de HR típica, hasta un máximo de ±3.5% incluyendo histéresis a 25°C (77°F); por debajo del 10 % y por encima del 90 % ± 5 % típico
<b>Intensidad de luz</b>	Diseñado para la medición en interiores de los niveles de luz relativos, consulte el gráfico D en el manual para ver la respuesta de la longitud de onda de la luz
<b>Canal de entrada externo</b>	± 2 mV ± 2,5% de lectura absoluta
<b>RESOLUCIÓN</b>	
<b>Temperatura</b>	0,03 °C a 25 °C (0,05 °F a 77 °F)
<b>Humedad relativa</b>	0,05 % HR
<b>Frecuencia de muestreo</b>	1 segundo a 18 horas, seleccionable por el usuario
<b>TEMPERATURA OPERATIVA</b>	
<b>Registro</b>	-20° a 70°C (-4° a 158°F); 0 a 95 % de HR (sin condensación)
<b>Lanzamiento/lectura</b>	0 ° a 50 °C (32 ° a 122 °F), según especificación USB

Fuente: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/u12-012/>

**INSTRUMENTO DE MEDICIÓN 2**



<b>Tipo</b>	Cámara Termográfica
<b>Modelo</b>	FLIR E5

**DESCRIPCIÓN GENERAL**

<b>Precisión</b>	
<b>Tipo de detector</b>	
<b>Imagen dinámica</b>	
<b>Rango de temperatura</b>	
<b>Resolución de IR</b>	

**GENERACIÓN DE IMÁGENES Y ÓPTICA**

<b>Tamaño de cámara</b>	
<b>Paleta de color</b>	
<b>Número F</b>	
<b>Modos de imagen</b>	
<b>Rango espectral</b>	
<b>Frecuencia de imagen</b>	
<b>Enfoque</b>	

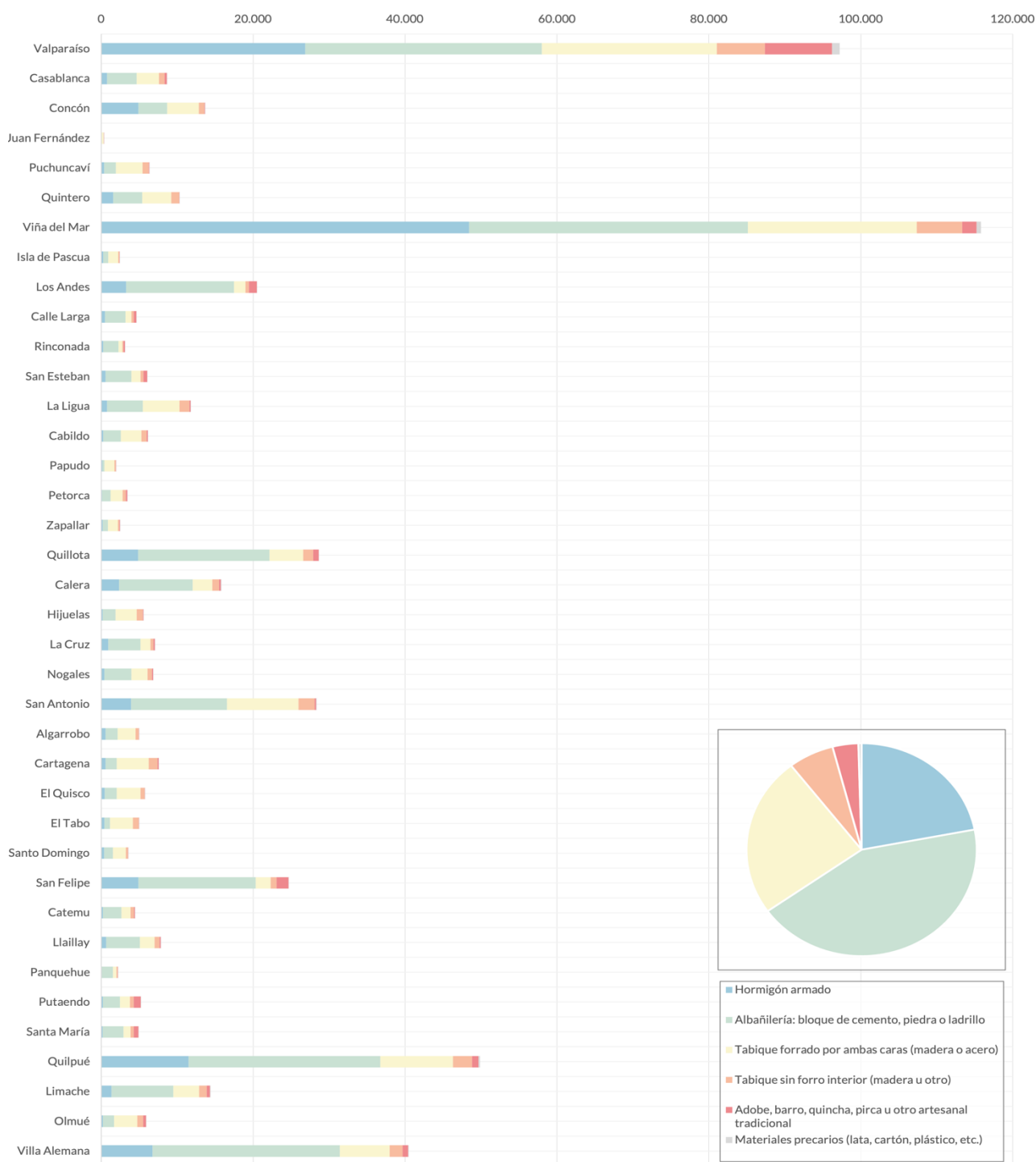
**SOPORTE DE ALMACENAMIENTO**

<b>Registro</b>	-
<b>Lanzamiento/lectura</b>	

Fuente: <https://www.flir.es/products/e5-xt/>

ANEXO 3

PREFERENCIA Y USOS DE MATERIALES PARA MUROS EXTERIORES EN LA REGIÓN DE VALPARAÍSO



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 4**

**SELECCIÓN PROPUESTA POLÍTICAS DE ORIENTACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.  
INTEGRACIÓN DEL ESTUDIO DE TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN INDÍGENAS Y TRADICIONALES  
COMO MOTOR DE ALGUNOS ODS**

