

IDEA



Construcción y Madera

Volumen 6 - Año: 2024 - ISSN: 2590-4612



Centro de Tecnologías para
la Construcción y la Madera

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación



**CTCM
SENNOVA**

Estudio y diseño de una vivienda campesina mediante el uso de materiales sostenibles y la aplicación de energías alternativas

Nelson Castaño Ciro¹, José Alfredo Jiménez², Adrián Londoño Ramírez³, Elizabeth Serna Gutiérrez⁴, Pedro Pablo Díaz Sarmiento⁵.

¹ncastano@sena.edu.co (autor de correspondencia), ²jjjimenezv@sena.edu.co, ³alondonor@sena.edu.co,

⁴eserna@sena.edu.co, ⁵pdiazs@sena.edu.co.

Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA, Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, Medellín, Colombia.

- Study and design of a rural home using sustainable materials and the application of alternative energies.
- Estudo e projeto de uma casa camponesa através da utilização de materiais sustentáveis e aplicação de energias alternativas.

Artículo de investigación



Figura 1. Vivienda rural campesina. Fuente: FreePik con IA.

Resumen

El presente artículo documenta el desarrollo de un proyecto integral para el diseño y análisis de una vivienda campesina sostenible, adaptada a las condiciones y necesidades de comunidades rurales en Colombia. La propuesta busca ofrecer una solución habitacional eficiente y replicable, capaz de responder a los desafíos del déficit habitacional, la sostenibilidad ambiental y las condiciones socioeconómicas del campesinado colombiano. Se seleccionó el emplazamiento dentro de una Zona de Reserva Campesina utilizando herramientas de georreferenciación y sistemas de información geográfica, evaluando aspectos clave como la topografía, las condiciones climáticas y el acceso a recursos naturales. El diseño arquitectónico optimiza la funcionalidad e incluye estrategias bioclimáticas y el uso de materiales locales como bloques de tierra comprimida y guadua. Además, se integraron sistemas renovables como paneles solares y una estufa ecológica de leña. El análisis comparativo entre la vivienda sostenible y un modelo convencional evidenció claras ventajas en términos de costos, consumo energético y huella de carbono.

Palabras clave: *Análisis bioclimático, Energías alternativas, Materiales sostenibles, Vivienda campesina sostenible.*

Abstract

This article documents the development of a comprehensive project to design and analyze a sustainable rural house, adapted to the conditions and needs of rural communities in Colombia. The proposal seeks to offer an efficient and replicable housing solution, capable of addressing the challenges of housing deficit, environmental sustainability, and the socioeconomic conditions of Colombian farmers. The site was selected within a Peasant Reserve Zone using georeference tools and geographic information systems, evaluating key aspects such as topography, weather conditions, and

access to natural resources. The architectural design optimizes functionality and includes bioclimatic strategies and the use of local materials such as compressed earth blocks and bamboo. Additionally, renewable systems such as solar panels and an ecological wood stove were integrated. The comparative analysis between the sustainable house and a conventional model showed clear advantages in terms of costs, energy consumption, and carbon footprint.

Keywords: *Alternative energies, Bioclimatic analysis, Sustainable materials, Sustainable rural housing*

Resumo

Este artigo documenta o desenvolvimento de um projeto abrangente para o design e análise de uma casa rural sustentável, adaptada às condições e necessidades das comunidades rurais na Colômbia. A proposta visa oferecer uma solução habitacional eficiente e replicável, capaz de enfrentar os desafios do déficit habitacional, sustentabilidade ambiental e condições socioeconômicas dos agricultores colombianos. O local foi selecionado dentro de uma Zona de Reserva Camponesa usando ferramentas de georreferenciamento e sistemas de informação geográfica, avaliando aspectos-chave como topografia, condições climáticas e acesso a recursos naturais. O design arquitetônico otimiza a funcionalidade e inclui estratégias bioclimáticas e o uso de materiais locais, como blocos de terra comprimida e bambu. Além disso, foram integrados sistemas renováveis, como painéis solares e um fogão ecológico a lenha. A análise comparativa entre a casa sustentável e um modelo convencional mostrou claras vantagens em termos de custos, consumo de energia e pegada de carbono.

Palavras-chave: *Análise bioclimática, Energias alternativas, Habitação camponesa sustentável, Materiais sustentáveis.*

Introducción

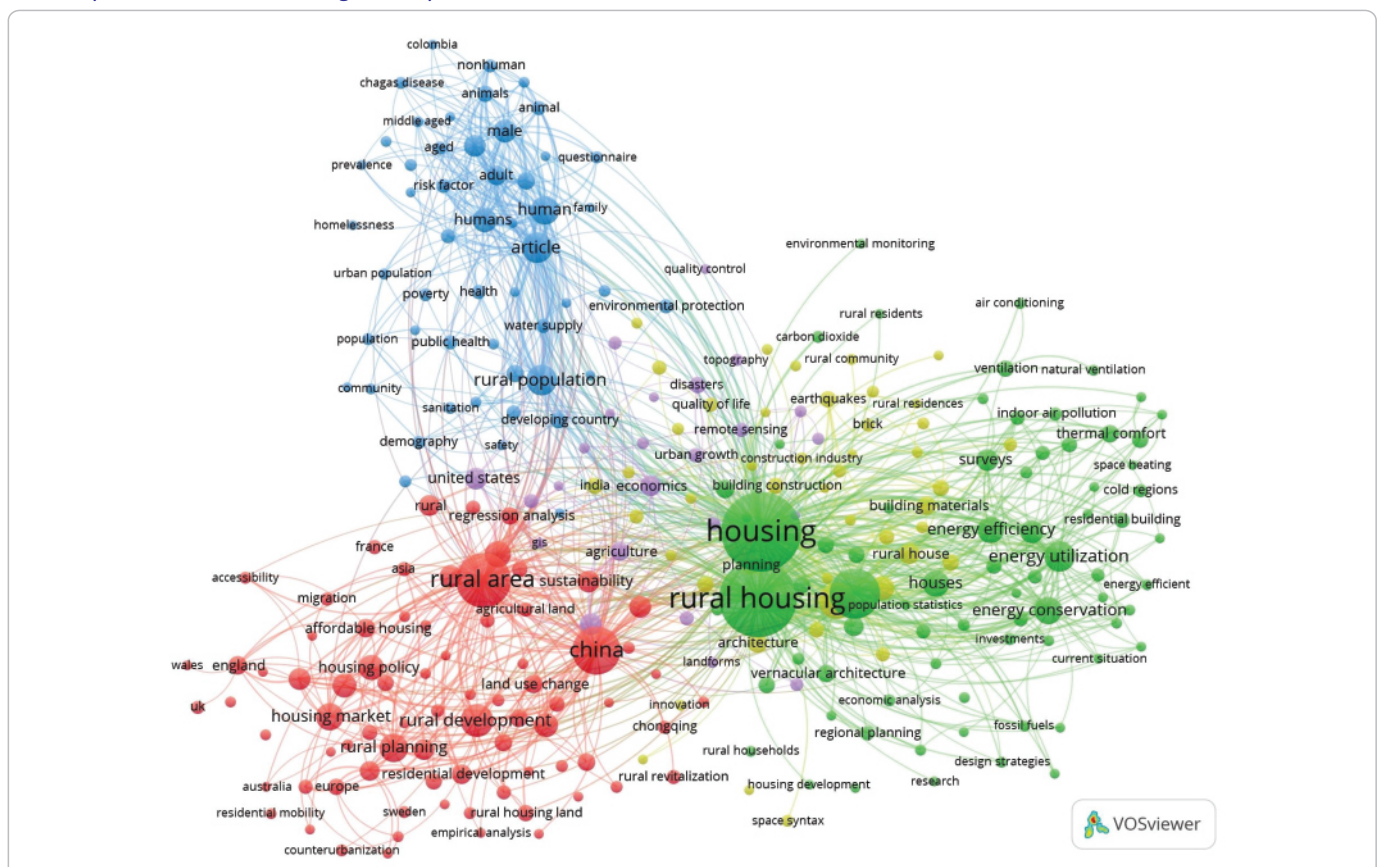
A nivel mundial existe una gran preocupación por el las personas que se encuentran en las zonas rurales y el hábitat en el cual se encuentran. Por ejemplo, la precariedad de salud multidimensional en los campesinos en China (Chen et al., 2024), viviendas campesinas construidas en zonas con pendientes sin estudios geotécnicos (He et al., 2024), resistencia a los sismos de las viviendas rurales en Tanzania (Tibesigwa et al., 2024), la migración y el abandono de los campesinos de sus viviendas por diferentes razones (Han et al., 2024), (Masná et al., 2024), la falta de educación o la calidad de educación muy deficiente (Lu et al., 2025) entre muchos otros aspectos.

