

Indigenous self-building and bioclimatic architecture. Quichua-Andino Nationality, Saraguro people. Ilincho-Loja-Ecuador.

Mercedes Torres-Gutiérrez, Msc. Arq.¹, Ramiro Correa-Jaramillo, M. en Arq.²  <https://orcid.org/0000-0002-1278-627>,
, and Angel Chalán-Saca, Arq.³

^{1,2,3}Universidad Técnica Particular de Loja, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Ecuador, racorrea@utpl.edu.ec,
mctorres27@utpl.edu.ec, ahchalan@utpl.edu.ec

ABSTRACT

This study focuses on Ilincho, an indigenous community in Saraguro, Loja, known for its rainy continental climate and comprising approximately 160 families. The aim is to highlight the significance of indigenous housing in rural Andean environments, emphasizing its contribution to sustainable bioclimatic architecture through cultural self-building practices. The methodology included analyzing the territorial context of the community and its indigenous dwellings, documenting the self-building process, and assessing the thermal performance of the housing envelope using specialized software. The findings underscore the value of indigenous empirical knowledge, guided by ancestral experimentation and communal efforts such as the "minga," in creating sustainable structures that are climate-responsive, utilizing natural resources like earth. This approach meets the thermal comfort requirements, employs clean technologies, and adheres to the thermal transmittance standards of the Ecuadorian regulation NHS_NEE.

Keywords: *bioclimatic, indigenous earthen housing, self-building, energy simulation*

Indigenous self-building and bioclimatic architecture. Quichua-Andino Nationality, Saraguro people. Ilincho-Loja-Ecuador.

Autoconstrucción indígena y arquitectura bioclimática. Nacionalidad Quichua-Andino pueblo Saraguro. Ilincho-Loja- Ecuador

Mercedes Torres-Gutiérrez, Msc. Arq.¹, Ramiro Correa-Jaramillo, M. en Arq.²  <https://orcid.org/0000-0002-1278-627>,
, and Angel Chalán-Saca, Arq.³

^{1,2,3}Universidad Técnica Particular de Loja, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Ecuador, racorrea@utpl.edu.ec,
mctorres27@utpl.edu.ec, ahchalan@utpl.edu.ec

RESUMEN

Este estudio se centra en Ilincho, una comunidad indígena en Saraguro, Loja, conocida por su clima continental lluvioso y aproximadamente 160 familias. Su objetivo es resaltar la importancia de la vivienda indígena en entornos rurales andinos, enfatizando su contribución a la arquitectura bioclimática sostenible a través de prácticas culturales de autoconstrucción. La metodología incluyó el análisis del contexto territorial de la comunidad y sus viviendas indígenas, documentando el proceso de autoconstrucción y evaluando el rendimiento térmico de la envolvente de la vivienda usando software especializado. Los hallazgos subrayan el valor del conocimiento empírico indígena, guiado por la experimentación ancestral y esfuerzos comunitarios como la "minga", en crear estructuras sostenibles, responsivas al clima, utilizando recursos naturales como la tierra. Este enfoque cumple con los requisitos de confort térmico, emplea tecnologías limpias y se adhiere a los estándares de transmitancia térmica de la normativa ecuatoriana NHS_NEE.

ABSTRACT

This study focuses on Ilincho, an indigenous community in Saraguro, Loja, known for its rainy continental climate and comprising approximately 160 families. The aim is to highlight the significance of indigenous housing in rural Andean environments, emphasizing its contribution to sustainable bioclimatic architecture through cultural self-building practices. The methodology included analyzing the territorial context of the community and its indigenous dwellings, documenting the self-building process, and assessing the thermal performance of the housing envelope using specialized software. The findings underscore the value of indigenous empirical knowledge, guided by ancestral experimentation and communal efforts such as the "minga," in creating sustainable structures that are climate-responsive, utilizing natural resources like earth. This approach meets the thermal comfort requirements, employs clean technologies, and adheres to the thermal transmittance standards of the Ecuadorian regulation NHS_NEE.

Keywords: bioclimatic, indigenous earthen housing, self-building, energy simulation

I. INTRODUCCIÓN

Las sociedades enfrentan crecientes eventos adversos por el cambio climático, atribuido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se han incrementado notablemente en las últimas décadas. Estas emisiones provienen principalmente de cinco sectores económicos: suministro de energía (34%), industria (24%), agricultura, silvicultura y otros cambios en el uso del suelo (22%), transporte (15%), y el uso energético en edificaciones (6%) hasta 2019 [1]. Además, se reconoce un aumento en la contribución de las divisiones de industria y construcción al consumo final [2]. Específicamente, el sector de la construcción marcó un récord en 2019, con emisiones de 10 gigatoneladas de CO₂ vinculadas a su consumo energético, representando un tercio de las emisiones globales de CO₂ [3][4].

En Ecuador, el sector energético lidera las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), representando el 46,63%, mientras que los procesos industriales ocupan el cuarto lugar con un 5,67%. Para 2012, se identificaron como principales fuentes de GEI las emisiones de CO₂ provenientes de fuentes fijas de la industria manufacturera y la construcción dentro del sector energético, y en el sector de procesos industriales, las emisiones derivadas de la producción de cemento [5].

La fabricación de materiales como acero, cemento y hormigón se caracteriza por ser un proceso altamente energético y con intensivas emisiones [2].