<b>ODS</b>	<b>Definición</b>	<b>Propuesta Políticas de Orientación</b> Rol de la Cultura y el Patrimonio
<b>7 – Energía limpia y asequible</b>	<i>Garantizar el acceso a energía asequible, fiable y sostenible y moderna para todos.</i>	"Investigar y aprovechar los diseños y técnicas de construcción indígenas y tradicionales, donde se haya demostrado que se adaptan mejor a los climas locales y son ambientalmente racionales."
<b>9 - Industria, Innovación e Infraestructura</b>	<i>Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.</i>	"Promover la investigación y el desarrollo de modelos basados en el patrimonio para lograr tecnologías centradas en el ser humano e infraestructura física y social resiliente y equitativa."
		"Proteger los recursos patrimoniales tangibles e intangibles de las amenazas planteadas por la construcción de infraestructura, la industrialización, la regulación inapropiada y la explotación comercial."
		"Equilibrar e integrar el uso de técnicas y tecnologías tradicionales y modernas en los programas de desarrollo, para un enfoque holístico, no invasivo y sostenible de las comunidades y su entorno."
		"Promover la integración de soluciones creativas e innovadoras en los procesos de conservación y gestión del patrimonio, bajo los principios de respeto a la integridad del patrimonio, salvaguarda de la continuidad y la memoria, y garantía de la calidad en el diseño contemporáneo."
<b>10 – Reducir la desigualdad</b>	<i>Reducir la desigualdad dentro de los países y entre ellos.</i>	"Aprovechar la capacidad de las prácticas patrimoniales para generar oportunidades de empleo y crecimiento de los ingresos en toda la sociedad, fomentando la inclusión económica".
<b>11 – Ciudades sostenibles y comunidades</b>	<i>Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.</i>	"Promover y facilitar la reutilización, rehabilitación, restauración y regeneración de edificios, espacios verdes y públicos y barrios existentes, así como el uso de tipologías tradicionales, tecnologías y materiales locales en paisajes urbanos históricos, con el fin de fomentar la economía circular , eficiencia de recursos y vivienda asequible".
<b>13 – Acción climática</b>	<i>Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.</i>	"Identificar y promover el uso de recursos locales y técnicas y conocimientos resilientes basados en el patrimonio para lograr la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO2 y GEI, reconociendo la adaptabilidad de muchas tipologías de patrimonio para las respuestas de acción climática actuales".

Fuente: Elaboración propia según (Labadi et al., 2021).

## ANEXO 5

## GRUPOS CLIMÁTICOS SEGÚN KÖPPEN

Letra	Umbral térmico	Clima	Formación de vegetación
A	- Temperatura media mensual superior a 18°C	- Cálidos: tropical lluvioso, sabana, monzón	- Bosque ecuatorial o selva tropical, sabana
B	- La evaporación supera a la precipitación	- Secos: áridos y semi áridos	- Desierto, estepa
C	- La temperatura del mes más frío es inferior a 18°C y superior a -3°C	- Templados: de lluvias estacionales y lluvias todo el año	- Bosque templado y matorral
D	- La temperatura media del mes más frío es inferior a -3°C y la del mes más cálido es superior a 10°C	- Boreales: de lluvias estacionales y lluvias todo el año	- Bosque de coníferas
E	- En ningún mes la temperatura media supera los 10°C	-Fríos: tundra y hielo	- Tundra y ausencia de vegetación por presencia de hielo

Climas principales	Precipitaciones	Temperatura
A: ecuatorial	W: desierto	h: árido cálido
B: árido	S: estepa	k: árido frío
C: templado cálido	f: muy húmedo	a: verano cálido
D: nieve	s: verano seco	b: verano temperado
E: polar	w: invierno seco	c: verano moderado
	m: monzones	d: extremo continental
	F: polar gélido	
	T: polar tundra	

