

Bioconstrucción autosostenible, técnicas y diseño

Ramiro Gómez Quintero

Asesor

Luz Dary Camacho

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios. ECACEN

Administración de Empresas

2025

Resumen

Esta investigación presenta el diseño teórico de un modelo integral de vivienda autosostenible adaptado al contexto rural del municipio de Guaduas, Cundinamarca. El diseño se articula en torno a tres ejes fundamentales interconectados: la bioconstrucción de la vivienda, la producción agroalimentaria para la autosuficiencia y la promoción del turismo ecológico como fuente de desarrollo económico. La propuesta arquitectónica prioriza el uso de materiales y técnicas de bioconstrucción de bajo impacto ambiental, la implementación de energías renovables y sistemas de saneamiento ecológico. Además, integra de manera funcional la producción agropecuaria, buscando garantizar la seguridad alimentaria de los residentes. Enmarcado en los principios de sostenibilidad ambiental y viabilidad económica, el proyecto aspira a mejorar la calidad de vida de las familias rurales y a dinamizar la economía local mediante el ecoturismo y la comercialización de excedentes agropecuarios. El estudio subraya, asimismo, la relevancia de la asociatividad y la formación continua como pilares para fortalecer la resiliencia y autonomía de las comunidades rurales.

Palabras clave: bioconstrucción, bioclimático, sustentable, solidario.

Abstract

This research presents the theoretical design of a comprehensive self-sustaining housing model adapted to the rural context of the municipality of Guaduas, Cundinamarca. The design is articulated around three fundamental interconnected axes: the green construction of the home, agri-food production for self-sufficiency, and the promotion of eco-tourism as a source of economic development. The architectural proposal prioritizes the use of low-environmental impact green construction materials and techniques, the implementation of renewable energy, and ecological sanitation systems. Furthermore, it functionally integrates agricultural production, seeking to guarantee food security for residents. Framed within the principles of environmental sustainability and economic viability, the project aims to improve the quality of life of rural families and boost the local economy through ecotourism and the marketing of agricultural surpluses. The study also highlights the importance of associativity and ongoing training as pillars for strengthening the resilience and autonomy of rural communities.

Keywords: bioconstruction, bioclimatic, sustainable, solidary.

Tabla de Contenido

Introducción	9
Justificación	10
Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos.....	12
Objetivo 1.....	12
Objetivo 2.....	12
Objetivo 3.....	12
Planteamiento del Problema	13
Propósito de la Investigación	14
Marco Conceptual y Teórico	15
Autosostenible.....	15
Autosustentable.....	15
Modelos Económicos Solidarios de administración y financiamiento.	16
Los Sistemas Esenciales de Sustentabilidad de la Vivienda.....	18
Técnicas de bioconstrucción más conocidas.....	18
Balas de Paja	19
Adobe.....	21
Ecoladrillos.	22
Bambú.....	22
Superadobe.....	23
Madera recuperada.....	25
Yurtas.....	26
Techo verde o Green Roof.....	27
Bloques de Hormigón de Cáñamo (Hempcrete).....	27
Casos de éxito de implementación de técnicas de bioconstrucción reconocidas.....	28
Referentes en construcción sostenible y bioconstrucciones.	29
Proyectos en Colombia.	30
Proyectos a nivel internacional	32
Aspectos Metodológicos.....	35
Diseño Metodológico.....	35
Análisis de Cuadros Comparativos.....	35
Técnicas de Recolección de Datos.....	35
Revisión Documental.....	35

Análisis de Expertos	35
Análisis de Datos	36
Comparación ventajas y desventajas de 5 técnicas seleccionadas	36
Comparación de oportunidades vs fortalezas de cada técnica.	38
Características físicas de los Materiales, mantenimiento y consumo de energía.	39
Metodología General Usada Para El Diseño De los Indicadores Aplicados	41
Identificación de la variable a evaluar	41
Definición de los componentes del indicador.	42
Asignación de puntuaciones para cada indicador	42
Métodos de Evaluación del indicador.....	43
Implementación del Indicador	43
Proceso de diseño del indicador de costos.....	44
Índice de costo de construcción (ICC).....	44
Pasos para la Medición	45
Medir el Área Construida.....	45
Implementación (ICC)	45
Consolidado de indicadores	49
Análisis de Resultados	51
Diseño de la Vivienda Autosustentable.	53
Nivel Principal (Planta Baja)	54
Planta Alta (Terraza).....	55
Aspectos de Sostenibilidad	56
Planificación Espacial General de Áreas	57
Vivienda.....	57
Áreas de producción agropecuaria,.....	58
Conclusiones	60
Recomendaciones	62
Recomendadas para la cubierta.....	62
Referencias Bibliográficas	64
Apéndices.....	72
Apéndice A	72

Lista de Tablas

Tabla 1 Rango de indicador ICC.....48

Tabla 2 Opciones de cubiertas63

Lista de Figuras

Figura 1 Ejemplos de técnicas de bioconstrucción.....	18
Figura 2 Tierra cruda (tapial o bareque)	19
Figura 3 Técnica de adobe.....	20
Figura 4 Técnica de ecoladrillos.....	22
Figura 5 Técnica de bambú o guadua.....	23
Figura 6 Técnica de superadobe.....	24
Figura 7 Técnica de madera recuperada.....	25
Figura 8 Técnica de yurtas.....	26
Figura 9 Técnica de green roof.....	27
Figura 10 Técnica de hempcrete.....	28
Figura 11 Ejemplos de casos de éxito.....	29
Figura 12 Cuadro comparativo ventajas vs desventajas.....	37
Figura 13 Cuadro comparativo oportunidades vs amenazas.....	38
Figura 14 Características de los materiales.....	40
Figura 15 Resumen de costos y horas promedio por técnicas de bioconstrucción.....	47
Figura 16 Resumen del indicador (ICC)	48
Figura 17 Diseño de indicadores.....	49
Figura 18 Resultados consolidados.....	51
Figura 19 Concepto general integral del diseño ecodomo.....	54
Figura 20 Distribución Planta baja o subnivel Domo Tipo 2.....	56
Figura 21 Distribución Piso 1 y Terraza exterior Domo Tipo 2.....	57
Figura 22 Distribución general de áreas.....	58

Lista de Apendices

Apéndice A72

Introducción

La construcción convencional, con su alta demanda de recursos no renovables y su significativa huella de carbono, ha generado una creciente preocupación ambiental a nivel global. En contraste, la bioconstrucción emerge como una alternativa prometedora, arraigada en principios de sostenibilidad y armonía con el entorno natural. Este documento explora la conceptualización y el diseño teórico de un modelo de vivienda autosostenible, específicamente adaptado al contexto rural del municipio de Guaduas, Cundinamarca, Colombia. El objetivo central es proponer una solución habitacional que no solo satisfaga las necesidades básicas, sino que también promueva la resiliencia comunitaria, la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local. El enfoque del proyecto se cimienta en tres pilares interconectados; la bioconstrucción de la vivienda, la producción agroalimentaria para el autoconsumo y la generación de ingresos a través del ecoturismo. Se prioriza el uso de materiales locales y técnicas constructivas de bajo impacto, la integración de energías renovables y la implementación de sistemas de saneamiento ecológico. Al adoptar estas prácticas, se busca minimizar el impacto ambiental de las edificaciones, reducir los costos operativos a largo plazo y fomentar una mayor independencia de los sistemas externos. Este modelo aspira a revitalizar las comunidades rurales, ofreciendo herramientas para una vida más autónoma y sostenible, y sentando las bases para un desarrollo integral que respete tanto el medio ambiente como la cultura local.

Justificación

Este proyecto cobra gran relevancia al ofrecer una solución viable a los desafíos de vivienda y las necesidades socioeconómicas fundamentales en Colombia, particularmente en áreas rurales. Representa una propuesta concreta para mejorar la calidad de vida de las familias, especialmente aquellas con bajos ingresos, aunque su aplicabilidad se extiende a cualquier hogar que aspire a una vivienda digna y autosostenible en el campo, capaz de producir alimentos de calidad y generar ingresos adicionales a través del ecoturismo. Diseñar e implementar viviendas autosostenibles en estas zonas es crucial para promover la sostenibilidad ambiental y mejorar las condiciones económicas y de vida locales. Este enfoque fortalece un camino hacia el desarrollo integral de comunidades como la de Guaduas, incentivando la asociatividad como herramienta clave para enfrentar los retos contemporáneos y construir un futuro más equitativo y sostenible.

Desde una perspectiva personal, el proyecto representa la culminación de un ciclo formativo y profesional, aplicando conocimientos acumulados para entregar un diseño teórico con potencial de materializarse en una solución real. Esta investigación podría influir en el desarrollo de políticas públicas en Guaduas y la formulación de estrategias de inversión aplicables a otras regiones, promoviendo el desarrollo económico y social del país. Además, establece un marco teórico sólido que puede guiar futuras investigaciones en bioconstrucción, bioclimática, agricultura sostenible y ecoturismo rural. El proyecto también beneficiaría a familias urbanas interesadas en una transición hacia un estilo de vida más rural, ya sea a tiempo parcial o total, al ofrecer una segunda vivienda campestre que evita gastos de mantenimiento gracias a su productividad y proporciona acceso a alimentos de alta calidad.

Los beneficios esperados de una vivienda autosostenible incluyen mejoras tangibles en la calidad de vida de las familias, medibles en ingresos, patrimonio y calidad nutricional, con un entorno natural y seguro que fomenta hábitos saludables y la cohesión familiar. El proyecto requerirá y promoverá el desarrollo de capacidades técnicas y tecnológicas en áreas como producción agropecuaria sostenible, gestión eficiente de recursos y habilidades comerciales, preparando a las familias para administrar sus unidades productivas y comercializar excedentes eficazmente. Se busca fomentar un trabajo autorregulado, con propósito y dignidad, que privilegie la calidad de vida y la automotivación. El impacto social y regional se extenderá más allá de las familias directamente involucradas, fortaleciendo la economía regional a través de la creación de redes comerciales y de conocimiento. Este diseño innovador tiene un potencial de escalabilidad, sirviendo como un modelo replicable en otras comunidades rurales. La colaboración con instituciones como la UNAD y otros centros de investigación facilitaría un enfoque multidisciplinario, impulsando el desarrollo de nuevas tecnologías, fortaleciendo modelos de economía solidaria y explorando fuentes alternativas de financiamiento.

El turismo ecológico y la educación continuada son componentes clave, ofreciendo a los visitantes la oportunidad de aprender sobre prácticas agropecuarias sostenibles, lo que diversifica las fuentes de ingreso familiar, promueve la educación ambiental y contribuye al desarrollo regional. La preservación del medio ambiente es fundamental, con el uso de energías renovables y sistemas de recolección y manejo de agua que minimizan el impacto ambiental y reducen la dependencia de recursos no renovables, disminuyendo activamente la huella de carbono.

Objetivo General

Determinar la técnica de bioconstrucción más apropiada para incorporar en el diseño de una vivienda autosostenible, a través del análisis comparativo en el contexto del municipio de Guaduas Cundinamarca.

Objetivos Específicos

Objetivo 1

Analizar individualmente las principales técnicas de bioconstrucción más reconocidas y las generalidades del contexto de la zona rural del municipio de Guaduas Cundinamarca.

Objetivo 2

Analizar comparativamente; costos, durabilidad, confort, resistencia, mantenimiento, facilidad de uso y eficiencia energética de las técnicas de bioconstrucción abordadas, con el fin de identificar la más apropiada para el diseño de una vivienda autosostenible.

Objetivo 3

Proponer una técnica de bioconstrucción para aplicar al diseño de una vivienda autosostenible en el contexto de la zona rural del municipio de Guaduas Cundinamarca.

Planteamiento del Problema

Según el índice de pobreza multidimensional del programa de Naciones Unidas para el Desarrollo en 2017 en zonas rurales alcanzaba el 36,6%, una cifra que es drásticamente superior al 11,4% que se presenta en el entorno urbano (ONU, 2022). En este contexto, mejorar la calidad y el acceso a la vivienda rural no es solo una necesidad, sino un imperativo para el desarrollo social. El núcleo del problema reside en el considerable déficit habitacional (DANE, 2023) que aqueja a Colombia, afectando a cerca del 46,59% de la población, lo que se traduce en aproximadamente 18,2 millones de personas. Esta carencia se manifiesta con mayor crudeza en las áreas rurales, donde escasean modelos de vivienda integrales capaces de satisfacer simultáneamente las necesidades de un techo digno, garantizar la seguridad alimentaria y facilitar la generación de ingresos de manera sostenible. La infraestructura habitacional rural existente suele ser precaria, construida sin criterios de sostenibilidad ambiental y desvinculada de las dinámicas económicas locales y regionales. Frente a esta compleja realidad, surge la necesidad imperante de diseñar un modelo de vivienda autosostenible específicamente concebido para el contexto rural. Este modelo debe ser autosuficiente, que integre la producción de alimentos como un componente inherente en su diseño.

Como preguntas fundamentales se pueden formular; ¿Cuál es la mejor técnica de bioconstrucción más recomendada en términos de materiales, capacidad de carga, área construida, eficiencia energética e impacto ambiental para una vivienda autosustentable?, también se pueden abordar otras dimensiones de sostenibilidad, ¿Cómo se pueden integrar eficazmente sistemas agrícolas a esta vivienda? o ¿Qué estrategias de generación de recursos y modelos económicos se pueden aplicar? Entre otras cuestiones.

Propósito de la Investigación

Determinar la técnica de bioconstrucción más adecuada para una vivienda autosostenible, que, en términos de eficiencia en el manejo de residuos sólidos, agua y energía sea lo más eficiente posible. Además, se tendrá en cuenta el contexto rural del municipio de Guaduas Cundinamarca como lugar para su construcción, la producción agropecuaria y el ecoturismo se tendrán en cuenta como fuentes de ingresos incluidos en el diseño final de la vivienda.

Marco Conceptual y Teórico

Para diseñar una vivienda autosostenible en el contexto rural, que incorpore técnicas de bioconstrucción, producción agropecuaria y turismo, es crucial entender ciertos conceptos clave, como la diferencia entre autosostenibilidad y autosustentabilidad.

Autosostenible

Autosostenible viene del verbo raíz “**sostener**”, Se refiere a algo que puede mantenerse por sí mismo o sostenerse sin ayuda externa, se aplica a procesos o sistemas que no requieren apoyo constante. Ejemplo: Terrario eterno o cerrado, es un ecosistema autosostenible sellado, que sea capaz de mantener su equilibrio y microclima sin intervención humana. En un contexto de arquitectura y construcciones (Ocampo, 2015) afirma de la **construcción autosostenible** Se refiere a la utilización de materiales y prácticas respetuosas con el ambiente en la planeación, el diseño, la ubicación, construcción, operación y demolición de un edificio. Se busca minimizar el impacto ambiental mediante la eficiencia energética, la conservación del agua y el uso de materiales de bajo impacto.

Autosustentable

Viene del verbo raíz “**sustentar**”, Y hace referencia a algo que puede mantenerse durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar daño al medio ambiente. Se aplica en la defensa y uso racional de los recursos disponibles. Ejemplo: Un modelo de negocio autosustentable que considera aspectos económicos, sociales y ambientales en todos sus procesos. En un contexto de construcción y arquitectura y construcción (Ocampo, 2015) se refiere a sistemas de gestión que equilibran lo económico, social y ambiental, asegurando un "buen vivir" mediante la preservación del entorno y la autosuficiencia.

Al comparar ambos conceptos, la autosostenibilidad se enfoca en la independencia, mientras que la autosustentabilidad contempla un equilibrio más amplio, abarcando los aspectos medioambientales, sociales y económicos.

Modelos Económicos Solidarios de administración y financiamiento.