Los materiales de construcción tienen un impacto significativo en las emisiones de CO₂, principalmente por el consumo de energía en su fabricación y transporte, lo cual también incrementa las emisiones de GEI [6]. En este contexto, Ecuador se propuso reducir las emisiones de GEI en un 9% en los sectores de energía, industria, residuos y agricultura para el período 2020-2025 [7]. Sin embargo, estas medidas no

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

incluyen de manera explícita al sector de la construcción y edificaciones, situación que refleja una problemática común en Latinoamérica, región que se encuentra rezagada en implementar acciones para reducir la demanda energética en edificios [3].

Por tanto, es crucial adoptar medidas sostenibles para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores y subsectores involucrados. Para que estas medidas sean efectivas, deben fundamentarse en una diversidad de valores, opiniones y conocimientos, incluyendo los científicos, indígenas y locales [8], abordando soluciones desde una perspectiva social.

Entre las estrategias para reducir los GEI se incluye la planificación integrada de edificaciones desde su diseño, empleando principios bioclimáticos y estrategias pasivas, así como la elección de materiales sostenibles ambientalmente. Estas medidas pueden contribuir a un ahorro energético y a la reducción de emisiones de CO₂ de hasta un 30% [9], fomentando la descarbonización de la producción de materiales de construcción y, por lo tanto, disminuyendo la huella de carbono en el sector constructor [8].

En la adaptación y mitigación del cambio climático, la arquitectura sostenible y bioclimática cobra relevancia. Las estrategias de diseño bioclimático, consideradas entre los enfoques más prometedores para la mejora de la eficiencia energética, se destacan por su adaptación a las condiciones climáticas locales y el uso de estrategias pasivas [10][11].

Factores como la orientación del edificio, la dinámica del viento, las aberturas y la compacidad de los edificios, así como los materiales de sus envolventes, son esenciales en la arquitectura bioclimática para asegurar el confort térmico, reduciendo así las necesidades de calefacción y refrigeración [10][11]. Esto subraya la importancia de considerar el ahorro de energía no solo durante la etapa de uso del edificio, sino desde las fases iniciales de diseño, donde las decisiones impactan significativamente, incluyendo la elección de sistemas constructivos ambientalmente adecuados [12].

La arquitectura vernácula, a menudo descrita como "anónima", indígena o rural, se reconoce por su efectividad en resolver problemas prácticos de manera eficiente, donde sus formas y materiales se consideran eternamente apropiados [13]. Esta arquitectura se destaca como un modelo de sostenibilidad, siendo desde tiempos antiguos un pilar clave para el diseño bioclimático debido a su incorporación de estrategias pasivas y el uso de materiales con baja o nula demanda energética. Los recursos renovables son fundamentales en los diseños bioclimáticos [14]. Estudios sobre el tema indican que los edificios vernáculos, mediante técnicas pasivas, pueden alcanzar condiciones de confort superiores a las de construcciones contemporáneas, además de

presentar una menor energía incorporada [15][16][17][18], lo que sugiere un "diseño bioclimático personalizado basado en lecciones de la arquitectura vernácula" [19].

La presente investigación contribuye a la reflexión sobre el comportamiento de materiales tradicionales y el cálculo de su comportamiento en el índice final de transmitancia térmica, como un primer paso para estructurar convergencias a una arquitectura trascendente, persiguiendo poner en perspectiva la importancia de la vivienda vernácula-indígena con énfasis en la auto resolución constructiva- espacial, cultural- local y sus aportes desde lo local a la arquitectura bioclimática.

II. METODOLOGÍA

Se aplicó un enfoque experimental, descriptivo y analítico para estudiar el contexto territorial y las viviendas indígenas Saraguro construidas con el método de "bahareque". Inicialmente, se documentó el proceso de autoconstrucción de estas viviendas, centrándose en su sistema constructivo, materiales y conocimientos ancestrales. Esto se logró mediante la participación directa de uno de los investigadores en el proceso de construcción, la realización de entrevistas semiestructuradas a los involucrados, y la elaboración de resúmenes y registros fotográficos. Posteriormente, se seleccionó una vivienda representativa para un estudio de caso, caracterizando su estructura constructiva mediante modelado en BIM (Building Information Modeling). Esto permitió calcular el valor U o transmitancia térmica de los elementos constructivos de la envolvente utilizando el método para capas homogéneas [20], mediante el software de simulación Ecodesigner [13][14], validado por ASHRAE 90.1 2004 y ajustado a condiciones ambientales reales.

Finalmente se analizó el comportamiento térmico de la vivienda a partir del valor de transmitancia térmica de los componentes que conforman su envolvente determinando si cumple o no las exigencias de la normativa ecuatoriana [5] aplicada a la zona climática correspondiente.

III. DESARROLLO

A. Comunidad Ilincho y la vivienda indígena saraguro

Ilincho es una comunidad indígena Quichua-Andina del pueblo Saraguro, situada a 2.700 metros sobre el nivel del mar, en el cantón Saraguro, provincia de Loja, al sur de Ecuador. Esta comunidad se caracteriza por estar inmersa en la cordillera de los Andes, cuya configuración montañosa define el clima y modela la estructura de los asentamientos humanos, influenciando sus prácticas culturales, modos de vida y producción. Alberga a 160 familias que residen en viviendas construidas principalmente con tierra y materiales contemporáneos, presentando una morfología rural distintiva con casas alineadas a lo largo de los caminos y distribución

dispersa, destacándose por las extensas parcelas de terreno heredadas.

