

LIBERIA

— TIERRA —
MATERIAL CONSTRUCTIVO

Tierra de Libera, Material constructivo

Memoria de exposición



Museo de Guanacaste,
26 de noviembre de 2025

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Memoria de exposición

“Tierra de Liberia, material constructivo”

Proyecto de investigación:

La incidencia del uso de la tierra de la Ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación

Equipo investigador

Escuela de Arquitectura y Urbanismo (CTLSJ):

Coordinación: Arq. Dominique Chang Albizurez

March. Enmanuel Salazar Ceciliano

Dra. Arq. Rosa Elena Malavassi Aguilar

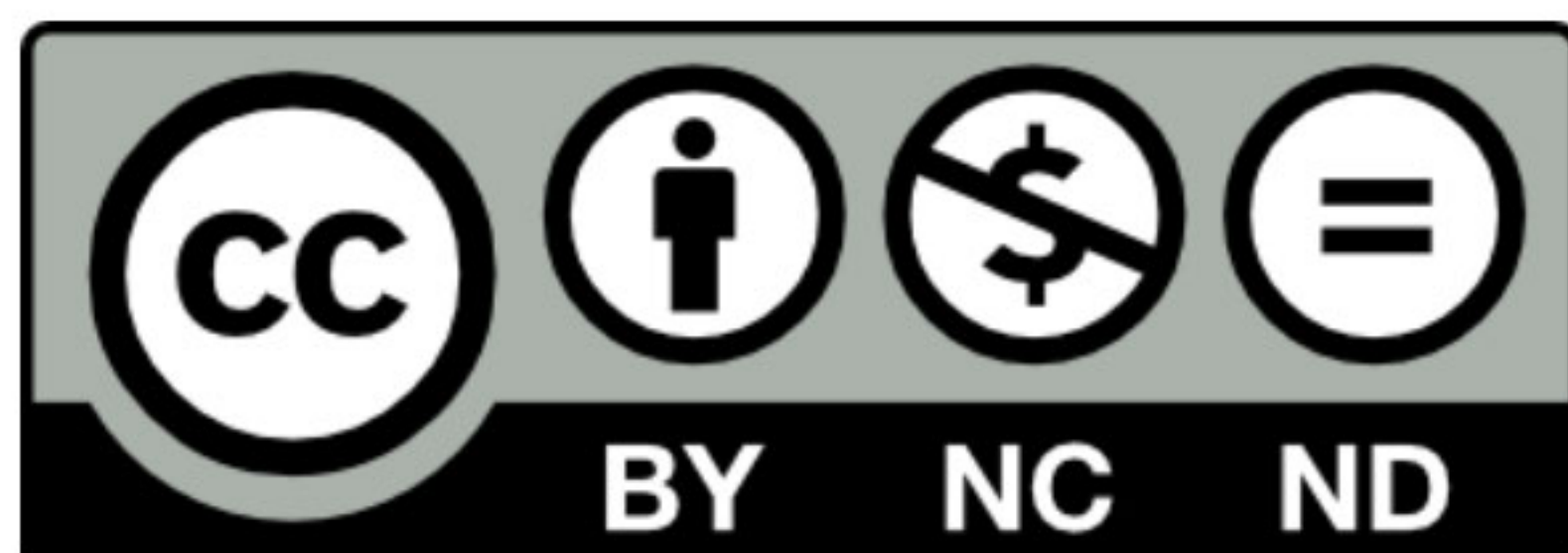
Escuela de Agronomía (CTLSC):

Dr. Edwin Esquivel Segura

Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales (CTCC):

M.Sc. Adrián Quesada Martínez

Liberia, diciembre 2025



Resumen

La exposición "Tierra de Liberia como material constructivo" presenta los hallazgos clave de un proyecto de investigación "La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación" del Instituto Tecnológico de Costa Rica que analizó, las propiedades físico, químicas y térmicas del bahareque tradicional de Liberia. Este sistema constructivo, emblemático de la "ciudad blanca", fue caracterizado para comprender su contribución al confort interior en el clima cálido y estacional de Guanacaste.

La investigación, realizada en colaboración con la comunidad local, partió de un vacío de conocimiento: no existían datos específicos sobre la tierra y las técnicas constructivas de la región. Mediante el análisis de muestras de inmuebles tradicionales y patrimoniales, como la Casa de la Cultura, se comprobó que el bahareque liberiano posee características únicas que favorecen la ligereza, el aislamiento térmico y la alcalinidad. Un descubrimiento fundamental fue su comportamiento higroscópico: las paredes "transpiran", regulando la humedad interior y mejorando el confort en épocas secas.

Las simulaciones realizadas confirmaron la alta inercia térmica de estos muros, que estabilizan las temperaturas internas. Sin embargo, también revelaron que, en los meses más cálidos, es indispensable complementar este sistema con estrategias de ventilación natural, validando la función bioclimática de elementos tradicionales como la "puerta del sol".

Este proyecto revaloriza la arquitectura de tierra vernácula, brindando soporte científico a los saberes tradicionales y proporcionando datos esenciales para tomar decisiones de restauración y conservación que equilibren su valor patrimonial con un desempeño energético óptimo frente al cambio climático.

La exposición, que incluyó un conversatorio con especialistas y actores locales, estuvo abierta al público en la Biblioteca Pública de Liberia "Lic. Francisco Mayorga Rivas", del 27 de noviembre al 15 de diciembre de 2025, como parte del compromiso de la universidad pública de devolver el conocimiento a la sociedad.