Se hizo un análisis cienciométrico en la base de datos Scopus sobre "*rural housing*" que se representan en la figura 2, en esta misma se buscaron las problemáticas asociadas y se encontraron, entre otras, las siguientes: acceso a vivienda, cambio de uso de la tierra, migración

campesina, pobreza, salubridad, confort térmico.

Pero también se encontraron algunas investigaciones que tienden a dar soluciones a estas problemáticas, como, por ejemplo paredes elaboradas con mezclas de arena y caucho para soportar los sismos (Wang et al., 2024), empleo de elementos estructurales reforzados con bandas de polipropileno y bambú para viviendas rurales (Anusha et al., 2022), optimización de la calefacción en viviendas rurales en climas fríos (Xi et al., 2024), optimización de desempeño energético (Sarkar, 2024) y (Cortes Forero, 2024), seguridad alimentaria para los habitantes de viviendas rurales (Alcázar Sanchez, 2022) y (Castañeda Ruiz, 2020), manejo de aguas residuales (Hinestroza & Nickerson, 2022), pero también se encontró investigaciones sobre la importancia de la mujer en el campo (Salas Velásquez, 2022) con miras a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible (ONU, 2015).

Figura 2.
Nube de palabras de "rural housing" en Scopus.



Fuente: tomado de VOSviewer.

El campo colombiano no es la excepción a las anteriores problemáticas, enfrenta desafíos significativos, incluyendo la alta concentración de tierras, el aumento de precios de insumos y la escasez de jóvenes en áreas rurales (García Giraldo, 2020). A pesar de su importancia para el desarrollo económico del país, el campo atraviesa una crisis profunda, evidenciada por la importación de aproximadamente 14 millones de toneladas de alimentos al año (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA, 2024). La población rural representa más del 30% del total nacional, y gran parte del territorio colombiano es rural (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

En este contexto, el proyecto "Estudio y Diseño de una Vivienda Campesina Mediante el Uso de Materiales Sostenibles y la Aplicación de Energías Alternativas" surge como una respuesta a la necesidad de soluciones habitacionales que sean sostenibles y adaptadas a las condiciones específicas del entorno rural colombiano. El objetivo fue diseñar una vivienda campesina con el uso de materiales sostenibles y la aplicación de energías alternativas para el mejoramiento de las condiciones habitacionales del campesinado colombiano aplicado en alguna zona de la geografía colombiana. Este proyecto se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030, que buscan reducir el impacto ambiental y promover el desarrollo sostenible a nivel global (ONU, 2015).

El proyecto se desarrolló en el Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción, utilizando la metodología BIM (Building Information Modeling) para optimizar el diseño y evaluar el rendimiento energético de la vivienda. La propuesta incluye el uso de materiales locales como bloques de tierra comprimida y guadua, así como la integración de sistemas de energía renovable como paneles solares y estufas ecológicas de leña. Estas estrategias buscan no solo mejorar las condiciones de vida de las comunidades campesinas, sino también reducir la huella de carbono y fomentar la autosuficiencia energética.

El análisis comparativo entre la vivienda sostenible y un modelo convencional mostró ventajas significativas en términos de costos, consumo energético y sostenibilidad ambiental. Este artículo presenta los resultados del

proyecto, destacando las estrategias implementadas y su impacto en la mejora de las condiciones habitacionales en el campo colombiano.

Metodología

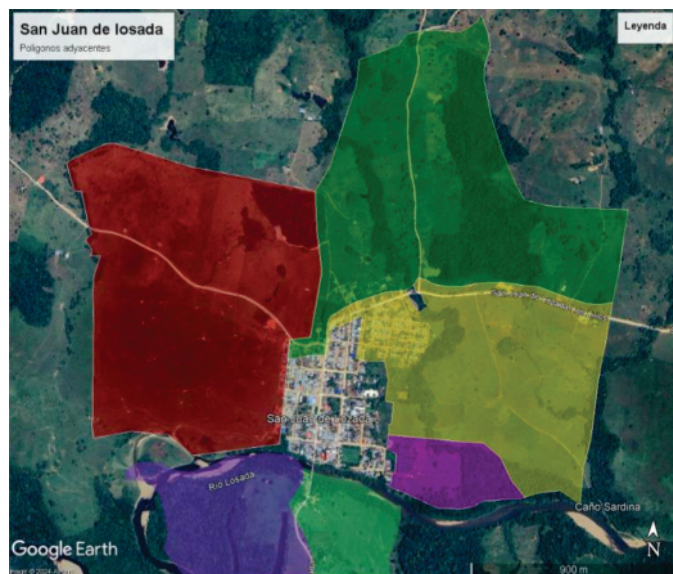
El proyecto se desarrolló bajo un enfoque de investigación aplicada y se llevó a cabo en cuatro etapas principales a lo largo de 10.5 meses.

Una primera etapa de emplazamiento, que si divide en las siguientes etapas:

1. Búsqueda de zonas de reserva campesina (ZRC) declaradas por el actual gobierno nacional, información cartográfica detallada: Se estudió el documento de las ZRC de la Pontificia Universidad Javeriana (Duarte et al., 2023) la cual especifica 7 ZRC a saber: La Tuna (Cauca), Pato Balsillas (Caquetá), Perla Amazónica (Putumayo), Guaviare, Sumapaz, Venecia y Cabrera (Cundinamarca) (Ambiente, 2024).
2. Información estadística de población e índice de pobreza multidimensional de esas zonas cruzada mediante SIG con la información cartográfica.
Después de identificadas las ZRC, se procedió a reanalizar una clasificación del índice de pobreza y de población. Se seleccionó la zona de San Juan de Losada - Meta por presentar los índices más altos, datos suministrados por el DANE (DANE, 2023). Los datos fueron: 10.000 habitantes con un índice de pobreza que oscila entre un 65.9% y 63.2%
3. Selección de las zonas para la implantación de la vivienda: Se empleo una herramienta digital llamada Green Building Studio para hacer análisis del clima, temperatura, humedad relativa y otra información importante para la investigación (Cong, 2024).
4. Selección del sitio del emplazamiento de la vivienda: La ZRC es muy grande para ubicar una vivienda, por lo que se diseñaron poligonales. Se seleccionó una poligonal relativamente plana y situada fuera de la población principal, con el fin de reducir el impacto ambiental y facilitar el acceso a

recursos naturales para la construcción la cual se presenta en la figura 3 de color verde. En esta fase también se hizo un estudio topográfico de la zona mediante herramientas digitales como Google Earth.

