

**Factibilidad económica para una vivienda rural de interés social en materiales
alternativos sostenibles, en el municipio de Miraflores Boyacá.**

María Fernanda Bayona López

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director

Juan Ricardo Pérez Cuervo

Magister en Dirección y Gestión de Proyectos

Co-director

Nelson Vargas Ortiz

Magister en Estructuras



Universidad Santo Tomás, Tunja

División de Arquitectura e Ingeniería

Ingeniería Civil

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, quien en su infinita bondad me ha dado luz y esperanza para perseverar, incluso en los días de incertidumbre. A mi familia, que con su amor, comprensión y sacrificio me impulsaron a continuar, alentándome siempre a dar lo mejor de mí.

Agradecimientos

A Dios, fuente de vida y sabiduría, por iluminar mi camino y brindarme la fortaleza necesaria para enfrentar cada reto y llegar a la culminación de este logro académico. A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante, quienes han sido mi motor y sostén en los momentos de dificultad, recordándome siempre la importancia de perseverar y confiar en mis capacidades.

Extiendo mi gratitud a los docentes y asesores que con su guía, conocimientos y valiosas observaciones contribuyeron de manera significativa al desarrollo de este trabajo.

Por último, agradezco a todos los que hicieron parte de esta etapa de mi vida académica, aportando su tiempo, consejos o colaboración; cada uno dejó una huella imborrable en este camino que hoy culmina con satisfacción.

Contenido

Tabla de contenido

Agradecimientos.....	3
Contenido	4
Resumen.....	7
Abstract	9
Glosario.....	11
Introducción	18
1. Aspectos contextuales	21
1.1 Planteamiento del problema.....	21
1.2 Justificación.....	25
2. Objetivos	27
2.1 Objetivo general	27
2.2 Objetivos específicos.....	27
3. Marco referencial	28
3.1 Marco Teórico.....	28
3.2 Marco conceptual	33
3.3 Estado del arte	35
3.4 Marco Legal	40
4. Método	45
4.1 Enfoque del estudio.....	45
4.2 Enfoque metodológico del estudio.....	45

4.3	Diseño metodológico.....	46
4.4	Población y muestra	48
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de información	48
4.6	Procedimiento metodológico.....	49
4.7	Técnicas de análisis de la información.....	55
5.	Resultados	56
6.	Conclusiones	59
	Referencias.....	61
	Apéndices.....	65
	Anexos	71

Lista de apéndices

Apéndice A. Formato de encuesta comunitaria	47
Apéndice B. Cronograma de obra detallado (Microsoft Project)	49
Apéndice C. Tabla de análisis de materiales utilizados.....	52

Resumen

El déficit de vivienda rural y los altos costos asociados a los sistemas constructivos convencionales representan un desafío importante para el desarrollo habitacional en municipios rurales como Miraflores, Boyacá. En este contexto, surge la necesidad de evaluar alternativas constructivas que permitan reducir costos sin comprometer la seguridad estructural ni la calidad de las viviendas.

El objetivo de esta investigación es analizar la factibilidad económica de un modelo de vivienda rural de interés social construido con guadua y bahareque encementado, como alternativa frente a los sistemas tradicionales utilizados en el sector rural. El diseño y la evaluación del modelo se desarrollan considerando los lineamientos de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, particularmente lo establecido en los Títulos G y E, con el fin de garantizar condiciones adecuadas de seguridad estructural.

La metodología se fundamenta en la aplicación de la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) para la organización y control de las actividades del proyecto. Asimismo, se emplea el software Microsoft Project para la programación de obra, la identificación de la ruta crítica y la estimación de tiempos y costos. A partir de esta planificación se elaboraron análisis de precios unitarios, presupuestos y cronogramas de obra, los cuales permitieron realizar un análisis comparativo entre el modelo propuesto y los sistemas constructivos convencionales.

Los resultados evidencian una reducción aproximada entre el 25 % y el 30 % en el costo total de construcción frente a los métodos tradicionales, con un costo estimado por metro cuadrado entre \$480.000 y \$600.000 COP. Además, la evaluación financiera mediante indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) presenta valores positivos, lo que indica la viabilidad económica del modelo constructivo propuesto.

En conclusión, la construcción de viviendas rurales utilizando guadua y bahareque encementado

constituye una alternativa económicamente viable que contribuye a reducir los costos de edificación y a aprovechar recursos locales. Este modelo representa una opción replicable para proyectos de vivienda rural de interés social en contextos similares, fortaleciendo la planificación y gestión eficiente de proyectos de construcción.

Palabras clave: Vivienda sostenible en el área rural, materiales alternativos, guadua, bahareque encementado, sostenibilidad ambiental.

Abstract

The shortage of adequate rural housing and the high costs associated with conventional construction systems represent a significant challenge for housing development in rural municipalities such as Miraflores, Boyacá. In this context, it becomes necessary to explore alternative construction methods that can reduce costs while maintaining structural safety and housing quality.

The objective of this research is to evaluate the economic feasibility of a rural social housing model built with guadua and cemented bahareque as an alternative to traditional construction systems used in rural areas. The proposed design follows the guidelines established in the Colombian Seismic Resistant Building Code (NSR-10), particularly the provisions of Titles G and E, ensuring adequate structural safety conditions.

The methodology is based on the application of the Work Breakdown Structure (WBS) to organize and manage project activities. In addition, Microsoft Project was used to develop the construction schedule, identify the critical path, and estimate execution times and costs. Based on this planning process, unit price analyses, cost estimates, and construction schedules were developed, enabling a comparative cost analysis between the proposed model and conventional construction systems.

The results show an estimated reduction of approximately 25% to 30% in total construction costs compared to traditional methods, with an average cost per square meter ranging between COP \$480,000 and \$600,000. Furthermore, the financial evaluation through indicators such as Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) produced positive results, indicating the economic feasibility of the proposed construction model.

In conclusion, rural housing construction using guadua and cemented bahareque represents an

economically viable alternative that contributes to reducing construction costs while promoting the use of locally available materials. This model can be replicated in similar rural contexts to support sustainable and efficient housing development projects.

Keywords: Sustainable rural housing, alternative materials, guadua, cemented bahareque, environmental sustainability.

Glosario

Análisis de Costos: Estudio comparativo de los gastos en materiales, mano de obra y equipos necesarios para la ejecución de un proyecto de construcción.

Análisis de Tiempos: Estimación de la duración de cada actividad y del proyecto total, para garantizar su planificación y cumplimiento.

Autoconstrucción Asistida: Estrategia en la que las comunidades participan directamente en la construcción de sus viviendas, con apoyo técnico profesional.

Bahareque Encementado: Sistema constructivo tradicional mejorado que utiliza caña o guadua entretejida recubierta con mortero de cemento, lo que le otorga mayor resistencia y durabilidad frente a condiciones climáticas.

Bioclimática (Arquitectura): Estrategia de diseño que aprovecha las condiciones climáticas del entorno (iluminación natural, ventilación cruzada, captación de agua lluvia) para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones.

Captación de Agua Lluvia: Sistema para recolectar, almacenar y usar agua de precipitación como recurso hídrico alternativo.

Construcción Alternativa: Métodos constructivos que se apartan de las técnicas convencionales, priorizando materiales naturales, locales o reciclados, y procesos sostenibles.

Costo Directo: Gasto asociado de manera inmediata a una obra (materiales, mano de obra, equipos).

Costo Indirecto: Gastos administrativos y de gestión que no se asignan directamente a una tarea, pero son necesarios para el proyecto.

Cronograma de Actividades: Herramienta de planificación que organiza en el tiempo las tareas necesarias para ejecutar un proyecto.