Existen alternativas, como las formas asociativas solidarias (cooperativas, mutuales y fondos), que son excelentes opciones para financiar proyectos productivos. En el caso de las viviendas autosostenibles, si bien los costos iniciales pueden ser elevados debido a los equipos necesarios para la autonomía, el ahorro a largo plazo en servicios públicos, la mejora en la calidad de vida y posibles incentivos fiscales y financieros para fomentar la adopción de tecnologías sostenibles las convierten en una alternativa viable y rentable a largo plazo. En cuanto a la cadena logística, las formas asociativas fortalecen la capacidad de negociación tanto para la compra de insumos como para la comercialización de excedentes, facilitando el acceso al comercio justo. Este modelo promueve equidad en las relaciones comerciales, garantizando precios justos para los productores y mejores condiciones laborales, además de priorizar la dignidad humana y ofrecer productos de mayor calidad a los consumidores. El comercio justo, surgido en 1964, desafía las desigualdades estructurales del comercio global, empoderando a los productores y promoviendo una cadena de suministro más ética y transparente. (Natividad, 2005).

Economía Circular concepto. Es un modelo que busca maximizar el uso de los recursos y reducir la generación de residuos. En lugar del tradicional “tomar-fabricar-consumir-eliminar”, la economía circular promueve la reutilización, el reciclaje y la prolongación de la vida útil de los productos. Su objetivo es mantener el valor de los bienes en la economía durante el mayor tiempo posible, desvinculando el crecimiento económico del consumo finito de recursos. Este

enfoque sostenible y eficiente es fundamental para abordar los desafíos ambientales y económicos actuales (Eiroa, 2021), desde un punto de vista gerencial, la gestión de los recursos naturales disponibles y el máximo aprovechamiento de todos los subproductos en un enfoque de economía circular (Gil Lamata, 2022) en el diseño de viviendas autosostenibles es de gran ayuda al momento de buscar reducir los costos asociados al mantenimiento de la vivienda, o del modelo de producción agropecuaria, este punto de vista es relevante para fomentar un impacto social positivo a nivel comunitario que ayude a fortalecer las comunidades rurales mediante la generación de procesos asociativos productivos o comerciales. Esto puede repercutir en la necesidad de capacitación técnica a nivel local en tecnologías sostenibles, aumentando la posibilidad de creación de empleo local y el fortalecimiento de la resiliencia comunitaria frente a cambios ambientales, económicos, inclusive pudiendo llegar a influir en el desarrollo futuro de políticas públicas ajustadas a contextos rurales.

Economía colaborativa Concepto. La economía colaborativa se basa en compartir, intercambiar o alquilar bienes y servicios en lugar de poseerlos. Este modelo maximiza el uso de productos ya existentes, reduciendo la necesidad de producir nuevos. Ejemplos como Airbnb y Uber muestran cómo los recursos subutilizados pueden ser aprovechados por otros. Impulsada por la tecnología y las redes sociales, la economía colaborativa ha transformado la manera en que consumimos y nos relacionamos. Sus principios incluyen la confianza, la utilización de bienes excedentes y la colaboración entre comunidades, ofreciendo un gran potencial para cambiar la forma en que vivimos. Sin embargo, su desarrollo plantea desafíos que requieren una regulación adecuada y adaptación a un entorno en constante evolución (Calvo, Elvira, 2017).

Economía azul. Similar a la economía verde, la economía azul, propuesta por Gunter Pauli, se basa en imitar los procesos naturales para crear valor sin generar desperdicios ni

contaminación. Este modelo propone soluciones que no solo sean sostenibles, sino que también fomenten la innovación y el desarrollo económico local. La economía azul aprovecha los recursos locales, procesos biológicos y tecnologías ecológicas para generar modelos de negocio con impacto positivo en el medio ambiente. Además, integra principios de agricultura regenerativa, tratamiento total de aguas y construcciones sostenibles, entre otros (Gunter, 2011).

Los Sistemas Esenciales de Sustentabilidad de la Vivienda

Para que la vivienda sea lo más autosostenible posible, se requieren varios sistemas de apoyo que se abordan en detalle en el apéndice I, tres categorías principales serían; Sistemas de generación y administración inteligente de la energía, gestión integrada del recurso hídrico y sistemas de saneamiento biofílico y de conversión, los sistemas de confort y seguridad, agromática entre otros también se tienen en cuenta pero no se entrará en detalle en ellos.

Técnicas de bioconstrucción más conocidas.

En principio analizaremos 10 técnicas de bioconstrucción o construcción ecológica disponibles y más usadas en la actualidad, estas técnicas representan enfoques sostenibles que buscan minimizar el impacto ambiental de las edificaciones mediante el uso de materiales naturales y renovables de las cuales se pueden observar algunos ejemplos en la Figura 1, estas destacan por su contribución al desarrollo de construcciones ambientalmente responsables, abordaremos una a una para dar un panorama general. Luego de una revisión preliminar de cada una de las técnicas aquí propuestas seleccionaremos 5 de las más adecuadas para profundizar en sus ventajas, desventajas, oportunidades y fortalezas con el fin de compararlas entre sí para determinar la opción más recomendable a implementar en el diseño de una vivienda autosostenible.

Figura 1

Ejemplos de técnicas de bioconstrucción.



Tomado de; Yurta (Fotografía anónima Pinterest 2025), casa de guadua (idealista.com 2025), el casa de bareque (rincondelatradicion.blogspot.com 2025), techos verdes (icasasecologicas.com 2025), Superadobe (arquitecturayempresa.es), Cábamo y hormigón (freepik.es), Ecoladrillos (elplanteo.com), Balas de paja (casadepaja.es).

Balas de Paja

Esta técnica usa paja seca como material principal como se observa en la figura 2, se confina en un esqueleto de madera, las balas de paja se utilizan como material principal para construir muros, cubiertas y aislamientos, Son fáciles de apilar y se unen con mortero de barro o arcilla. Ofrecen un excelente aislamiento térmico y acústico debido a las propiedades naturales de la paja. Se denomina balas de paja por un proceso de postcosecha como se describe a continuación “Después de la cosecha del cereal (aunque se puede usar diversas especies de gramíneas o pastos secos con el mismo propósito) mediante la máquina embaladora la paja que

ha quedado suelta en el campo se comprime mecánicamente formando bloques rectangulares denominados balas de paja”. (Yahyane, 2019, p.136). La paja es un recurso renovable y abundante, brinda un excelente aislamiento térmico al mantener la temperatura interior estable, y su costo es bajo.

Figura 2

Tierra cruda (tapial o bareque)



Idealista New (Studio Muttonsholtz 1984).

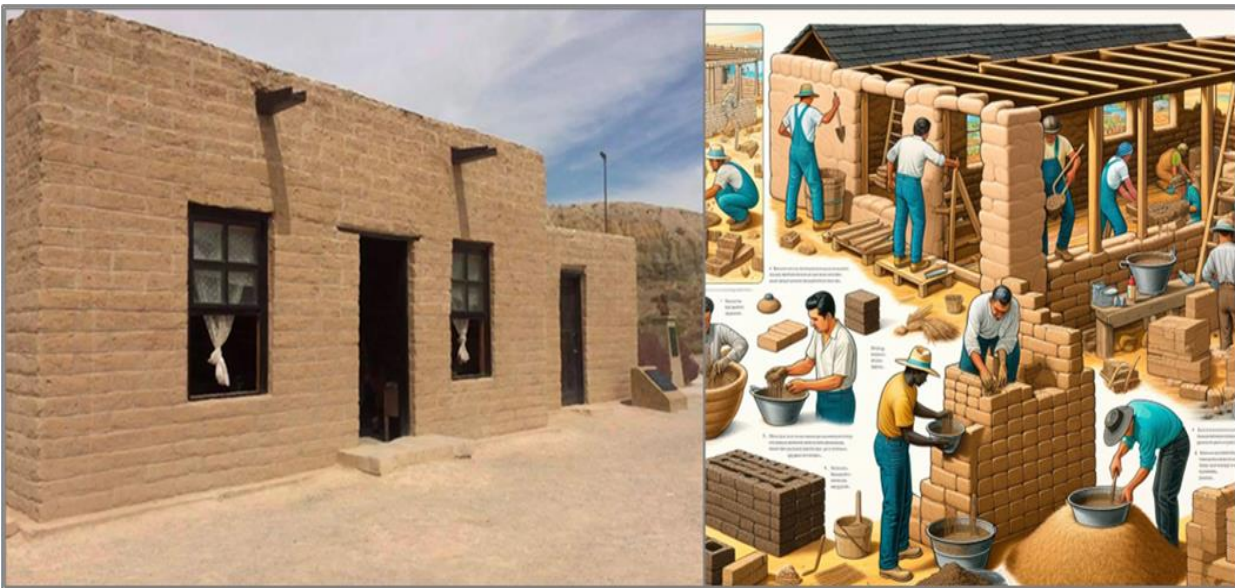
Esta técnica ancestral que utiliza tierra mezclada con fibras naturales, palos o cañas entretejidos y compactada en moldes que se anclan al terreno y van formando los muros, se le conoce también con el nombre de bareque o bahareque, proporciona aislamiento térmico y es una técnica indígena sostenible la cual usa materiales locales y naturales, brinda gran aislamiento, pues regula la temperatura y la humedad debido a las propiedades inherentes del material, la tierra cruda se caracteriza por ser transpirable, higroscópico, absorbente de contaminantes, con buena capacidad de difusión, así como una buena capacidad de almacenar calor o frío (Rodríguez Lledo, 2006, p.24).

Adobe

El adobe es un material ancestral hecho de tierra, arena, agua y fibras vegetales moldeado en bloques secados al sol, ofrece un excelente aislamiento térmico y regulación natural de la humedad, ideal para climas cálidos y secos. (Guillén Marzal, 2015). Usa materiales locales y naturales, ofrece un buen aislamiento térmico muy estable, de un costo bajo pues cada bloque de adobe resulta muy económico porque no se generan gastos energéticos derivados o uso de maquinaria, únicamente mano de obra y herramientas rudimentarias. También, es un material biodegradable y de larga duración, lo que contribuye a una construcción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, casas bien construidas y mantenidas puede durar muchos años, incluso siglos, de hecho, existen construcciones de adobe que han perdurado más de 500 años, como algunas en Medio Oriente, África y América Latina en la figura 3 se puede observar esta técnica en mayor detalle.

Figura 3

Técnica de adobe



Casa de Adobe (Canutillo, 2025)

Ecoladrillos.

Son bloques hechos con botellas de plástico rellenas de residuos no biodegradables con el fin de asegurar un confinamiento seguro, se utilizan como material de construcción en muros y paredes, tienen capacidad de soportar grandes cargas dependiendo del aglomerante utilizado para su relleno. (Rojas Valencia, 2015). Al ser un material reciclado se reduce la cantidad de plástico en vertederos, contribuyendo así a reducir la contaminación de los ríos y mares, fortaleciendo la economía circular debido a que se transforman residuos en recursos, en la figura 30 se pueden ver algunas aplicaciones de esta técnica.

Figura 4

Técnica de ecoladrillos



Ecoladrillo estructural (De Maria, 2025)

Bambú

El bambú, también conocido como guadua, es ampliamente valorado por su alta resistencia y flexibilidad, lo que lo convierte en una opción sostenible de rápido crecimiento para diversas estructuras, que van desde puentes hasta viviendas de distintas formas y tamaños, además de su uso en techos y revestimientos. Su empleo en la construcción promueve prácticas ecológicas y sostenibles. Según la Organización Internacional del Bambú y el Ratán (INBAR), estas plantas pueden alcanzar alturas de hasta 35 metros y diámetros de 30 cm, con algunas

especies creciendo hasta 91 cm por día, lo que les permite alcanzar su madurez para el corte en tan solo cuatro años. A la fecha, se han identificado 1,642 especies de bambú (INBAR, 2019). El bambú es un recurso renovable excepcionalmente versátil, ya que no solo se regenera rápidamente, sino que también presenta una resistencia superior a la del acero, lo que lo convierte en una opción duradera para la construcción. Además, aporta un aspecto natural y elegante a las edificaciones, integrando funcionalidad y estética en las construcciones sostenibles que lo utilizan. En la figura 5 podemos observar un ejemplo de vivienda construida en esta técnica.

Figura 5

Técnica de bambú o guadua



(Guadua y Bambú Colombia, 2025)

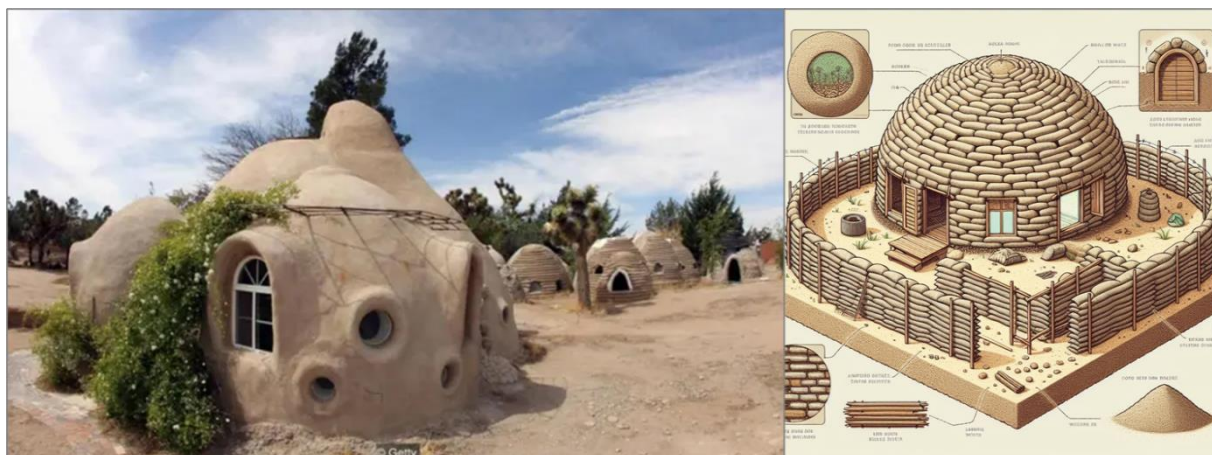
Superadobe

El Superadobe destaca por su versatilidad, resistencia y sostenibilidad, lo que lo convierte en una técnica de construcción superior. Su capacidad para adaptarse a diferentes entornos y la facilidad de su implementación son características clave que justifican su elección. La técnica

consiste en el uso de tierra ensacada, estabilizada con cal o cemento, que se compacta en capas o hiladas, unidas entre sí mediante alambre de púas. Esta metodología permite crear estructuras monolíticas con flexibilidad ante terremotos, proporcionando mayor seguridad en zonas sísmicas. Una de las principales ventajas del Superadobe es la posibilidad de construir edificaciones con formas curvas, como cúpulas, que otorgan no solo estética, sino también eficiencia estructural. Los muros, que pueden variar entre 30 cm y 60 cm de espesor, actúan como reguladores térmicos, manteniendo temperaturas estables dentro de las edificaciones. Esta capacidad de aislamiento térmico reduce la necesidad de sistemas de climatización artificial, lo que lo convierte en un material altamente eficiente y sostenible. En la figura 6 se pueden observar ejemplos de viviendas construidas con esta técnica, así como un esquema que muestra una variante en la que se utilizan sacos individuales de tierra, similares a las trincheras, lo que evidencia la flexibilidad y adaptabilidad del Superadobe en diversas configuraciones constructivas.

Figura 6

Técnica de superadobe



(Nader Khalili, 2025)

Madera recuperada.

El reciclaje de madera es un proceso clave que no requiere el uso de materiales químicos, lo que lo hace respetuoso con el medio ambiente. La madera puede ser recuperada para su reutilización completa o parcial, aprovechando elementos estructurales de construcciones antiguas o palets desechados. También puede reciclarse mediante procesos de trituración, lo que permite transformarla en nuevos productos como materiales aglomerados, compost u otros derivados, contribuyendo así a la reducción de la demanda de madera nueva (GADISA, 2024)

Entre sus beneficios, el reciclaje de madera disminuye la explotación de recursos naturales y reduce la huella de carbono, al fomentar la reutilización en lugar de la tala de nuevos árboles. Este proceso no solo es sostenible, sino que también ofrece un valor estético tal y como se puede observar en la figura 7, permitiendo mantener un estilo rústico en el diseño arquitectónico al conservar las características originales del material reciclado, según las preferencias del arquitecto o diseñador.