B. Autoconstrucción y saberes ancestrales

La arquitectura vernácula de Ilincho refleja las tradiciones constructivas de los "Saraguros", destacándose por su integración con la naturaleza y el uso sostenible de recursos locales en la edificación. Este enfoque simboliza la profunda relación entre la comunidad y la Pachamama (naturaleza), priorizando materiales nativos en sus construcciones. La propiedad de la tierra, según la sabiduría ancestral, se ha transmitido y cultivado de generación en generación, fomentando una convivencia armónica con el entorno.

La autoconstrucción comunitaria es esencial para el bienestar colectivo, empleando técnicas como el bahareque. Este método utiliza estructuras de postes de madera instalados directamente en el suelo, con espacios rellenos con materiales tejidos como madera, paja y carrizo, finalizando con un recubrimiento de barro [21], evidenciando una práctica de construcción que valora tanto la tradición como la sostenibilidad ambiental.

C. Sistema constructivo y materiales

Este proceso detallado refleja la profunda conexión entre la comunidad de Ilincho y sus prácticas constructivas, enraizadas en la sabiduría ancestral y en un profundo respeto por la naturaleza. La elección del período postcosecha del maíz para la construcción, y la colaboración comunitaria en la "minga"¹ para la preparación del terreno y la cimentación, ilustran cómo las prácticas culturales y las tradiciones locales se integran armoniosamente con el entorno natural. La técnica de bahareque empleada, que combina materiales naturales con una estructura de madera y revestimiento de barro, no solo es un testimonio de la sostenibilidad, sino también de la adaptabilidad de estas construcciones a las condiciones climáticas y geográficas de la región. La involucración del Taita Sulu, o maestro albañil, y el uso de medidas tradicionales como la "vara" y el "jeme" durante la planificación y construcción, subrayan la transmisión de conocimientos de generación en generación, asegurando la preservación de estas prácticas constructivas únicas. Este enfoque equilibrado y respetuoso hacia la construcción no solo promueve la sostenibilidad ambiental, sino que también fomenta la cohesión comunitaria y la continuidad cultural.

La estructura central del bahareque, reforzada con un recubrimiento de barro, es esencialmente de madera e incluye parantes esquineros y menores. Si la distancia entre los parantes menores excede los 40 cm, se realiza la "aguichicuna" para reducir esta separación. La estructura se estabiliza mediante pilares horizontales que unen la estructura

vertical de las paredes, ubicados tanto en la parte superior como intermedia. Los pilares de corredor, con una forma natural redonda o cuadrada y un diámetro aproximado de 20 x 25 cm, junto con los horcones –parantes en forma de Y que sostienen el cumbreiro de la edificación y las cargas de la cubierta–, tienen una altura sobre las paredes intermedias de la vivienda de aproximadamente 0.90 a 1.20 metros. La solera, que cierra el perímetro superior y tiene una sección cuadrada de 12 cm x 20 cm, soporta el peso de la cubierta y distribuye la carga a los parantes menores esquineros y al pilar de corredor, garantizando la estabilidad y resistencia de la estructura.

Para concluir el proceso constructivo del bahareque, se lleva a cabo la "chacllana", que consiste en adherir "chinchas" (superficies entretejidas de madera, paja, carrizo, etc.) a la estructura de madera, tanto en el exterior como en el interior. Para el amarre de estas superficies, se utiliza bejuco o chilpe de penco, asegurando la "chaclla" a ambos lados de la estructura a una distancia horizontal de 10 a 15 cm alrededor del contorno de la vivienda. Este paso prepara las paredes para el "huasi llutana" o embarre, que es la aplicación del revestimiento de barro sobre el chacllado, proporcionando una capa protectora y de aislamiento térmico a la estructura. Este proceso no solo mejora las propiedades estructurales y térmicas de la vivienda, sino que también conserva las técnicas constructivas tradicionales, reflejando el respeto por los materiales naturales y la sabiduría ancestral en la construcción.

La preparación del barro para el proceso de embarre comienza con la limpieza del terreno, eliminando hierbas no deseadas y tallos de maíz. Posteriormente, se cava el suelo con picos y lampas, añadiendo agua de vertientes locales para suavizar la tierra. Este suelo es luego batido con ayuda de una yunta de toros, y tras tres días, se repite el proceso, esta vez mezclando la tierra con paja hasta lograr una mezcla homogénea. El barro resultante se aplica en las paredes exteriores e interiores con la colaboración de todos los miembros de la comunidad, dejando secar por aproximadamente 15 días. Luego, se organiza otra minga para el entejado de la casa, utilizando tejas fabricadas de arcilla cocida, dentro de la misma comunidad. En la construcción vernácula de bahareque, todos los materiales son naturales y se obtienen de los alrededores o de los cerros mediante mingas, incluyendo maderas como llashipa, duco, sarar, romerillo, canelo, jalo quiquis, sacha capulí, además del bejuco y la chinchas, reflejando el compromiso de la comunidad con prácticas sostenibles y el respeto por los recursos locales.