Figura 3.
Poligonales de lotes adyacentes al corregimiento de San Juan de Losada.



Fuente: elaboración propia.

Una segunda etapa fue el modelo de la vivienda campesina con materiales sostenibles con el software Revit que incluye: modelo estructural, modelo de redes hidrosanitarias, modelo de redes eléctricas, modelo de interior de la vivienda. Lo anterior teniendo en cuenta el número de habitantes promedio de una familia de esa región. Se incluyó sistemas de recolección de aguas lluvias integrando una bomba de ariete, un sistema de paneles solares fotovoltaicos de acuerdo a un consumo energético de la unidad habitacional.

En una tercera etapa se hizo el estudio bioclimático y estudio energético, también empleando la aplicación de Autodesk Green Building Studio, para luego comparar su desempeño con un modelo de una vivienda típica con materiales convencionales. Con el mismo software de Civil 3D se consiguió la información necesaria sobre la topografía y las condiciones climáticas de la ZRC seleccionada, lo cual se observa en la figura 4. Estos datos

son fundamentales para diseñar una vivienda que se adapte adecuadamente a las condiciones locales y que cumpla con principios de sostenibilidad y eficiencia energética.

Figura 4.
Topografía de San Juan de Losada.



Fuente: elaboración propia.

La cuarta y última etapa fue el análisis de precios unitarios (APU) del modelo de vivienda sostenible y se comparó con el APU del mismo modelo de vivienda, pero con materiales convencionales.

Resultados y discusión

1. Emplazamiento

Con las zonas de reserva campesina (ZRC) mencionadas anteriormente se hizo un análisis de la pobreza multidimensional y del número de habitantes, datos consultados por el DANE (DANE, 2024). Estos resultados se muestran en la tabla 1. En esta misma se puede observar que la zona con índice de pobreza multidimensional municipal más alto es la zona ubicada en Losada—Guayabero (La Macarena y Uribe), Meta entre 65.9% y 73.2%, con una población aproximada de 10.000 habitantes. Esta zona mostró gran interés para la investigación pensando que con el desarrollo de este modelo impactaría a un mayor número de personas.

La zona seleccionada tiene un área de 163.735 hectáreas, lo cual es muy grande para poder decidir en que parte específicamente se hará el modelo de la vivienda. Se buscó un punto donde estuviera la mayor concentración de personas, siendo este el corregimiento de San Juan de Losada.

Tabla 1.
Datos Estadísticos Zonas de Reserva Campesina.

Ubicación	Población en ZRC ANT	Medida de pobreza multidimensional municipal	Altitud media m.s.n.m.	Extensión Hectáreas (ha)
Tuluá, Valle del Cauca	5.645	24.5%	966	33.293
Venecia Parte Alta, Cundinamarca	259 familias	44.1%	1560	8.473
Togüí, Boyacá	15,475 400 familias	55.7%	1655	6.949
La Tuna (Santa Rosa), Cauca	3.300	69.8%	1574	176.195
Güejar–Cafre (Puerto Rico), Meta	—	57.8%	233	33.614
Losada–Guayabero (La Macarena y Uribe), Meta	10.000	73.2% y 65.9%	233	163.735
Sumapaz, Bogotá	1.700	31.5%	3500	22.765

Fuente: Elaboración propia.

Este contexto socioeconómico y la necesidad urgente de intervención justifican la elección de esta zona y dentro de esta el lote específico para la implementación de la vivienda campesina sostenible. La decisión de escoger esta ZRC se basó también en el potencial de generar un impacto positivo y mejorar la calidad de vida de la comunidad campesina, promoviendo la equidad y la sostenibilidad en una de las regiones más desfavorecidas de Colombia.

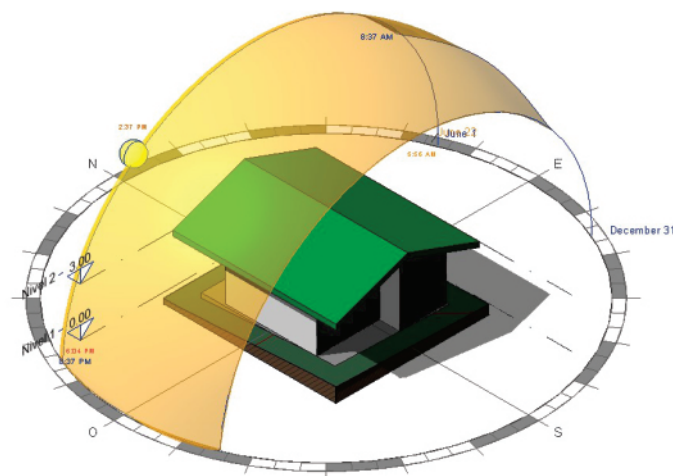
2. Estrategias bioclimáticas

El análisis de emplazamiento también permitió obtener información climática, rango de temperaturas en el año, iluminación natural, topografía del terreno, nivel freático (importante para las cimentaciones), entre otros factores.

Esto permitió orientar la vivienda en dirección nort-sur, figura 5, ubicando los espacios con menor exposición a la radiación solar, como las habitaciones, hacia el oriente. Con esto se logra un mejor confort térmico a los habitantes, disminuyendo el impacto del sol, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento por acumulación de masa térmica. adicionalmente, se

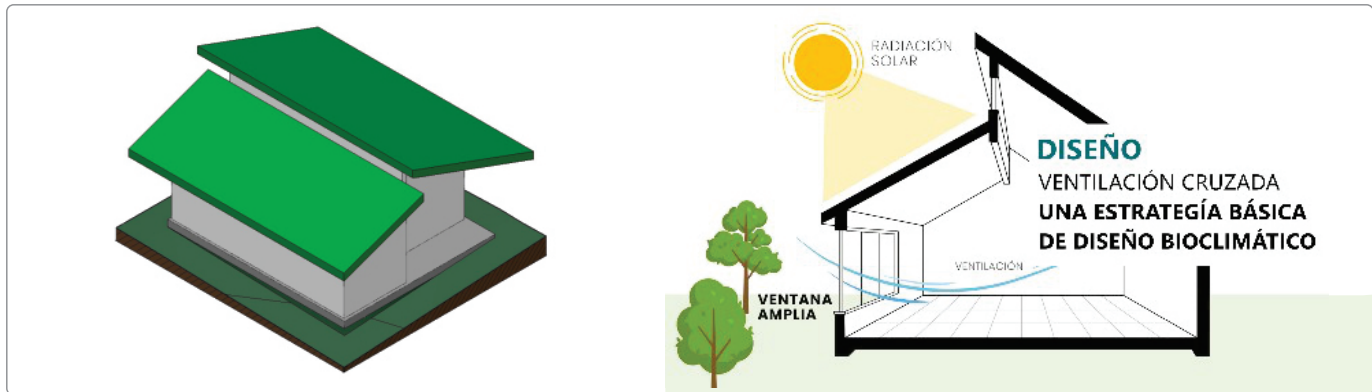
diseñaron alturas de enrase significativas en los interiores para favorecer la circulación del aire y disminuir la sensación de calor, aprovechando los beneficios de los techos altos en climas cálidos.