Déficit Cualitativo: Carencia en la calidad de una vivienda existente (materiales inadecuados, falta de servicios básicos o hacinamiento).

Déficit Habitacional: Carencia de viviendas adecuadas para cubrir las necesidades de una población, tanto en cantidad como en condiciones de habitabilidad y calidad.

Factibilidad Económica: Evaluación de si un proyecto es viable financieramente, considerando costos, beneficios y rentabilidad.

Gestión de Proyectos: Conjunto de técnicas y herramientas para planear, ejecutar, controlar y cerrar proyectos de manera eficiente en alcance, tiempo, costo y calidad.

Guadua: Bambú nativo de gran resistencia, abundante en Colombia, utilizado como material estructural y sostenible en la construcción de viviendas rurales.

Holgura: Tiempo máximo que puede retrasarse una actividad sin afectar la fecha de finalización del proyecto.

Materiales Alternativos: Insumos no convencionales que sustituyen materiales tradicionales (concreto, ladrillo), priorizando bajo costo, disponibilidad local y sostenibilidad.

Microsoft Project: Software especializado en la programación, seguimiento y control de proyectos de construcción y otras áreas.

Modelo Replicable: Propuesta constructiva o técnica que puede aplicarse en distintos lugares con condiciones similares, manteniendo su efectividad.

Nivelación de Recursos: Proceso de redistribuir tareas para evitar sobrecarga de personal, equipos o materiales en un mismo periodo.

Normativa Técnica: Conjunto de reglas y estándares que regulan el diseño, construcción y seguridad de edificaciones, cuyo desarrollo en Colombia para materiales como la guadua aún presenta vacíos.

Presupuesto de Obra: Documento que estima el costo total de una construcción, detallando insumos, tiempos y recursos.

Prototipo Modular: Diseño de vivienda que se construye a partir de módulos prefabricados, lo que permite flexibilidad, reducción de costos y facilidad en la réplica de soluciones habitacionales.

Resiliencia Comunitaria: Capacidad de las comunidades para adaptarse y recuperarse frente a crisis sociales, económicas o ambientales, apoyándose en soluciones sostenibles como la vivienda rural en guadua.

Ruta Crítica: Secuencia de actividades esenciales que determinan la duración mínima del proyecto.

Saneamiento Autónomo: Soluciones locales para el manejo de aguas residuales y desechos, sin depender de redes de alcantarillado centralizadas (por ejemplo, pozos sépticos).

Seguimiento del Proyecto: Registro y análisis del avance real frente a lo planificado, para identificar desviaciones y aplicar correctivos.

Sostenibilidad: Capacidad de un proyecto de satisfacer necesidades actuales sin comprometer los recursos de las generaciones futuras, integrando dimensiones sociales, económicas y ambientales.

Sostenibilidad Ambiental: Capacidad de un proyecto para minimizar impactos negativos sobre los ecosistemas, promoviendo prácticas responsables.

Tasa Interna de Retorno (TIR): Porcentaje que refleja la rentabilidad de una inversión, siendo viable si es superior al costo de oportunidad del capital.

Valor Presente Neto (VPN): Indicador financiero que mide la rentabilidad de un proyecto descontando los flujos futuros al valor actual.

Viabilidad Técnica: Grado en que un proyecto puede ejecutarse con los recursos, materiales, normas y conocimientos disponibles.

Vivienda de Interés Social (VIS): Modalidad de vivienda promovida por el Estado para garantizar acceso a hogares de bajos ingresos, con costos limitados y subsidios disponibles.

Vivienda Rural Sostenible: Modelo habitacional diseñado para responder a necesidades básicas en zonas rurales, priorizando el uso de recursos locales, bajo costo, eficiencia energética y mínimo impacto ambiental.

Metodología

Definición y aplicación de conceptos de gestión del proyecto en Microsoft Project

Para el desarrollo de la factibilidad económica de la vivienda rural sostenible en guadua y bahareque encementado, se emplearon herramientas de gestión de proyectos que permitieron estructurar, planificar y controlar de manera sistemática el alcance, el tiempo y los costos de la obra. En este contexto, el uso del software Microsoft Project fue fundamental para modelar el comportamiento real del proyecto y respaldar los resultados económicos obtenidos.

La Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) se utilizó como base metodológica para dividir el proyecto en componentes manejables, organizando la obra en fases como actividades preliminares, cimentación, estructura en guadua, sistema de bahareque encementado, instalaciones, acabados y cierre de obra. Esta descomposición permitió identificar claramente cada actividad necesaria para la ejecución del proyecto y facilitó la estimación de tiempos, recursos y costos asociados a cada una de ellas, garantizando coherencia entre la planeación y la evaluación económica.

Dentro de la planificación se definieron hitos, entendidos como puntos de control relevantes que marcan la finalización de etapas clave del proyecto, tales como la culminación de la cimentación, el montaje de la estructura en guadua o la entrega final de la vivienda. Estos hitos permitieron realizar seguimiento al avance del proyecto y verificar el cumplimiento del cronograma establecido.

La nivelación de recursos se aplicó con el fin de distribuir de manera eficiente la mano de obra y los materiales disponibles, evitando sobrecargas en determinados periodos y reduciendo tiempos muertos.

Esta práctica resultó especialmente importante en un contexto de vivienda rural, donde los recursos suelen ser limitados y su correcta asignación impacta directamente en los costos finales del proyecto.

La escala temporal del proyecto se definió en días calendario, lo que permitió una programación detallada de las actividades y una estimación realista de la duración total de la obra, la cual se estableció entre 38 y 42 días según el cronograma desarrollado en Microsoft Project. Esta precisión temporal facilitó la identificación de la ruta crítica, es decir, la secuencia de actividades que determina la duración mínima del proyecto.

El Diagrama de Gantt fue la herramienta principal para la visualización del cronograma, ya que permitió representar gráficamente la duración, secuencia y dependencia entre las actividades del proyecto. A través de este diagrama se logró un control claro del avance de la obra y se fortaleció la toma de decisiones durante la planeación.

Asimismo, se utilizó el calendario del proyecto para definir jornadas laborales, días no laborables y restricciones temporales, ajustando la programación a las condiciones reales del entorno rural y a la disponibilidad de los recursos.

Desde el punto de vista del control de costos, el proyecto incorporó indicadores propios de la gestión del valor ganado, tales como el Costo Presupuestado del Trabajo Planificado (CPTP), que representa el valor estimado de las actividades programadas; el Costo Presupuestado del Trabajo Ejecutado (CPTE), asociado al valor del trabajo realmente realizado según la planificación; y el Costo Real del Trabajo Realizado (CRTE), que refleja el gasto efectivo incurrido durante la ejecución del proyecto. Estos indicadores permitieron analizar el desempeño económico del modelo constructivo y verificar la coherencia entre la planeación financiera y los costos reales del proyecto, fortaleciendo la evaluación de su factibilidad económica (PMI, 2017)

El conjunto, la aplicación de estos conceptos y herramientas de gestión de proyectos permitió integrar de

manera efectiva la planeación, el control del tiempo y la evaluación de costos, aportando rigor técnico al estudio y respaldando los resultados financieros obtenidos para la vivienda rural sostenible propuesta en Miraflores (Boyacá).

Introducción

El acceso a una vivienda digna continúa siendo uno de los principales retos en las zonas rurales de Colombia. En muchos municipios, las limitaciones económicas, la dispersión geográfica y el alto costo de los sistemas constructivos tradicionales dificultan la implementación de soluciones habitacionales accesibles para la población. En este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas constructivas que permitan reducir los costos de construcción sin comprometer la seguridad estructural, la funcionalidad ni la calidad de las viviendas.