Palabras clave

Arquitectura de tierra, bahareque, patrimonio cultural, comportamiento térmico,

Abstract

The exhibition "Liberian Earth as a Building Material" presents the key findings of the research project "The impact of using earth from the city of Liberia as a building material on the hygrothermal performance of interior spaces through simulation techniques" by the Costa Rica Institute of Technology. This project analyzed the physical, chemical, and thermal properties of Liberia's traditional bahareque construction system.

This building technique, emblematic of the "white city," was characterized to understand its contribution to indoor comfort in Guanacaste's hot and seasonal climate.

The research, conducted in collaboration with the local community, addressed a knowledge gap, no specific data existed on the region's earth and construction techniques. By analyzing samples from traditional and heritage buildings, such as the Casa de la Cultura, it was confirmed that Liberian bahareque possesses unique characteristics that favor lightness, thermal insulation, and alkalinity. A fundamental discovery was its hygroscopic behavior: the walls "breathe," regulating indoor humidity and improving comfort during dry seasons.

The simulations confirmed the high thermal inertia of these walls, which stabilizes indoor temperatures. However, they also revealed that during the hottest months, it is essential to complement this system with natural ventilation strategies, thereby validating the bioclimatic function of traditional elements such as the "puerta del sol" (sun door).

This project revalues vernacular earthen architecture by providing scientific support to traditional knowledge and essential data to inform restoration and conservation decisions that balance cultural heritage value with optimal energy performance in the context of climate change.

The exhibition, which included a panel discussion with specialists and local stakeholders, was open to the public at the "Lic. Francisco Mayorga Rivas" Public Library in Liberia from November 27 to December 15, 2025. This event was part of the public university's commitment to returning knowledge to society.

Keywords

Earthen architecture, bahareque, thermal performance, cultural heritage, building simulation, Climate adaptation.

Contenido

Resumen/Abstract	03
Tierra de Liberia, material constructivo	06
Relación clima y arquitectura.....	07
La arquitectura en Tierra de Liberia	08
Características particulares de la tierra de Liberia.....	09
Simulaciones realizadas en softwares de análisis climático.....	10
Conclusiones	11

Tierra de Liberia

Material constructivo

Esta exposición comparte los principales resultados del proyecto de investigación denominado "La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación", del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Abreviadamente lo denominamos "Liberia, tierra como material constructivo", y fue desarrollado durante el 2024-2025.

La investigación se deriva del proyecto de extensión sobre el Centro Histórico de Liberia en ambos proyectos se trabajó de manera conjunta con la Asociación para la Cultura de Liberia y la Municipalidad de Liberia.

El equipo investigador está coordinado por la Escuela de Arquitectura y Urbanismo del Campus Tecnológico local de San José, con la participación de la Escuela de Agronomía del Campus Tecnológico Local de San Carlos y el Laboratorio de Análisis Agronómicos; y la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del Campus Tecnológico Central de Cartago y el Centro de Investigación y Extensión de Materiales (CIEMTEC).

LIBERIA
— TIERRA —
MATERIAL CONSTRUCTIVO



TEC | Tecnológico de Costa Rica



Relación clima y arquitectura

1. Temperatura: Calor Persistente

El calor se intensifica rápidamente a partir de las 9:00 a.m. y se disipa lentamente, extendiéndose hasta aproximadamente las 7:00 p.m.

2. Humedad: Aire Húmedo y Sensación de Bochorno

La humedad relativa es alta y constante. La combinación de altas temperaturas con esta humedad excesiva limita la evaporación del sudor, creando una sensación de "bochorno".

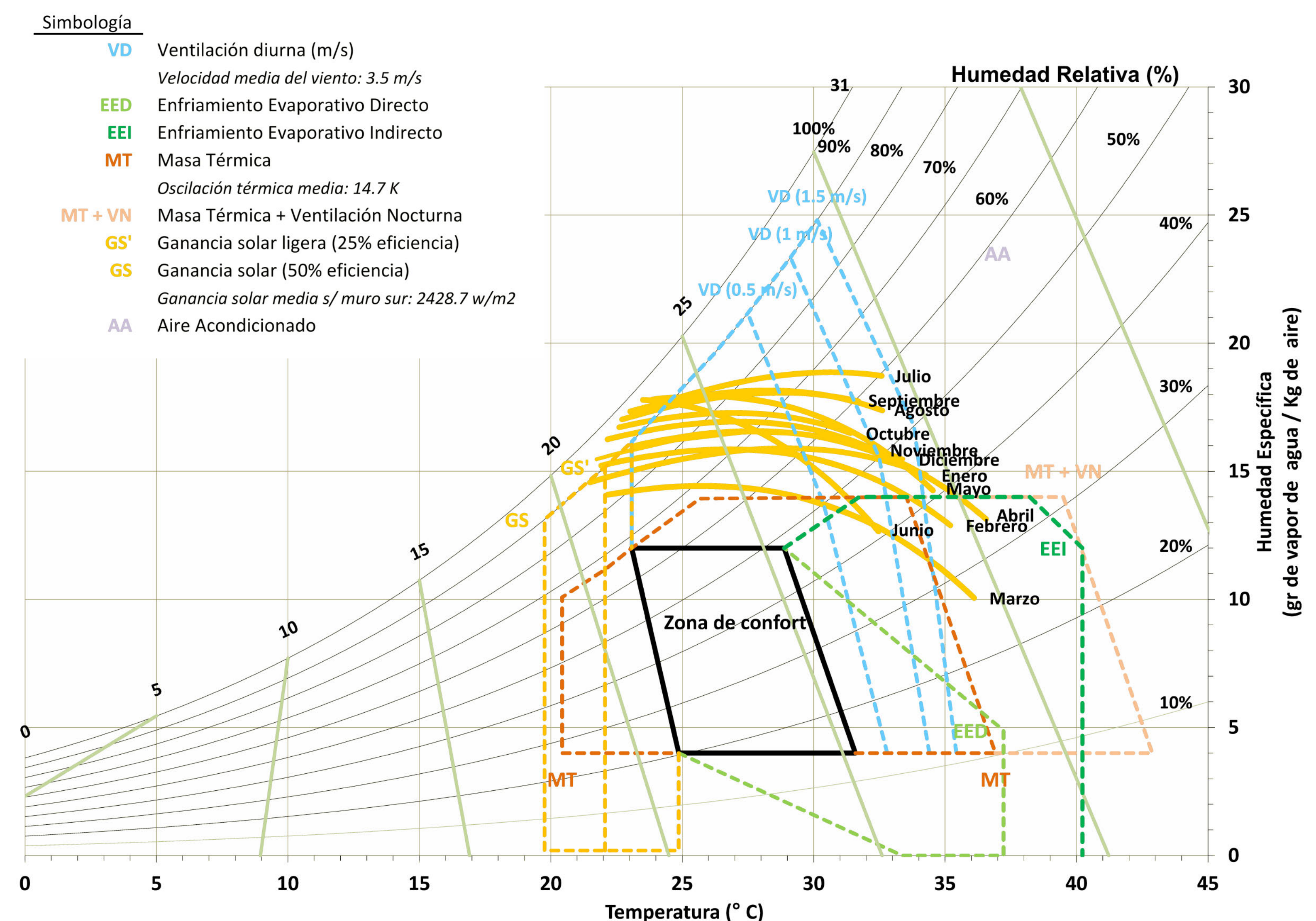
3. Precipitación: Estacionalidad Marcada