Figura 7

Técnica de madera recuperada.



Fotografía Cabaña Rustica(Teneche, 2014)

Yurtas

Las yurtas ofrecen una solución práctica, flexible y adaptable para satisfacer necesidades de vivienda temporal o semipermanente. Su diseño tradicional permite un montaje y desmontaje rápidos, lo que las convierte en una opción ideal para situaciones de emergencia o alojamientos provisionales. Originarias de Mongolia, estas estructuras circulares cuentan con un armazón de madera y están cubiertas con fieltro de lana o piel de origen animal, lo que les confiere una gran eficiencia térmica y una atmósfera acogedora. Su simplicidad estructural no solo facilita su transporte, sino que también asegura una notable resistencia y confort en diferentes climas. (Martínez, 2019), algunos beneficios; Se pueden desmontar y transportar fácilmente, el fieltro manejado por capas puede proporcionar buen aislamiento térmico, y logran una gran armonía con el entorno circundante, con muy poco impacto medioambiental en la figura 8 se presenta parte del proceso de montaje de una yurta y su agradable aspecto final.

Figura 8

Técnica de yurtas



(Henan Haoting Construcción Engineering, 2001)

Techo verde o Green Roof

Un techo verde, también conocido como cubierta ajardinada o techo vivo, es una estructura en la que el techo de un edificio se cubre parcial o totalmente con vegetación. Esta vegetación puede crecer sobre suelo o en un medio de cultivo adecuado, y el sistema incluye una membrana impermeable. Además, puede incorporar capas adicionales para el drenaje, la irrigación y la protección contra las raíces. Los techos verdes actúan como una capa aislante térmica, ayudando a mantener condiciones de confort en el interior del edificio al reducir la transferencia de calor. (Minke, 2000). Los techos verdes proporcionan un excelente aislamiento térmico, absorben el agua de lluvia y mejoran la calidad del aire. También contribuyen a reducir la huella de carbono y el impacto ambiental de las construcciones, estéticamente, embellecen los edificios y ofrecen espacios verdes adicionales, incluso en áreas donde no sería posible tenerlos.

Figura 9

Técnica de green roof



(British Horse Society, 2010)

Bloques de Hormigón de Cáñamo (Hempcrete)

El hormigón de cáñamo es un material de construcción ecológico compuesto por cáñamo, cal y agua. Este material ofrece aislamiento térmico y acústico, regulación natural de la humedad y resistencia al fuego. Como cualquier cultivo, el cáñamo absorbe CO₂ de la atmósfera mientras

crece, lo que convierte al hormigón de cáñamo en un material que almacena carbono, con una huella negativa estimada de 75 kg de CO₂ por cada metro cúbico (Jay H. Arehart, 2020), Además de su capacidad de aislamiento, mantiene los espacios frescos en verano y cálidos en invierno, su permeabilidad al vapor permite que las paredes "respiren", favoreciendo niveles óptimos de humedad relativa en el interior. Este material también proporciona un buen aislamiento acústico, reduciendo los ruidos externos hasta en 44 dB, y su resistencia al fuego es notable, soportando hasta 240 minutos de exposición directa al fuego. En la Figura 10 se puede apreciar el uso de esta técnica en forma de revoque, ladrillos para muros divisorios, y relleno en estructuras.

Figura 10

Técnica de hempcrete



(Flowertown, 2023)

Casos de éxito de implementación de técnicas de bioconstrucción reconocidas.

En la Figura 11 se presentan una extracción de algunos proyectos representativos de las técnicas de bioconstrucción descritas anteriormente. Aunque existen muchos más, estos proyectos destacan por ser casos populares en sus regiones, demostrando que tanto en nuestro país como en el mundo hay numerosos ejemplos exitosos que merecen una mirada.

Figura 11

Ejemplos de casos de éxito

Técnica	Colombia	Latinoamérica	Global
1 Balas de Paja	Museo Paleontológico Villa de Leyva, Boyacá. Construida con balas de paja y barro, es un gran ejemplo de arquitectura sostenible.	Casa de Paja en Argentina: Un proyecto que utiliza balas de paja como material principal Av. Belgrano 1069	The Straw Bale House (Estados Unidos): Un icónico ejemplo de construcción con balas de paja, diseñado por Bill y Athena Steen.
2 Adobe	Casa de la pola en Guaduas: Un ejemplo de vivienda tradicional construida con ladrillos de adobe y techo de paja.	Casa Mauca Pedregal de Adobe en Ecuador: La región andina tiene una rica tradición en construcción con adobe.	Alhambra (España): Un palacio y fortaleza construido principalmente con ladrillos de adobe.
3 SúperAdobe	La Casa de los domos en Barichara Santander: de Pedro José Ramírez Medina, Compuesta de 3 domos y una terraza.	Superadobe San Pedro de Atacama Chile, Superadobe del Sur - Escuela de Construcción Natural.	Cal-Earth Institute (Estados Unidos): Fundado por Nader Khalili, promueve la construcción con superadobe.
4 Yurtas	Yurtas en Tabio Cundinamarca, esfera MADRE: Inspirada en las tradicionales tiendas nómadas Mongolas.	Yurtas en Valle San Luis en Chile emblemáticas de la cultura mongola.	Yurtas en Suecia, se han popularizado como opciones de vivienda de campo alternativa.
5 Bambú	Puerta de guadua (Jenny Garzón) sobre el río Bogota Calle 80, es el puente peatonal mas grande del mundo en este material.	Puente de Bambú en Costa Rica: El puente de Bambú de Tarcoles.	Puente colgante peatonal de Bambú en las montañas de Vietnam para ayudar a todos a cruzar el río Saigon.
6 Tierra cruda (Tapia o Bareque)	Casa Terracota en Villa de Leyva, Boyacá. Una estructura de tapial de arcilla que se ha convertido en un atractivo turístico.	Casa experimental de Tapial Kaiser, El uso de tierra cruda en la construcción es común en la región andina.	Gran Mezquita de Djenné (Mali): Un impresionante edificio de adobe que data del siglo XIII.
7 Ecoladrillos	Casa Proyecto Ecoladrillos en Medellín de Mario Alberto Luna del Risco, hechas de botellas plásticas rellenas de residuos.	Casa de Aldo Castillo de cemento ecológico con un material con cualidades térmicas y aislantes, muy abundante en México.	Proyectos de Ecoladrillos en Europa LIFE HYPOBRICK financiado por la EU, del programa Life.
8 Madera Recuperada	Casa de Madera Recuperada y tetrapack reciclado, en Bogotá, Iván Forgioni y José Puentes, investigadores y docentes de la Universidad Nacional de Colombia (U.N.)	Proyectos de Madera Recuperada en Brasil de Cristián Peters, usa en placas aglomeradas de alta calidad.	Edificios de Madera en Escandinavia: Ejemplos de construcción sostenible con madera.
9 Techo Verde (Green Roof)	Edificio Hábitat en Bogotá: Cuenta con techos verdes que mejoran la eficiencia energética.	Terraza de Martha el Barrio de Nuñez en Buenos Aires, y cuenta con reducciones en impuestos y gastos a los propietarios de estas construcciones.	Jardines en la Torre de Londres (Reino Unido): Un ejemplo histórico de techos verdes.
10 Bloques de Hormigón de Cañamo (Hempcrete)	Proyecto de Hempcrete en Medellín: Utiliza cañamo y cal para construir paredes con asesoría de Asocañamo.	Hempcrete de Uruguay: Se ha utilizado en viviendas estructuras ecológicas y hasta textiles de cañamo.	Gervasi Italia SPA es un gran ejemplo de fabricación y comercialización a nivel mundial de maquinaria para bloques Hempcrete

Referentes en construcción sostenible y bioconstrucciones.

Existen numerosos ejemplos de viviendas autosostenibles y bioconstrucciones alrededor del mundo que sirven como referencia y guía para este estudio. Un caso destacado se encuentra en Ecuador, donde el arquitecto Raúl Cordero, en su participación en el Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Ecoeficientes, presentó "Una vivienda altamente autosostenible". En esta ponencia, Cordero describe y analiza la construcción de una vivienda en el cantón Paute, cuyo objetivo es alcanzar la autosustentabilidad en múltiples aspectos: desde un enfoque técnico-constructivo hasta el uso de formas arquitectónicas creativas y funcionales. Esta

vivienda incorpora energías alternativas, eficiencia en el tratamiento de aguas y producción de alimentos, utilizando técnicas ecológicas como cubiertas verdes, ventilación cruzada y paneles solares para lograr un máximo confort e independencia energética (Cordero, 2017)¹, Este enfoque busca no comprometer la disponibilidad de recursos naturales para las futuras generaciones, alineándose con la creciente conciencia ecológica que ha surgido con fuerza en países desarrollados y ha impulsado iniciativas de conservación de recursos y protección ambiental en Latinoamérica (Acosta, 2009). La integración de diversas corrientes teóricas y conceptuales, aplicadas exitosamente en contextos internacionales y adaptadas a las realidades locales, es fundamental para el avance de la bioconstrucción en nuestro país. A continuación, se revisarán algunos centros de investigación y organizaciones que están trabajando para comprender y mejorar el diseño y las tecnologías aplicadas a las viviendas autosostenibles.

Proyectos en Colombia.

Centro de formación e investigación en regeneración y saberes Interculturales.

Desde 2016, la arquitecta Ana María Gutiérrez lidera un equipo interdisciplinario en bioconstrucción y desarrollo comunitario en Colombia, promoviendo diversas técnicas de construcción sostenible y la recuperación de la arquitectura vernácula en zonas rurales. En la sede del centro, ubicada en el municipio de Tenjo (Cundinamarca), se pueden apreciar edificaciones de muestra que reflejan estas prácticas. Las técnicas empleadas no solo reducen el impacto ambiental de la construcción, sino que también fomentan el uso de recursos locales y la resiliencia social. Ana María es cofundadora de Organizmo, un centro dedicado a la formación e investigación en regeneración y saberes interculturales. Este espacio ofrece talleres, cursos y consultoría en temas como asentamientos sostenibles, sistemas agroforestales, comunidad y

¹ Departamento de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Construcción Arquitectónica y eficiencia energética, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

hábitat, entre otros (Gutiérrez, 2016). Su contribución a esta investigación es especialmente valiosa debido a la visita de campo que realicé a su centro, donde pude observar de cerca las técnicas de bioconstrucción que allí se practican, tales como adobe, superadobe, yurtas, malocas y sistemas constructivos en guadua. En el apéndice I se incluyen imágenes de las construcciones y algunos de los procesos documentados durante mi visita en septiembre de 2016. (Gutiérrez, Ana Maria., 2016).

La finca integral dimensional. En el ámbito de los sistemas de producción agrícola intensiva en pequeñas áreas, destaca el trabajo del ingeniero Antonio Rosas Roa (1929–2023), un investigador agrícola especializado en hidroponía, organoponía y el diseño de instalaciones productivas integrales en granjas. Fue profesor en la Universidad Agraria de Colombia y su principal aporte a esta investigación es su concepto de *granja integral dimensional*. Este modelo emplea un enfoque sistémico en la integración de sistemas agropecuarios, destacando el uso de forraje verde hidropónico y aeropónica vertical como pilares clave en la producción agrícola. Estas técnicas permiten maximizar la producción de biomasa en áreas limitadas, mediante el uso de invernaderos y sistemas de nutrición controlada y automatizada, lo que facilita una producción más eficiente y sostenible. La aplicación de estos principios en el proyecto aumentará la eficiencia en la etapa de diseño del modelo de producción agropecuaria para la vivienda autosostenible. (Roa Rosas, Antonio, 2023)

Agricultura orgánica y cromatografía de suelos. El ingeniero agrónomo Jairo Restrepo Rivera, formado en la Universidad de Pelotas, en Río Grande, Brasil, es ampliamente reconocido por su trabajo en la agricultura orgánica, una corriente que se contrapone a la economía industrial. Según Restrepo, la agricultura convencional ha contribuido a la propagación del hambre en el mundo. Entre sus numerosas publicaciones destaca *El ABC de la Agricultura*

Orgánica. Restrepo Rivera es conocido por su promoción de técnicas como el uso de biofertilizantes y compostaje, que mejoran la productividad agrícola de manera sostenible. Su enfoque se centra en equilibrar y enriquecer los suelos de forma natural, utilizando recursos como los fermentados de estiércol de ganado vacuno y los "caldos de rocas", prácticas esenciales para garantizar la viabilidad a largo plazo de las actividades agropecuarias en un proyecto autosostenible (Restrepo Rivera, Jairo, 2023). En el diseño del modelo de producción agropecuaria para la propuesta de vivienda autosostenible, se incorporan sistemas de cultivo inspirados en la finca Pachita, ubicada en Jamundí, Valle del Cauca. En esta finca, Restrepo desarrolló, en apenas una hectárea y media, un sistema productivo biodiverso que incluye un lago y un humedal propio, todo basado en la agricultura orgánica. Además, mediante el diseño de un ecosistema sustentable, ha logrado crear microclimas diferenciados dentro de la misma finca. Actualmente, Pachita opera como un centro de investigación y trabajo de campo, ofreciendo cursos sobre agricultura orgánica, cromatografía para el análisis de suelos y muchos otros temas relacionados (Daniel, 2022).

Proyectos a nivel internacional

Instituto Cal-Earth técnica Superadobe. La técnica de Superadobe fue diseñada y desarrollada por el arquitecto iraní-estadounidense Nader Khalili (1936–2008), quien también fue creador del sistema Geltaftan Tierra y Fuego, conocido como las Casas de Cerámica. Khalili fundó la Geltaftan Foundation en 1986 y el California Institute of Earth Art and Architecture (Cal-Earth) en 1991, instituciones clave en el desarrollo de la bioconstrucción. Esta investigación toma como referencia los aportes del Instituto Cal-Earth y, en particular, la técnica de Superadobe, que Khalili perfeccionó utilizando sacos rellenos de tierra y alambre de púas para crear estructuras duraderas y resistentes. Este método es ideal para viviendas autosostenibles en

entornos rurales, destacándose por su simplicidad constructiva, bajo costo y adaptabilidad a diversas condiciones climáticas. Además, los artículos científicos publicados en el *Journal of Aerospace Engineering*, que exploran la estabilización de tierra compactada con cal, resultan relevantes para este estudio debido a sus aplicaciones prácticas en el contexto de bioconstrucción (Khalili, Nader , 1999). Khalili también fue reconocido por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles por sus innovaciones en este campo. El diseño de la vivienda autosostenible en esta investigación se nutre de la integración de diversos enfoques teóricos y prácticos provenientes de los autores e instituciones mencionados. Las técnicas descritas han sido adaptadas para responder a las necesidades específicas de las comunidades rurales en Colombia. Como marco de referencia, se considerará el caso del municipio de Guaduas (Cundinamarca), en la vereda El Cucharal, finca La Promesa. La revisión de antecedentes y el aporte de diversos autores a lo largo de la investigación ofrecen soluciones probadas que promueven la eficiencia económica, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, mediante prácticas innovadoras y colaborativas ajustadas a cada contexto.