Dentro de estas alternativas, el uso de materiales naturales y sistemas constructivos tradicionales adaptados a las condiciones actuales, como la guadua y el bahareque encementado, representa una opción viable para el desarrollo de vivienda rural sostenible. Estos sistemas no solo aprovechan recursos disponibles en el entorno, sino que también pueden contribuir a disminuir los costos de construcción y a promover prácticas más sostenibles en el sector.

En el municipio de Miraflores, Boyacá, la necesidad de soluciones habitacionales adecuadas en el sector rural ha impulsado el interés por evaluar modelos de vivienda que sean técnica y económicamente viables. En este sentido, resulta fundamental aplicar herramientas de gestión de proyectos que permitan planificar, organizar y controlar de manera eficiente el proceso constructivo.

Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo analizar la factibilidad económica de un modelo de vivienda rural sostenible construido con guadua y bahareque encementado, mediante la aplicación de herramientas de planificación y gestión de proyectos utilizando el software Microsoft Project. A través de esta herramienta se estructuró la programación de las actividades constructivas, se identificó la ruta crítica del proyecto y se estimaron los tiempos de

ejecución.

Adicionalmente, se realizó un análisis de precios unitarios y la estimación de los costos asociados a la construcción del modelo de vivienda, tomando como referencia los precios establecidos por la Gobernación de Boyacá. Con base en esta información se desarrolló un análisis financiero, mediante la aplicación de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto.

Los resultados obtenidos permiten evaluar el potencial de este sistema constructivo como una alternativa viable para el desarrollo de vivienda rural, contribuyendo a la reducción de costos y al aprovechamiento de materiales locales. De esta manera, el estudio aporta elementos técnicos y económicos que pueden servir como referencia para la implementación de proyectos de vivienda rural sostenible en contextos similares.

1. Aspectos contextuales

1.1 Planteamiento del problema

El acceso a una vivienda digna continúa siendo uno de los principales desafíos en las zonas rurales de Colombia. A pesar de los esfuerzos institucionales orientados a reducir el déficit habitacional, muchas comunidades rurales enfrentan dificultades para acceder a soluciones de vivienda adecuadas debido a factores como la limitada disponibilidad de recursos económicos, las condiciones geográficas y los elevados costos asociados a los sistemas constructivos convencionales.

En el departamento de Boyacá, particularmente en municipios con alta presencia rural como Miraflores, estas dificultades se hacen más evidentes. Las viviendas construidas mediante sistemas tradicionales, basados principalmente en materiales como concreto, ladrillo o bloque, suelen implicar costos elevados de materiales, transporte y mano de obra, lo que dificulta su implementación en contextos rurales donde los recursos son limitados. Como consecuencia, muchas familias optan por soluciones constructivas informales que no siempre cumplen con las condiciones adecuadas de seguridad, habitabilidad y sostenibilidad.

Ante esta situación, surge la necesidad de evaluar alternativas constructivas que permitan reducir los costos de edificación sin comprometer la calidad y seguridad de las viviendas. En este contexto, el uso de materiales naturales y sistemas constructivos tradicionales adaptados a las condiciones actuales, como la guadua y el bahareque encementado, se presenta como una alternativa viable. Estos sistemas constructivos se caracterizan por el aprovechamiento de recursos locales, la reducción de costos en comparación con los métodos convencionales y su buen comportamiento estructural cuando se aplican de acuerdo con los lineamientos técnicos establecidos (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2017).

Además de los aspectos constructivos, la planificación y gestión adecuada de los proyectos de vivienda resulta fundamental para garantizar su viabilidad. La aplicación de herramientas de

gestión de proyectos, como la planificación de actividades, la programación de obra y la estimación de costos, permite organizar de manera más eficiente los recursos disponibles y optimizar los tiempos de ejecución (Project Management Institute, 2017).

En este sentido, evaluar la factibilidad económica de modelos de vivienda rural que integren sistemas constructivos alternativos y herramientas de planificación puede aportar información relevante para el desarrollo de soluciones habitacionales más accesibles y sostenibles en el contexto rural.

Con el fin de ilustrar las diferencias existentes entre los sistemas constructivos convencionales y el sistema propuesto basado en guadua y bahareque encementado, en el presente estudio se presenta el siguiente cuadro comparativo, en el cual se analizan aspectos como costos, disponibilidad de materiales y características constructivas.

CUADRO COMPARATIVO DEL DEFICIT HABITACIONAL 2024			
Territorio	Deficit Total	Deficit Cuantitativo	Deficit Cualitativo
Colombia (general)	26,8% de hogares en deficit habitacional	6,80%	20,00%
Boyaca (departamento)	22,90%	4,80%	18,10%

Tabla N. 1 Cuadro comparativo del déficit habitacional, Fuente: DANE – Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ENCV), resultados 2024 (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio).

Para reforzar la justificación cuantitativa del problema en el contexto local, se incorporan datos recientes sobre déficit habitacional. A nivel nacional, según la *Encuesta Nacional de Calidad de Vida* del DANE, en 2024 el 26,8 % de los hogares presentaron déficit habitacional, de los cuales 6,8 % corresponde a déficit cuantitativo (necesidad de nueva vivienda) y 20,0 % a déficit cualitativo (viviendas con carencias estructurales o de servicios). Para el departamento de Boyacá, estos indicadores se ubican alrededor del 22,9 % de déficit total, con 4,8 % cuantitativo y 18,1 % cualitativo, valores que reflejan brechas significativas en el acceso a vivienda adecuada en ámbitos rurales y urbanos. Aunque no se dispone de cifras oficiales desagregadas específicamente

para el municipio de Miraflores, estos referentes departamentales permiten dimensionar la problemática en el territorio y justificar la necesidad de actualizar y cuantificar localmente los déficits cualitativo y cuantitativo a través de fuentes oficiales como el DANE o la Secretaría de Planeación Municipal.

La realidad se manifiesta con mayor fuerza en municipios como Miraflores (Boyacá), donde muchas familias rurales aún carecen de viviendas dignas y sostenibles, mientras que las soluciones impulsadas por el Estado no logran cubrir de forma efectiva la demanda existente. Al abordar la dimensión cuantitativa del problema de vivienda en el contexto local, se observa que, si bien no se dispone de cifras oficiales públicas específicas del déficit habitacional para el municipio de Miraflores, Boyacá, los datos departamentales ponen de manifiesto una situación significativa. Según información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el departamento de Boyacá presenta un déficit de vivienda total que ronda cifras relevantes (inferior a la media nacional) pero con brechas cualitativas y cuantitativas que aún requieren atención especializada para zonas rurales y municipios pequeños como Miraflores. Esta situación respalda la necesidad de complementar este diagnóstico con datos oficiales desagregados, que pueden obtenerse a través de la Secretaría de Planeación Municipal de Miraflores o mediante solicitudes formales al DANE, con el fin de establecer un valor específico del déficit cuantitativo y cualitativo en el municipio y justificar con mayor precisión la pertinencia del proyecto propuesto.

Adicionalmente, al abordar la dimensión cuantitativa del problema de vivienda en el contexto local, se observa que, si bien no se dispone de cifras oficiales públicas específicas del déficit habitacional para el municipio de Miraflores, Boyacá, los datos departamentales ponen de manifiesto una situación significativa. Según información del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), el departamento de Boyacá presenta un déficit de vivienda total que ronda cifras relevantes (inferior a la media nacional) pero con brechas cualitativas y cuantitativas que aún requieren atención especializada para zonas rurales y municipios pequeños

como Miraflores. Esta situación respalda la necesidad de complementar este diagnóstico con datos oficiales desagregados, que pueden obtenerse a través de la Secretaría de Planeación Municipal de Miraflores o mediante solicitudes formales al DANE, con el fin de establecer un valor específico del déficit cuantitativo y cualitativo en el municipio y justificar con mayor precisión la pertinencia del proyecto propuesto.