El patrón de lluvia define un clima estacional con una temporada lluviosa de mayo a noviembre (siendo septiembre y octubre los más críticos) y una seca de diciembre a abril.

4. Viento: Un recurso vital

Los vientos alisios del noreste son persistentes durante todo el año. Si bien su intensidad es mayor y más constante en la estación seca (diciembre a abril), esta se reduce durante la lluviosa.

Mediante la carta bioclimática se interpreta cómo reacciona el cuerpo humano a las condiciones de temperatura y humedad. También permite analizar los intercambios térmicos interior-externo de los inmuebles, que dependen del material constructivo, y cómo aprovechar la ventilación natural para generar condiciones de confort.



Análisis Psicométrico

Esta herramienta, conocida como carta psicrométrica, se utiliza para representar la temperatura y la humedad del aire. Distintos expertos la han empleado desde mediados del siglo pasado para comprender la relación del cuerpo humano con su entorno. En este caso, se observa que las líneas amarillas, que representan los meses del año, se sitúan fuera de la zona de confort y dentro de los polígonos celestes. Esto indica la necesidad de ventilar los espacios para que sean habitables.

La arquitectura en tierra de Liberia

La arquitectura de tierra es una tradición milenaria y sostenible, cuyas técnicas y formas varían en cada región. Las paredes de tierra poseen una alta inercia térmica, lo que hace que el calor ingrese lentamente al interior, manteniendo los espacios más frescos durante el día. Además, las paredes de tierra transpiran, lo que ayuda a regular la humedad del aire.

La arquitectura en tierra de la ciudad de Liberia comprende las edificaciones que emplean tanto adobe como bahareque y tiene características formales y de técnica constructiva que la diferencia de la arquitectura en tierra del Valle central. Predomina el bahareque que utiliza una mezcla de este tipo particular de tierra de un tomo más amarillo, mezclado con fibras

vegetales, estructura de madera, amarres con bejucos, una capa de revoque con fibras vegetales más cortas y una capa final con enlucido con cal, que les da su característico color blanco.



Conocida como "la ciudad blanca", Liberia históricamente tuvo calles de cascajo y casas encaladas todas ellas con arquitectura en tierra. Sin embargo, como en muchas otras regiones, este patrimonio ha ido perdiendo reconocimiento social, a menudo asociado a técnicas consideradas humildes, lo que ha llevado a que las nuevas generaciones pierdan interés en su conocimiento y preservación.

Características particulares de la tierra de Liberia

La tierra (suelo) no es un material de construcción estandarizado, por lo que determinar sus características específicas es fundamental. Toda la arquitectura en tierra de Liberia sigue utilizando un lugar específico de extracción (camino al volcán Rincón de la Vieja), a diferencia del Valle central donde se suele utilizar la tierra del lugar donde se construye.

La tierra de Liberia tiene poco contenido de materia orgánica y buena reflectividad térmica, está dominada por aluminosilicatos de sodio y potasio, típicos de suelos volcánicos o derivados de rocas ígneas/metamórficas.

Los análisis muestran que las muestras de bahareque tienen mayor contenido de arcilla o arena que ayuda a su cohesión y resistencia mecánica, así como sus densidades son mayores debido a la compactación propia de la técnica constructiva. Los contenidos de carbono son mayores porque han sufrido un proceso de estabilización o envejecimiento del material.

Las propiedades térmicas muestran que el bahareque tiene menor conductividad lo que resulta en un mejor aislamiento.

Estos resultados demuestran científicamente que los muros de bahareque de Liberia presentan características que favorecen la ligereza, aislamiento térmico y alcalinidad*.

*La alcalinidad del material indica un pH básico, una característica que ayuda a proteger las construcciones de hongos y insectos, contribuyendo naturalmente a su mayor durabilidad.

Se tomaron muestras de tierra en su estado natural y de las capas exteriores e interiores de las paredes de bahareque de la Casa del Cultura (previo a su restauración) y de una casa particular ubicada en la esquina la avenida 9 y calle 1.