¹ tradición indígena de trabajo comunitario o colectivo



Fig. 1 Sistema constructivo de vivienda en bahareque- Ilincho

D. Participación, cosmovisión y rituales

La "minga" representa una práctica de trabajo colectivo arraigada en la comunidad, que involucra la participación de todos sus miembros. Tradicionalmente, los futuros propietarios de la vivienda invitan personalmente a familiares y amigos, estableciendo un compromiso firme y respetado. Este trabajo colectivo es esencial en diferentes etapas de la construcción de viviendas, desde la preparación del suelo y el terraplén hasta el embarre y, finalmente, el entejado. Cada minga culmina al atardecer con rituales y ceremonias tradicionales de la cultura andina Saraguro, fortaleciendo los lazos comunitarios y preservando las costumbres ancestrales. Los futuros esposos, como principales interesados, se acercan al "Taita Sulu", maestro albañil con profundo conocimiento práctico en construcción, ofreciéndole un "pinchi" u ofrenda. Esto simboliza el compromiso del "Taita Sulu" para liderar la construcción con un espíritu de compromiso y humildad, destacando la importancia de la colaboración y el respeto mutuo en este proceso constructivo tradicional.

La selección y uso adecuado de materiales es una competencia clave del Taita Sulu, quien posee una vasta experiencia en este ámbito. La madera, por ejemplo, se corta durante la "luna buena" y exclusivamente en las tardes, una práctica que previene su deterioro prematuro. Esta sabiduría extendida también comprende un profundo entendimiento de las condiciones climáticas, la trayectoria solar y los patrones de viento. Por esta razón, las viviendas son diseñadas con su eje longitudinal orientado de norte a sur, posicionando la fachada principal hacia el oeste para esquivar los vientos predominantes de esa dirección.

Una vez determinada la ubicación adecuada, se procede con la construcción de la vivienda. Según la tradición y el conocimiento de los mayores, este proceso puede completarse en tan solo tres semanas gracias al esfuerzo colectivo y la organización de mingas. Este enfoque colectivo no solo acelera el proceso de construcción, sino que también fortalece los lazos comunitarios y asegura que las prácticas y técnicas ancestrales se transmitan y conserven dentro de la comunidad.

La cosmovisión andina, especialmente en el pueblo Saraguro, se centra en el equilibrio y la armonía entre tres planos existenciales: el "hana pacha" (mundo de arriba), el "kay pacha" (mundo de aquí), y el "uku pacha" (mundo de adentro). Esta perspectiva cósmica influye profundamente en todos los aspectos de la vida, incluyendo las prácticas de construcción

de las viviendas indígenas Saraguro (VIS). Este enfoque integral considera no solo la relación con el entorno natural y el universo, sino también la interconexión entre el ser humano y el cosmos, reflejándose en cómo se planifica y construye el hábitat humano. La orientación de las viviendas, la selección de materiales y el proceso constructivo en sí, son todos elementos que se alinean con esta visión del mundo, buscando el equilibrio entre el hombre, la naturaleza y el cosmos, lo cual es fundamental para entender la arquitectura y las prácticas constructivas del pueblo Saraguro.

Al concluir la etapa de embarre en la construcción de la vivienda Saraguro, se lleva a cabo un ritual de purificación en honor a la Pachamama (madre tierra), liderado por el "Taita Sulu" y los propietarios, reflejando la conexión espiritual con el entorno natural. Además, el ritual de "Huaracuna", donde se "cuelga" simbólicamente al dueño de la casa como prueba de la solidez de la construcción, demuestra el sentido comunitario y la importancia de asegurar la durabilidad de la vivienda. La "Huasipichana" marca el fin de la construcción y la bienvenida a la nueva morada con una limpieza simbólica, acompañada de música tradicional Saraguro, la "chaspisca", y la oferta de alimentos, celebrando la culminación del proyecto y el inicio de una nueva etapa en la vivienda, siempre en armonía con las creencias y valores culturales del pueblo Saraguro.



Fig. 2 Ceremonias y comunidad en la construcción de vivienda en bahareque- Ilincho

E. Vivienda tradicional indígena en tierra

En la comunidad de Ilincho, la observación de campo reveló la presencia de 158 edificaciones. Según los conocimientos compartidos por los ancianos de la comunidad, las primeras viviendas se construyeron utilizando la técnica de bahareque, un sistema constructivo tradicional y el más prevalente dentro de los métodos identificados en la comunidad. Este enfoque de autoconstrucción refleja no solo la adaptabilidad y sustentabilidad de las prácticas constructivas locales, sino también la transmisión de saberes ancestrales que continúan definiendo la identidad arquitectónica de Ilincho.

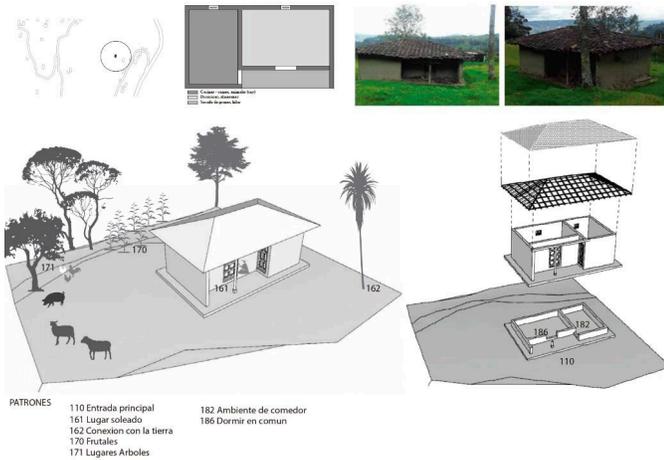


Fig. 3 Tipología de viviendas indígenas en tierra- bahareque

F. Simulación por ordenador Archicad 26

Modelado BIM de la vivienda tradicional

En este proceso de modelado de la vivienda tradicional seleccionada tipológicamente, se procedió a levantar la geometría de construcción en bahareque con todos sus elementos representativos de la construcción.