Los antecedentes investigativos demuestran avances significativos en el empleo de recursos propios de la región, como la guadua y el bahareque encementado, los cuales han probado su resistencia estructural, la reducción de costos y la aceptación cultural por parte de las comunidades. No obstante, persisten vacíos importantes en el conocimiento y la aplicación práctica de estas soluciones, entre los cuales se destacan:

- a) la falta de estudios a largo plazo sobre el comportamiento estructural y la durabilidad de las viviendas construidas con estos materiales.
- b) la carencia de normativas técnicas que estandaricen su uso;
- c) la limitada comprensión de la percepción social de las comunidades frente a estas alternativas.
- d) La limitada implementación de tecnologías actuales para planear y supervisar los proyectos durante su desarrollo.

A partir de lo anterior, surge la necesidad de analizar si este tipo de sistemas constructivos puede representar una alternativa económicamente viable para el desarrollo de vivienda rural en el municipio de Miraflores, Boyacá.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la viabilidad económica de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado en el municipio de Miraflores, Boyacá?

1.2 Justificación

El desarrollo de soluciones habitacionales adecuadas en zonas rurales representa un desafío importante para el sector de la construcción en Colombia. En muchos municipios, las condiciones económicas y la limitada disponibilidad de recursos dificultan el acceso a viviendas que cumplan con criterios de seguridad, habitabilidad y sostenibilidad. En este contexto, resulta necesario explorar alternativas constructivas que permitan optimizar el uso de los recursos disponibles y reducir los costos asociados a la construcción de vivienda rural.

El presente estudio adquiere relevancia al analizar la factibilidad económica de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado, materiales que han sido utilizados tradicionalmente en diferentes regiones del país y que, cuando se aplican bajo criterios técnicos adecuados, pueden constituir una opción constructiva eficiente. El uso de estos materiales permite aprovechar recursos disponibles en el entorno, lo que puede contribuir a disminuir los costos de construcción y a promover prácticas más sostenibles en el desarrollo de vivienda.

Asimismo, la investigación aporta desde el enfoque de la gestión de proyectos, al incorporar herramientas de planificación y control que facilitan la organización de las actividades constructivas. La utilización del software Microsoft Project permite estructurar el cronograma del proyecto, identificar la ruta crítica y estimar los tiempos de ejecución, lo cual contribuye a mejorar la planificación y el seguimiento de los procesos constructivos.

Desde el punto de vista académico, este trabajo aporta al análisis de alternativas constructivas aplicables al contexto rural, integrando aspectos técnicos, económicos y de gestión de proyectos.

De igual manera, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para futuras investigaciones o para la formulación de proyectos de vivienda rural que busquen optimizar los recursos disponibles y mejorar las condiciones habitacionales en comunidades con características similares.

En este sentido, la investigación no solo contribuye al análisis de la viabilidad económica de un modelo de vivienda rural sostenible, sino que también promueve la reflexión sobre la importancia de incorporar herramientas de planificación y gestión en el desarrollo de proyectos de construcción.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica y económica de un modelo de vivienda rural sostenible construido con guadua y bahareque encementado en el municipio de Miraflores, Boyacá, como alternativa constructiva para el desarrollo de vivienda en contextos rurales.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar las características técnicas del sistema constructivo en guadua y bahareque encementado, considerando su aplicación en el contexto de vivienda rural y su correspondencia con los lineamientos establecidos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- Estructurar la planificación del proceso constructivo del modelo de vivienda rural, mediante la elaboración de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y la programación de las actividades utilizando el software Microsoft Project.
- Estimar los costos asociados a la construcción del modelo de vivienda rural, mediante la elaboración de análisis de precios unitarios y la identificación de los recursos requeridos para su ejecución.
- Realizar un análisis comparativo de costos entre el sistema constructivo propuesto y los sistemas tradicionales utilizados en la construcción de vivienda rural, con el fin de identificar posibles diferencias en términos económicos.
- Evaluar la viabilidad financiera del modelo de vivienda propuesto, mediante la aplicación de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

3. Marco referencial

3.1 Marco Teórico

Vivienda rural y desarrollo territorial

El acceso a vivienda adecuada constituye uno de los principales factores que inciden en la calidad de vida de la población rural. En Colombia, el déficit habitacional continúa siendo una problemática significativa, especialmente en zonas rurales donde las condiciones socioeconómicas, la dispersión geográfica y las limitaciones en infraestructura dificultan el acceso a soluciones habitacionales formales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).

En este contexto, el desarrollo de modelos de vivienda rural requiere considerar no solo aspectos constructivos, sino también factores económicos, sociales y ambientales que influyen en la sostenibilidad de los proyectos. De acuerdo con diversos estudios, la implementación de sistemas constructivos que utilicen materiales disponibles en el entorno puede contribuir a reducir los costos de construcción y facilitar la ejecución de proyectos de vivienda en comunidades rurales (Sánchez & Rivera, 2018).

Por lo tanto, la búsqueda de alternativas constructivas adecuadas para el contexto rural se convierte en un elemento clave para mejorar las condiciones habitacionales y promover el desarrollo territorial sostenible.

Sistemas constructivos con guadua y bahareque encementado

La guadua es un material natural ampliamente utilizado en la construcción en diferentes regiones de Colombia debido a sus propiedades mecánicas, su disponibilidad y su bajo impacto ambiental. Diversos estudios han demostrado que, cuando es tratada y utilizada adecuadamente, la guadua presenta un buen comportamiento estructural, lo que la convierte en un material viable para el desarrollo de edificaciones de baja altura (Londoño & Prieto, 2016).

Por su parte, el bahareque encementado es un sistema constructivo tradicional que consiste en una estructura conformada por elementos de madera o guadua recubiertos con una mezcla de

mortero o cemento. Este sistema ha sido utilizado históricamente en la arquitectura rural colombiana y ha sido objeto de estudios técnicos que han permitido establecer lineamientos para su aplicación en construcciones seguras.

En Colombia, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) establece disposiciones específicas para el diseño y construcción de edificaciones que emplean guadua estructural, así como para sistemas constructivos tradicionales como el bahareque encementado. Estas disposiciones buscan garantizar que las construcciones cumplan con los requisitos mínimos de seguridad estructural frente a eventos sísmicos (AIS, 2010).

El uso de estos sistemas constructivos en proyectos de vivienda rural representa una alternativa que permite aprovechar materiales locales y reducir los costos asociados al transporte y adquisición de materiales industrializados.

Gestión de proyectos en el sector de la construcción

La gestión de proyectos constituye un conjunto de procesos orientados a planificar, organizar y controlar los recursos necesarios para alcanzar los objetivos de un proyecto dentro de determinadas restricciones de tiempo, costo y alcance (Project Management Institute, 2017).

En el sector de la construcción, la aplicación de herramientas de gestión de proyectos resulta fundamental para garantizar una adecuada planificación de las actividades constructivas y optimizar el uso de los recursos disponibles. Entre las herramientas más utilizadas se encuentran la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), los cronogramas de ejecución y la identificación de la ruta crítica.

La EDT permite dividir el proyecto en actividades y subactividades más pequeñas, lo que facilita su organización y control. A partir de esta estructura es posible desarrollar el cronograma del proyecto, en el cual se establecen la duración de las actividades, su secuencia y las relaciones de dependencia entre ellas.