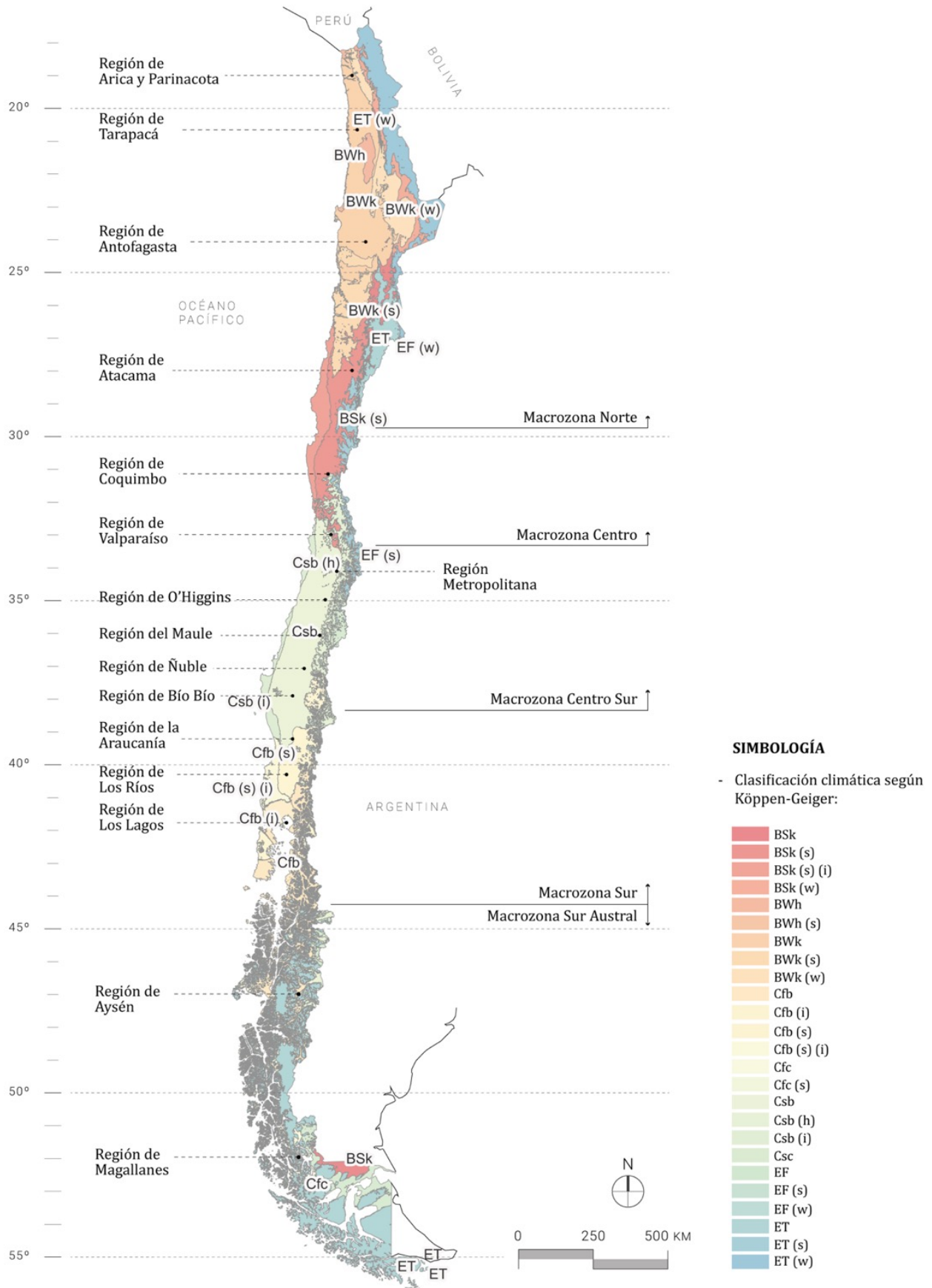
Fuente: (D'alençon, 2008)

Sigla	Denominación
<del>B</del> Sk	Clima semiárido
<del>B</del> Sk (s)	Clima semiárido de lluvia invernal
<del>B</del> Sk (s) (i)	Clima semiárido de lluvia invernal e influencia costera
<del>B</del> Sk (w)	Clima semiárido de lluvia estival
<del>B</del> Wh	Clima desértico cálido
<del>B</del> Wh (s)	Clima desértico cálido de lluvia invernal
<del>B</del> Wk	Clima desértico frío
<del>B</del> Wk (s)	Clima desértico frío de lluvia invernal
<del>B</del> Wk (w)	Clima desértico frío de lluvia estival
<del>C</del> fb	Clima templado lluvioso
<del>C</del> fb (i)	Clima templado lluvioso e influencia costera
<del>C</del> fb (s)	Clima templado lluvioso con leve sequedad estival
<del>C</del> fb (s) (i)	Clima templado lluvioso con leve sequedad estival e influencia costera
<del>C</del> fc	Clima templado lluvioso frío
<del>C</del> fc (s)	Clima templado lluvioso frío con leve sequedad estival
<del>C</del> sb	Clima mediterráneo de lluvia invernal
<del>C</del> sb (h)	Clima mediterráneo de lluvia invernal de altura
<del>C</del> sb (i)	Clima mediterráneo de lluvia invernal e influencia costera
<del>C</del> sc	Clima mediterráneo frío de lluvia invernal
EF	Clima glacial
EF (s)	Clima glacial de lluvia invernal
EF (w)	Clima glacial de lluvia estival
ET	Clima de tundra
ET (s)	Clima de tundra de lluvia invernal
ET (w)	Clima de tundra con lluvia estival

Fuente: Elaboración propia según base de datos del IDE.

ANEXO 6

ZONAS CLIMÁTICAS DE CHILE SEGÚN KÖPPEN Y GEIGER (DATOS IDE)



Fuente: Elaboración propia en base a IDE.

## ANEXO 7

### CARACTERIZACIÓN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ANALIZADOS SEGÚN PROPIEDADES MATERIALES

nº	cód.	Sistema Constructivo	Estructura principal	Estructura secundaria	Índice Masa Térmica <sup>44</sup>	Tipo de relleno
<b>Variantes Quincha Contemporánea</b>						
1	Q01	Quincha Liviana Seca (Madera-Metal)	Madera	Metal	L	Seco
2	Q02	Quincha Liviana Húmeda (Madera-Metal)	Madera	Metal	L	Húmedo
3	Q03	Quincha Liviana Húmeda (Metal-Metal)	Metal	Metal	L	Húmedo
4	Q04	Quincha Liviana Seca (Madera-Madera)	Madera	Madera	L	Seco
5	Q05	Quincha Liviana Húmeda con cámara de aire (Madera-Madera)	Madera	Madera	L	Húmedo
6	Q06	Quincha con Fardos de Paja (Madera-Madera)	Madera	Madera	L	Seco
<b>Soluciones industriales MINVU</b>						
7	S01	Hormigón armado 200 mm	H.A	Hormigón	P	-
8	S02	Hormigón armado 200 mm con aislante al exterior	H.A	Hormigón	P	-
9	S03	Albañilería con ladrillo artesanal	Albañilería	Albañilería	M	-
10	S04	Albañilería con ladrillo fabricado en máquina	Albañilería	Albañilería	M	-
11	S05	Tabiquería con montantes metálicos	Metal	Madera	L	Multicapa
12	S06	Tabiquería con montantes de madera	Madera	Madera	L	Multicapa
<b>Casos de Estudio</b>						
13	V01	Quincha Liviana Seca	Madera	Metal	L	Seco
14	V01A	Quincha Liviana Seca 1x-1x	Madera	Metal	L	Seco
15	V01B	Quincha Liviana Húmeda 1x-1x	Madera	Metal	L	Húmedo
16	V01C	Quincha Liviana Seca + espesor revoque (1x-2x)	Madera	Metal	L	Seco
17	V01D	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque (1x-2x)	Madera	Metal	L	Húmedo
18	V01E	Quincha Liviana Seca + espesor aislante (2x-1x)	Madera	Metal	L	Seco
19	V01F	Quincha Liviana Húmeda + espesor aislante (2x-1x)	Madera	Metal	L	Húmedo
20	V01G	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	Madera	Metal	L	Seco
21	V01H	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	Madera	Metal	L	Húmedo
22	V01I	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	Madera	Metal	L	Seco
23	V01J	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	Madera	Metal	L	Húmedo
24	V02	Albañilería confinada	H.A	Albañilería	M	-
25	V02B	Albañilería confinada con aislante al exterior	H.A	Albañilería	M	-
26	V03	Hormigón armado	H.A	Hormigón	P	-
27	V03B	Hormigón armado con aislante al exterior	H.A	Hormigón	P	-
28	V04	Tabiquería ligera	Metal	Madera	L	Multicapa