The Venus Project. En cuanto a proyectos de alcance global, citamos el caso de The Venus Project, propuesto por el ingeniero Jacque Fresco (1916-2017). Fresco fue un diseñador industrial, futurista, ingeniero social, autor, conferencista, inventor y pionero en la ingeniería de factores humanos. A lo largo de su carrera, trabajó como diseñador e inventor, abarcando desde innovaciones biomédicas hasta sistemas sociales totalmente integrados. Su principal aporte a esta investigación es el concepto “The Venus Project” y su obra "Designing The Future" (2007). En estas obras, Fresco propone una economía basada en recursos para sustentar la vida humana en armonía con la naturaleza. Critica los modelos económicos actuales, especialmente la dependencia del crecimiento infinito en un ambiente de recursos finitos y, en muchas ocasiones,

no renovables. Fresco propuso el uso de tecnologías avanzadas para construir edificaciones prefabricadas de diversos tipos y propósitos mediante procesos constructivos inteligentes. Un ejemplo de esto es la técnica de extrusión de gran volumen, la cual hoy día se asemeja a la impresión 3D de viviendas. Sus diseños promueven el uso compartido de espacios y recursos, minimizando el acumulación innecesario en favor del intercambio y la especialización productiva (Fresco, Jacque, 2008). Estos aspectos son cruciales para la autosustentabilidad y la eficiencia en el aprovechamiento de recursos naturales en el diseño de viviendas rurales. (Fresco, Jack , 2008). En el desarrollo de esta investigación, se incorpora parte de la filosofía de desarrollo social propuesta por Fresco.

Comunidad Gaia en Argentina. Las experiencias de campo de la Comunidad Gaia en Argentina aportan un entendimiento valioso en el contexto de los condominios autogestionados rurales. Este ejemplo proporciona una visión sobre la implementación exitosa de modelos comunitarios sustentables en América Latina, demostrando que la vida en comunidad de forma solidaria es viable. En esta comunidad se muestra cómo se puede lograr una expansión poblacional rural en equilibrio con el medio ambiente. La Comunidad Gaia ha llegado a crecer hasta alcanzar una población de aproximadamente 1500 personas. Estas experiencias son importantes para la investigación, ya que proporcionan una imagen de cómo puede ser el crecimiento demográfico en equilibrio con el medio ambiente y de forma sostenible. El fruto de la consulta a diversos expertos y el análisis de sus principales aportes han enriquecido la presente investigación. Más adelante, se abordarán de manera detallada las principales técnicas de bioconstrucción y el procedimiento para seleccionar las más adecuadas para aplicar en la vivienda autosostenible.

Aspectos Metodológicos

El tipo de investigación es descriptiva, se enmarca en un enfoque metodológico cualitativo y exploratorio, centrado en la revisión y análisis sistemático de técnicas de bioconstrucción disponibles. Se explorarán diversas áreas de aplicación para evaluar la conveniencia de diferentes materiales y sistemas constructivos. Entre los factores a evaluar se incluyen la durabilidad, la resistencia y la capacidad de aislamiento térmico para la conservación de la energía. A partir de estas variables, se diseñarán indicadores que servirán como herramientas de medición para poder realizar un análisis comparativo de las técnicas de bioconstrucción seleccionadas para así proponer la más adecuada para el diseño de la vivienda sustentable.

Diseño Metodológico

Análisis de Cuadros Comparativos

Se utilizará una matriz para evaluar y comparar los tipos de bioconstrucción, junto con cuadros explicativos que permitan una visión integral de las características de cada técnica.

Técnicas de Recolección de Datos

Revisión Documental

Se recopilará información relevante de fuentes secundarias con el fin de establecer un marco teórico y proporcionar una base sólida de antecedentes, que sirvan como referencia para el estudio.

Análisis de Expertos

Se consultará a expertos en el campo de la bioconstrucción para obtener perspectivas cualificadas y validadas. Como parte de este proceso, se realizará una entrevista con un profesional de amplia experiencia en bioconstrucción. Es un referente en Colombia en arquitectura sostenible,

la arquitecta Ana María Gutiérrez, directora y creadora del programa “Mundos Posibles” del centro de investigación Organizmo, dedicado a la regeneración y el intercambio de saberes interculturales. El contenido completo de la entrevista y registro fotográfico de la visita de campo a “Organizmo” puede consultarse en el apéndice A.

Análisis de Datos

El análisis se centrará en identificar factores internos y externos relacionados con los distintos tipos de bioconstrucción. Se evaluarán las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de cada técnica, así como las características principales de los materiales utilizados. Se prestará especial atención a la idoneidad de cada material en términos de eficiencia energética, impacto ambiental y viabilidad económica.

Comparación ventajas y desventajas de 5 técnicas seleccionadas

Para un análisis más detallado y con el fin de abordar un estudio comparativo, se seleccionan 5 técnicas para continuar con la investigación, En la Figura 12 se presenta un primer cuadro comparativo general que ofrece una breve descripción de cada técnica seleccionada, destacando sus aspectos más relevantes. Estas cinco técnicas fueron seleccionadas por su equilibrio entre sostenibilidad, eficiencia energética, resistencia y adaptabilidad a diversos contextos y necesidades. Las 5 técnicas de bioconstrucción son; balas de paja, adobe, superadobe, yurtas y bambú, las balas de paja destacan por su buen aislamiento térmico y acústico, y bajo costo, pero requieren protección contra humedad e incendios, el material requerido para la técnica de adobe es abundante y tiene buena masa térmica, pero es vulnerable a los efectos de la erosión si se encuentra en exposición directa al agua y requiere trabajo intensivo. Superadobe, compuesto por bolsas llenas de tierra compactada, es resistente a terremotos, sencillo de construir y muy eficiente energéticamente, ya que conserva el calor en invierno y es buen aislante del frío,

reduciendo significativamente los costos de calefacción y refrigeración, las yurtas, aunque portátiles y eficientes en el uso del espacio, tienen un aislamiento limitado y no son aptas para estructuras permanentes.

Figura 12

Cuadro comparativo ventajas vs desventajas.

Técnica	Descripción	Ventajas	Desventajas
1 Balas de Paja	Utiliza balas de paja como material principal para construir muros, techos y aislamientos.	Buen aislamiento térmico y acústico, Material renovable, Costo reducido	Requiere protección adecuada contra la humedad, Capacidad de carga limitada.
2 Adobe	Materiales: Mezcla de arcilla, arena y agua moldeada en bloques y secada al sol.	Natural y abundante, Buena masa térmica,	Vulnerable al daño por agua, Requiere trabajo manual muy intensivo.
3 SúperAdobe	Materiales: Mezcla de arcilla, arena y agua moldeada en bloques y secada al sol.	Técnica sencilla, Resistente a terremotos, Bajo costo	Flexibilidad arquitectónica limitada, Aspecto estético a mejorar, intensivo en mano de obra.
4 Yurtas	Viviendas portátiles tradicionales de los nómadas de Asia Central. Estructura circular cubierta con fieltro, tela o cuero.	Portabilidad, Uso eficiente del espacio, Ligereza.	Aislamiento limitado, No apto para estructuras permanentes, ofrece poca resistencia.
5 Bambú	Material rápido de crecimiento utilizado para estructuras ligeras (pérgolas, techos, paredes).	Fuerte, flexible y Sostenible.	Requiere tratamiento adecuado para prevenir la descomposición, Disponibilidad limitada en algunas regiones, requiere mano de obra calificada.

Superadobe se perfila como una excelente opción por su durabilidad, resistencia a desastres naturales y eficiencia energética, haciendo que sea ideal para climas extremos. En comparación, las balas de paja son una opción económica y sostenible para climas moderados, mientras que el adobe, aunque el más natural y con buena masa térmica, presenta desafíos significativos en cuanto a vulnerabilidad al agua por esto es recomendable para climas secos. Las yurtas, aunque prácticas para vivienda temporal, son la opción menos duradera para estructuras permanentes, aunque muy económicas.

Comparación de oportunidades vs fortalezas de cada técnica.

En la Figura 6, se continúa con el análisis de las cinco técnicas seleccionadas, enfocándonos ahora en las oportunidades y amenazas.

Figura 13

Cuadro comparativo oportunidades vs amenazas

Técnica	Oportunidades	Amenazas
1 Balas de Paja	<p>Demanda creciente: Existe un aumento en la demanda de construcciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, lo que podría impulsar la adopción de balas de paja.</p> <p>Costos reducidos: Las balas de paja son materiales económicos, lo que podría atraer a inversores y constructores interesados en proyectos rentables.</p>	<p>Competencia con materiales convencionales: La preferencia por materiales tradicionales como el hormigón podría dificultar la penetración en el mercado.</p> <p>Percepción del cliente: Algunos compradores pueden ser escépticos sobre la durabilidad y resistencia de las construcciones de balas de paja.</p>
2 Adobe	<p>Tendencia hacia lo auténtico: Existe un interés renovado en técnicas tradicionales y materiales naturales.</p> <p>Atractivo estético y conexión con la cultura local.</p> <p>Bajo costo de materiales .</p>	<p>Vulnerabilidad al agua directa: podría afectar su durabilidad y, por lo tanto, su valor en el mercado, requiere amplia cobertura o recubrimientos.</p> <p>Mano de obra especializada: La falta de constructores capacitados en técnicas de adobe podría limitar su adopción.</p>
3 SúperAdobe	<p>Mercado emergente: La resistencia a terremotos y los bajos costos podrían atraer a inversores y compradores interesados en viviendas asequibles y seguras.</p> <p>Innovación arquitectónica: La creatividad en el diseño con SuperAdobe podría generar interés en el mercado.</p>	<p>Percepción del aspecto estético: La apariencia de los muros de SuperAdobe podría no ser del gusto de todos los compradores debido a su irregularidad.</p> <p>Normativas y permisos: Las restricciones normativas y los desafíos para obtener permisos podrían dificultar la implementación a gran escala.</p>
4 Yurtas	<p>Adaptabilidad y portabilidad: Para comunidades temporales o nómadas, como campamentos turísticos o eventos.</p> <p>Eficiencia y uso de recursos: Debido al aprovechamiento de materiales locales</p>	<p>No apto para estructuras permanentes.</p> <p>Escasez de materiales en algunas regiones, aislamiento térmico y acústico limitado.</p> <p>Aspecto demasiado rustico.</p>
5 Bambú	<p>Rápido crecimiento y sostenibilidad.</p> <p>Versatilidad en la construcción de estructuras ligeras.</p> <p>Potencial para proyectos comunitarios.</p>	<p>Disponibilidad limitada a la geografía.</p> <p>Percepción negativa en algunos contextos urbanos.</p> <p>Necesidad de mano de obra con experiencia y bien calificada.</p>

Aquí se presenta un resumen de las oportunidades y amenazas para cada técnica en evaluación, en el caso del bambú, destaca por su versatilidad en el diseño y la estética de sus acabados, lo que lo convierte en una opción atractiva. Sin embargo, su disponibilidad es limitada, y requiere tratamientos especiales para asegurar su durabilidad. Además, la logística de transporte puede ser compleja debido a los trámites adicionales que implica. Por otro lado, el superadobe se presenta

como una técnica prometedora, sobresaliendo por su alta resistencia a terremotos y su bajo impacto ambiental gracias al uso de materiales naturales y locales. Esta técnica resulta especialmente atractiva para regiones con alta actividad sísmica y comunidades interesadas en soluciones ecológicas y sostenibles. La flexibilidad y durabilidad del superadobe permiten su adaptación a diversos climas y aplicaciones, lo que amplía su potencial en el mercado. No obstante, enfrenta algunos desafíos importantes. La percepción estética puede ser un obstáculo, ya que su aspecto poco convencional podría no ser bien recibido en mercados más tradicionales. Asimismo, las normativas y códigos de construcción locales podrían no estar preparados para este tipo de edificación en zonas urbanas, lo que generaría complicaciones legales y administrativas. La competencia con materiales de construcción tradicionales, más conocidos y aceptados también podría limitar su adopción. Aunque el superadobe ofrece ventajas claras en términos de oportunidades y amenazas, es fundamental abordar las cuestiones estéticas y regulatorias en entornos urbanos para facilitar su aceptación y expansión en el mercado. En la figura 14 Se presenta un cuadro comparativo que continúa con nuestro análisis de técnicas constructivas teniendo en cuenta factores de durabilidad y mantenimiento, eficiencia energética en su uso y algunos detalles del material base a utilizar.

Características físicas de los Materiales, mantenimiento y consumo de energía.

En términos de eficiencia energética, todas las técnicas presentan un bajo consumo energético en el uso su materia prima principal. No obstante, el superadobe destaca por usar recursos netamente locales y más fácil acceso, lo que disminuye la necesidad de transporte y procesamiento industrial, convirtiéndolo en la opción más sostenible y con menor impacto ambiental. Las características físicas del superadobe, permiten la construcción de estructuras robustas, capaces de soportar cargas pesadas y resistir eventos sísmicos. Además, su versatilidad

y adaptabilidad a distintas condiciones climáticas lo hacen adecuado para una amplia gama de entornos. A partir de este punto comenzamos a buscar los datos necesarios para un análisis de mayor rigurosidad, con el fin de definir la técnica más apropiada a implementar.

Figura 14

Características de los materiales

Técnica	Durabilidad y Mantenimiento	Energía	Tipo de material
Balas de Paja	Bien protegidas pueden durar décadas. Sin embargo, requieren un mantenimiento adecuado para evitar la humedad y el deterioro. Se requieren inspecciones regulares para detectar signos de descomposición o plagas. Reemplazo de balas dañadas. Necesitan protección contra la humedad: Uso de revestimientos adecuados para evitar la absorción de agua.	Bajo consumo energético en la producción de balas de paja. Excelente aislamiento térmico, reduciendo la necesidad de calefacción o refrigeración. Baja huella de carbono.	Balas de paja compactadas y atadas con baja capacidad de carga. Requiere estructura en madera o materiales rígidos a manera de esqueleto.
Adobe	Son duraderos si se mantienen secos. El mantenimiento implica reparar grietas y aplicar revestimientos protectores. Inspecciones periódicas para evitar daños por agua o erosión. Requieren Protección contra la humedad: Revestimientos adecuados y techos salientes para proteger los muros de adobe.	Bajo consumo energético en la producción de bloques. Excelente aislamiento térmico. Requiere trabajo manual intensivo en la construcción con baja huella de carbono.	Bloques de arcilla, arena y agua moldeados y secados al sol. Alta vulnerabilidad a la prolongada exposición al agua. Necesidad de mano de obra especializada.
SúperAdobe	Los sacos de tierra estabilizados con cal o cemento y reforzados con alambre de púas pueden ser duraderos si se mantienen secos y protegidos. Requieren inspecciones y reparaciones periódicas. Se deben reparar los sacos dañados, especialmente en áreas expuestas a la intemperie. Resistencia a terremotos: La técnica ofrece una buena resistencia sísmica.	Bajo consumo energético en la producción de sacos y alambre de púas. Buena resistencia térmica. Aspecto estético cuestionable.	Sacos llenos de tierra (arena o suelo estabilizados con cal o cemento) anclados con alambre de púas entre hilada e hilada. Flexibilidad arquitectónica interior.
Yurtas	Bien construidas pueden durar muchos años apesar de su caracter temporal. El mantenimiento implica reparar la cubierta y reforzar la estructura de madera. Las inspecciones regulares son para detectar desgaste y daños. Eficiencia espacial: Uso eficiente del espacio interior.	Bajo consumo energético en la fabricación de estructuras de madera. No apto para estructuras permanentes.	Estructura circular cubierta con fieltro, tela o pieles. Aislamiento térmico y acústico limitado. Ligereza y portabilidad.
Bambú	El bambú es resistente y duradero si se inmuniza adecuadamente para prevenir la descomposición por los insectos. Tratamientos regulares son necesarios para prevenir el ataque de plagas. Sostenibilidad: El cultivo de bambú es renovable y de rápido crecimiento.	Bajo consumo energético en el cultivo y procesamiento del bambú. Buena resistencia térmica. Tratamiento necesario para prevenir la descomposición.	Bambú como material estructural y de hermoso acabado. Fuerte y flexible. Disponibilidad geográfica limitada.