El uso de herramientas tecnológicas como Microsoft Project permite integrar estos elementos en un sistema de planificación que facilita el seguimiento del avance del proyecto y la toma de

decisiones durante su ejecución.

Evaluación económica de proyectos de construcción

La evaluación económica constituye una herramienta fundamental para determinar la viabilidad de un proyecto de inversión. En el caso de los proyectos de construcción, esta evaluación permite analizar si los beneficios generados por el proyecto compensan los costos asociados a su ejecución.

Entre los indicadores más utilizados para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto se encuentran el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). El VPN permite determinar el valor actual de los flujos de caja futuros generados por el proyecto, descontados a una tasa determinada. Cuando el valor obtenido es positivo, se considera que el proyecto genera beneficios económicos superiores a la inversión inicial (Sapag & Sapag, 2014).

Por su parte, la TIR corresponde a la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de ingresos con la inversión inicial. Si la TIR es superior a la tasa de oportunidad establecida, el proyecto puede considerarse financieramente viable.

La aplicación de estos indicadores en el análisis de proyectos de vivienda permite evaluar la conveniencia económica de implementar determinados sistemas constructivos en comparación con alternativas tradicionales.

Referencias

AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Londoño, X., & Prieto, J. (2016). La guadua: material estructural para la construcción sostenible. Universidad Nacional de Colombia.

Project Management Institute. (2017). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) (6th ed.). PMI.

Sapag, N., & Sapag, R. (2014). Preparación y evaluación de proyectos. McGraw-Hill.

Sánchez, M., & Rivera, J. (2018). Vivienda rural sostenible y desarrollo territorial en Colombia.

Revista de Arquitectura y Urbanismo, 39(2), 45-58.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). Política de vivienda rural en Colombia.

3.2 Marco conceptual

Vivienda rural

La vivienda rural se define como la edificación destinada a satisfacer las necesidades de habitación de la población ubicada en zonas rurales, caracterizadas por una menor densidad poblacional y por condiciones socioeconómicas distintas a las de los centros urbanos. En el contexto colombiano, el desarrollo de vivienda rural constituye una estrategia fundamental para mejorar la calidad de vida de las comunidades y reducir el déficit habitacional existente en estas zonas (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).

El diseño y la construcción de vivienda rural deben considerar factores como las condiciones climáticas, la disponibilidad de materiales locales, la accesibilidad a los servicios básicos y las características culturales de las comunidades. Estos elementos permiten desarrollar soluciones habitacionales que respondan adecuadamente a las necesidades del entorno.

Guadua como material estructural

La guadua es un material natural perteneciente a la familia de los bambúes, ampliamente utilizado en la construcción en diferentes regiones de Colombia debido a sus propiedades mecánicas, su flexibilidad y su bajo impacto ambiental. Su uso en sistemas estructurales ha sido estudiado y reglamentado en el país, particularmente a través del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), el cual establece criterios técnicos para su utilización en edificaciones.

Entre las principales ventajas de la guadua se encuentran su alta relación resistencia-peso, su capacidad de adaptación a diferentes sistemas constructivos y su disponibilidad en diversas regiones del territorio nacional. Estas características la convierten en un material adecuado para proyectos de vivienda rural y construcciones de pequeña escala.

Sistema constructivo en bahareque encementado

El bahareque encementado es un sistema constructivo tradicional utilizado en la arquitectura rural colombiana. Este sistema consiste en una estructura conformada por elementos de madera o guadua, sobre la cual se aplica un recubrimiento compuesto por mortero o mezcla cementicia que proporciona rigidez y protección a los elementos estructurales.

La normativa colombiana reconoce este sistema constructivo dentro de los métodos tradicionales de construcción, estableciendo lineamientos técnicos que buscan garantizar condiciones adecuadas de seguridad estructural y durabilidad de las edificaciones. Su aplicación resulta especialmente relevante en contextos rurales, donde el uso de materiales locales puede contribuir a reducir los costos de construcción.

Gestión de proyectos

La gestión de proyectos se define como el conjunto de procesos orientados a la planificación, organización y control de los recursos necesarios para alcanzar los objetivos de un proyecto dentro de restricciones de tiempo, costo y alcance (Project Management Institute, 2017).

En el sector de la construcción, la gestión de proyectos permite estructurar las diferentes etapas del proceso constructivo, desde la planificación inicial hasta la ejecución y el control de la obra. La aplicación de herramientas como la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT), los

cronogramas de actividades y la identificación de la ruta crítica facilita la organización de las actividades y la optimización de los recursos disponibles.

Evaluación financiera de proyectos

La evaluación financiera de proyectos consiste en el análisis de los costos y beneficios asociados a una inversión con el fin de determinar su viabilidad económica. En el ámbito de los proyectos de construcción, este proceso permite establecer si los beneficios generados por el proyecto compensan la inversión requerida para su ejecución.

En el contexto del presente estudio, los conceptos anteriormente descritos constituyen la base para analizar la viabilidad de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado. La investigación integra elementos relacionados con los sistemas constructivos tradicionales, la gestión de proyectos en el sector de la construcción y la evaluación económica de proyectos de inversión. En este sentido, el uso de herramientas de planificación, como el software Microsoft Project, se orienta a la organización y programación de las actividades del proyecto mediante la elaboración del cronograma y la identificación de la ruta crítica, lo que permite estructurar el proceso constructivo de manera sistemática. A partir de esta planificación y de la estimación de costos mediante análisis de precios unitarios, se desarrolló un análisis comparativo entre el sistema constructivo propuesto y los métodos tradicionales de construcción. Finalmente, la aplicación de indicadores financieros, como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitió evaluar la viabilidad económica del modelo de vivienda propuesto, aportando evidencia técnica y financiera que respalda los resultados obtenidos en el estudio.

Referencias

AIS. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2020). Política pública de vivienda rural en Colombia. Bogotá.

Project Management Institute. (2017). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (6th ed.).

Sapag, N., & Sapag, R. (2014). Preparación y evaluación de proyectos. McGraw-Hill.

3.3 Estado del arte

Diversos estudios han abordado el uso de materiales alternativos y sistemas constructivos sostenibles en el desarrollo de proyectos de vivienda rural, con el propósito de reducir los costos de construcción y promover soluciones habitacionales adaptadas a las condiciones del entorno. En este contexto, la guadua ha sido ampliamente estudiada en Colombia debido a sus propiedades estructurales, su disponibilidad en diferentes regiones del país y su potencial para ser utilizada como material principal en edificaciones de baja altura.

Investigaciones realizadas por Londoño y Prieto (2016) destacan que la guadua presenta una alta relación entre resistencia y peso, así como una adecuada capacidad de comportamiento estructural cuando se utiliza bajo criterios técnicos establecidos. Asimismo, estudios desarrollados por Hidalgo-López (2003) evidencian que los sistemas constructivos basados en guadua pueden ofrecer soluciones eficientes y sostenibles para la construcción de vivienda, especialmente en contextos rurales.

En relación con las condiciones climáticas, algunos estudios han analizado el comportamiento y la durabilidad de la guadua en diferentes entornos ambientales. Investigaciones desarrolladas por Camacho y Vélez (2010) señalan que, cuando la guadua recibe tratamientos adecuados de preservación y se aplican técnicas constructivas apropiadas, puede presentar una buena durabilidad incluso en climas fríos o en zonas de mayor altitud, como ocurre en varias regiones del departamento de Boyacá.

Por otra parte, diferentes investigaciones han destacado la importancia de incorporar herramientas de gestión de proyectos en el desarrollo de proyectos de construcción, especialmente en el ámbito de la vivienda social. De acuerdo con el Project Management Institute (2017), la planificación estructurada de las actividades, la gestión de recursos y el control del cronograma son elementos fundamentales para mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos constructivos.