Las muestras se sometieron a una serie de análisis que dieron como resultado las siguientes características:

	Suelo natural				Casa de la Cultura				Casa				
Propiedad físicas													
Color: Se utilizaron las Tablas Munsell (1975) proporciona una clasificación estandarizada del color, permite inferir propiedades como el contenido de materia orgánica y la reflectividad térmica.	Marrón pálido			2,5 Y 7/4 pale brown	Amarillo pálido			5 Y 8/2pale yellow		Marrón pálido		2,5 Y 7/4pale brown	
Textura: Se empleó el método de Bouyoucos (1963) para determinar la proporción de arena, arcilla y limo en las muestras. Este método es reconocido internacionalmente y se utiliza comúnmente en estudios de suelos para construcción, ya que proporciona información para estimar la cohesión y la resistencia mecánica del material.	% arena 49	% arcilla 29,5	% limo 21,5	Textura franco arcillo arenosa	% arena 43,5	% arcilla 32,5	% limo 24	Textura franco arcillo	% arena 53,5	% arcilla 37,5	% limo 9	Textura arcillo arenosa	
Densidad aparente: Se utilizó la metodología del Soil Conservation Service (SCS, 1984) proporciona información sobre la porosidad y la capacidad de retención de agua.	2604.8 kg/m ³				2654.0 kg/m ³				2650.6 kg/m ³				
Retención de agua: Se empleó el método de ollas a presión para medir la capacidad de retención de humedad a diferentes presiones (0.3 bar y 0.15 bar).	% humedad			% humedad			% humedad						
	0,3 bar 16,5		0,15 bar 11,4	0,3 bar 19,5		0,15 bar 10,2	0,3 bar 17,89		0,15 bar 14,25				
Propiedades químicas													
pH Se midió el pH en una relación 1:2.5 (suelo:agua) utilizando la metodología propuesta por el Soil Conservation Service (SCS, 1984) proporciona información sobre la acidez o alcalinidad.	10				10.67				10.32				
Contenido de nitrógeno, carbono y azufre: Se utilizó el método de combustión (Dumas)	% N 0,13	% C 0,23	% S 0,02	% N 0,13	% C 0,74	% S 0,03	% N 0,15	% C 0,56	% S 0,06				
Fluorescencia de rayos x (XRF) identifica que elementos están presentes y en que concentración para determinar la composición de la muestra.	Componente	Porcentaje (%)		Componente	Porcentaje (%)		Componente	Porcentaje (%)		Porcentaje (%)			
	SiO ₂	59.03		SiO ₂	68.15		SiO ₂	62.87		62.87			
	Al ₂ O ₃	16.94		Al ₂ O ₃	13.53		Al ₂ O ₃	11.58		11.58			
	Fe ₂ O ₃	14.80		Fe ₂ O ₃	10.80		Fe ₂ O ₃	12.18		12.18			
	K ₂ O	3.45		K ₂ O	3.82		K ₂ O	7.39		7.39			
	CaO	2.65		CaO	2.14		CaO	3.56		3.56			
	TiO ₂	1.19		TiO ₂	1.01		TiO ₂	1.02		1.02			
	MnO	0.31		MnO	0.22		MnO	0.72		0.72			
ZrO ₂	0.07		ZrO ₂	0.05		ZrO ₂	0.07		0.07				
Difracción de rayos X (XRD): Para determinar la composición química, la estructura cristalina, el tamaño de los cristales, la deformación de redes, la orientación preferida y el espesor de las capas	Mezcla de minerales del grupo de los feldespatos alcalinos, en diferentes proporciones de sodio y potasio. Esto puede estar relacionado con el origen natural de la muestra, posiblemente derivada de suelos con componentes volcánicos o granitoídeos.				Composición dominada por aluminosilicatos de sodio y potasio, del grupo de los feldespatos, compuesta por minerales comunes en suelos volcánicos o sedimentarios alterados.				Composición mineralógica está dominada por aluminosilicatos de sodio y potasio, lo que coincide con la presencia de feldespatos alcalinos. Estos compuestos son característicos de suelos derivados de rocas ígneas o metamórficas, y su presencia sugiere una fuerte componente geológica en el origen de la muestra.				
Propiedades térmicas													
Calor específico se calculó por medio de pruebas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) según la norma ASTM E1269	926 (J/kg·K)				903 (J/kg·K)				836 (J/kg·K)				
Difusividad	3.0×10 ⁻⁷ (m ² /s)				3.0×10 ⁻⁷ (m ² /s)				3.0×10 ⁻⁷ (m ² /s)				
Conductividad térmica, como producto de la difusividad, la densidad y el calor específico	0.7240 (W/m·K)				0.7180 (W/m·K)				0.6640 (W/m·K)				