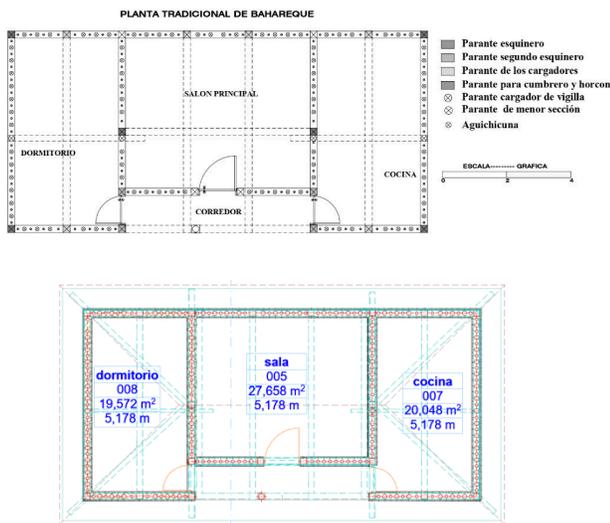


Fig. 4 Vivienda tipología C: planta arquitectónica y 3d

Ubicación del proyecto, entorno y calibración del clima

En esta parte se procede a colocar el proyecto en la dirección correcta, para proceder a llenar la latitud ($3^{\circ}38'4,1900''$), longitud ($79^{\circ}14'43,6500''$), zona horaria (UTC-05:00) Bogotá...Quito, altitud (2700snm) y el norte del proyecto, previamente se recopiló estos datos a lo largo del estudio para poder definir en el programa.

G. Características de los materiales y propiedades de la estructura

EcoDesigner nos permite especificar nuevos materiales y crear de acuerdo con sus propiedades de conductividad térmica, para cada una de las viviendas que está en análisis.

Tipología	Orientación	Nombre	Área (m²)	Espesor (m)	Valor U (W/m²K)	Infiltración (l/m²a)	Absorción Solar (%)
Muro	Esta Amiba (005)	005 COCINA	0,21	0,03	0,18	0%	-----
Fojgado Horizontal (per)	005 COCINA	Tierra	14,41	0,05	0,36	-----	-----
Fojgado Horizontal (per)	005 COCINA	Tierra	5,54	0,20	0,36	-----	-----
Muro	Sur	005 COCINA	17,15	0,03	0,18	5,00	43,49
Muro	Esta	005 COCINA	9,58	0,03	0,18	5,00	43,49
Cubierta Hacia arriba	005 COCINA	Baldosa - Cubierta Tejas	20,90	0,10	0,04	7,00	0,70
Muro	Esta Amiba (005)	005 COCINA	0,21	0,03	0,18	19%	-----
Fojgado Horizontal (per)	002 ocio	Tierra	27,56	0,20	0,36	-----	-----
Muro	Oeste	002 ocio	14,30	0,03	0,18	5,00	43,49
Muro	Este	002 ocio	16,90	0,03	0,18	5,00	43,49
Cubierta Hacia arriba	002 ocio	Baldosa - Cubierta Tejas	28,92	0,10	0,04	7,00	0,70
Muro	Interior	001 descaso	0,32	0,25	0,18	5,00	43,49
Fojgado Horizontal (per)	001 descaso	Tierra	19,48	0,20	0,36	-----	-----
Muro	Oeste Abajo	001 descaso	0,01	0,25	0,18	5,00	43,49
Muro	Oeste	001 descaso	0,53	0,25	0,18	5,00	43,49
Muro	Sur	001 descaso	13,70	0,03	0,18	5,00	43,49
Muro	Sur	001 descaso	4,40	0,25	0,18	5,00	43,49
Soma	001 descaso	GENÉRICO - PREFABRICADO	3,86	0,30	0,34	1,10	85,00
Muro	Este	001 descaso	9,37	0,03	0,18	5,00	43,49
Muro	Esta	001 descaso	0,02	0,25	0,18	5,00	43,49
Muro	Interior	001 descaso	17,15	0,03	0,18	5,00	43,49
Muro	Esta Amiba	001 descaso	0,01	0,25	0,18	5,00	43,49
Cubierta Hacia arriba	001 descaso	Baldosa - Cubierta Tejas	20,47	0,10	0,04	7,00	0,70

Fig. 5 Características de los materiales

H. Valor de la transmitancia térmica U

La transmitancia térmica o valor "U" es la cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo por tiempo, área y diferencia de temperatura [12]. El valor "U" depende directamente de la conductividad térmica y la configuración de los elementos que conforman el paquete constructivo. Para su cálculo se ha empleado el método para capas homogéneas de [12].