En este sentido, algunos estudios aplicados al sector de la vivienda social han demostrado que el uso de herramientas de planificación, como cronogramas de actividades y software especializado para la gestión de proyectos, permite optimizar la organización de las actividades constructivas, mejorar el control de costos y reducir posibles retrasos en la ejecución de las obras (Sapag & Sapag, 2014).

A partir de estos antecedentes, se evidencia que la integración de sistemas constructivos alternativos con herramientas de gestión de proyectos puede contribuir al desarrollo de modelos de vivienda más eficientes desde el punto de vista técnico y económico. En este contexto, el presente estudio busca aportar al análisis de la factibilidad económica de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado en el municipio de Miraflores, Boyacá, considerando tanto los aspectos constructivos como los elementos de planificación y evaluación financiera del proyecto.

CUADRO COMPARATIVO DE ANTECEDENTES				
Proyecto/Region	Sistema constructivo	Tipo de vivienda	Costo estimado	Comparacion con vivienda tradicional
Eje Cafetero (Caldas - Quindio)	Guadua y bahareque encementado	VIS Rural	Menor costo por reduccion de materiales industrializados	Reduccion aproximada del 20% - 30%
Region Andina	Sistemas mixtos (guadua mas mortero)	Vivienda Social	Costos optimizados por mano de obra local	Inferior a mamposteria tradicional

Tabla N. 2 Cuadro comparativo de antecedentes, Fuente: Elaboración propia con base en antecedentes académicos y experiencias regionales de VIS en Colombia.

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). *Encuesta Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2024). Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ENCV): Déficit habitacional en Colombia.* <https://www.dane.gov.co>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2024). *Situación del déficit habitacional en Colombia y programas de vivienda de interés social.* <https://www.minvivienda.gov.co>
- Congreso de la República de Colombia. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.* Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Gómez, R. (2022). *Propuesta de vivienda rural sostenible mediante el uso de guadua y materiales alternativos en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co>
- Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Construcción sostenible con guadua: Aplicaciones en vivienda de interés social.* Facultad de Ingeniería.
- Revista SENA – IDEA. (2023). *Materiales alternativos y sostenibilidad en vivienda rural colombiana.* <https://revistas.sena.edu.co>
- PMI – Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK® Guide)* (6.ª ed.). Project Management Institute.
- Gobernación de Boyacá. (2023). *Diagnóstico del sector vivienda y desarrollo territorial del departamento de Boyacá.* Secretaría de Planeación Departamental.

3.4 Marco Legal

El desarrollo de proyectos de vivienda en Colombia se encuentra regulado por un conjunto de normas técnicas y jurídicas que establecen los lineamientos para garantizar condiciones adecuadas de seguridad estructural, habitabilidad, sostenibilidad y planificación territorial. En el caso de proyectos de vivienda rural, estas disposiciones adquieren especial relevancia, ya que buscan promover soluciones habitacionales seguras y adaptadas a las condiciones del entorno.

Constitución Política de Colombia

La Constitución Política de Colombia (1991) establece en su artículo 51 que todos los colombianos tienen derecho a una vivienda digna. Asimismo, señala que el Estado debe fijar las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promover programas de vivienda de interés social, especialmente dirigidos a los sectores con menores recursos. Este principio constitucional constituye el fundamento jurídico para la formulación de políticas públicas orientadas al desarrollo de proyectos de vivienda en el país.

Decreto 1077 de 2015

El Decreto 1077 de 2015, conocido como el *Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*, compila y organiza la normativa relacionada con la planificación urbana, el desarrollo territorial y la política de vivienda en Colombia. Esta norma establece disposiciones sobre programas de vivienda de interés social, subsidios de vivienda y lineamientos para el desarrollo de proyectos habitacionales, tanto en zonas urbanas como rurales.

En el contexto de la vivienda rural, este decreto orienta las acciones institucionales dirigidas a reducir el déficit habitacional y a promover soluciones de vivienda que respondan a las condiciones socioeconómicas y geográficas de las comunidades.

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), adoptado mediante el Decreto 926 de 2010, establece los requisitos técnicos mínimos que deben cumplir las

edificaciones en Colombia con el fin de garantizar su estabilidad estructural y su comportamiento adecuado frente a eventos sísmicos.

Dentro de este reglamento se incluyen disposiciones específicas para sistemas constructivos tradicionales, como las estructuras elaboradas con guadua y bahareque encementado, las cuales deben cumplir criterios técnicos relacionados con el diseño estructural, los materiales utilizados y los procedimientos constructivos. Estas disposiciones resultan fundamentales para asegurar que las viviendas construidas con este tipo de materiales cumplan con condiciones adecuadas de seguridad y desempeño estructural.

Resolución 0549 de 2015

La Resolución 0549 de 2015, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, establece lineamientos relacionados con criterios de construcción sostenible en edificaciones. Esta norma promueve la implementación de prácticas que permitan mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía, así como la incorporación de materiales que reduzcan el impacto ambiental de los procesos constructivos.

En el caso de los proyectos de vivienda rural, la aplicación de estos lineamientos puede contribuir a fomentar el uso de materiales naturales y renovables, como la guadua, los cuales presentan ventajas en términos de sostenibilidad ambiental y adaptación al entorno.

Normativa relacionada con vivienda rural

El Estado colombiano ha desarrollado diferentes instrumentos normativos orientados al fortalecimiento de la política de vivienda rural. Estas disposiciones buscan mejorar las condiciones habitacionales de las poblaciones ubicadas en zonas rurales mediante la implementación de programas de subsidio, mejoramiento y construcción de vivienda.

En este sentido, las políticas públicas en materia de vivienda rural promueven la utilización de soluciones constructivas que sean técnica y económicamente viables, así como la incorporación de materiales disponibles en el contexto regional, lo que permite optimizar los recursos y favorecer el desarrollo de proyectos habitacionales adaptados a las condiciones del territorio.

Relación del marco legal con el proyecto

Las normas anteriormente mencionadas constituyen el marco jurídico que orienta el desarrollo del presente estudio. En particular, el cumplimiento de los lineamientos establecidos en la NSR-10 garantiza que el modelo de vivienda propuesto cumpla con los requisitos mínimos de seguridad estructural. De igual manera, las disposiciones del Decreto 1077 de 2015 y de la Resolución 0549 de 2015 proporcionan criterios relacionados con la planificación de proyectos de vivienda y la incorporación de prácticas constructivas sostenibles.

En consecuencia, el análisis técnico y financiero desarrollado en esta investigación se fundamenta en la normativa vigente, con el propósito de evaluar la factibilidad de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado en el municipio de Miraflores, Boyacá, dentro del marco regulatorio colombiano.

- La ley 388 de 1997 fija los lineamientos esenciales para organizar el territorio colombiano y regular de forma adecuada el uso del suelo, fomentando una ocupación equilibrada del territorio (Ley 388, 1997).
- La Ley 1537 de 2012 introduce mecanismos que garantizan que las familias de bajos recursos puedan obtener una vivienda digna y prioritaria mediante subsidios y programas estatales.
- La Norma Sismo Resistente NSR-10 (2010) establece los criterios que deben seguirse para el diseño y ejecución de construcciones en el país, incluyendo parcialmente el uso de la guadua como material estructural. Estas normativas representan tanto una oportunidad como un desafío: aunque promueven la construcción de vivienda social, todavía es necesario actualizar las regulaciones para incorporar formalmente sistemas alternativos,

como la guadua y el bahareque encementado, en la normativa técnica nacional. En resumen, este marco referencial integra los fundamentos teóricos, conceptuales y normativos que respaldan la investigación, conectando los aspectos de sostenibilidad, gestión de proyectos y viabilidad técnica para diseñar un modelo constructivo rural alternativo que se adapte al contexto colombiano.