La técnica de Superadobe utiliza sacos llenos de tierra, estabilizados con cal o cemento, lo que asegura su durabilidad y resistencia. Comparado con las Balas de Paja y el Adobe, el Superadobe ofrece una ventaja significativa en cuanto a mantenimiento, ya que los sacos estabilizados requieren menos cuidados específicos para evitar la degradación por humedad, ya que la técnica exige una impermeabilización tanto en el interior como en el exterior de la estructura, y drenajes correctamente instalados en las bases. En cuanto al consumo energético, todas las técnicas

evaluadas muestran un bajo uso de energía en la producción de sus materiales. No obstante, el superadobe se distingue por su aprovechamiento de recursos locales y de fácil acceso, como la tierra, lo que reduce significativamente la necesidad de transporte y procesamiento industrial, haciéndolo una opción más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Además, los materiales empleados en el superadobe, como los sacos llenos de tierra, proporcionan una estructura robusta y segura, con capacidad para soportar grandes cargas y resistir desastres naturales como terremotos. La versatilidad del superadobe permite que se adapte fácilmente a una variedad de condiciones climáticas, haciéndolo adecuado para entornos diversos. El superadobe también destaca en términos de conservación de energía térmica. Debido a la gran masa de material acumulada en los gruesos muros que se conforman, la radiación solar no penetra fácilmente en el interior durante los meses cálidos, manteniendo frescas las viviendas. En los meses fríos, esta misma masa térmica ayuda a retener el calor, lo que contribuye a un ambiente interior confortable sin la necesidad de sistemas de climatización adicionales. Estas características lo convierten en una opción altamente eficiente en cuanto a la conservación de la temperatura, comparándolo favorablemente con otras técnicas.

Metodología General Usada Para El Diseño De los Indicadores Aplicados

A continuación, se presenta un ejemplo de la metodología empleada para diseñar cada uno de los indicadores, este proceso es necesario para poder comparar las distintas técnicas.

Identificación de la variable a evaluar

Para comparar las características de los diferentes materiales, es esencial considerar diversos factores clave. Estos incluyen tanto aspectos intrínsecos de los materiales como externos. En cuanto a los intrínsecos, se analizan la composición química, las propiedades físicas (densidad, resistencia a la compresión y tensión, etc.), la porosidad, la absorción de agua y la

resistencia a la intemperie (rayos UV, humedad, variaciones de temperatura). Entre los factores externos se evalúan las condiciones climáticas (humedad, temperatura, exposición a UV), los tipos de cargas aplicadas (viento, carga estática, sismos) y la presencia de organismos biológicos (hongos, bacterias, insectos). También debemos definir los **componentes del indicador**, aquí se puede dividir el indicador en varias dimensiones que sumen una puntuación final, por ejemplo; resistencia mecánica y evaluar la resistencia a la compresión, tensión y flexión, la resistencia a la intemperie y evaluar la durabilidad bajo condiciones climáticas adversas (pruebas aceleradas de envejecimiento) o resistencia biológica y evaluar la resistencia a ataques de hongos, insectos y otras plagas. En cuanto al mantenimiento y reparabilidad podemos evaluar la facilidad y costo del mantenimiento y las reparaciones, la sostenibilidad y ciclo de vida se evaluaría el impacto ambiental del material desde su producción hasta su desecho o reciclaje.

Definición de los componentes del indicador.

El indicador se desglosa en varias dimensiones que contribuyen a una puntuación final. Por ejemplo, si evaluamos la **resistencia mecánica**, consideramos la resistencia a la compresión, tensión y flexión. Si evaluamos la **resistencia a la intemperie**, analizamos la durabilidad del material bajo condiciones climáticas adversas (mediante pruebas aceleradas de envejecimiento). Si evaluamos la **resistencia biológica**, se mide la capacidad del material para resistir ataques de hongos, insectos u otras plagas. Asimismo, en **mantenimiento y reparabilidad**, se evalúa la facilidad y el costo de las reparaciones, mientras que la **sostenibilidad y ciclo de vida** mide el impacto ambiental desde la producción del material hasta su disposición o reciclaje.

Asignación de puntuaciones para cada indicador

Cada dimensión del indicador se califica en un rango determinado (por ejemplo, de 0 a 10). Las puntuaciones obtenidas se pueden ponderar y combinar para generar una puntuación

total. Por ejemplo, una calificación final de **durabilidad** podría ser la suma ponderada de la resistencia mecánica, resistencia a la intemperie y resistencia biológica.

Métodos de Evaluación del indicador

Existen diversos métodos específicos para evaluar cada dimensión del indicador, como ensayos de laboratorio, pruebas de resistencia mecánica, ensayos de intemperismo acelerado y pruebas de resistencia biológica. Además, se pueden realizar modelados, simulaciones de comportamiento bajo diferentes condiciones climáticas (utilizando herramientas digitales), análisis de ciclo de vida (LCA), y estudios de campo en estructuras existentes. Para esta investigación, se ha recurrido a la consulta de expertos y estudios previos documentados y referenciados que contienen resultados de pruebas especializadas aunque se obtienen por separado durante el presente estudio se unifican para poder comparar las diferentes técnicas.

Implementación del Indicador

Finalmente, los datos obtenidos para cada indicador pueden ser analizados en una hoja de cálculo, en el apéndice B (Diseño de Índices) se presenta el proceso completo del diseño de índices aplicados a en este estudio, incluyendo indicadores de costos promedio de cada técnica de bioconstrucción (ajustados al contexto colombiano), durabilidad de la construcción, capacidad estructural, frecuencia y costos de mantenimiento, aislamiento térmico, y la capacitación necesaria para aplicar cada técnica. A continuación, se detalla el proceso para diseñar el **índice de costo de construcción**, que servirá como ejemplo y referencia para los demás indicadores disponibles en el anexo I.

Proceso de diseño del indicador de costos.

Índice de costo de construcción (ICC)

Este indicador mide el costo por metro cuadrado construido en bioconstrucción, evaluando la eficiencia en la inversión de recursos, con el fin de calcular la relación costo-beneficio de cada técnica.

Construcción del Indicador. Criterios; El ICC se basa en la suma de los costos totales de construcción, que incluye materiales, mano de obra y otros costos hasta obtener una vivienda acabada y funcional. Este indicador sigue principios de contabilidad de costos y economía de la construcción, ampliamente aceptados en la industria, para evaluar la eficiencia económica de las técnicas de construcción.

Formula del indicador

$$ICC = \frac{\text{Costo Total}}{\text{Área construida}}$$

Descripción de los Términos

Costo Total. La suma de todos los costos asociados a la construcción de una bioconstrucción, incluyendo materiales, mano de obra, transporte, permisos, y otros costos directos e indirectos (en unidades monetarias expresadas en millones de pesos colombianos).

Área Construida: La superficie total construida medida en metros cuadrados (m²).

Interpretación (ICC)

ICC más bajo. Indica que la técnica de bioconstrucción es más económica en términos de costo por metro cuadrado construido ya que la eficiencia en el uso de los recursos es directamente proporcional al espacio habitable obtenido.

ICC más alto. Indica que la técnica de bioconstrucción es más costosa en términos de costo por unidad de área construida y por consiguiente se logra un menor beneficio en términos de espacio habitacional.

Pasos para la Medición

Primero; en cuanto a costos, primero se calcula el costo total de construcción, materiales (Sumar el costo de todos los materiales utilizados en la construcción, incluidos costos de adquisición y transporte), segundo; mano de obra (Calcular el costo total de la mano de obra requerida, considerando salarios, horas de trabajo requeridas, teniendo en cuenta el nivel de especialización de los operarios), tercero; costos indirectos (Incluir costos como permisos, tasas, seguros, y otros gastos administrativos) cuarto; costos adicionales (Considerar cualquier otro costo asociado a la construcción, como el alquiler de maquinaria, mantenimiento del sitio de construcción, etc.) y por último determinamos el total mediante la suma de todos los costos individuales.

Medir el Área Construida

En cuanto al área, hay que medir la superficie total construida en metros cuadrados (m²). Esto incluye todas las áreas habitables y no habitables construidas como parte de la bioconstrucción. Para lo cual debemos recurrir a los planos de la vivienda.

Implementación (ICC)

Veámoslo a través del siguiente ejemplo, supongamos que tenemos dos técnicas de bioconstrucción, A y B, con los siguientes costos y áreas:

- **Técnica A:**
 - Costo Total de Construcción: \$100.000.000 (Cien millones de pesos)
 - Área Construida: 200 m²

- **Técnica B:**

- Costo Total de Construcción: \$120,000.000 (Ciento veinte millones de pesos)
- Área Construida: 250 m²

Para la Técnica A:

$$ICC = \frac{\$100.000.000}{200m^2} = \$500.000 m^2$$

Para la Técnica B:

$$ICC = \frac{\$120.000.000}{250m^2} = \$480.000 m^2$$

En este caso, la Técnica B resulta ser más económica en términos de costo por unidad de área construida en comparación con la Técnica A. A través de la fórmula del ICC, se pueden estandarizar los datos para cada técnica de bioconstrucción, expresando el costo en millones de pesos por metro cuadrado construido. Esto permite realizar comparaciones directas entre dos o más técnicas de bioconstrucción, como en el ejemplo. De este modo, se puede analizar el costo por metro cuadrado para cinco técnicas en un solo cuadro comparativo, lo que responde a la pregunta de cuántos millones de pesos colombianos cuesta cada metro cuadrado construido por técnica. Es fundamental llevar estos resultados a rangos de variables que incluyan una calificación para cada una, lo que permite ponderar y analizar los resultados finales. Esto facilita la toma de decisiones cuantitativas al evaluar las diferentes técnicas. Por ejemplo, si el indicador de costos es 1, implica que por cada metro cuadrado se requiere una inversión de un millón de pesos. Si el valor es 2, el costo se duplica, y si baja a 0,5, la eficiencia aumenta, ya que cada metro cuadrado cuesta \$500.000.

Figura 15

Resumen de costos y horas promedio por técnicas de bioconstrucción

Técnica de Bioconstrucción	Costos a precios Internacionales		Costo/m2 ajustado al mercado Colombiano	Costo total para una vivienda de 50m2	Fuentes
	Costo Aproximado (USD/m ²)	Rango de Costo Aproximado (COP/m ²)			
Balas de Paja	\$200 - \$500	800,000 - 2,000,000	\$1.400.000,00	\$42.000.000,00	International Straw Building Association, The Last Straw Journal
Adobe	\$100 - \$300	400,000 - 1,200,000	\$840.000,00	\$25.200.000,00	BuildingGreen, ResearchGate
Súperadobe	\$150 - \$400	600,000 - 1,600,000	\$1.120.000,00	\$33.600.000,00	Cal-Earth
Yurtas	\$50 - \$200	200,000 - 800,000	\$560.000,00	\$16.800.000,00	Fabricantes de yurtas
Bambú	\$200 - \$500	800,000 - 2,000,000	\$1.330.000,00	\$39.900.000,00	INBAR, estudios de caso en Asia y América Latina
Costo promedio de Bioconstrucción en Colombia de las 5 técnicas estudiadas				\$ 1.050.000	
Conversión de Moneda Tipo de cambio utilizado: 1 USD = 4,000 COP, Los costos ha sido ajustados al mercado nacional de acuerdo a la asesoría de expertos en relación no dependiente del índice de costos de la construcción de edificaciones y construdata en las secciones de índices de costos e insumos.					
Horas Promedio de Construcción por Técnica					
Técnica de Bioconstrucción	Horas Promedio de Construcción	Días totales aproximados	Fuentes de Información		
Balas de paja	1000 - 2000	90	casasdepaja.org, ecopaja		
Adobe	1200 - 1800	80	saberespaiamarillos		
Súperadobe	1500 - 2500	110	multisac.es		
Yurtas	200 - 300	15	vivrelayourte.fr		
Bambú	800 - 1500	70	guaduabambucolombia		
En promedio una bioconstrucción puede durar hasta 73 días			73		

Para esta comparación, el modelo teórico emplea el costo por metro cuadrado ajustado al mercado colombiano, utilizando un valor referencial promedio de \$1.050.000 por metro cuadrado, se establece un área base común para el análisis de 50 m² para cada vivienda, permitiendo llevar los costos a un rango común, así, es posible comparar cuáles técnicas son más o menos costosas en relación con las demás, generando un cuadro comparativo con resultados estandarizados.

Tabla 1*Rango de indicador ICC*

Rango del indicador	Resultado	Rango de Puntaje Asignado
1.5 a 2+	Costoso	1-3
1.2 a 1.5	Moderado	4-6
1	Económico Promedio	7-8
0.5 a 0.8	Muy económico	9-10

Rango del indicador en millones de pesos

Figura 16*Resumen del indicador (ICC)*

Técnica	ICC	Asignación de puntaje INDICE DE COSTOS DE CONSTRUCCION	
	Costo en millones promedio	Área construida m ²	Resultados del Indicador ICC
Balas de paja	72	50	1,44
Adobe	44	50	0,88
Súperadobe	58	50	1,16
Yurtas	28	50	0,56
Bambú	70	50	1,40
Indicador promedio de referencia (costo obra/50m ² constante) ICC más bajo Indica que la técnica de bioconstrucción es más económica en términos de costo por unidad de área construida y uno más alto indica mayor costo.			
Promedios	54,4	50	1

Consolidado de indicadores

En la figura 17, se resumen los diseños de todos los índices, aquí se muestra como se procederá a ponderar las variables de estos indicadores para poder comparar las diferentes técnicas de bioconstrucción desde un punto de vista homogenizado. Esto es fundamental para determinar la conveniencia de una u otra técnica al momento de diseñar teóricamente una casa autosostenible.

Figura 17

Diseño de indicadores

Variables	Rango de las variables	Indicadores
1 Costo	1-3: Costoso 4-6: Moderado 7-8: Asequible 9-10: Muy económico	Costo por unidad de medida (por ejemplo, costo por kg de material usado en la construcción) dividido en la cantidad de materia usado. Fórmula: Índice de Costo de Construcción $ICC = \frac{\text{Costo total material}}{\text{kg}}$ ICC más bajo indica que la técnica de bioconstrucción es más económica en términos de costo por unidad de área construida y uno más alto indica mayor costo.
2 Facilidad de uso	1-3: Muy difícil 4-6: Requiere esfuerzo, pero factible 7-8: Relativamente fácil 9-10: Muy sencillo	Horas de trabajo requeridas y nivel de experiencia necesario, ejemplo horas de trabajo del personal con o sin experiencia en la técnica. Fórmula: Índice Facilidad de Uso $IFU = \frac{\text{total de horas requeridas}}{\text{nivel de experiencia}}$ IFU más bajo indica que la técnica de bioconstrucción es más difícil de implementar, mientras que más alto indica que es sencilla de implementar. Escala de Experiencia 1 Más de 1 año 2 3 meses 3 100 horas 4 Ninguna
3 Durabilidad	1-3: Poco duradero 4-6: Aceptable 7-8: Duradero 9-10: Muy duradero	Vida útil en años, considerando condiciones de uso promedio, no se toma en cuenta reparaciones en el tiempo, solo la vida útil de los materiales. Fórmula: Vida Útil $VU = \text{Durabilidad esperada sin mantenimiento}$ Durabilidad Base esperada 1 Menos de dos años 2 3 a 5 años 3 5 a 10 años 4 Más de 10 años
4 Confort	1-3: Incómodo 4-6: Aceptable 7-8: Cómodo 9-10: Muy confortable	Índice de confort basado en encuestas de satisfacción y condiciones ambientales de la vivienda (por ejemplo, puntuación de confort en una escala de 1 a 10, considerando factores como temperatura, humedad, ruido y ventilación) Fórmula: Índice de Confort $IC = \frac{\text{Puntuación promedio}}{10} (100)$ Puntuación promedio de satisfacción Cada una de las técnicas se les asignará el valor de confortabilidad de acuerdo con consulta directa con expertos y habitantes de las viviendas.
5 Resistencia y seguridad	1-3: Frágil o inseguro 4-6: Razonablemente seguro 7-8: Robusto y seguro 9-10: Altamente resistente	Índice de resistencia estructural y seguridad (por ejemplo, capacidad de carga en kg/m2, resistencia a desastres naturales como terremotos, incendios, etc.) Fórmula: Índice de Resistencia y Seguridad $IRS = \frac{\text{Cap de carga en kg/m}^2 + (\text{Escala de resistencia})}{2}$ (Escala de resistencia) cualitativa IRS más bajo indica que el material es frágil, y entre más alto se incrementa la resistencia. La escala de resistencia se determina por concepto de expertos.
6 Mantenimiento	1-3: Requiere mantenimiento constante. 4-6: Necesita mantenimiento regular. 7-8: Bajo mantenimiento. 9-10: Mínimo mantenimiento.	Costos y frecuencia de mantenimiento (por ejemplo, costo anual de mantenimiento por m2, por frecuencia de mantenimiento requerido, disponibilidad de piezas de repuesto) Fórmula: Costo Anual de Mantenimiento $CAM = \frac{\text{Costo} (\text{Área})}{\text{Frecuencia Anual}}$ CAM, entre más bajo el indicador muestra que las necesidades de mantenimiento son elevadas y por consiguiente más costosas.
7 Energía	1-3: Alto consumo energético 4-6: Consumo moderado de energía 7-8: Eficiente en el uso de energía 9-10: Muy eficiente en el uso de energía	Índice de conservación de energía calórica (por ejemplo, eficiencia del aislamiento térmico en W/m²·K, reducción de pérdidas de calor en %) Fórmula: Índice de conservación de energía calórica $ICEC = \frac{(\text{Demanda de energía base}) - (\text{Consumo real})}{(\text{Demanda de energía base})} (100)$ Porcentaje del 100%. Indica que la técnica de bioconstrucción es totalmente eficiente en la conservación de energía calórica, eliminando completamente la necesidad de energía adicional para calefacción y refrigeración.