Como parámetros externos se configuró las coordenadas geográficas, altitud y el clima mediante un archivo climático TMY (Typical Meteorological Year) [14] y [10]. Para determinar la protección del viento y bloqueo solar, se consideraron los elementos del entorno; como edificaciones adyacentes y vegetación.

Respecto a fuentes de energía, se ha recurrido a referencias sobre la matriz energética ecuatoriana del año 2020 [15], siendo su aporte por categoría del 89.24% hidráulica y el 10.76% restante proviene de otra generación. Para establecer los costos de energía, se considera únicamente los factores utilizados en el país y los valores de comercialización local; como es el gas licuado de petróleo (\$2.75/15 Kg), la gasolina (0.631/litro) y electricidad (\$0.10/kWh), estos son datos de entrada que ayudan al simulador a calcular el costo operativo anual del caso de estudio, así como el resumen del impacto

ambiental operacional de la edificación, reflejado en el informe de evaluación de rendimiento energético. En la 0, se definen los parámetros de entrada para el material "tierra" según la normativa [5] ya configurados en el simulador.

TABLA I. PROPIEDADES TERMO-FÍSICAS DE LA TIERRA

material	conducti- vidad W/mK	Densidad Kg/m ³	Calor específico J/kg K	Energía incorporada MJ/kg	Carbono incorporado kg Co2/kg
Tierra	0.58	1500.00	840.00	3.00	0.24

De esta forma se ha caracterizado los paquetes constructivos de la envolvente y se continúa con la configuración del caso base, se conforman los bloques térmicos, y se ha limitado únicamente la ventilación natural, además de configurar los perfiles de ocupación. Respecto a la iluminación y equipamiento, los elementos han sido cuantificados en sitio, así como el consumo energético del equipamiento que ha sido medido con contador instantáneo de electricidad. El rango de temperatura confortable se ha establecido entre 18°C a 26°C [5].



Fig. 6 Modelo BIM simulado en software

Una vez definidos los parámetros anteriormente descritos, se procederá a cuantificar el comportamiento térmico interior analizando las horas de insatisfacción de calefacción o refrigeración, mediante la simulación del caso de estudio.

I. Perfil de operación disponible para cada una de las áreas

En esta parte ubicamos mediante el programa a cada una de las zonas que componen la edificación de acuerdo con la ocupación durante cada día y las horas frecuentes que se ocupan los equipos electrónicos y de iluminación en el entorno de cada zona, que sería la zona de dormitorio, el salón principal y la cocina.

Datos de ocupación para cada área de la vivienda se divide para el número de personas que ocupen esos espacios en un rango de tiempo determinado, colocando así la temperatura interna máxima y mínima y por último la iluminación y equipamiento

J. Simulación y resultados

Con el proceso de asignación a cada uno de los requerimientos, en el programa se procede a verificar los resultados, la temperatura interior de la vivienda se nos facilita identificar qué elementos son más propensos a transferir la temperatura del exterior expresada mediante una gráfica de calor.

Evaluación del Rendimiento Energético

[Número de Proyecto] Ilincho

Valores Clave	
Datos generales del proyecto	
Nombre Proyecto:	Ilincho
Ubicación Ciudad:	Saraguro
Latitud:	3° 38' 4" S
Longitud:	79° 14' 44" O
Altitud:	2700,00 m
Origen de Datos Climáticos:	ECU_L_x.epw
Fecha de Evaluación:	28/7/2023 12:26
Datos de geometría del edificio	
Área bruta de la planta:	68,77 m ²
Área de Suelo Tratado:	67,28 m ²
Área del Envolvente Exterior:	183,88 m ²
Volumen ventilado:	239,09 m ³
Ratio acristalamiento:	0 %
Datos de rendimiento de la estructura	
Infiltración a 50Pa:	15,42 AAH
Coefficientes de transfer.	
Promedio Edificio Entero:	0,23 [W/m ² K]
Pavimentos:	3,56 - 3,56
Externo:	0,04 - 3,64
Subterráneo:	--
Aberturas:	2,11 - 2,11
Valores Anuales Específicos	
Energía calorífica Neta:	0,00 kWh/m ² a
Energía refrigerante Neta:	0,00 kWh/m ² a
Energía Neta Total:	0,00 kWh/m ² a
Consumo de Energía:	66,13 kWh/m ² a
Consumo de Combustible:	66,13 kWh/m ² a
Energía Primaria:	198,39 kWh/m ² a
Coste Combustible:	-- EUR/m ² a
Emisión CO ₂ :	14,28 kg/m ² a
Días-Grado	
Calefacción (HDD):	672,33
Refrigeración (CDD):	2571,48

Fig. 7 Informe final de simulación – Ecodesigner – Archicad 26

Obtenidos los resultados de la simulación, se procede a comparar el resultado con la Norma ASHRAE 55-2013 del confort térmico en edificaciones residenciales cuyo valor sugerido en el interior es de un rango de 18 °C a 25 °C.

IV. RESULTADOS

La simulación térmica dinámica es una herramienta valiosa para predecir el rendimiento térmico a largo plazo de las viviendas². Este método utiliza datos detallados en tres áreas clave: la geometría y estructura del edificio, los datos climáticos y de ubicación, y los algoritmos del software de simulación. Gracias a la precisión de estos datos, se pueden obtener resultados muy cercanos a la realidad, lo que permite comprender el comportamiento de los edificios y optimizar el uso de tiempo y recursos. Los resultados obtenidos son lo suficientemente confiables para ser utilizados en proyectos futuros, y la metodología permite comparar rápidamente las capacidades del modelo BIM en diferentes escenarios, incluyendo variaciones de clima, ubicación y materiales utilizados en la construcción.