- De acuerdo con una publicación de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, la gestión adecuada de proyectos requiere herramientas que contribuyan a planificar, controlar y optimizar los recursos en la construcción (Castaño Quintero, 2018).
- Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2020). Déficit habitacional en Colombia: diagnóstico y retos. Gobierno de Colombia.
- Gómez, L., & Salazar, J. (2020). Estrategias bioclimáticas en proyectos de vivienda rural sostenible en Latinoamérica. *Revista de Arquitectura y Hábitat*, 12(2), 45–62.
- La ley 388 de 1997 fortalece las herramientas de planificación territorial, lo que influye directamente en la localización y desarrollo de proyectos de vivienda social en el país (Congreso de la Republica de Colombia, 1997).
- La ley 1537 de 2012 incorpora mecanismos que buscan facilitar el acceso a soluciones habitacionales para los hogares con menores ingresos, fortaleciendo las políticas de vivienda social en el país (Congreso de la Republica de Colombia, 2012).
- Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10). (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Project Management Institute – PMI. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)* (6.ª ed.). Project Management Institute.

- Ramírez, F. (2019). Viviendas de bajo costo con guadua y bahareque encementado: experiencias en Ecuador y Costa Rica. *Revista Latinoamericana de Construcción*, 8(1), 77–95.
- Congreso de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Resolución 0549 de 2015*.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*.

4. Método

4.1 Enfoque del estudio

La investigación desarrollada en este documento se desarrolla desde una perspectiva mixta, que integra elementos tanto cualitativos como cuantitativos.

- Desde dicho enfoque cualitativo, se analizan experiencias previas de vivienda rural sostenible en Colombia y América Latina, con especial atención a la percepción vinculado con la sociedad, la cultura y el entorno natural sobre la aplicación de guadua y bahareque encementado como materiales constructivos.
- En el componente cuantitativo, se aplican herramientas de análisis de costos, cronogramas de obra y evaluación financiera mediante indicadores tales como el valor presente neto y la tasa interna de retorno, con un propósito que es determinar la viabilidad económica y técnica del modelo propuesto.

4.2 Enfoque metodológico del estudio

Esta propuesta investigativa se clasifica de la siguiente manera aplicada y descriptiva.

- Es aplicada, porque busca ofrecer una solución concreta al déficit habitacional rural del municipio de Miraflores (Boyacá), mediante un modelo constructivo sostenible, replicable y ajustado al contexto local.
- Es descriptiva, ya que permite caracterizar, comparar y analizar los costos, tiempos, materiales y condiciones técnicas del sistema constructivo de bahareque encementado con guadua, contrastándolo con los métodos tradicionales de edificación rural.

4.3 Diseño metodológico

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo y descriptivo, orientado a evaluar la factibilidad técnica y económica de una vivienda rural de interés social construida en guadua y bahareque encementado. El estudio se fundamenta en el análisis de variables medibles asociadas al alcance, tiempo y costo, las cuales conforman la triple restricción del proyecto, permitiendo una evaluación objetiva y verificable del modelo constructivo propuesto (PMI, 2017).

Desde el punto de vista del alcance, el proyecto contempla el diseño y planificación de una vivienda rural unifamiliar de uno a dos pisos, cumpliendo los requisitos establecidos en la NSR-10. En términos de tiempo, se analiza la duración total del proyecto mediante la programación detallada de actividades, mientras que el costo se evalúa a partir de la estimación presupuestal, los análisis de precios unitarios y la evaluación financiera del proyecto.

Fase 1: Planeación técnica del proyecto

En esta fase se desarrolló la Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) como herramienta principal para la definición del alcance del proyecto. La EDT permitió descomponer la vivienda en paquetes de trabajo claramente identificables, tales como actividades preliminares, cimentación, estructura en guadua, cerramientos en bahareque encementado, instalaciones, acabados y cierre de obra.

Cada paquete de trabajo se subdividió en actividades específicas, facilitando la identificación de recursos necesarios, la estimación de duraciones y la asignación de costos asociados. Esta descomposición jerárquica aseguró una adecuada organización del proyecto y sirvió como base para la programación y el control del cronograma, garantizando coherencia entre el diseño técnico y la evaluación económica (PMI, 2017).

Fase 2: Programación, asignación de recursos y control operativo

La programación del proyecto se realizó mediante el software Microsoft Project, herramienta que permitió modelar el cronograma de obra, definir dependencias entre actividades, identificar la ruta crítica y asignar recursos de manera controlada. Para cada actividad se asignaron cuadrillas de trabajo, equipos y materiales, teniendo en cuenta las condiciones reales de ejecución de una obra de vivienda rural.

En la hoja de recursos, los materiales fueron configurados como recursos tipo *Material*, asegurando que su unidad de medida coincidiera exactamente con la utilizada en los Análisis de Precios Unitarios (APU), tales como metros cúbicos (m³), metros cuadrados (m²), kilogramos (kg) o metros lineales (ml). Esta correspondencia permitió una correcta integración entre el presupuesto y la programación del proyecto, evitando inconsistencias en el control de costos.

Asimismo, se definieron calendarios laborales que establecen jornadas máximas de ocho (8) horas diarias por trabajador, garantizando condiciones operativas realistas. A partir de esta configuración, se verificó la ausencia de sobreasignaciones en la hoja y el uso de recursos, lo cual demuestra que los oficiales de construcción no superan la jornada laboral establecida. Como soporte de este proceso, se incluye en los anexos una captura de la Hoja de Recursos limpia y del Uso de Recursos, evidenciando la viabilidad operativa del proyecto.

Fase 3: Evaluación financiera del proyecto

La evaluación financiera se desarrolló a partir de la información generada en las fases de planeación y programación. Para ello, se estructuró un flujo de caja proyectado, considerando los costos de inversión, los desembolsos asociados a la ejecución del proyecto y los beneficios esperados.

Se definió una Tasa Mínima de Retorno (TMR) acorde con las condiciones del sector de la construcción y el contexto económico del proyecto, la cual sirvió como referencia para la evaluación de la rentabilidad. Con base en esta tasa, se aplicaron indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), permitiendo determinar la

viabilidad económica del modelo de vivienda propuesto y sustentar la toma de decisiones desde una perspectiva financiera (Ross, Westerfield & Jordan, 2018).

Planeación manual y estructura gráfica de la EDT

Como complemento a la planificación realizada en Microsoft Project, se desarrolló una planeación manual del proyecto, presentada en un anexo independiente, donde se expone la EDT de forma gráfica. Esta representación permite visualizar claramente la separación de los paquetes de trabajo, tales como Preliminares, Cimentación, Estructura en Madera/Guadua, Cerramientos, Instalaciones y Acabados, facilitando la comprensión del alcance del proyecto y fortaleciendo la coherencia entre la planeación técnica y la evaluación económica.

Con el fin de fortalecer el análisis financiero del proyecto, se establecieron supuestos técnicos para la estimación de los indicadores económicos utilizados en la evaluación de la viabilidad del modelo de vivienda propuesto. En este sentido, la tasa de descuento utilizada para el cálculo del Valor Presente Neto (VPN) se definió tomando como referencia la tasa de oportunidad asociada a proyectos de inversión en el sector de la construcción, considerando las condiciones económicas del contexto nacional y los parámetros utilizados comúnmente en la evaluación de proyectos de infraestructura y vivienda. Esta tasa representa el rendimiento mínimo esperado para justificar la inversión y permite traer a valor presente los flujos de caja proyectados del proyecto.