En la primera columna las variables a analizar, en la segunda columna se establecen los rangos para medir dichas variables, y en la tercera columna el diseño de los indicadores necesarios para realizar el estudio homogenizado. Este cuadro funciona como una guía de como se evaluaron las técnicas de bioconstrucción de forma comparativa para poder determinar ¿cual es la técnica mas adecuada para nuestro diseño de vivienda sustentable.

Análisis de Resultados

En la figura 18 se presentan los puntajes finales de cada técnica de construcción. Aquí se muestran los resultados totales, con el fin de facilitar una comparación estandarizada entre las distintas técnicas analizadas.

Figura 18

Resultados consolidados

Técnica	Costo	Facilidad de Uso	Durabilidad	Confort	Resistencia	Mantenimiento	Energía	Total
Balas de Paja	8	5	6	9	4	4	8	44
Adobe	8	7	7	8	6	7	9	52
SúperAdobe	7	9	9	9	10	8	9	61
Yurtas	9	10	6	7	3	7	6	48
Bambú	6	5	8	8	8	9	5	49

Se concluye de acuerdo a los resultados que la técnica de construcción con superadobe alcanza un puntaje total de 61, lo que la posiciona como la mejor opción en términos comparativos entre las siete variables evaluadas. Respecto al costo/eficiencia, el superadobe utiliza materiales accesibles y económicos, como tierra y sacos de polipropileno, lo que reduce significativamente los costos de construcción sin comprometer la calidad o durabilidad. La técnica es sencilla de implementar y puede ser ejecutada por mano de obra local con mínima especialización, promoviendo la participación comunitaria y reduciendo costos de mano de obra.

La construcción con superadobe es modular, lo que facilita la adaptación y escalabilidad del proyecto, en cuanto a durabilidad y resistencia estructural, las construcciones de superadobe son altamente resistentes a condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas y terremotos, la forma de cúpula que comúnmente se ve en muchas de estas construcciones (no está limitada a

un tipo de cubierta en particular). El confort térmico y acústico del superadobe es otro aspecto destacado, debido su gran masa, ofrece un excelente aislamiento termo acústico, creando ambientes interiores confortables, con temperaturas estables que reducen la necesidad de climatización artificial. Además, requiere poco mantenimiento; los materiales utilizados son resistentes y, con el revestimiento adecuado, las paredes pueden resistir la erosión y la humedad, prolongando la vida útil de la estructura. En términos de sostenibilidad medioambiental, el superadobe utiliza materiales locales y naturales, lo que minimiza el impacto ambiental de la construcción. Esta técnica promueve la autosuficiencia y reduce la huella de carbono asociada con la producción y transporte de materiales convencionales. En cuanto a seguridad, las estructuras son altamente resistentes a desastres naturales como terremotos y huracanes, proporcionando una seguridad adicional a los ocupantes, finalmente, la versatilidad del superadobe lo hace adaptable a diferentes diseños y necesidades arquitectónicas, desde viviendas simples hasta estructuras complejas y permite la innovación en el ámbito del diseño bioclimático.

Diseño de la Vivienda Autosustentable.

La vivienda autosustentable también la denominaremos “Ecodomo”, es una estructura habitacional sostenible diseñada para maximizar el uso del espacio y la eficiencia energética, integrando tecnología ecológica y materiales sostenibles, la técnica de construcción principal será super adobe y domos geodésicos para las cubiertas, en la figura 19 podemos apreciar un resumen de los principales componentes del concepto.

Figura 19

Concepto general integral del diseño ecodomo



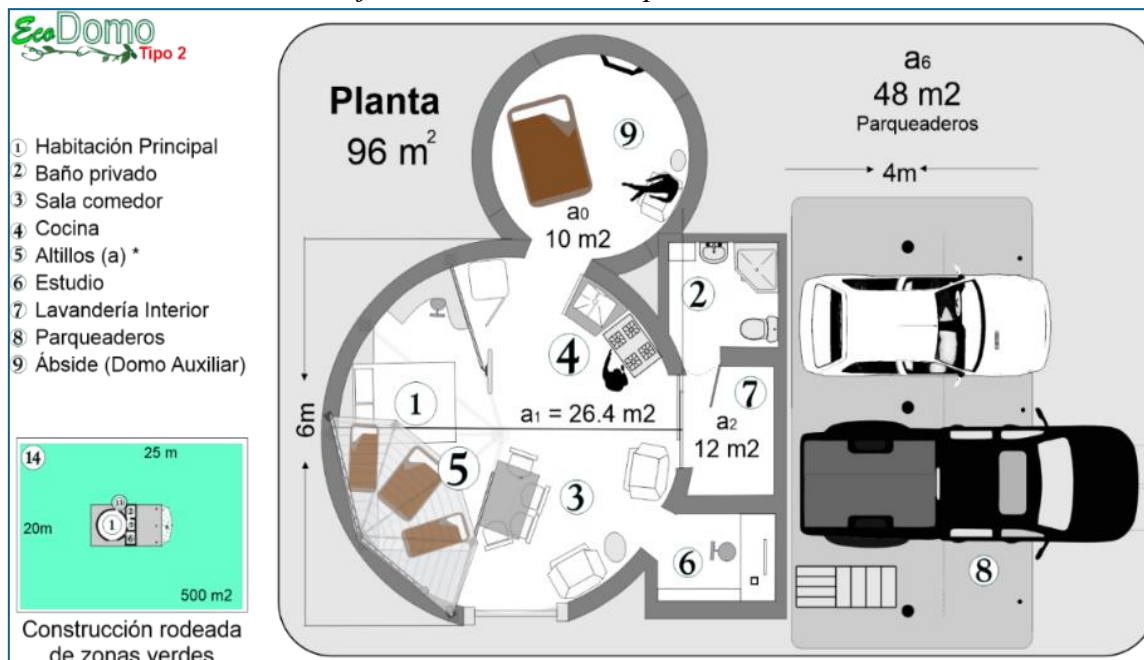
Este tipo de domo se caracteriza por su forma circular y una disposición espacial que abarca múltiples niveles y funcionalidades. Su diseño está enfocado en la autosuficiencia y el confort, con un fuerte énfasis en la sostenibilidad y la integración con el entorno natural, cuenta con ábside construido completamente en la técnica de superadobe, pues culmina en cúpula cerrada continua desde los cimientos, incluyendo las paredes y cubierta, con una altura de 6 metros, lo que permite desarrollar en su interior dos niveles con muy buena ventilación.

Nivel Principal (Planta Baja)

Área Total: 96 m², habitación principal (1) ofrece un espacio privado y cómodo, diseñado para proporcionar un refugio tranquilo dentro del domo, baño privado (2) equipado con instalaciones modernas y eficientes, este baño está convenientemente ubicado junto a la habitación principal, sala comedor (3), un área multifuncional que combina la sala de estar y el comedor, optimizando el uso del espacio y facilitando la vida diaria, cocina (4) compacta pero bien equipada, estudio (6), un área destinada al trabajo o estudio, proporcionando un espacio tranquilo y apartado dentro de la estructura, lavandería interna (7), equipado con instalaciones para el lavado de ropa, este espacio es esencial para la funcionalidad diaria del hogar, parqueaderos (8) espacio designado para el estacionamiento de vehículos, ábside (Domo Auxiliar) (9) Un espacio adicional que puede ser utilizado para múltiples propósitos, como almacenamiento, área de juegos, o una habitación adicional, altillo (5) Un espacio de 10 m², aprovechando la altura y diseño del domo para maximizar el área utilizable. En la figura 20 podemos ver el correspondiente plano o diagrama de distribución de la planta baja.

Figura 20

Distribución Planta baja o subnivel Domo Tipo 2

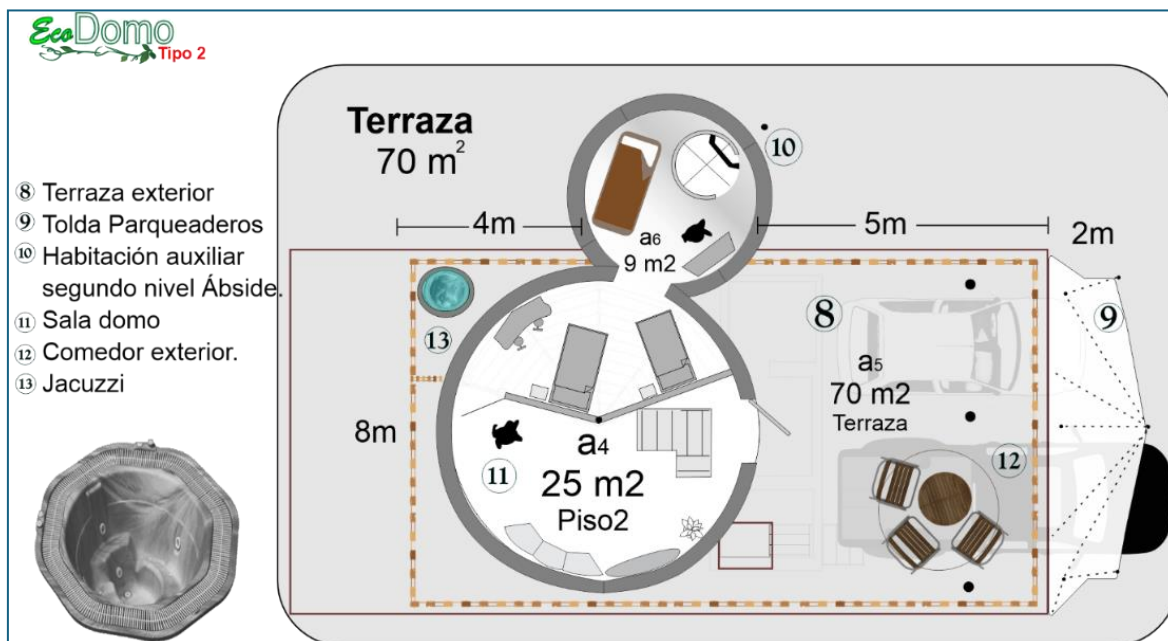


Planta Alta (Terraza)

Área Total: 70 m² conformado por una terraza exterior (8), una extensión al aire libre del domo, ideal para actividades recreativas y de esparcimiento, toldo sobre parqueaderos, (9) una estructura que proporciona sombra y protección para los vehículos estacionados, habitación auxiliar (10): Un espacio adicional en el segundo nivel del ábside, que puede ser utilizado para diversas funciones, sala domo (11) un área de reunión puede ser utilizada para diversas actividades sociales y de esparcimiento, comedor exterior (12), espacio al aire libre diseñado para disfrutar de comidas en un entorno natural, Jacuzzi (13), una característica de lujo que añade un elemento de relajación y confort a la terraza.

Figura 21

Distribución Piso 1 y Terraza exterior Domo Tipo 2



Aspectos de Sostenibilidad

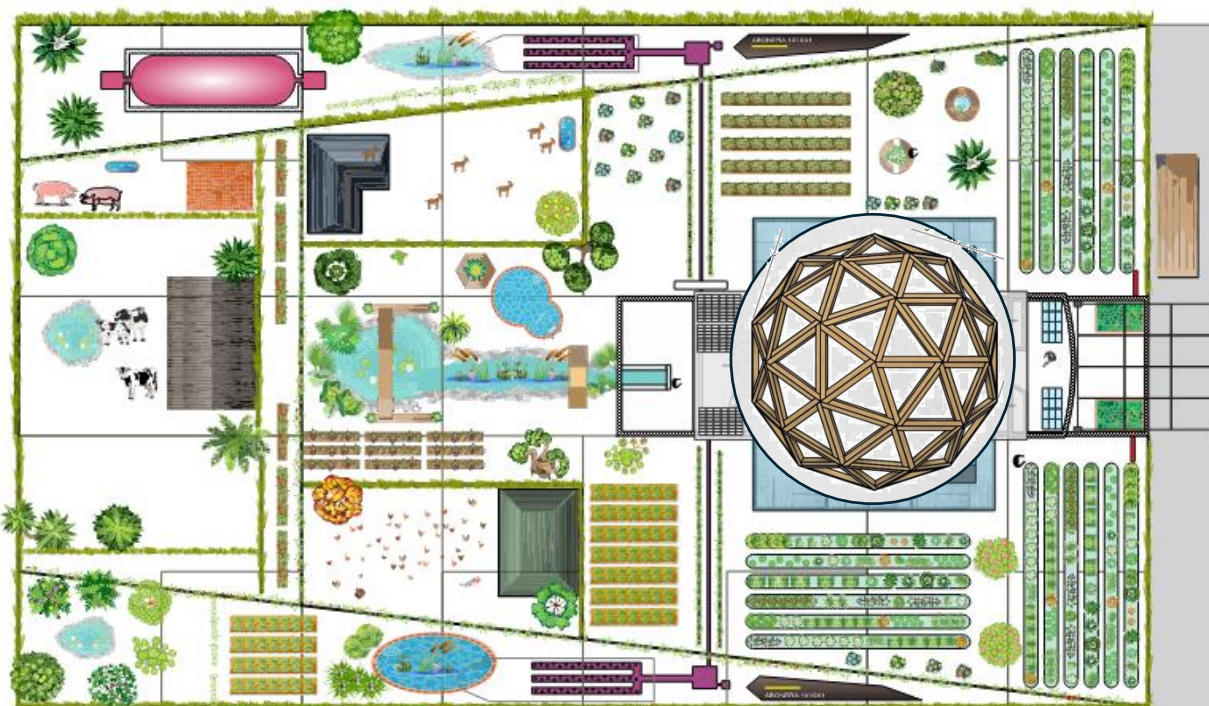
El EcoDomo está diseñado con un enfoque en la sostenibilidad y la autosuficiencia debido a la incorporación de tecnologías para auto generación energética, sistemas de captación y gestión de agua, y sistemas biofílicos y de conversión de residuos tales como biodigestores para el caso del manejo de desechos orgánicos con la subsiguiente producción de biogás como subproducto, un recurso útil para la preparación de alimentos, o calefacción, este tipo de tecnologías permiten reducir la dependencia de recursos externos y minimizan el impacto ambiental.

Planificación Espacial General de Áreas

La distribución de la vivienda en relación con las áreas de producción agropecuaria y los espacios turísticos es de vital importancia en la figura 22 se muestra una propuesta de distribución de áreas recomendada para un lote dado.