Figura 5.
Análisis de orientación y asoleamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6.
Sistema de techos (izquierda) y ventilación cruzada (derecha).



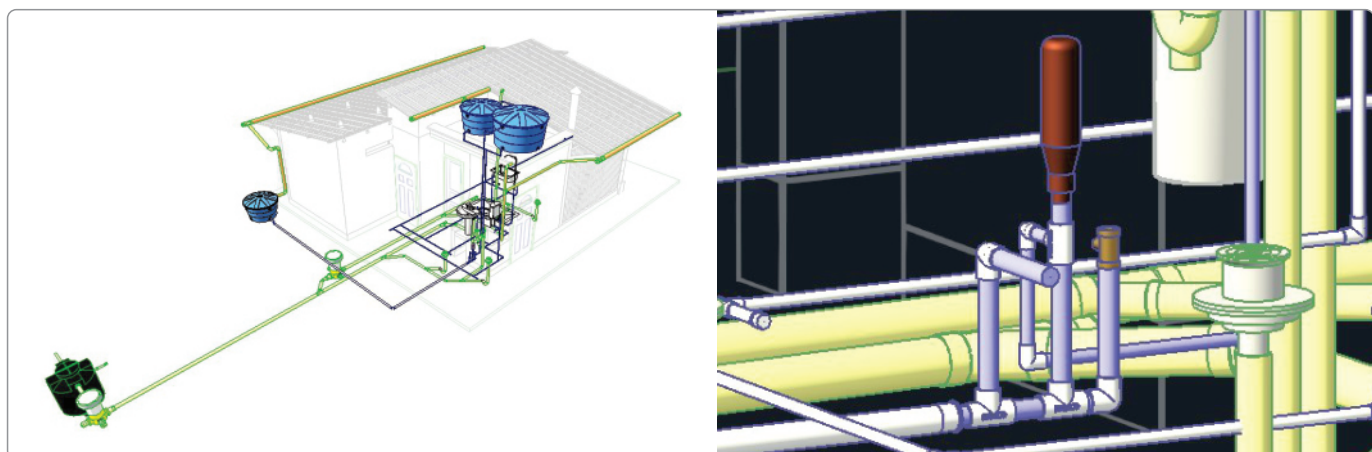
Fuente: izquierda, elaboración propia, derecha (Optivent, 2023).

La vivienda se modeló con un techo a dos aguas con desfase (figura 6 izquierda), maximizando la entrada de iluminación natural en las zonas sociales y la circulación de aire dentro de los espacios; adicionalmente se diseñó una ventilación cruzada (figura 6 derecha) con la incorporación de aberturas superiores e inferiores en los muros. Estas aberturas permiten mantener un flujo constante de aire, incluso con las puertas y ventanas cerradas, asegurando un ambiente interior fresco y confortable.

Se incluyeron aleros para proteger los muros de la radiación total directa, los cuales proporcionan sombra reduciendo la temperatura interior. En algunas partes de la cubierta se insertaron “botellas de luz” aprovechando la luz difusa lo cual incrementa la iluminación natural sin recurrir al uso constante de iluminación artificial, contribuyendo a la eficiencia energética.

De acuerdo a los datos consultados, se encontró que la zona tiene una alta precipitación, por esta razón se diseñó un sistema de captación de aguas lluvias para cubrir parte de las necesidades. Estas estrategias, integradas desde el análisis bioclimático, reflejan un enfoque de diseño orientado a garantizar el confort, la eficiencia y la sostenibilidad. En el sistema se incluyó una bomba de ariete para abastecer los tanques de almacenamiento del sistema de captación de aguas lluvias. Este mecanismo, que opera sin necesidad de electricidad, utiliza la energía hidráulica (“golpe de ariete”) para transportar el agua, lo que lo convierte en una solución eficiente y adecuada para entornos rurales, figura 7. Adicionalmente, el proyecto incluye la instalación de un sistema de tanques sépticos, diseñado no solo para gestionar adecuadamente las aguas residuales, sino también para generar gas natural combustible como subproducto, proporcionando así una fuente energética adicional y reforzando el carácter sostenible del diseño.

Figura 7.
Sistema hidrosanitario con captación de aguas lluvia (izquierda) y bomba de ariete (derecha).



Fuente: elaboración propia.

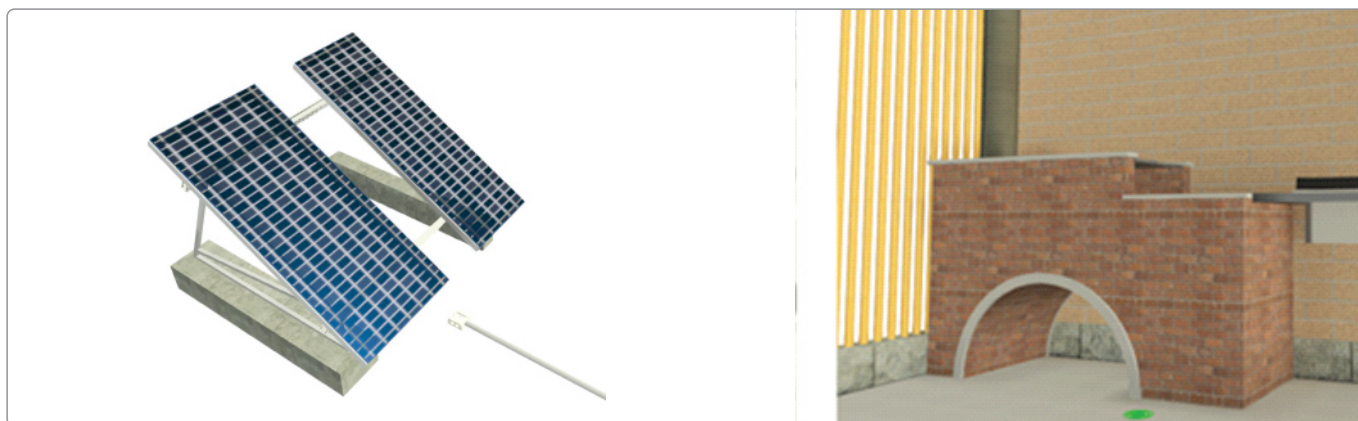
3. Estrategias sostenibles

El modelo de la vivienda integra diversas estrategias destinadas a maximizar la sostenibilidad y eficiencia de la vivienda, abordando tanto las necesidades energéticas como el manejo de recursos y residuos. Una de las soluciones clave es la incorporación de un sistema de paneles solares para la generación de energía, que proporciona una alternativa limpia y renovable, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables y adaptándose a las limitaciones de acceso a la red eléctrica en zonas rurales. Esto responde a las limitaciones en el

acceso a las redes públicas de electricidad en la zona y se alinea con el objetivo de convertir el proyecto en un modelo autosostenible. Este sistema se encuentra especialmente diseñado para cubrir las necesidades de la población habitacional fomentando la autosuficiencia energética, clave para el contexto rural en el que se desarrolla el proyecto. Además, para ser más eficientes energéticamente, se diseñó un fogón de leña cuyo propósito es reducir de manera significativa el consumo energético. Ambos sistemas se pueden observar en la figura 8.