Muestra de tierra Suelo natural

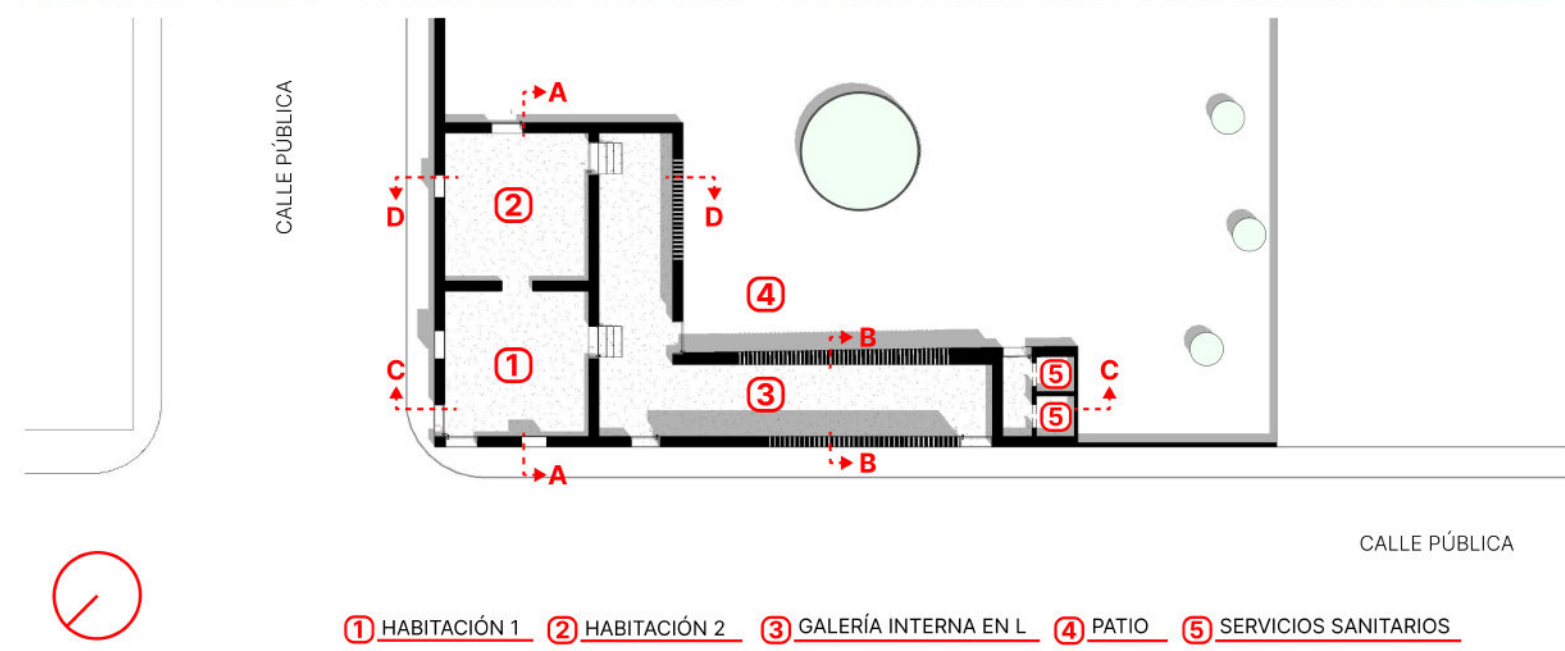


Muestra de tierra Casa de la cultura

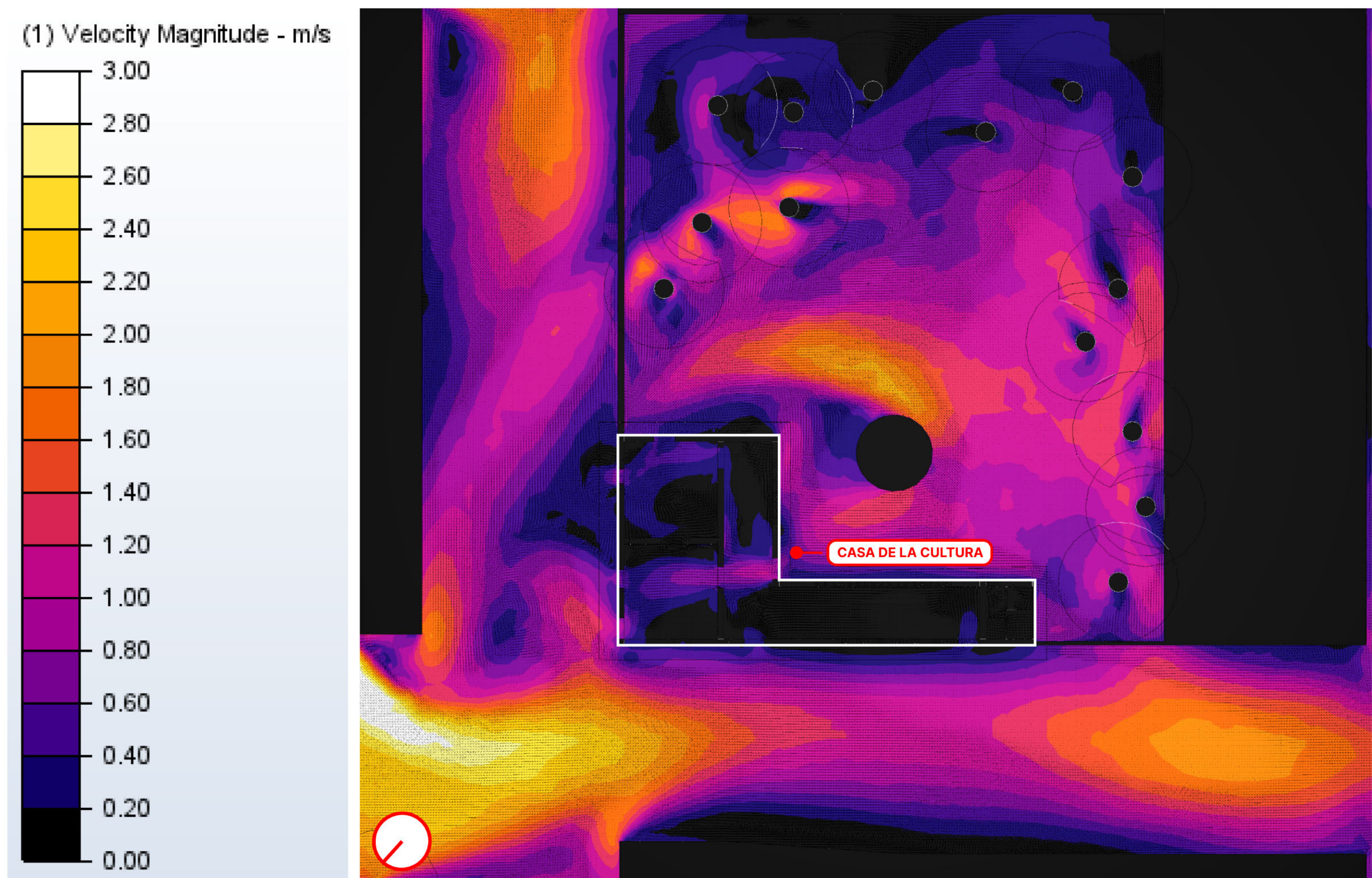


Muestra de tierra Casa Avenida 9 y Calle 1

Simulaciones realizadas con software de análisis climático

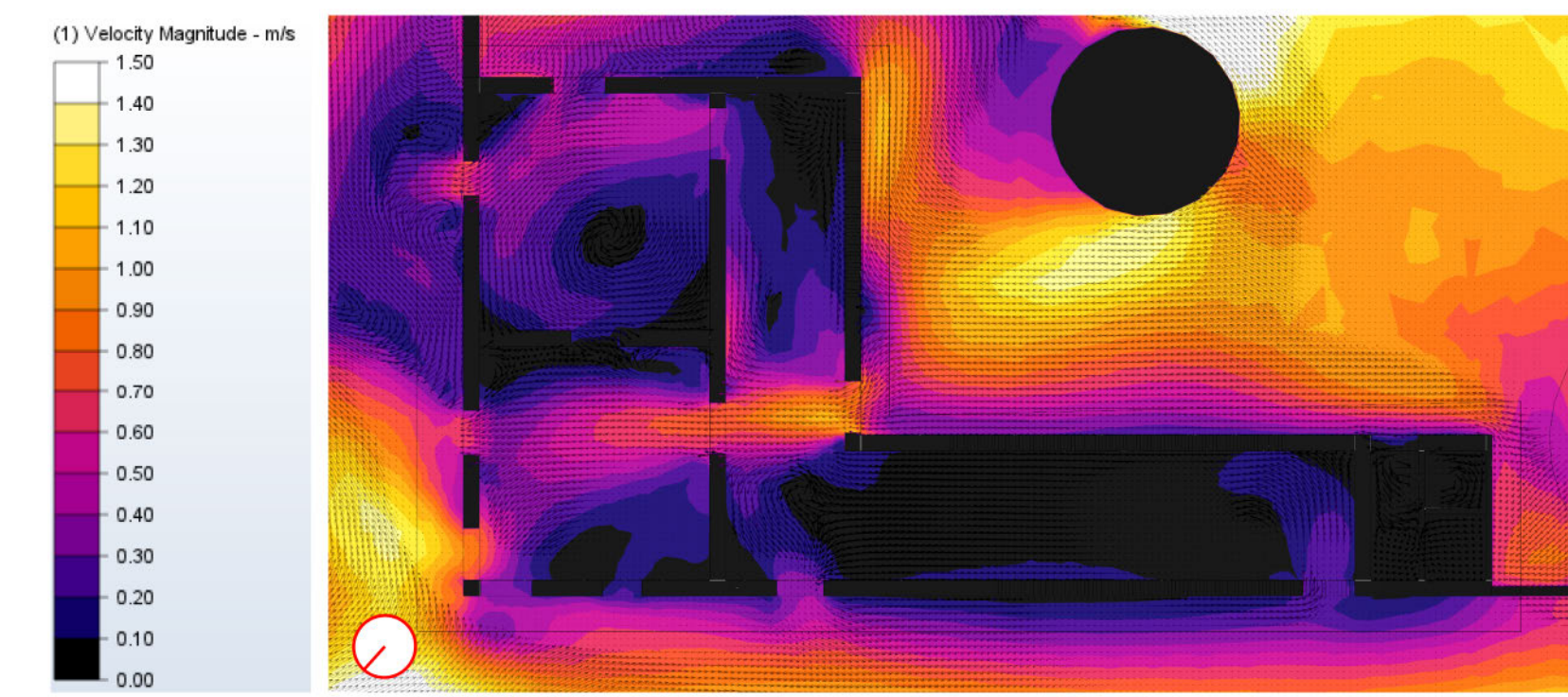


Diversos softwares permiten analizar el comportamiento de variables climáticas como el viento y la temperatura. Para este estudio, se generaron modelos tridimensionales de dos inmuebles patrimoniales: la Casa de la Cultura y la Antigua Gobernación. El levantamiento se realizó con un escáner láser Leica BLK, cuyos datos se procesaron en Cyclone y luego se modelaron en Revit y DesignBuilder. Los modelos priorizan la ubicación de aberturas, espesores de muros, materiales y el entorno inmediato sobre el detalle arquitectónico.