<sup>44</sup> Indicador de Masa Térmica según Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile: L=Liviano; M=Mediano; P=Pesado.

ANEXO 8

RESULTADOS OBTENIDOS CÁLCULO DE TRANSMITANCIA Y ADMITANCIA TÉRMICA

N.º	Cód.	Sistema Constructivo	Rt (m <sup>2</sup> °K/W)	U ponderado (W/m <sup>2</sup> °K)	Y (W/m <sup>2</sup> °K)	T <sub>c</sub> (hrs)
<b>Variantes Quincha Contemporánea</b>						
1	Q01	Quincha Liviana Seca (Madera-Metal)	1,43	0,70	2,95	3,1
2	Q02	Quincha Liviana Húmeda (Madera-Metal)	0,76	1,32	3,88	5,4
3	Q03	Quincha Liviana Húmeda (Metal-Metal)	0,51	1,94	3,88	5,4
4	Q04	Quincha Liviana Seca (Madera-Madera)	1,60	0,62	2,95-3,75	3,1 - 5,9
5	Q05	Quincha Liviana Húmeda con cámara de aire (Madera-Madera)	2,13	0,47	3,74	14,8
6	Q06	Quincha con Fardos de Paja (Madera-Madera)	6,45	0,16	3,38	1,8
<b>Soluciones industriales MINVU</b>						
7	S01	Hormigón armado 200 mm	0,33	3,00	4,88	6,0
8	S02	Hormigón armado 200 mm con aislante al exterior	0,53	1,87	6,09	7,2
9	S03	Albañilería con ladrillo artesanal	0,48	2,07	3,27	4,0
10	S04	Albañilería con ladrillo fabricado en máquina	0,57	1,75	3,66	5,7
11	S05	Tabiquería con montantes metálicos	1,65	0,61	0,80	0,7
12	V06	Tabiquería con montantes de madera	1,49	0,67	0,80	1,0
<b>Casos de Estudio</b>						
13	V01	Quincha Liviana Seca	2,05	0,49	3,06	4,0
14	V01A	Quincha Liviana Seca 1x-1x	1,43	0,70	2,95	3,1
15	V01B	Quincha Liviana Húmeda 1x-1x	0,76	1,32	3,88	5,4
16	V01C	Quincha Liviana Seca + espesor revoque (1x-2x)	1,50	0,67	4,38	5,4
17	V01D	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque (1x-2x)	0,83	1,21	4,54	7,5
18	V01E	Quincha Liviana Seca + espesor aislante (2x-1x)	2,05	0,49	3,06	4,0
19	V01F	Quincha Liviana Húmeda + espesor aislante (2x-1x)	1,02	0,98	3,99	8,0
20	V01G	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	1,46	0,68	4,37	4,4
21	V01H	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	0,79	1,26	4,54	6,5
22	V01I	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	2,09	0,48	4,47	5,3
23	V01J	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	1,06	0,94	4,58	9,1
24	V02	Albañilería confinada	0,65	1,55	1,93	4,1
25	V02B	Albañilería confinada con aislante al exterior	0,65	1,55	3,75	4,6
26	V03	Hormigón armado	0,58	1,73	2,35	6,6
27	V03B	Hormigón armado con aislante al exterior	0,58	1,73	6,10	7,2
28	V04	Tabiquería ligera	2,34	0,43	0,75	1,2