Figura 8.

Estrategias sostenibles de paneles solares (izquierda) y fogón de leña o estufa ecológica (derecha).

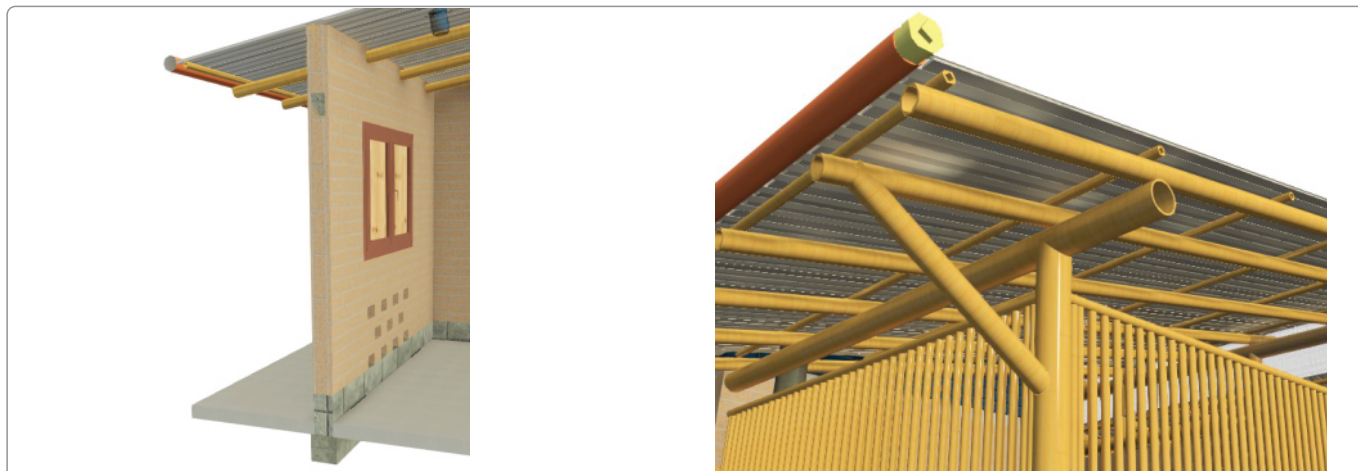


Fuente: elaboración propia.

Se eligió el Bloque de tierra comprimida (BTC) para las paredes y el bambú como material estructural, figura 9. Estos materiales están disponibles en la zona como alternativa de los materiales alternativos de construcción reducen el impacto ambiental del proyecto y la huella de carbono asociada al transporte y la fabricación de insumos, alineándose con los principios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

Figura 9.

Estrategias sostenibles: ladrillos de BTC (izquierda) y bambú (derecha).



Fuente: elaboración propia.

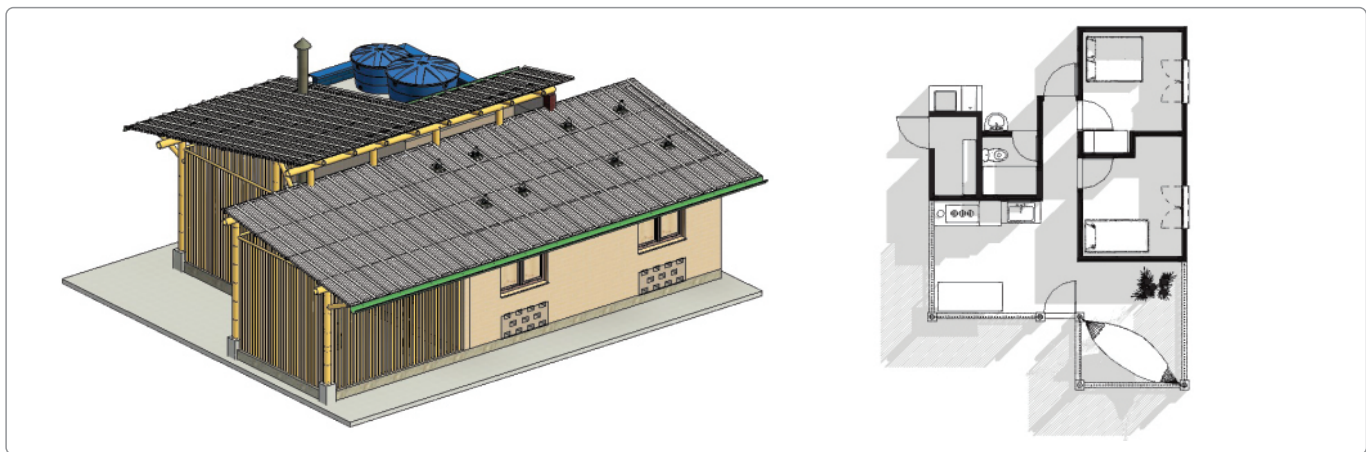
4. Modelo de vivienda campesina sostenible

En el grupo de investigadores, se presentaron varias propuestas de distribución de la vivienda, con diferentes cubiertas. Se decidió que, para la tipología de familia de la zona, y por el clima circundante, la mejor opción es una cubierta a dos aguas desfasada, como la mostrada en la figura 6. Para el modelo se eligió la tipología en "T", que optimiza la disposición interna de los espacios, priorizando funcionalidad, sostenibilidad y confort. Este

modelo organiza las habitaciones en un volumen independiente orientado hacia el oriente, mientras que los espacios sociales, como la sala, el comedor y la cocina, se agrupan en un segundo volumen orientado hacia el poniente. Además, se incluyó un espacio técnico para servicios y almacenamiento de equipos, junto con una terraza frontal que actúa como área de transición entre el interior y el exterior. Estos diseños se muestran en la figura 10.

Figura 10.

Arquitectura y distribución de la vivienda (tipología "T").



Fuente: elaboración propia.

Los materiales usados en la vivienda fueron los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) y la guadua. Los BTC se destacan por su bajo impacto ambiental y sus excelentes propiedades térmicas y acústicas, además de cumplir con los requisitos de resistencia sísmica establecidos en la NSR-10. Por su parte, la guadua ofrece flexibilidad, alta capacidad estructural y propiedades antisísmicas, además de contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono. La propuesta combina estos materiales con estrategias bioclimáticas y sostenibles para responder a las características del entorno y a las necesidades específicas de la comunidad. Se diseñaron muros de BTC con un espesor de 0,15 m y alturas de entre 3,5 y 4,4 m, garantizando una estructura sismo-resistente y eficiente. Los BTC ofrecen excelentes propiedades térmicas y acústicas, regulando naturalmente la temperatura interior. Su producción tiene un bajo impacto ambiental, con emisiones de CO₂ hasta un 90% menores en comparación con los ladrillos cocidos. Este enfoque integral proporciona una vivienda sostenible que combina