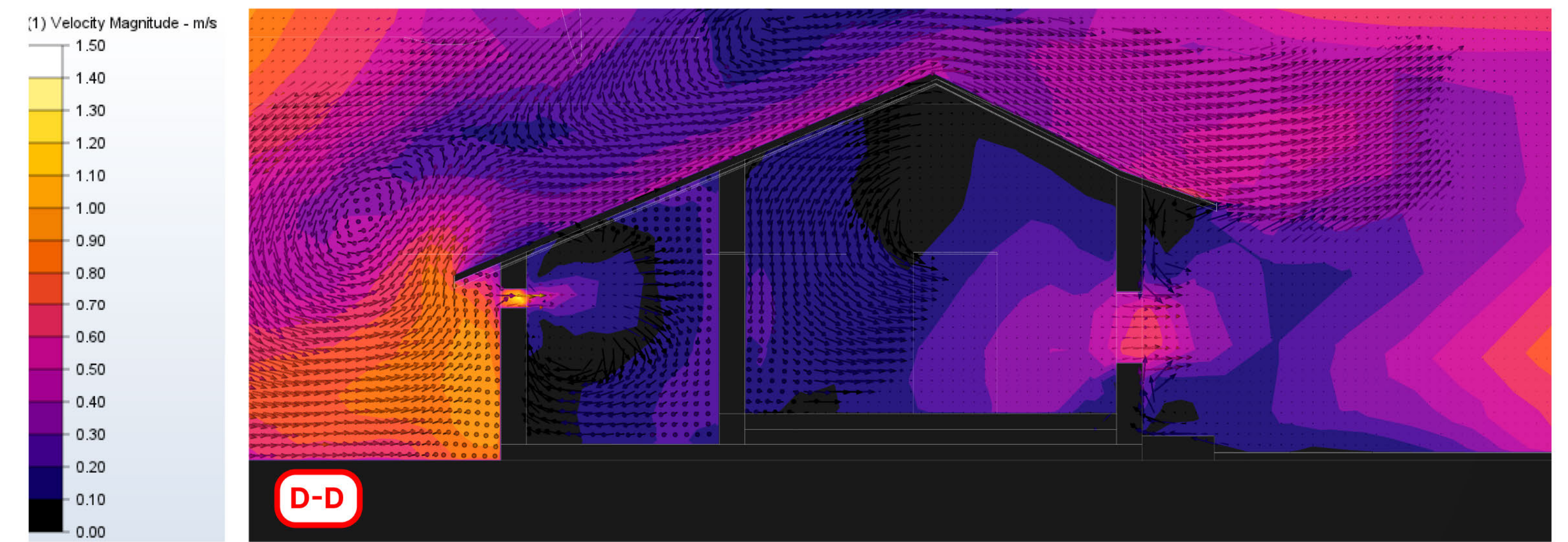


Comportamiento de viento exterior. Se observa que, aunque los vientos dominantes provienen del noreste, los edificios que rodean la Casa de la Cultura actúan como una barrera. Esto limita significativamente la cantidad de aire que logra ingresar a través de las ventanas de esa fachada, a pesar de estar orientadas hacia la dirección del viento.

Para entender cómo interactúa el viento con los edificios, se realizaron simulaciones de dinámica de fluidos (CFD) con Autodesk CFD. Que nos permite identificar, mediante colores y flechas, las zonas de la fachada donde el viento ejerce presión positiva (empujando el aire hacia el interior) y negativa (extrayéndolo hacia el exterior), crucial para determinar la efectividad de la ventilación natural. Las imágenes resultantes, como las de la Casa de la Cultura, muestran con colores y flechas la velocidad y dirección del viento, revelando qué aberturas son realmente funcionales.