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 9

## RESULTADOS OBTENIDOS CÁLCULO DE TRANSMITANCIA Y ADMITANCIA TÉRMICA

n.º	cód.	Sistema Constructivo	Clasificación		Indicadores Y <sup>45</sup> (W/m <sup>2</sup> K)	Indicadores Tr <sup>46</sup> (hrs)
			U admisible (W/m <sup>2</sup> K)			
			Según Art. 4.1.10 O.G.U.C	Según E.C.S <sup>47</sup>		
<b>Variantes Quincha Contemporánea</b>						
1	Q01	Quincha Liviana Seca (Madera-Metal)	6	D	Moderado	Bajo
2	Q02	Quincha Liviana Húmeda (Madera-Metal)	5	A	Moderado	Medio
3	Q03	Quincha Liviana Húmeda (Metal-Metal)	5	A	Moderado	Medio
4	Q04	Quincha Liviana Seca (Madera-Madera)	6	D	Moderado	Medio
5	Q05	Quincha Liviana Húmeda con cámara de aire (Madera-Madera)	6	D	Moderado	Alto
6	Q06	Quincha con Fardos de Paja (Madera-Madera)	7	H	Moderado	Bajo
<b>Soluciones industriales MINVU</b>						
7	S01	Hormigón armado 200 mm	2	A	Alto	Medio
8	S02	Hormigón armado 200 mm con aislante al exterior	3	A	Alto	Medio
9	S03	Albañilería con ladrillo artesanal	2	A	Moderado	Medio
10	S04	Albañilería con ladrillo fabricado en máquina	3	A	Moderado	Medio
11	S05	Tabiquería con montantes metálicos	6	D	Bajo	Bajo
12	V06	Tabiquería con montantes de madera	6	D	Bajo	Bajo
<b>Casos de Estudio</b>						
13	V01	Quincha Liviana Seca	7	E	Moderado	Medio
14	V01B	Quincha Liviana Seca 1x-1x	6	D	Moderado	Medio
15	V01C	Quincha Liviana Húmeda 1x-1x	5	A	Moderado	Medio
16	V01D	Quincha Liviana Seca + espesor revoque (1x-2x)	6	D	Alto	Medio
17	V01E	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque (1x-2x)	5	A	Alto	Medio
19	V01F	Quincha Liviana Húmeda + espesor aislante (2x-1x)	6	A	Moderado	Medio
20	V01G	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	6	D	Alto	Medio
21	V01H	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior 1x-2x	5	A	Alto	Medio
22	V01I	Quincha Liviana Seca + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	7	E	Alto	Medio
23	V01J	Quincha Liviana Húmeda + espesor revoque hacia el interior + aislante (2x-2x)	6	A	Alto	Alto
24	V02	Albañilería confinada	5	A	Bajo	Medio
25	V02B	Albañilería confinada con aislante al exterior	5	A	Moderado	Medio
26	V03	Hormigón armado	4	A	Moderado	Medio
27	V03B	Hormigón armado con aislante al exterior	4	A	Alto	Medio
28	V04	Tabiquería ligera	7	E	Bajo	Bajo

<sup>45</sup> Se considera: Bajo (1-2 W/m<sup>2</sup>K); Moderado (2-4 W/m<sup>2</sup>K); Alto (4-6 W/m<sup>2</sup>K).

<sup>46</sup> Se considera: Bajo (x<4 hrs); Medio (4<x<8 hrs); Alto (8<x).

<sup>47</sup> Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile.