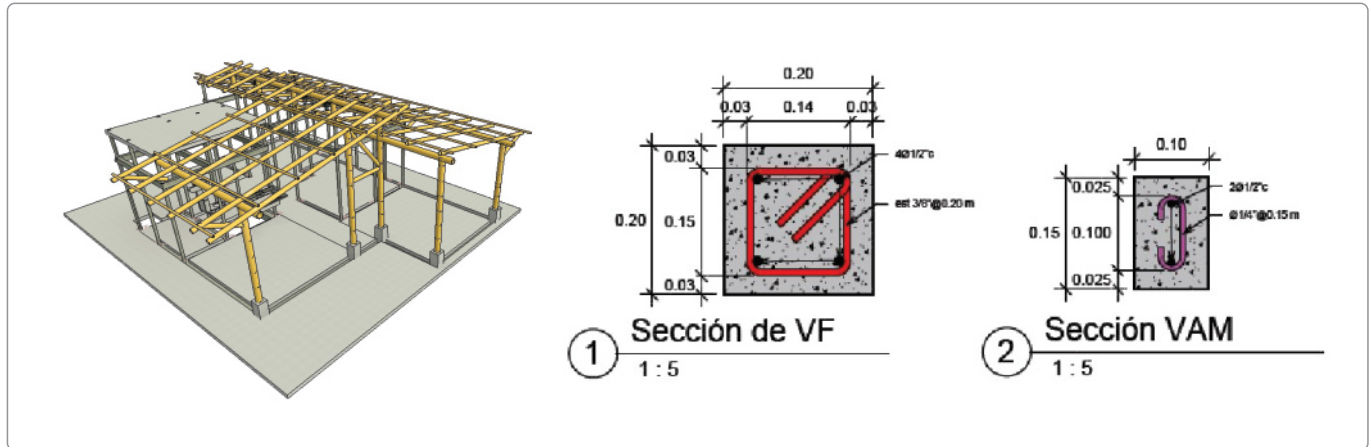
soluciones bioclimáticas, el uso de materiales locales y un diseño adaptable. El resultado es un modelo de construcción eficiente, respetuoso con el medio ambiente y alineado con las demandas sociales del contexto rural colombiano.

5. Diseño Estructural

El diseño estructural de la vivienda campesina sostenible está basado en un sistema híbrido que combina materiales tradicionales con técnicas modernas, adaptándose a las características del terreno y a las necesidades específicas de los habitantes. La cimentación se diseñó utilizando zapatas corridas de concreto reforzado, que garantizan una distribución uniforme de las cargas sobre el terreno y proporcionan estabilidad a la estructura (Figura 11). Sobre estas zapatas se levantaron sobrecimientos de bloques de concreto, que funcionan como base sólida para los muros y actúan como barrera contra la humedad del suelo, asegurando la durabilidad de los elementos superiores.

Figura 11.

Modelo estructural de la vivienda con detalles de las vigas de cimentación y columnas.

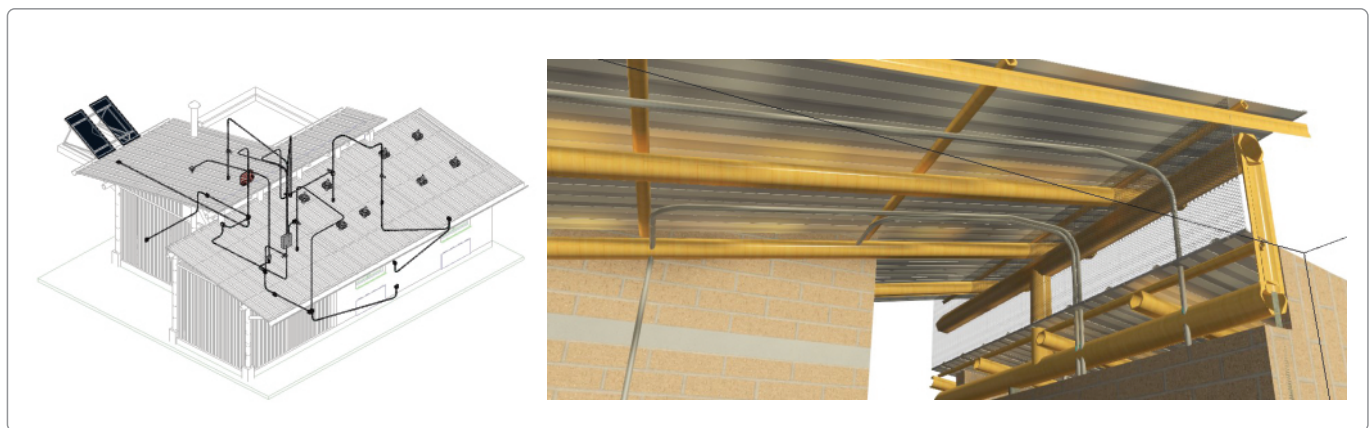


Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la red eléctrica, para las áreas donde las instalaciones eléctricas pueden empotrarse, se empleó tubería de PVC liviano integrada en los muros, garantizando una instalación discreta y protegida. En las zonas donde la tubería debe permanecer expuesta, como en la estructura de la cubierta, se seleccionó tubería EMT (Electrical Metallic Tubing), debido a su resistencia y durabilidad, características ideales para proteger el cableado en ambientes donde está más vulnerable. Figura 12. El diseño también integra un sistema de paneles solares, reforzando el enfoque sostenible del proyecto. Este sistema garantiza la provisión de energía en una región con acceso limitado a las redes eléctricas públicas, y se encuentra conectado a la red principal de la vivienda.

Figura 12.

Modelo eléctrico y tubería expuesta en EMT por cubierta.



Fuente: elaboración propia.

6. Diseño interior

Se utilizó Revit como herramienta clave para desarrollar un modelo detallado del diseño interior. Este modelo permitió explorar visualmente diversas opciones de decoración y distribución, facilitando la evaluación del impacto de cada elemento en la funcionalidad y percepción de los espacios. La capacidad de realizar ajustes en tiempo real garantizó que el diseño interior complementara y potenciara el diseño arquitectónico general, manteniendo la coherencia entre ambos aspectos del proyecto, figura 13.

Figura 13.

Diseño interior de la vivienda.



Fuente: elaboración propia.

El modelo de diseño interior en Revit también dejó analizar cómo la iluminación natural y artificial interactuaría con los colores, texturas y elementos decorativos seleccionados. Esto fue fundamental para crear un ambiente equilibrado que respondiera tanto a las necesidades prácticas como a las aspiraciones estéticas de los habitantes. De este modo, el diseño interior no solo se planteó como una extensión del diseño arquitectónico, sino también como un elemento central para asegurar que el proyecto reflejara las necesidades, expectativas y estilo de vida de quienes lo habitarán.

7. Estudio de sostenibilidad

Para realizar los análisis de sostenibilidad, se tuvo que modelar una vivienda con materiales convencionales de construcción, lo cual sirvió como referencia para conocer de primera mano, que tan sostenible es la vivienda campesina sostenible con relación a esta.

Se hicieron análisis de ocupación de las personas en cada espacio, sus horarios en el día, datos de los materiales usados (densidad, calor específico, coeficiente de transmisibilidad térmica, entre otros), el estudio de los diseños incluidos como, por ejemplo, las “botellas de luz, el viento cruzado, la cubierta a dos aguas, el sistema de captación de aguas lluvias, cargas de equipos eléctricos en cada zona, entre otros aspectos que se mencionaron anteriormente. Los anteriores datos se usaron en los softwares Green Building Studio e Insight para arrojar los datos que se presentan a continuación.

Análisis energético.

Según los resultados obtenidos Figura 14, el consumo energético del proyecto no solo cumple ampliamente con los requisitos del estándar ASHRAE 90.1, sino que además se ubica 25 kWh/m²/año por debajo del límite establecido por Architecture 2030. Estos datos destacan la eficiencia energética del diseño y su alineación con los estándares internacionales de sostenibilidad.

Figura 14.