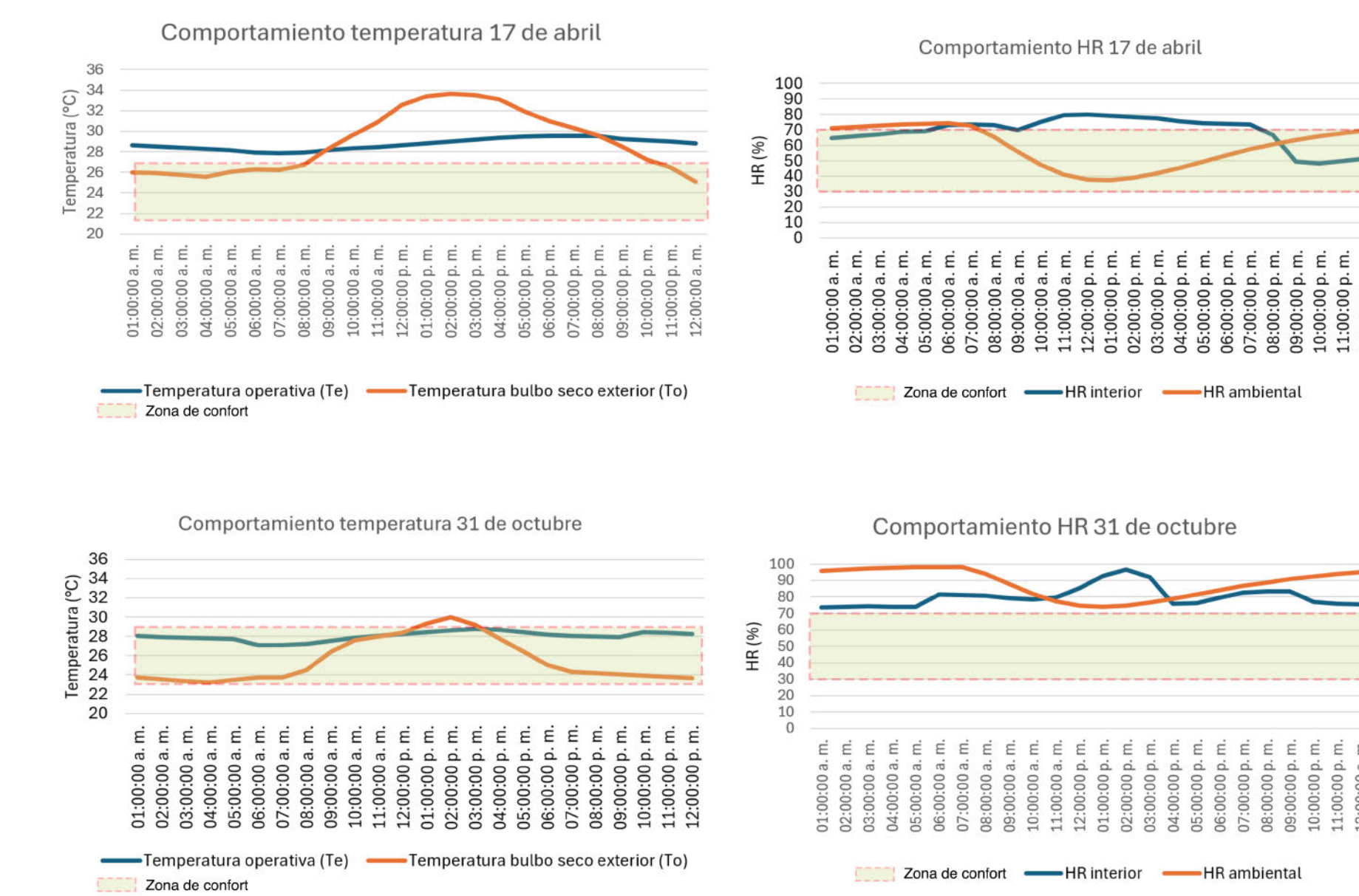


Distribución del viento en el interior. Nos muestra cómo se distribuye el viento dentro de la Casa de la Cultura. Aquí se ve claramente que la ventilación no es uniforme en todas las habitaciones. La escala de colores es clave: las zonas blancas y amarillas indican las áreas con mayor velocidad y flujo de aire, mientras que los tonos morados y negros señalan los espacios donde el aire casi no circula.



Distribución del viento en corte: Este corte confirma que la ventilación es deficiente en las esquinas (zonas azules y moradas), donde el aire se estanca. El flujo que ingresa desde el norte es limitado y se concentra en el centro, sin lograr renovar el aire en todos los espacios.

Paralelamente, el confort higrotérmico (bienestar respecto a temperatura, humedad y ventilación) se simuló en DesignBuilder. Todos los softwares requirieron parámetros climáticos locales y las propiedades específicas de los materiales de tierra del bahareque, datos clave obtenidos en este proyecto para garantizar la precisión de los resultados.



Simulación higrotérmica en Design Builder. Esta imagen compara el comportamiento de la temperatura y humedad dentro de la Casa de la Cultura en abril (temporada seca) y octubre (temporada lluviosa). Los muros de tierra funcionan como un termostato natural, manteniendo una temperatura interior estable y agradable, a pesar de los cambios bruscos en el exterior. En el caso de la humedad relativa, esta aumenta en condiciones de calor, los muros liberan parte de la humedad que absorben. Esto demuestra que la ventilación es clave para eliminar el exceso de humedad y garantizar un ambiente interior confortable.

Conclusiones

Este proyecto llenó un vacío de conocimiento en relación con la arquitectura de tierra, al generar datos físicos, químicos y particularmente térmicos. Si bien son congruentes con otros estudios, estos datos son específicos para la región, lo que permitió validar y contrastar su uso en programas de simulación de confort aplicados a la arquitectura vernácula.

Los resultados demuestran que la configuración urbana, la vegetación y las edificaciones cercanas alteran la ventilación natural de los inmuebles, una situación a menudo obviada en otros estudios.

La investigación brinda soporte técnico-científico a los conocimientos constructivos tradicionales, revalorizando las técnicas vernáculas y motivando su conservación y transmisión a nuevas generaciones.

Un hallazgo clave es el comportamiento higroscópico del bahareque: sus paredes de tierra liberan humedad al interior cuando el exterior está seco y caliente. Esto puede mejorar el confort en climas áridos, pero también supone un reto para la conservación del inmueble.

Las simulaciones confirmaron el excelente desempeño de la alta inercia térmica del bahareque para estabilizar las temperaturas internas. Sin embargo, en los meses más cálidos, el sistema por sí solo es insuficiente para mantener el confort, por lo que son necesarias estrategias complementarias como la ventilación cruzada. Asimismo, se validó la importancia funcional de elementos identitarios como la "puerta del sol" para la ventilación.

En conclusión, evaluar sistemas como el bahareque con tecnologías actuales permite tomar decisiones de conservación y restauración fundamentadas, equi librando de manera óptima su valor cultural y su desempeño bioclimático.

 Liberia, paisajes culturales  /chliberia

LIBERIA

TIERRA

MATERIAL CONSTRUCTIVO

Producción general:

Equipo del proyecto de investigación "La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación" del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Todos los derechos reservados.

Investigadores

Coordinación: Arq. Dominique Chang Albizurez
March. Enmanuel Salazar Ceciliano
Dra. Arq. Rosa Elena Malavassi Aguilar
PhD. Edwin Esquivel Segura
M.Sc. Adrián Quesada Martínez
Ing. Arnoldo Gadea Rivas

Estudiantes asistentes

Marco Barrantes Elizondo
Esteban Quirós Ramírez
Emily Bolaños Araya
Merylin Seas Jiménez
Michelle Parra Cáceres
Saúl Rodríguez Garita
Jesús Molina Zúñiga
Marycarmen Morales Montero
Laurenth Rodríguez Porras

Diseño gráfico

Jesús Molina Zúñiga

Fotografías

Integrantes del equipo del proyecto de investigación "La incidencia del uso de la tierra de la ciudad de Liberia como material constructivo en el desempeño higrotérmico de los espacios internos mediante técnicas de simulación" del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Agradecimientos

Asociación para la Cultura de Liberia
Municipalidad de Liberia
Arq. Bernadette Esquivel
Vicerrectoría de Investigación y Extensión por el financiamiento para desarrollar este proyecto.



TEC | Tecnológico de Costa Rica