ANEXO 10

PROPIEDADES TÉRMICAS MATERIALES NATURALES UTILIZADOS

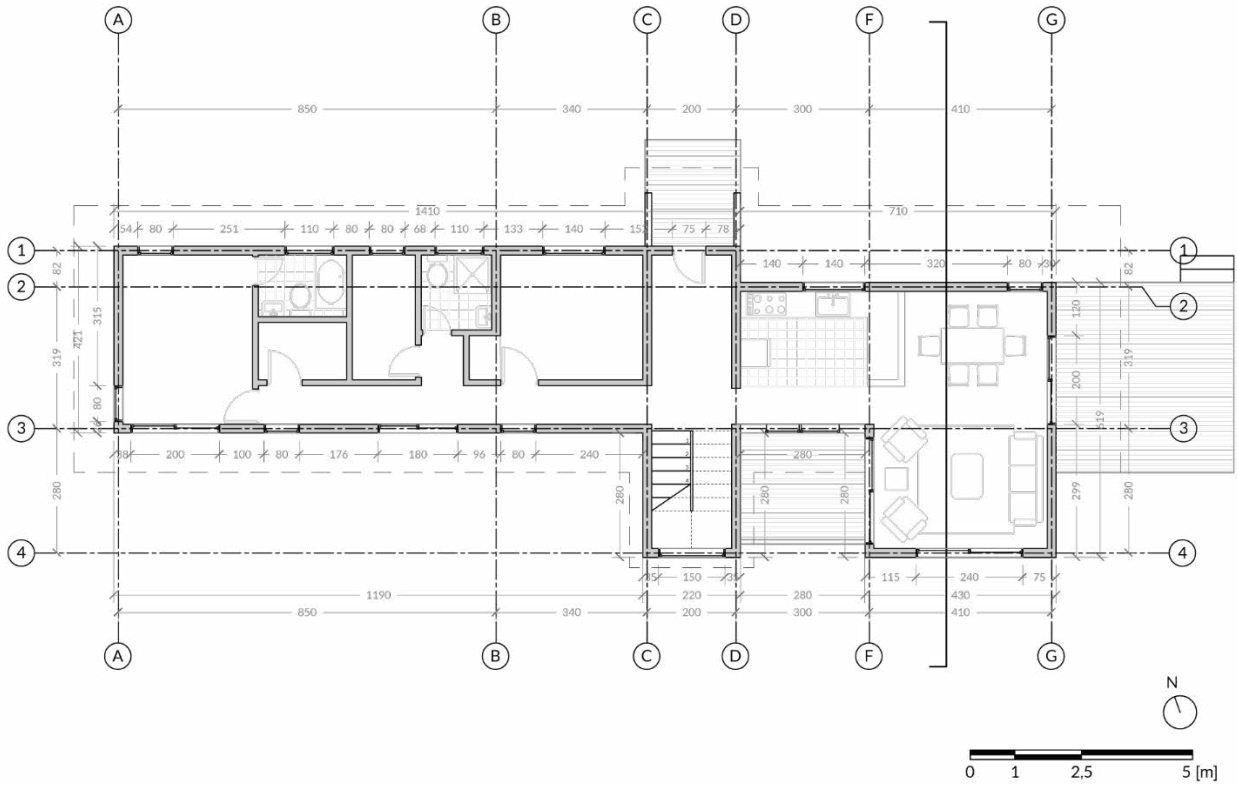
PROPIEDADES TÉRMICAS MATERIALES NATURALES						
Nº	Material	Tipo	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/m <sup>2</sup> K)	Capacidad térmica específica (c) (J/kgK)	Fuente
1	Musgo seco	Vegetal	50 a 300	0,05 - 0,06	300 - 1000	Libro Hábitat
2	Musgo húmedo	Vegetal	50 a 300	0,08 - 0,14	300 - 1000	Libro Hábitat
3	Musgo saturado	Vegetal	50 a 300	0,1 - 0,2	300 - 1000	Libro Hábitat
4	Paja de trigo	Vegetal	-	0,07	180	Libro Hábitat
5	Balas de paja de 260 kg/m <sup>3</sup>	Vegetal	260	0,24	645	Libro Hábitat
6	Balas de paja de 124 kg/m <sup>3</sup>	Vegetal	124	0,14	232	Libro Hábitat
7	Hierba marina	Vegetal	-	0,046	645	Libro Hábitat
8	Panel de paja comprimida	Vegetal	-	0,25	-	Libro Hábitat
9	Juncos (estructura)	Vegetal	-	0,056	≈300	Libro Hábitat
10	Bambúes (estructura)	Vegetal	-	0,227	1414 - 1796	Libro Hábitat
11	Juncos	Vegetal	-	≈0,06	≈300	Libro Hábitat
12	Palmeras (datileras, cocotero, oleaginosas)	Vegetal	-	0,03	-	Libro Hábitat
13	Rota	Vegetal	-	0,072	1280	Libro Hábitat
14	Corteza	Vegetal	-	0,065 - 0,11	1260	Libro Hábitat
15	Madera dura (estructura)	Vegetal	-	0,05 - 0,23	1380 - 2810	Libro Hábitat
16	Cubiertas vegetales mixtas	Vegetal	-	0,111	180	Libro Hábitat
17	Plantas trepadoras	Vegetal	-	≈0,1	≈1000	Libro Hábitat
18	Corcho	Vegetal	-	0,038 - 0,070	1800	Libro Hábitat
19	Madera blanda (estructura)	Vegetal	-	0,12 - 0,14	1200 - 1300	Libro Hábitat
20	Papel	Vegetal	-	0,072	1380	Libro Hábitat
21	Fibra de celulosa	Vegetal	-	0,035 - 0,040	1380	Libro Hábitat
22	Shiv de cáñamo	Vegetal	-	0,04	1800	Libro Hábitat
23	Cañamo-cal	Vegetal	-	0,05 - 0,09	1800	Libro Hábitat
24	Fibra de cáñamo-lino	Vegetal	-	0,038 - 0,040	1800	Libro Hábitat
25	Fibra de madera	Vegetal	-	0,038 - 0,050	1800	Libro Hábitat
26	Madera álamo	Vegetal	380	0,091	1759	Nch 853 Of.2008
27	Madera alerce	Vegetal	560	0,134	1759	Nch 853 Of.2008
28	Madera coigüe	Vegetal	670	0,145	1759	Nch 853 Of.2008
29	Madera lingue	Vegetal	640	0,136	1759	Nch 853 Of.2008
30	Madera pino insigne	Vegetal	410	0,104	2805	Nch 853 Of.2008
31	Madera raulí	Vegetal	580	0,121	1759	Nch 853 Of.2008
32	Madera roble	Vegetal	800	0,157	1759	Nch 853 Of.2008
33	Fardo de paja	Vegetal	240	0,07	1800	Base de datos Software ESP-r
34	Arcilla esquistosa	Térreos	-	≈2	≈880	Libro Hábitat
35	Barro, limo, arena, grava	Térreos	-	0,18 a 0,88	≈880	Libro Hábitat
36	Tierra compactada seca	Térreos	-	1,28	880	Libro Hábitat
37	Tierra compactada húmeda	Térreos	-	1,28	1480	Libro Hábitat
38	Morteros y revoques (cal y tierra)	Térreos	-	0,7	840	Libro Hábitat
39	Arcilla, creta	Térreos	-	1,74 - 2,68	840	Libro Hábitat
40	Adobe	Térreos	1100-1800	0,9	1100	Nch 853 Of.2008
41	Arcilla	Térreos	2100	0,93	920	Nch 853 Of.2008
42	Arena	Térreos	1500	0,58	920	Nch 853 Of.2008

Fuente: Base de datos recopilada según diversas fuentes.