Figura 22

Distribución general de áreas



Vivienda.

La vivienda o infraestructura principal está ubicada en la zona central-derecha se distingue por un domo principal y ocupa esta posición para facilitar el acceso a las áreas productivas y recreativas, a lado y lado, hay una extensión dedicada a la **agricultura protegida** (invernaderos), también a ambos lados en la entrada principal se puede apreciar dos áreas de jardín con huerta. Algunas características destacables son; **Accesos y pasillos**: La vivienda tiene accesos que conectan directamente con otras áreas, especialmente hacia los espacios de

producción y ocio, lo que indica una planificación funcional teniendo en cuenta conceptos de arquitectura universal, **Distribución centralizada**: La edificación está en un punto estratégico, permitiendo fácil acceso tanto a áreas productivas como a espacios recreativos, esto favorece la memorización de la ubicación facilitando el uso del espacio para personas con baja visión, **vegetación circundante**, la casa está rodeada por espacios ajardinados, lo cual no solo mejora el entorno estético, sino que también actúa como una barrera natural para separar las áreas productivas de la vivienda.

Áreas de producción agropecuaria

Estas áreas de producción de hortalizas y frutales son una parte crucial de la planificación, y están distribuidas a lo largo del terreno, principalmente en la parte superior izquierda junto a la capricultura, superior derecha junto a las aves de corral, y una sección en la parte posterior izquierda y central con porcicultura y ganadería., también se cuenta con un pequeño estanque, los corrales están separados por cercas vivas, lo cual ofrece control y fácil manejo de los animales. En la parte **superior derecha**, hay varias **parcelas agrícolas** perfectamente alineadas y divididas en hileras. Estas estarán dedicadas al cultivo de hortalizas y otros vegetales. También hay lombricultivos y composteras para la gestión de residuos, lo que significa un sistema de fertilización natural en la granja, Los **huertos de frutales** de cítricos u otros frutales tropicales son un componente importante.

Espacios turísticos y de ocio

Estos espacios están integrados en toda la propiedad, brindando una experiencia atractiva tanto para residentes como para visitantes, se cuenta con **zonas de recreación como; piscina** justo en el centro del lugar, a la izquierda de la vivienda, hay una piscina que está rodeada por vegetación y plantas ornamentales. Está conectada a un pequeño puente decorativo y a otro

estanque, lo que crea un ambiente relajante para los visitantes. A lo largo de la propiedad se observa la integración de jardines y vegetación ornamental. Esto no solo mejora la estética, sino que también crea zonas para el paseo y la relajación. **Los estanques** a lo largo del terreno, incluyendo uno cerca de la piscina y otro en la esquina inferior derecha. Estos pueden aprovecharse para la recreación y pesca, o simplemente como elementos paisajísticos. Como **Infraestructura turística adicional se cuenta con una cabaña para huéspedes** en la esquina inferior central conectada con la naturaleza circundante y las áreas productivas. También está cerca de las áreas agrícolas, lo que podría ofrecer a los turistas una experiencia de agroturismo.

La planificación general del terreno tiene un enfoque claro de **integración funcional entre la vivienda, las áreas productivas y los espacios turísticos o recreativos**. La vivienda está centralmente ubicada, permitiendo un acceso equilibrado a todas las zonas. Las áreas productivas están bien organizadas, con separación clara entre animales y cultivos. Los espacios de recreación, como la piscina, los jardines y los estanques, están inteligentemente distribuidos para crear un ambiente atractivo para los visitantes y potencialmente para la actividad turística.

El terreno ha sido planeado no solo para la producción agropecuaria, sino también para ser un espacio multifuncional que puede atraer tanto a visitantes como a turistas interesados en la experiencia rural del agroturismo.

Conclusiones

El análisis comparativo realizado permite concluir que la técnica de bioconstrucción Superadobe es la más adecuada para el diseño y construcción de una vivienda autosostenible en el contexto rural del municipio de Guaduas, Cundinamarca. Esta técnica no solo obtuvo el mayor puntaje en la evaluación consolidada de indicadores frente a otras alternativas como el adobe, bambú, yurtas y balas de paja, sino que también demostró ventajas técnicas, funcionales y ambientales clave para un modelo integral de sostenibilidad. Entre sus principales fortalezas destacan su alta resistencia y durabilidad, gracias al sistema de tierra ensacada compactada con alambre de púas, que garantiza estructuras monolíticas con excelente desempeño sísmico. Además, ofrece una notable eficiencia energética y confort térmico debido a la gran masa térmica de sus muros, lo cual permite una regulación natural de la temperatura interior. Su bajo costo, el uso de materiales locales y la facilidad de construcción con mano de obra no especializada la convierten en una alternativa accesible y de bajo impacto ambiental.

La elección del Superadobe no solo responde a criterios técnicos, sino que se articula con un enfoque integral que contempla también la producción agroalimentaria para la autosuficiencia y la promoción del turismo ecológico como motor de desarrollo económico. Esta visión multidimensional fortalece la viabilidad del modelo de “Ecodomo”, que vincula la sostenibilidad habitacional con prácticas productivas y oportunidades de crecimiento local.

Asimismo, el proceso de análisis permitió evidenciar la complejidad del tema y la necesidad de continuar profundizando en sus múltiples dimensiones. La solución a los desafíos identificados no depende de un único actor, sino que busca la colaboración de instituciones públicas, organizaciones civiles, comunidad académica y ciudadanía. Solo mediante un trabajo

conjunto será posible avanzar hacia un cambio real, sostenible y replicable en otros contextos rurales del país.

Los resultados permiten determinar que la técnica de bioconstrucción súper adobe es la más apropiada para el diseño y construcción de una vivienda autosostenible con características de bioclimática ideal para el entorno rural, el implementar esta técnica representa un avance importante hacia la creación de un sistema integral como técnica estructural central que aporta mismo resistencia, durabilidad y gran eficiencia energética, que vincula la sostenibilidad habitacional, con la producción agropecuaria y el desarrollo económico a través del turismo ecológico.

En cuanto a los objetivos alcanzados, se logró caracterizar en detalle las principales técnicas de bioconstrucción más reconocidas, considerando tanto su desempeño técnico como su adaptabilidad al entorno rural de Guaduas. se aplicaron criterios comparativos rigurosos para evaluar costo, durabilidad, confort, resistencia, mantenimiento y eficiencia energética. El desarrollo de indicadores permitió una valoración cuantitativa objetiva, que facilitó la priorización de alternativas y finalmente se concreta la propuesta estructural integral de una vivienda tipo basada en Superadobe, complementada por sistemas de producción agropecuaria y ecoturismo. Esta integración consolida un modelo autosostenible replicable, con potencial para fortalecer la seguridad alimentaria, generar ingresos rurales y dinamizar la economía local.

Recomendaciones

Se recomienda promover la revisión y adecuación de los marcos normativos actuales para facilitar la aceptación legal y la estandarización de las técnicas de bioconstrucción que se implementen para materializar la vivienda autosustentable, para lo cual se recomienda ejecutar una experiencia piloto en el municipio de Guaduas. Este proyecto debe contar con acompañamiento técnico constante y un sistema de monitoreo de resultados que permita validar empíricamente el modelo propuesto, ajustar su diseño y fortalecer su replicabilidad en otras regiones. Para garantizar capacitación y apropiación social de deben diseñar e implementar programas de formación dirigidos a las comunidades locales en bioconstrucción, sistemas productivos agroecológicos y gestión turística sostenible, asegurando la autonomía y el empoderamiento local, también sería importante fomentar la creación de esquemas de economía solidaria, como cooperativas o fondos de productores, como factores clave para escalar el modelo, facilitar el acceso a financiación y fortalecer las cadenas de valor y por último se recomienda buscar una articulación estratégica, el éxito y la sostenibilidad a largo plazo del modelo dependen de la creación de alianzas estratégicas con actores clave, incluyendo universidades para la investigación y la innovación, gobierno local para el apoyo institucional y la alineación sus planes de desarrollo, e iniciativas del sector privado y solidario para asegurar su viabilidad financiera y su impacto transformador.

Recomendadas para la cubierta

Para la cubierta de la vivienda sustentable de las diferentes alternativas existentes en el mercado se tendrá en cuenta una pequeña selección de las opciones más apropiadas, en la tabla 2 se explican 6 opciones teniendo en cuenta los materiales, ventajas técnicas, el mantenimiento necesario y los costos asociados a cada una.

Tabla 2*Opciones de cubiertas*

Opción	Descripción y Materiales	Ventajas Técnicas (Eficiencia Energética)	Consideraciones Técnicas (Mantenimiento)
Cubiertas Verdes	Capa de vegetación sobre la estructura.	Aislamiento térmico y absorción de agua. Estética y armonía con la biodiversidad Reducción de la huella de carbono.	Alta Carga estructural Requiere membrana impermeable. Mantenimiento regular.
Techos de Tejas o Tejas de Barro	Piezas cerámicas superpuestas en la cubierta.	Durabilidad y aislamiento térmico. Estética tradicional. Reflejan parte del calor solar.	Peso a tener en consideración Inspección y reemplazo de tejas dañadas.
Techos Metálicos	Paneles de acero, aluminio o aleaciones de zing	Ligereza y durabilidad. Reflejan el calor solar Opcion de uso de material reciclado	Aislamiento térmico y ruido de lluvia. Inspección y mantenimiento de uniones y sellados.
Techos de Bambú o Palma o paja	Cañas naturales como material de cubierta, hojas de palma o paja.	Sostenibilidad y estética tropical. Gran Flexibilidad. Aislamiento natural.	Tratamiento contra plagas y durabilidad. Reemplazo de cañas dañadas. Costo de materiales naturales. Orientación y ángulo para maximizar eficiencia.
Paneles Solares	Generadores de electricidad a partir de la radiación solar.	Energía limpia y ahorro a largo plazo. Contribución a la red eléctrica y reducción de factura.	Limpieza y mantenimiento de paneles. Costo de instalación.
Domos Geodésicos en Madera o Carpa	Estructuras de triángulos interconectados (madera) autoportante o tela tensada (carpa) sobre soporte.	Eficiencia espacial y resistencia. Estética única. Versatilidad. Buena distribución de la luz natural.	Baja carga estructural (Carpa) mantenimiento (carpa). Alto Costo de materiales y montaje (Madera).

Se concluye que la cubierta tipo domo geodésico es la más recomendable para complementar la técnica de superadobe, esto debido a que optimiza la distribución de cargas, minimiza el uso de materiales en su construcción mejorando la eficiencia energética.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles. *conceptos, problemas y estrategias*,(4), 14-23.
- Ayay Bueno, R. (2018). *Características de estimulación visual en base a criterios de diseño biofilico*. Universidad Privada del Norte.
- Barahona Irias, H. D. (2018). *Implementación de un cuarto frío para almacenamiento de semilla de cultivo de maíz, en Tecun Honduras*. Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/7962>
- Basán Nickisch, M. S. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *Aqua-LAC*, 10(1), 160.
- Becerra Elejalde, L. L. (2024). La pobreza multidimensional cayó en Colombia en 2023. *Revista Cambio*.
- British Horse Society. (2010). <https://www.corstorphine-wright.com/projects/the-british-horse-society-headquarters/>. Obtenido de https://www.corstorphine-wright.com/:https://www.corstorphine-wright.com/wp-content/uploads/bis-images/7182/BHS_01_Header_Image_3840x2160-copy-scaled-1920x1080-cc.jpg
- Calvo, Elvira. (28 de 06 de 2017). La economía colaborativa, un fenómeno imparable. Cantabria, España.
- Chaparro Mendivelso, J. A. (2010). *Integración de servicios domoticos y sistemas de comunicación para el hogar inteligente*. Universidad Libre.
doi:<https://hdl.handle.net/10901/28190>
- DANE. (2023). Déficit Habitacional Nacional. *Publicación DANE*.
- Daniel, R. R. (2022). *Mierda a la carta: Un nuevo ABC de la agricultura orgánica*.

- De Maria, S. (2025). *Hacer ecoladrillos en casa es fácil*. Obtenido de Arquitectura y Empresa:
<https://arquitecturayempresa.es/noticia/hacer-ecoladrillos-en-casa-es-facil>
- DNP, Departamento Nacional de Planeación. (2013). *evaluación institucional y de resultados del programa de vivienda de interés social rural – visr Producto 5 – Informe Final* . Unión Temporal G|Exponencial – Ipsos .
- ECV-2020, Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. (2021). *Encuesta Nacional de Calidad de Vida - Dirección de Metodología y Producción Estadística - DIMPE - Comunicado de Prensa 20-09-2022*. DANE Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Obtenido de DANE:
<https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/718>
- Eiroa, B. S. (2021). *Integración de la economía circular en el marco del desarrollo sostenible*. Vigo.
- Estudios Económicos Asofondos. (2024). *Informe Mercado Laboral*. Asociación Colombiana de Administradoras de Fondos de Pensiones y de Cesantía.
- Felix, R. P. (1992). Adaptación tecnológica de la lumbricultura en la zona cafetera de Alban Cundinamarca. 2(7), 500.
- Flowertown. (2023). *¿Qué es el Hempcrete?: Todo sobre el Hormigón de Cáñamo*. Obtenido de El Planteo: <https://elplanteo.com/hempcrete-hormigon-de-canamo/>
- Fresco, Jack . (2008). <https://www.thevenusproject.com/>.
- GADISA. (01 de 01 de 2024). <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-madera/>. Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-madera/>
- GEIH - Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2018). *Gran encuesta integrada de hogares* .

Gil Lamata, M. y. (2022). *La economía circular y la sostenibilidad: una revisión sistemática de la literatura*. Cuadernos De Gestión. doi:<https://doi.org/10.5295/cdg.211492mg>

Good Creative Idea, DMKT. (23 de 06 de 2023). *This idea is worth your attention*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Ok6Kz_p6afo

Grenón, D. A. (1994). *Definición y aplicaciones en la empresa agropecuaria*. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Agrarias, UNL.

Guadua y Bambú Colombia. (2025). *Diseño de casa de bambú soporta climas intenso*. Obtenido de Guadua y Bambú Colombia: <https://guaduabambucolombia.co/wp-content/uploads/2014/05/449ee-ingresoprincipaldecasdebambc3ba.jpg>

Guerrero, L. (01 de 11 de 2019). *About Español*. Obtenido de <https://www.aboutespanol.com/la-estufa-solar-que-es-y-como-funciona-3417689>

Guillén Marzal, P. (2015). *Arquitectura de tierra de nueva planta : estudio de limitaciones constructivas*. Universitat Politècnica de València.

Gunter, P. (2011). *La Economía Azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 millones de empleos*. Mexico DF: Tusquets Editores.

Gutierrez, Ana Maria. (2016). <https://www.organizmo.org/equipo>.