Resultados análisis energético.



Fuente: elaboración propia.

Captación de Agua Lluvias

La cubierta de la vivienda tiene un área aproximada de 72 m². A esta superficie se le aplica un coeficiente de eficiencia de captación del 85%, considerando las pérdidas ocasionadas por obstrucciones, fugas y otros factores que afectan el rendimiento del sistema. De este valor, se determinó que el 56% corresponde a servicios que pueden ser suplidos mediante agua lluvia, lo que equivale a aproximadamente 8.96 m³ de agua mensual., según las tablas de IDEAM para esta zona, tabla 2.

Tabla 2.
Estimado mensual de captación de agua lluvias.

Mes	Precipitación Mensual (mm)	Volumen Neto (m³)	Volumen Real (m³)
Enero	250	17.9	15.215
Febrero	350	25.06	21.301
Marzo	175	12.53	10.6505
Abril	250	17.9	15.215
Mayo	350	25.06	21.301
Junio	250	17.9	15.215
Julio	250	17.9	15.215
Agosto	175	12.53	10.6505
Septiembre	175	12.53	10.6505
Octubre	250	17.9	15.215
Noviembre	175	12.53	10.6505
Diciembre	125	8.95	7.6075
			168.8865

Fuente: Elaboración propia.

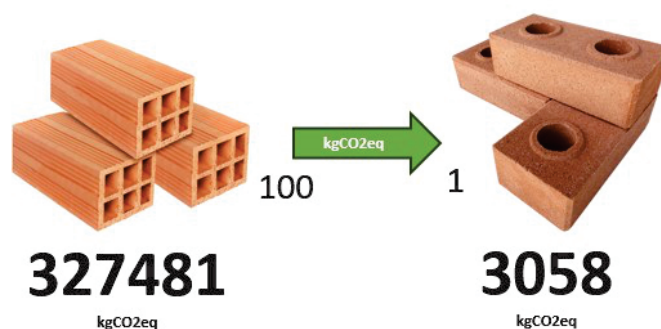
En la tabla elaborada, se evidencia que todos los meses, excepto diciembre, alcanzarían el volumen objetivo de 8.96m³ de agua captada. En el caso de diciembre, los meses contiguos con excedentes de captación podrían compensar el déficit de aproximadamente un metro cúbico. Este análisis, basado en las precipitaciones conocidas en la ubicación del proyecto, respalda la factibilidad de instalar un sistema de captación de aguas lluvias para cubrir el 53% de los consumos anuales de agua potable requeridos por un proyecto de esta escala.

Análisis de huella de carbono

El análisis realizado con el software Insight, se evidencia una marcada diferencia entre el impacto ambiental de la vivienda propuesta, con un total de 9,011.64 kgCO₂eq, y el de la vivienda convencional, que asciende a 342,083.12 kgCO₂eq. Esto sitúa el impacto de la vivienda propuesta en apenas un 5% del correspondiente a la vivienda convencional. Estos resultados destacan el alto impacto ambiental asociado a la producción de adobe, principalmente debido al consumo energético significativo requerido durante su proceso de cocción. En contraste, la producción manual y el secado al ambiente

del Bloque de Tierra Comprimida (BTC) presentan un impacto de carbono considerablemente menor, con una relación aproximada de 100 a 1 a favor del BTC. Figura 15.

Figura 15.
Análisis de huella de carbono.



Fuente: elaboración propia.

Análisis de Costos y Presupuestos

Se tuvo especial cuidado de garantizar que el presupuesto reflejara fielmente tanto los costos reales como las aspiraciones del diseño. El resultado final mostró que el costo por metro cuadrado de la vivienda

campesina sostenible era de aproximadamente \$1.291.000. Este valor es significativamente inferior al costo promedio de las viviendas campesinas convencionales, que oscila entre \$1.519.000 y \$1.700.000 por metro cuadrado (Figura 16). La diferencia es un

indicador claro de la eficacia del diseño propuesto, que no solo optimiza el uso de recursos locales y materiales sostenibles, sino que también introduce sistemas constructivos innovadores que reducen los costos sin comprometer la calidad.

Figura 16.

Comparación del precio del metro cuadrado de la vivienda campesina sostenible vs vivienda convencional.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

- Los resultados de la investigación destacan que la construcción sostenible en Colombia no solo es factible, sino que tiene el potencial de transformar las condiciones de vida de las comunidades rurales, promoviendo un desarrollo más equitativo y respetuoso con el entorno.
- Este enfoque, basado en la integración de estrategias bioclimáticas, materiales locales y tecnologías innovadoras, ofrece una solución viable para abordar el déficit habitacional en las zonas rurales y, al mismo tiempo, contribuye a la preservación ambiental y al fortalecimiento de la identidad cultural de estas regiones.
- El uso de materiales alternativos como la guadua y los bloques de tierra comprimida (BTC), no solo son económicos y sostenibles, sino que también ofrecen ventajas estructurales y térmicas que los hacen ideales para el clima y las condiciones de las zonas rurales colombianas. Su implementación permite reducir costos de construcción, disminuir la huella de carbono y

aprovechar los recursos locales, lo que fortalece la economía de las comunidades y minimiza la dependencia de materiales industrializados que requieren transporte desde áreas urbanas.

- El diseño arquitectónico desarrollado en este proyecto ha demostrado que es posible alcanzar altos niveles de eficiencia energética mediante estrategias pasivas.
- El uso de herramientas digitales avanzadas ha sido crucial en cada etapa del proyecto. Programas como Revit y sistemas de información geográfica (SIG) permitieron realizar análisis precisos del terreno, la geolocalización y las características climáticas, asegurando que las viviendas estuvieran adaptadas a las particularidades de cada sitio.
- La incorporación de energías renovables en las viviendas campesinas. Los paneles solares, incluidos en el diseño energético del proyecto, han demostrado ser una solución efectiva para reducir la dependencia de fuentes no renovables y mejorar la autosuficiencia energética de

las comunidades rurales. Combinados con tecnologías como las estufas ecológicas de leña y las botellas de luz, los sistemas propuestos no solo reducen el impacto ambiental, sino que también ofrecen soluciones accesibles que mejoran significativamente la calidad de vida de los habitantes.

- El sistema de captación de aguas lluvias, integrado en el diseño de las viviendas, refuerza la autosuficiencia hídrica del proyecto y aprovecha un recurso abundante en la región.
- El análisis de la huella de carbono realizado como parte del proyecto resalta los beneficios de las estrategias sostenibles adoptadas. La comparación entre el modelo de vivienda campesina convencional y la vivienda propuesta demuestra reducciones significativas en las emisiones de carbono y el consumo de energía.
- Además de los aspectos técnicos y ambientales, la investigación pone en evidencia el impacto social y cultural de las soluciones habitacionales propuestas. Al priorizar materiales locales y diseños adaptados a las necesidades de las comunidades rurales, el proyecto no solo respeta las tradiciones y prácticas locales, sino que también fortalece la identidad cultural de estas regiones.
- En conclusión, esta investigación confirma que la construcción sostenible es una herramienta poderosa

para abordar las necesidades habitacionales rurales en Colombia. Aprovechar materiales locales, implementar estrategias bioclimáticas y adoptar tecnologías renovables no solo reduce costos y emisiones, sino que también promueve la autosuficiencia, mejora la calidad de vida y respalda un desarrollo rural integral. A medida que avancen las investigaciones y se implementen estas soluciones en otros contextos, se espera que el modelo desarrollado en este proyecto se convierta en un referente para la construcción sostenible en el país, demostrando que es posible construir viviendas que sean funcionales, sostenibles y respetuosas con el entorno y las comunidades a las que sirven.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción por su apoyo y recursos para llevar a cabo este proyecto. También extendemos nuestro agradecimiento a los instructores e investigadores que participaron activamente en el desarrollo del proyecto, especialmente a William Sosa por sus valiosos aportes al modelo energético y de paneles solares, al instructor Lombardis Montoya por su contribución de la red hidrosanitaria, sistema de captación de agua lluvia y pozo séptico. Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y el compromiso de todos los involucrados.