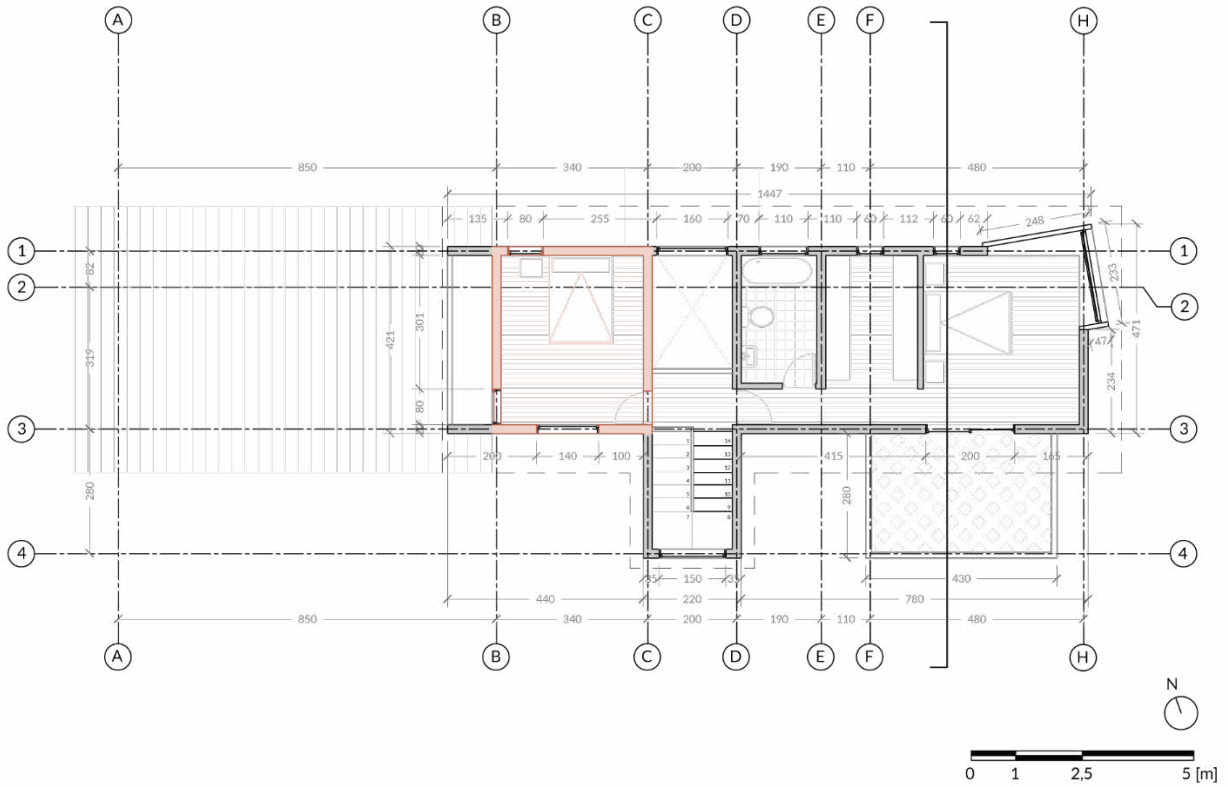
## ANEXO 11

### PLANIMETRÍA VIVIENDA V01.

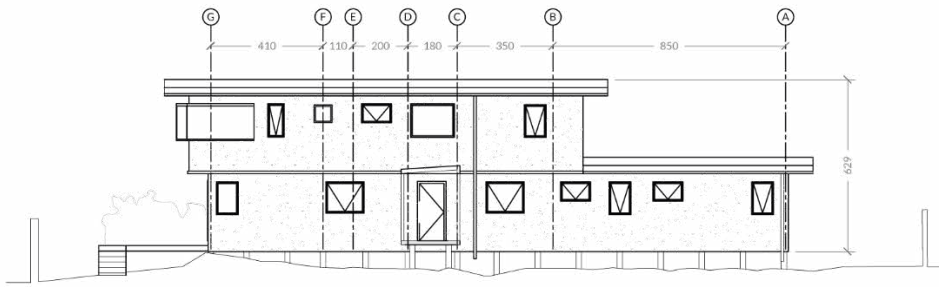
Planta Arquitectura Nivel 1.



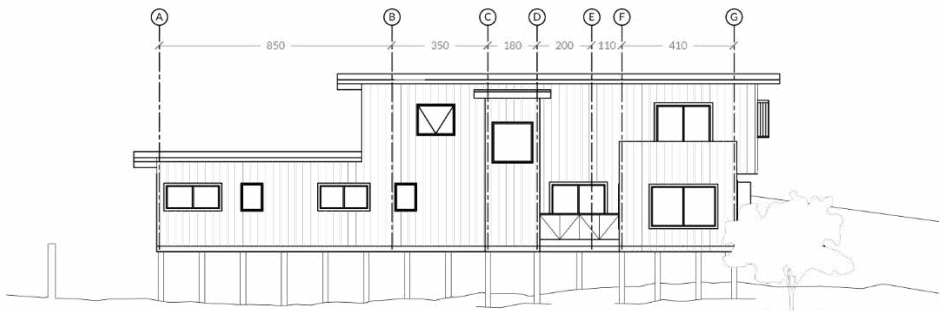
Planta Arquitectura Nivel 2.



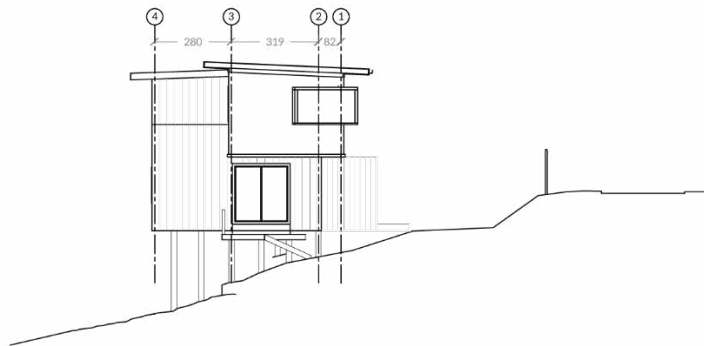
Elevación Norte.



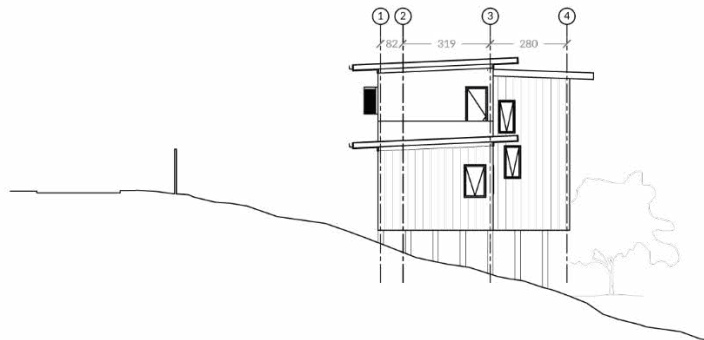
Elevación Sur.



Elevación Oriente.