Henan Haoting Construcción Engineering. (2001). Obtenido de Yurtas Liquidámba: <https://yurtasliquidambar.wordpress.com/mas-informacion/que-es-una-yurta/>

Hierro Forja. (26 de 09 de 2022). *Forbidden Oven in water, I reveal the secret to you!* Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=P5FlqBVaaeA>

Homesteading and permaculture. (01 de 07 de 2023). *Permies.com*. Obtenido de <https://www.permies.com/t/234648/Tips-tricks-cooking-wood-stove>

- Hydraloop. (01 de 01 de 2024). *Calidad del agua reutilizable Hydraloop: explicación de la certificación NSF-350*. Obtenido de <https://info.hydraloop.com/docs/hydraloop-reusable-water-quality-the-nsf-350-certification-explained/>
- INBAR -Organización Internacional del Bambú y el Ratán. (2019). *Concurso Internacional de Construcción con Bambú 2019: De los conceptos a los pabellones realizados*. Saltador. doi:10.1007/978-3-030-91990-0
- Infobae Colombia - THX Medios S.A. (03 de 05 de 2024). Así está el precio del arriendo en Bogotá: cuántos salarios mínimos se necesitan para vivir en algunos de los sectores más apetecidos. *Infobae*.
- Jaimes Carreño Edgar Yesid, Á. M. (2017). *Análisis y diseño de un sistema domótico para climatización e iluminación inteligente. Caso de uso: abcell comunicaciones*.
- Jay H. Arehart, W. S. (2020). On the theoretical carbon storage and carbon sequestration potential of hempcrete. *Journal of Cleaner Production*, 266(121846). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121846>
- Khalili, Nader . (1999). <https://calearth.org/>. Obtenido de <https://calearth.org/>.
- López, V., & Abiasaf, E. (2012). *Suministro de energía eléctrica a un equipo de aire acondicionado mediante energía eólica*. Recuperado el 9 de 7 de 2024, de <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/32741>
- Mancl, K. M. (2022). Comprender la adopción de sanitarios secos con desvío de orina (UDDT) en países de ingresos bajos y medianos bajos utilizando el marco de difusión de la innovación. *Revista de Agua, Saneamiento e Higiene para el Desarrollo*, 12(12), 920. doi:<https://doi.org/10.2166/washdev.2022.154>

- Martínez, E. (03 de 05 de 2019). *https://www.idealista.com*. Obtenido de <https://www.idealista.com/news/>
<https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2019/03/25/772335-que-son-las-yurtas#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20Yurta%3F,el%20estilo%20de%20vida%20n%C3%B3mada>.
- Marulanda-Meza, S. (2020). Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas. *Revista UIS INGENIERIAS*, 20(2), 44. doi:<https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>
- Minke, G. (2000). *echos Verdes, planificación, ejecución y consejos prácticos*. EcoHabitar.
- Mohamed Hany Abokersh, M. E.-M. (2017). Evaluación experimental de un colector solar de tubo de vacío de flujo directo integrado con material de cambio de fase. *Energía*, 135, 1125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.034>
- Moksa Ingeniería Verde. (01 de 01 de 2022). *Moksa*. Obtenido de <https://moksa.com.co/biofiltros/>
- Mora Guerrero, C. J. (2014). *MÓDULO INSTRUMENTADO PARA EL MONITOREO EN TIEMPO*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Mother Earth News. (01 de 02 de 2024). *https://www.motherearthnews.com/*. Obtenido de <https://www.motherearthnews.com/sustainable-living/energy-efficiency/heat-your-home-with-wood/>
- Nader Khalili. (2025). *BBC News*. Obtenido de Instituto Cal-Earth, : <https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-47927317>
- Natividad, S. S. (2005). El comercio justo: implicaciones económicas y solidarias. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*(51), 7-24. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/4815241_El_comercio_justo_implicaciones_economicas_y_solidarias

Núñez Jiménez, J. (2024). *Domótica en Colombia: Desafíos y Perspectivas*. Universidad Cooperativa de Colombia. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12494/54130>

Ocampo Arcos, A. (2015). *Vivienda De Autoconstrucción Con Perfil Autosustentable*. Universidad Autónoma de Guerrero.

Ochoa, C. E. (2006). Evaluación del confort visual y el rendimiento de tres sistemas de iluminación natural para edificios de oficinas profundos en climas altamente luminosos. *Construcción y Medio Ambiente*, 41(8), 1135.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.001>

Olivera Rocha, H. G. (2000). *Reciclaje de Materia Orgánica Biodigestor anaerobico*. Universidad Mayor de San Andrés.
doi:<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/35258>

ONU. (2022). *Programa Naciones Unidas para el Desarrollo*.

ONU. (2023). *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Sustainable Development: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

Organizacion de las Naciones Unidades, ONU. (25 de 09 de 2015). *UN.org*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Plan Nacional de Desarrollo. (2022). *encolombia.com*. Obtenido de <https://encolombia.com/economia/economiacolombiana/plan-desarrollo2018-2022/calidad-viviendas/>

- Popescuy, K. P. (2023). Investigación experimental para aumentar la eficiencia de la combustión en el gasificador basado en el principio de corriente ascendente con iluminación superior. *Energies*, 16(4), 1912. doi:<https://doi.org/10.3390/es16041912>
- Prieto Aguilar, E. R. (2018). Vivienda Rural Ecoamigable. *Informador Técnico*, 82(2), 284-293. doi:<https://doi.org/10.23850/22565035.1502>
- Rahicelly Rivas, A. (02 de 01 de 2022). *Lombricultura: ¿Qué es y para qué sirve?* Obtenido de agrotendencia.tv: <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/lombricultura-lumbricultura-cria-de-lombrices-y-produccion-de-humus/>
- Razón Pública. (2023). *¿Por qué se ha reducido el tamaño de los hogares?* Obtenido de razonpublica.com: <https://razonpublica.com/por-que-se-ha-reducido-el-tamano-de-los-hogares/>
- Respect. (2023). <https://thearchimedes.com/products>. Obtenido de <https://thearchimedes.com/images/pdf/AWM%20brochure%20Respect%202023%20HQ%20compressed.pdf>
- Restrepo Rivera, Jairo. (2023). <https://lamierdadevaca.com/>. Obtenido de <https://lamierdadevaca.com/>.
- Roa Rosas, Antonio. (2023). <https://hidroponiaindustrial.com/>.
- Rodríguez Lledo, C. (2006). *GUIA DE BIOCONSTRUCCION: SOBRE MATERIALES Y TECNICAS CONSTRUCTIVAS SALUDABLES Y BAJO IMPACTO AMBIENTAL DIRECTORIO COMERCIAL*. Mandala Ediciones.
- Rojas Valencia, M. F. (2015). Fabricación de ladrillos ecológicos. *Ingeniería Civil*(559), 16-19.
- Sanchez Domingez, M. (10 de 10 de 2016). *mundo de chimeneassinhumo*. Obtenido de <https://chimeneassinhumo.com/estufas-rocket-cohete/>

- Selvakumar P, S. P. (2014). Estudio de rendimiento de un colector solar de tubo de vacío que utiliza terminol D-12 como fluido de transferencia de calor acoplado a un colector canal parabólico. *Energy Conversion and Management* , 85, 894.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.069>.
- Teneche, G. (2014). *Cada entre bosques*. Obtenido de Manuel Monroy:
<https://manuelmonroy.com/la-casa-bioclimatica-entre-bosques/>
- Valdés, F. &. (2019). Muro de contención construido con neumáticos estabilizados mecánicamente. *Revista ingeniería de construcción*, 34(3), 200.
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732019000300252>
- Vélez Celeita, J. C. (06 de 03 de 2024). *Domótica para la gestión de la Energía Eléctrica en vivienda: “estado del arte de los últimos 15 años*. Obtenido de
<https://repository.usta.edu.co/>: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/54373>
- Yahyane, F. (2019). *Guía de bioconstrucción: Materiales y técnicas constructivas sostenibles y saludables*. . Universidad Politécnica de Cartagena.
- Studio. (1984). *Casas de fardos de paja: ecología y sostenibilidad*. Obtenido de Idealista News:
<https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2022/10/20/799279-casas-de-fardos-de-paja-ecologia-y-sostenibilidad>

Apéndices

Apéndice A

Visita de campo a “Organizmo” y entrevista a experto

La presente entrevista ofrece un análisis detallado sobre bioconstrucción, abordando aspectos prácticos para una mejor comprensión de estas temáticas, la valiosa contribución de la directora del centro de investigación en regeneración e intercambio de saberes, una voz autorizada en la materia, veremos principios, beneficios intrínsecos y los desafíos inherentes a la implementación de bioconstrucciones. Se examina, asimismo, su creciente adopción como un paradigma constructivo esencial para la consecución de un desarrollo sostenible.

Figura A1

Cuadro entrevista a experto

Entrevista: Panorama general sobre bioconstrucción	
Fecha de entrevista:	Septiembre de 2016
Entrevistado:	Arquitecta Ana María Gutiérrez.
Cargo:	Directora del centro de investigación en regeneración e intercambio de saberes interculturales "Organizmo".
Preguntas	Respuestas
1.¿Cómo define la bioconstrucción en comparación con la construcción tradicional?	La bioconstrucción busca integrar el entorno natural y las técnicas ancestrales de construcción con los avances actuales, mientras que la construcción convencional tiende a priorizar la eficiencia económica y la velocidad sin necesariamente considerar la sostenibilidad. Además, La bioconstrucción utiliza materiales naturales y técnicas que minimizan el impacto ambiental, mientras que la construcción tradicional emplea materiales industrializados con alta huella de carbono.
2.¿Cuáles son los principios fundamentales de la bioconstrucción?	Enfoque en la regeneración ambiental, la autosuficiencia energética, el uso de materiales naturales, y la creación de espacios que se adapten y respondan al clima local. Además, Equilibrio con el entorno, eficiencia energética, uso de materiales renovables y sostenibles, y creación de espacios saludables.

3.¿Qué beneficios aporta la bioconstrucción para la salud de los habitantes? ¿Cómo influyen los materiales naturales en el bienestar?	Los materiales como el barro, la cal y la madera tienen propiedades hipoalérgicas y mejoran la calidad del aire al regular la humedad y la temperatura interior, lo que impacta positivamente en la salud física y mental de los habitantes. Además, Los materiales naturales regulan la humedad, mejoran la calidad del aire interior y no contienen compuestos tóxicos, reduciendo las alergias y mejorando el bienestar..
4.¿Cuáles son los materiales más utilizados en bioconstrucción y por qué?	Los materiales varían según la región. En climas secos, la tierra cruda y el adobe son muy usados por su capacidad térmica, mientras que en zonas húmedas, la guadua y la madera tratada son preferidas por su resistencia a la humedad. Además, Materiales como la tierra cruda, la paja y la madera, por sus propiedades térmicas, disponibilidad local y baja energía incorporada en su procesamiento.
5.¿Cómo se garantiza la durabilidad a largo plazo de las construcciones realizadas con materiales naturales, comparadas con las construcciones convencionales?	Se logra con el uso de técnicas de conservación de materiales, como tratamientos naturales contra la humedad, cubiertas adecuadas y protección contra la erosión, sin necesidad de depender de productos químicos. Además, Con tratamientos específicos para la protección contra microorganismos, diseño bioclimático que optimiza la ventilación, y mantenimiento preventivo periódico, las estructuras bioconstruidas pueden durar muchas décadas y algunas con adecuado mantenimiento siglos.
6.¿Cómo se compara el costo inicial de una construcción bioclimática con una tradicional? ¿Cuáles son los beneficios económicos a largo plazo?	El costo inicial puede ser mayor debido a la personalización y a la mano de obra artesanal, pero los costos operativos a lo largo de la vida útil de la construcción son notablemente menores debido a su alta eficiencia energética. Además, el uso de materiales naturales pueden reducir o aumentar el costo según su disponibilidad local.
7.¿Podría explicar los principios del diseño bioclimático y cómo se aplica en la bioconstrucción?	El diseño bioclimático responde a las condiciones climáticas locales: maximiza la captación solar en invierno, la recolección de aguas lluvias y minimizar la exposición en verano. Promueve una ventilación natural constante, logrando confort térmico sin depender de sistemas mecánicos. Además, El diseño bioclimático se basa en la optimización pasiva de la energía, aprovechando la radiación solar, ventilación natural y aislamiento térmico, reduciendo el consumo energético.
8.¿Cómo se concilia la estética en la bioconstrucción? ¿Existen limitaciones o libertades creativas en este tipo de arquitectura?	Al contrario de las limitaciones que a veces se atribuyen a la bioconstrucción, ofrece grandes posibilidades creativas. Los materiales naturales permiten formas orgánicas y fluidas, aunque puede haber retos en cumplir con normativas urbanas más estrictas. Además, La bioconstrucción ofrece flexibilidad estética al permitir el uso de formas orgánicas y texturas naturales.
9.¿Qué tipo de formación específica se requiere para trabajar en proyectos de bioconstrucción? ¿Existen certificaciones o estándares internacionales?	Se requieren conocimientos sobre materiales a utilizar, las técnicas tradicionales adaptadas a las condiciones locales de cada proyecto. Las certificaciones internacionales como el Estándar Passivhaus y el Living Building Challenge se están integrando cada vez más en este campo. Además, Se requiere conocimiento en técnicas de construcción sostenible y materiales naturales. Existen otras certificaciones como LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) que regulan los estándares de sostenibilidad..

10.¿Cómo se puede combinar la bioconstrucción con los métodos de construcción industrializada para aumentar la eficiencia y reducir costos?	La combinación es factible, por ejemplo utilizando la prefabricación de módulos con materiales naturales o incorporando sistemas estructurales diseñados para su rápida instalación en obra, lo que disminuye tiempos de construcción sin sacrificar la sostenibilidad. Además, El uso de tecnologías BIM (Building Information Modeling) pueden mejorar la eficiencia sin comprometer la sostenibilidad.
11.¿Cómo la bioconstrucción puede contribuir al desarrollo social y económico de las comunidades?	Al promover el uso de materiales locales y mano de obra local, la bioconstrucción impulsa las economías rurales y empodera a las comunidades a ser autosuficientes en términos de construcción. Además, fomenta la economía local mediante el uso de recursos y mano de obra locales, y promueve la capacitación en técnicas de construcción sostenible..
12.¿Cómo se puede colaborar con otros sectores, como la agricultura, para crear proyectos de bioconstrucción más integrales?	Un enfoque integrado permitiría la implementación de sistemas de energía solar pasiva y techos verdes que no solo ayuden a la sostenibilidad, sino que también fomenten la agricultura urbana y la generación de energía limpia. Además, la producción agrícola a pequeña escala pero con tecnología se puede incorporar hasta en entornos urbanos como techos verdes o huertos comunitarios.
13.¿Cuáles han sido los principales desafíos en los proyectos de bioconstrucción en los que ha participado?	La escasez de profesionales formados en estas técnicas y la falta de normativas claras a nivel local han sido los principales obstáculos, aunque los resultados a largo plazo siempre justifican el esfuerzo inicial, la resistencia al cambio y la necesidad de entrenar mano de obra para cada proyecto específico.
14.¿Qué papel juega la investigación y el desarrollo en la evolución de la bioconstrucción?	Investigación y desarrollo son vitales para explorar nuevos materiales, mejorar las técnicas existentes y garantizar que los edificios bioclimáticos sean cada vez más eficientes y accesibles. Además, La I+D es clave para la mejora de materiales, técnicas constructivas y la adopción de nuevas tecnologías que optimicen la eficiencia energética y la durabilidad..
15.¿Cómo se adapta la bioconstrucción a diferentes climas y regiones geográficas en Colombia?	En zonas cálidas, se emplean técnicas de sombreado y ventilación cruzada, mientras que en zonas frías, se usan materiales que retienen el calor, como el adobe, y técnicas de aislamiento pasivo. Además se pueden implementar techos de alta pendiente, mientras que en climas fríos se priorizan materiales con mayor capacidad térmica como la tierra, madera o la piedra.
16.¿Cuáles son los costos asociados a la bioconstrucción en comparación con la construcción convencional?	Aunque la inversión inicial puede ser un poco más alta, los costos de operación se reducen significativamente por la eficiencia térmica y la autosuficiencia energética, lo que representa un ahorro a largo plazo. Además, Los costos iniciales pueden ser mayores debido a la intensidad en el uso de mano de obra entrenada, pero se compensan con menores costos operativos, como energía y mantenimiento.

17. ¿Existen certificaciones y estándares internacionales en bioconstrucción?

Como ya mencionamos existe el certificado LEED, Passiv House y el Living Building Challenge, son cada vez más populares en la bioconstrucción, asegurando que los proyectos cumplan con criterios de sostenibilidad y eficiencia energética, BREEAM y WELL Building Standard. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) es un sistema de evaluación ambiental de edificios muy popular en el Reino Unido, mientras que WELL Building Standard se enfoca en el bienestar y la salud de los ocupantes de un edificio.

Figura A2.

Registro fotográfico visita de campo