Contribución de autoría

Nelson Castaño Ciro (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0380-8430>): administrador del proyecto, metodología, investigación, revisión, edición, escritura.

Adrián Alberto Londoño Ramírez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0151-3711>): investigación, análisis de datos, modelo de la vivienda, análisis bioclimático, energético.

José Alfredo Jiménez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9145-4662>): investigación, análisis de datos, escritura, análisis de costos unitarios, modelo de la vivienda.

Elizabeth Serna Gutiérrez (ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7644-6398>): investigación, análisis de datos, modelo estructural.

Pedro Pablo Díaz Sarmiento (ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9027-0883>): investigación, análisis de datos, modelo de diseño interior.

Referencias

- Arellano, Alcázar Sanchez, J. geovani. (2022). Diversidad agroalimentaria: estrategias de reproducción campesina en economías de autosubsistencia en Los Altos de Chiapas, México. *Estudios Sociales*, 32(59), 1–26. <https://doi.org/10.2307/40184061>
- Ambiente. (2024). *Zonas de Reserva Campesina firman pacto para proteger la biodiversidad rumbo a la COP16*. Ministerio Del Medio Ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/zonas-de-reserva-campesina-firman-pacto-para-proteger-la-biodiversidad-rumbo-a-la-cop16/#:~:text=Son siete Zonas de Reserva,y el desarrollo de una>
- Anusha, M., Surendra, H. J., Dhar, N., Choudhary, M., Khan, I. A., & Pasha, S. F. A. (2022). Enhancing sustainability of polypropylene band and bamboo-reinforced structural elements for rural low cost housing. *Environment, Development and Sustainability*, 26(2), 3943–3956. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02864-9>.
- Castañeda Ruiz, J. J. (2020). *Modelo de vivienda rural productiva Ecoaldea*. Universidad Piloto de Colombia.
- Chen, K., Qiu, J., Wang, W., Hu, Q., Xu, N., & Qiao, H. (2024). Identification and analysis of influencing factors of multidimensional health poverty in rural areas of Northwest China. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80628-3>
- Cong, L. (2024). Application of green building thermal energy conservation based on light imaging equipment in landscape optimization of waterfront space. *Thermal Science and Engineering Progress*, 54, 102787. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102787>
- Cortés Forero, L. C. (2024). *Evaluación de la suficiencia energética de un sistema solar para satisfacer las necesidades de una vivienda campesina a 3.000 metros de altura en la región del páramo adyacente al Parque Nacional Chingaza*.
- DANE. (2023). *Caracterización sociodemográfica del campesinado colombiano*. <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/notas-estadisticas-casen/doc-CASEN-CaracsociodemoCampesinadoCO.pdf>
- DANE. (2024). *Estadísticas por tema*. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema#herramientas-para-exploracion-de-datos>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz*. Tomo I (1a edición). Nuevas Ediciones S.A. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Agriculturapecuarioforestal y pesca/TOMO 1.pdf>
- Duarte, C., Paez, G., & Tangarife, M. (2023). *Zonas de reserva campesina: seis retos para su consolidación*. https://www.observatoriodeltierras.org/wp-content/uploads/2023/08/ZRC-RETOS-PARA-SU-CONSOLIDACION_modificado.pdf
- García Giraldo, J. P. (2020). Implementation of Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial (Development Programmes with a Territorial-Based Focus) and territorial peacebuilding in Colombia: Progress and challenges. *Revista de La Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, 50(133), 454–481. <https://doi.org/10.18566/rfdcp.v50n133.a10>

- Han, Q., Zhou, K., Guo, Z., & Kumar, R. (2024). Understanding rural household migration and homestead exit intentions: Toward sustainable land use and development goals. *Journal of Geochemical Exploration*, 267, 107595. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107595>
- He, H., Dong, X., Du, S., Guo, H., Yan, Y., & Chen, G. (2024). Study on the Stability of Cut Slopes Caused by Rural Housing Construction in Red Bed Areas: A Case Study of Wanyuan City, China. *Sustainability (Switzerland)*, 16(3). <https://doi.org/10.3390/su16031344>
- Hinestroza, R., & Nickerson, J. (2022). *Diseño de pozos de percolación para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad campesina de Tunzo distrito de Comas – Concepción – Junín*. Universidad Peruana Los Andes.
- Lu, X., He, Z., Li, Y., & Luo, R. (2025). Post-compulsory education of children and household asset allocation. *Pacific-Basin Finance Journal*, 89, 102593. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2024.102593>
- Masná, E., Stoker, A., Hasman, J., & Novotný, J. (2024). Understanding migration aspirations using the extended theory of planned behavior: A case study from Western Province of Zambia. *Journal of Rural Studies*, 114(103501), 6. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2024.103501>
- ONU. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Optivent. (2023). *Optivent 2.1: Una herramienta de cálculo de ventilación natural en estado estacionario para la etapa inicial de diseño de edificios*. Optivent. <https://optivent.tools/?language=es>
- Salas Velásquez, V. M. (2022). La mujer rural y la creación del espacio habitable en la vivienda campesina peruana. El caso de Janac Chuquibamba (2000-2019). *Mujer Andina*, 1(1), 33–51. <https://doi.org/10.36881/ma.v1i1.642>
- Sarkar, A. (2024). Comparative assessment of the energy performance index of modern urban and traditional rural housing in lower Himachal Pradesh, India to develop prediction model. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05594-2>
- Tibesigwa, B. M., Moyo, M. G., & Mkindo, R. M. (2024). Architectural typology of rural housing: a perspective of residential construction affordability and earthquake resilience in Kagera region, Tanzania. *Journal of Housing and the Built Environment*, 39(1), 295–315. <https://doi.org/10.1007/s10901-023-10081-7>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA. (2024). *Importaciones de productos agropecuarios y agroindustriales*. [https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Importaciones de productos agropecuarios y agroindustriales diciembre de 2023.pdf](https://upra.gov.co/es-co/Boletines_Reportes/Importaciones%20de%20productos%20agropecuarios%20y%20agroindustriales%20diciembre%20de%202023.pdf)
- Wang, J., Wu, M., Liu, F., Bin, J., & Zeng, X. (2024). Application of rubber sand mixture composite blocks in seismic isolation of collapsed houses during Luding Earthquake. *Journal of Vibration and Shock*, 43(21), 138–146. <https://doi.org/10.13465/j.cnki.jvs.2024.21.015>
- Xi, H., Gao, H., Hou, W., Yin, B., Zuo, J., & Zhao, H. (2024). Multi-Objective Optimization for Winter Heating Retrofit in Rural Houses of Cold Regions: A Case Study in the Wusu Area. *Applied Sciences*, 14(9), 3760. <https://doi.org/10.3390/app14093760>