Para el caso de estudio analizado en la presente investigación, en los tres espacios analizados en la tipología de vivienda, se encuentran en la zona de confort térmico, durante todo el año; por lo que, se estima que el edificio integralmente ya sea por el material ocupado en su construcción o su tipología morfológica, cumple con los requisitos de la norma ecuatoriana de la construcción, capítulo de habitabilidad y salud, eficiencia energética, manteniéndose además en la zona de confort.

² Para la simulación se ocupa el software Ecodesigner de Archicad

V. DISCUSIÓN

Finalmente, los resultados indicaron que la tipología arquitectónica analizada, proporciona condiciones aceptables al aplicar el material tierra de sus capas arquitectónicas, el bajo coeficiente de intercambio de calor de las paredes y la temperatura de la masa del suelo, que están en la zona de confort sin consumo de energía en verano y brindan condiciones de vida con un consumo mínimo de energía en invierno.

VI. CONCLUSIONES

La conexión entre la arquitectura tradicional y la arquitectura bioclimática se establece con frecuencia. Por lo tanto, se puede considerar que una vivienda construida con tierra es bioclimática si su diseño incorpora intercambios efectivos entre la edificación, el clima y el entorno, al mismo tiempo que integra los principios fundamentales de la arquitectura bioclimática. Además, es crucial aprovechar las ventajas proporcionadas por la tierra, como su capacidad para acumular calor solar y regular la temperatura y la humedad.

Con una comprensión clara de los conceptos, es posible identificar estrategias y parámetros de diseño fundamentales que deben tenerse en cuenta en el desarrollo y las soluciones de un proyecto arquitectónico. Es innegable que los patrones de la arquitectura tradicional de Ilincho establecen una relación coherente con las estrategias bioclimáticas, lo que nos capacita para comprender y contribuir de manera significativa hacia el objetivo primordial de mejorar el bienestar humano.

TABLA II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS ESTRATEGIAS

Estrategia de arquitectura bioclimática	Estrategia de la vivienda tradicional
1 la orientación del edificio	1 adecuación contextual
2 la evaluación del viento predominante	2 ventilación y soleamiento
2 el grosor de la pared	3 estructura autosoportante
4 diseño compacto	4 envolvente (más llenos que vanos)
5 envolvente o materiales	5 materiales locales
6 ventilación natural	6 espacios polifuncionales
7 protección solar	7 aspecto cultural
8 la definición de materiales y colores	8 construcción en mingas

Fuente: Elaboración propia, 2023 a partir de Atefeh Tamaskani E. y Mohammad Farrokhzad F. 2021

La clave para contener y controlar el clima, así como para minimizar el consumo energético, radica en la envolvente arquitectónica. Esta envolvente no solo actúa como barrera física, sino que también agrega condiciones de confort al aprovechar elementos que capturan la luz natural y optimizan la circulación del aire.

La aplicación efectiva de los conceptos de arquitectura bioclimática se refleja principalmente en la configuración de la envolvente arquitectónica a partir de estrategias que incluyen el estudio detallado de los factores climáticos específicos de la zona donde se ubicará la construcción. Aspectos como el recorrido solar, la dirección de los vientos,

las condiciones climáticas y la humedad relativa son fundamentales. Estos factores esenciales deben ser tomados en cuenta para crear un entorno habitable que logre un equilibrio armonioso entre la vivienda y su entorno natural.

La simulación realizada ha confirmado la hipótesis inicial, respaldando la premisa de que la arquitectura tradicional indígena, a lo largo de su evolución histórica, se ha adaptado de manera coherente al entorno (medio ambiente y topografía) y a las necesidades humanas (aspectos sociales y culturales), lo que la posiciona como un enfoque efectivo de arquitectura bioclimática.

El proceso y los resultados de la simulación energética respaldan esta afirmación al demostrar que la vivienda tradicional, en este caso, la tipología "C", cumple con los estándares de confort establecidos por la Norma ASHRAE 55-2013, con temperaturas en el área de descanso (mínimo 19.48 °C y máximo 25.26 °C), salón social (mínimo 16.13 °C y máximo 21.50 °C) y cocina (mínimo 17.85 °C y máximo 21.23 °C), todos dentro del rango deseado para la habitabilidad humana.

En síntesis, la metodología planteada sugiere a nivel constructivo:

Aislamiento Avanzado: Usar materiales de alto rendimiento en paredes, techos y suelos.

Diseño Arquitectónico Óptimo: Orientar el edificio para aprovechar la ganancia solar, minimizando pérdidas térmicas mediante un diseño de envolvente eficiente.

Ventanas de Alto Rendimiento: Instalar doble o triple acristalamiento con marcos aislantes y sistemas de sombreado integrados.

Materiales Reflectantes: Aplicar pinturas y acabados de baja emisividad en techos y fachadas para reflejar la radiación solar.

Integración de Elementos Naturales: Incorporar techos verdes y usar materiales naturales como madera o bambú.

Ventilación Natural: Diseñar para facilitar la ventilación cruzada, reduciendo la necesidad de climatización artificial.