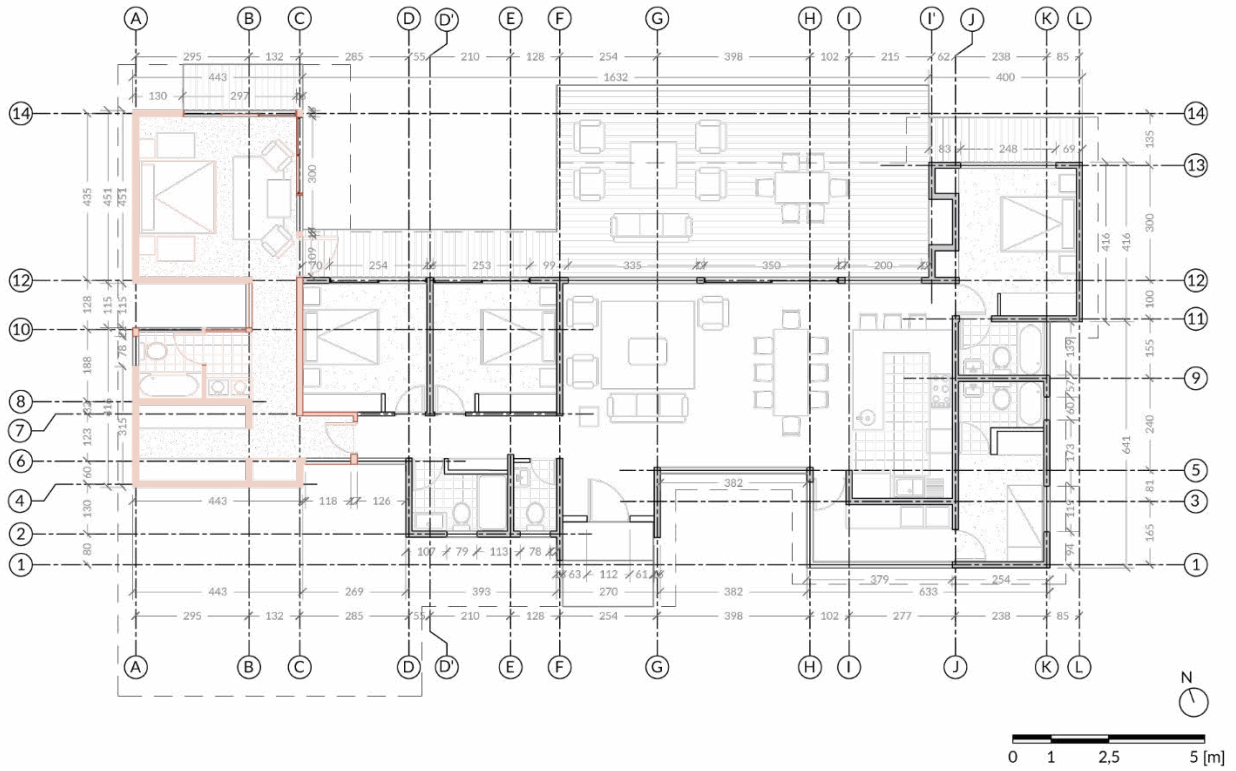
Elevación Poniente



# ANEXO 12

## PLANIMETRÍA VIVIENDA V02

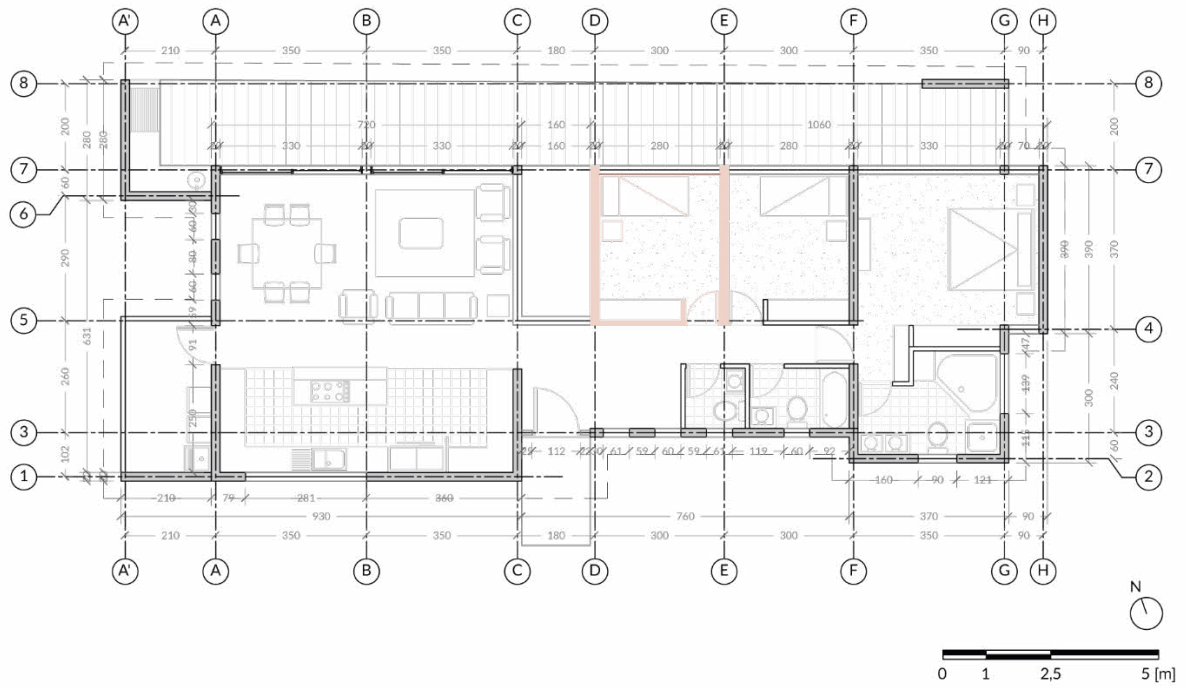
Planta Arquitectura Nivel 1.



# ANEXO 13

## PLANIMETRÍA VIVIENDA V03

Planta Arquitectura Nivel 1.



# ANEXO 14

## PLANIMETRÍA VIVIENDA V04

Planta Arquitectura Nivel 1.