Estas estrategias optimizan la eficiencia energética y proporcionan un ambiente sostenible y confortable.

REFERENCIAS

- [1] IPCC, 2023. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. *Comunicado de prensa 2023/06/PR*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2023/03/IPCC_AR6_SYR_Press_Release_es.pdf
- [2] UNEP, 2022. *The Closing Window Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022>. (revisado: julio 2023).
- [3] Arvizu-Piña, V., Armendáriz, J., García, A., Barrera, I. An open access online tool for LCA in building's early design stage in the Latin American context. A screening LCA case study for a bioclimatic building, *Energy and Buildings*, Volume 295, 2023, 113269, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113269>

- [4] Dabaieh, M., Heinonen, J., El-Mahdy, D., & Hassan, D. M. A comparative study of life cycle carbon emissions and embodied energy between sun-dried bricks and fired clay bricks. *Journal of Cleaner Production*, 2020; 275: 122998. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122998>
- [5] Ministerio del Ambiente del Ecuador. *Resumen del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador. Serie temporal 1994-2012*. <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/06%20Resumen%20Ejecutivo%20INGEI%20de%20Ecuador.%20Serie%20Temporal%201994-2012.pdf> (revisado: junio 2023).
- [6] Syngros, G., Balaras, C.A., Koubogiannis, D.G., 2017. Embodied CO2 emissions in building construction materials of hellenic dwellings. *Procedia Environ. Sci.* 38, 500e508. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.113>, 2017
- [7] Toulkeridis, T., Tamayo, E., Simón-Baile, D., Merizalde-Mora, M., Reyes-Yunga, D., Viera-Torres, M. y Heredia, M. Cambio climático según los académicos ecuatorianos - percepciones versus hechos. *LA GRANJA: Revista de Ciencias de la Vida* 31(1) 2020:21-46. pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596 <http://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.02>
- [8] IPCC, 2023. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. *Synthesis report of the IPCC sixth assessment report (ar6) longer report* 2023/06/pr. https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf (revisado: mayo 2023).
- [9] González, M. J. & Navarro, J. G. Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: practical case study of three houses of low environmental impact. *Build. Environ.* 41. 902-909. 10.1016/j.buildenv.2005.04.006. DOI:10.1016/j.buildenv.2005.04.006
- [10] Y. Elaouzy, A. El Fadar, Impact of key bioclimatic design strategies on buildings' performance in dominant climates worldwide, *Energy for Sustainable Development*, Volume 68, 2022, Pages 532-549, ISSN 0973-0826, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.05.006>.
- [11] Manzano-Agugliaro, M., Montoya, G., Sabio-Ortega, A. y García-Cruz, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 49, 2015, Pages 736-755, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- [12] Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L. y Verbeeck, G. Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design, *Building and Environment*, Volume 133, 2018, Pages 228-236, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>.
- [13] Rudofsky, B. *Architecture without architects, an introduction to nonpedigreed architecture*. The Museum of Modern Art: Distributed by Doubleday, Garden City, N.Y. 1964.
- [14] Y. Elaouzy, A. El Fadar, A multi-level evaluation of bioclimatic design in Mediterranean climates,
- [15] *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 52, Part B, 2022, 102124, ISSN 2213-1388, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102124>.
- [16] Molas, L., Fernández F. y Cejudo, J. A Comparison of Traditional and Contemporary Social Houses in Catamarca (Argentina). *Comfort Conditions and Life Cycle Assessment, Sustainable Cities and Society*, Volume 82, 2022, 103891, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103891>.
- [17] Widera, B. Comparative analysis of user comfort and thermal performance of six types of vernacular dwellings as the first step towards climate resilient, sustainable and bioclimatic architecture in western sub-Saharan Africa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 140, 2021, 110736, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110736>.
- [18] Costa-Carrapiço, I., Neila, J., Raslan, R. y Sánchez-Guevara, C. Understanding the challenges of determining thermal comfort in vernacular dwellings: A meta-analysis, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 58, 2022, Pages 57-73, ISSN 1296-2074, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.09.019>.
- [19] Bhaumik, R., Prajapati, S., Kumar, T., Bhalla, K. y Ashok, S. Smart Vernacular Architecture: A Framework for Assessment and Virtual Reality-based Visualisation of Indigenous Toda Dwellings, *Procedia Computer Science*, Volume 218, 2023, Pages 651-670, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.047>.
- [20] Fernandes J, Mateus R, Gervásio H, Silva SM, Bragança L. Passive strategies used in Southern Portugal vernacular rammed earth buildings and their influence in thermal performance. *Renew Energy* 2019; 142:345–63. <https://doi.org/10.1016/j.renew.2019.04.047>.
- [21] ISO 6946:2007 Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – calculation method.
- [22] Sempértegui, D. y Rivela, B. Análisis comparativo del confort térmico y optimización multicriterio del sistema de Bahareque en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Green World Journal /Vol 06/ Issue 01/054/ January - April 2023*. <https://doi.org/10.53313/gwj61054>
- [23] Illicachi Guñay Juan. Desarrollo, educación y cosmovisión: una mirada desde la cosmovisión andina. *Universitas-XXI, Revista de Ciencias Sociales y Humanas [en línea]*. 2014, (21), 17-32. ISSN: 1390-3837. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476147261002>. (revisado: julio 2023).