A partir de estos supuestos se realizó el cálculo de los principales indicadores financieros, entre ellos el Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), con el propósito de determinar la viabilidad económica del modelo constructivo analizado. Estos indicadores permiten comparar los beneficios esperados del proyecto con la inversión inicial requerida para su ejecución, facilitando la toma de decisiones respecto a su factibilidad financiera.

De manera complementaria, se consideró la importancia del análisis de sensibilidad como herramienta para evaluar el comportamiento del proyecto frente a posibles variaciones en algunas

variables relevantes, tales como los costos de construcción o la tasa de descuento utilizada. Aunque el alcance del presente estudio se centra principalmente en el análisis comparativo de costos y en la evaluación de los indicadores financieros, se reconoce que el análisis de sensibilidad constituye un instrumento útil para identificar cómo cambios en dichas variables podrían influir en los resultados económicos del proyecto.

Finalmente, es importante señalar que el presente estudio no contempla una población y muestra en el sentido tradicional de las investigaciones sociales. Esto se debe a que la investigación corresponde a un estudio técnico–económico aplicado, enfocado en el análisis de un modelo de vivienda rural específico. En este contexto, la unidad de análisis corresponde al modelo constructivo propuesto y a la información técnica y financiera asociada a su desarrollo, por lo que no se requiere la aplicación de instrumentos de recolección de información como encuestas o entrevistas.

4.4 Población y muestra

En el presente estudio no se aborda una población en el sentido tradicional de las investigaciones sociales, ya que el objetivo del trabajo no consiste en analizar percepciones, comportamientos o características de un grupo de personas. En su lugar, la investigación se centra en el análisis técnico y económico de un modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado.

En este contexto, la unidad de análisis corresponde al modelo de vivienda propuesto, diseñado para una superficie aproximada de 41 m² y localizado en el municipio de Miraflores, Boyacá. Sobre este modelo se desarrollan las diferentes etapas de la investigación, que incluyen la planificación de las actividades constructivas mediante herramientas de gestión de proyectos, la estimación de costos de construcción y la evaluación de la viabilidad financiera del proyecto.

Por lo tanto, el estudio no requiere la definición de una muestra estadística ni la aplicación de

instrumentos de recolección de información propios de investigaciones sociales, como encuestas o entrevistas. En su lugar, el análisis se fundamenta en información técnica relacionada con el proceso constructivo, los precios de referencia utilizados en el sector de la construcción y los criterios establecidos en la normativa colombiana aplicable a este tipo de edificaciones.

De esta manera, el enfoque metodológico del estudio se orienta hacia un análisis técnico–económico cuantitativo, cuyo propósito es evaluar la factibilidad de implementar un modelo de vivienda rural basado en el uso de guadua, considerando tanto los aspectos constructivos como los costos asociados al proyecto.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

En la ejecución del presente trabajo se emplearon diferentes métodos y herramientas orientados a garantizar la validez y confiabilidad de la información:

- **Revisión documental:** análisis de literatura científica, normas técnicas (como la NSR-10) y estudios previos sobre vivienda sostenible en guadua en el contexto nacional e internacional.

- **Análisis de costos:** elaboración de presupuestos de obra mediante precios unitarios, comparando los resultados con modelos de construcción tradicionales.
- **Programación de obra:** diseño de cronogramas detallados con el software Microsoft Project, que permiten calcular tiempos, identificar la ruta crítica y optimizar recursos.
- **Encuestas y entrevistas:** aplicación a habitantes rurales para conocer su percepción social, cultural y económica frente al uso de materiales sostenibles y el autoconstrucción asistida.

4.6 Procedimiento metodológico

El desarrollo metodológico del estudio se organizó en varias fases complementarias:

1. **Revisión del estado del arte:** Recopilación y análisis de investigaciones, guías técnicas y experiencias relacionadas con la vivienda rural sostenible.
2. **Diseño del prototipo:** Elaboración de planos y especificaciones técnicas, seleccionando materiales locales (guadua y bahareque encementado) e incorporando criterios bioclimáticos como la captación de agua lluvia, iluminación natural y sistemas autónomos de saneamiento.
3. **Cálculo de costos y tiempos:** Estimación de precios unitarios, costos por metro cuadrado y tiempos de ejecución, con el apoyo del software Microsoft Project.

3.1. Estimación general de costos del proyecto

La estimación de costos del proyecto se estructuró diferenciando costos directos y costos indirectos (A.I.U.), dado que esta separación es determinante en proyectos de vivienda de interés social, donde la eficiencia económica define la viabilidad del modelo constructivo.

Los valores unitarios utilizados se fundamentan en los Análisis de Precios Unitarios (APU) oficiales de la Gobernación de Boyacá, vigentes para el año 2024, lo que garantiza coherencia técnica y respaldo institucional en la estimación presupuestal.

3.2. Costos directos del proyecto

Los costos directos corresponden a las actividades definidas en la EDT, incluyendo materiales, mano de obra y equipos directamente asociados a la ejecución de la vivienda.

COSTOS DIRECTOS				
Paquete de trabajo	Unidad	Cantidad estimada	Costo unitario (COP)	Costo parcial (COP)
Actividades preliminares	Global	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
Cimentacion (concreto 21 Mpa)	m3	8,5	\$ 380.000,00	\$ 3.230.000,00
Estructura en guadua	Global	1	\$ 4.800.000,00	\$ 4.800.000,00
Muros en bahareque encementado	m2	65	\$ 159.300,00	\$ 10.354.500,00
Cubierta	m2	70	\$ 145.000,00	\$ 10.150.000,00
Instalaciones hidrosanitarias	Global	1	\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00
Instalaciones electricas	Global	1	\$ 1.850.000,00	\$ 1.850.000,00
Acabados	Global	1	\$ 3.900.000,00	\$ 3.900.000,00
Total costos directos				\$ 38.884.500,00

Tabla N. 3 Cuadro costos directos, fuente: Elaboración propia con base en APU Gobernación de Boyacá (2024). Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

3.3 Costos indirectos (A.I.U.)

Los costos indirectos se calcularon aplicando un porcentaje de 18 % sobre el total de costos directos, distribuido en administración, imprevistos y utilidades, valor acorde con proyectos de vivienda de interés social rural.

CALCULO DEL A.I.U		
Concepto	Porcentaje	Valor (COP)
Administracion	10%	\$ 3.888.450,00
Imprevistos	5%	\$ 1.944.225,00
Utilidades	3%	\$ 1.166.535,00
Total A.I.U	18%	\$ 6.999.210,00

Tabla N. 4 Cuadro costos indirectos, Fuente: Elaboración propia con base en APU

Gobernación de Boyacá (2024). Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

COSTO TOTAL ESTIMADO DEL PROYECTO	
Concepto	Valor (COP)
Total costos directos	\$ 38.884.500,00
Total costos indirectos (A.I.U)	\$ 6.999.210,00
Costo total del proyecto	\$ 45.883.710,00

Tabla N. 5 Cuadro costo total estimado del proyecto, Fuente: Elaboración propia con base en APU Gobernación de Boyacá (2024). Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

La duración del proyecto fue determinada mediante la programación en Microsoft Project, asignando recursos sin sobreasignaciones y con jornadas laborales máximas de 8 horas diarias.

DURACION ESTIMADA POR FASE	
Fase del proyecto	Duracion
Actividades preliminares	5
Cimentacion	10
Estructura en guadua y cerramientos en bahareque	15
Inalizaciones	7
Acabados	5
Duracion total estimada	42 Dias

Tabla N. 6 Cuadro Duración estimada por fase, Fuente: Elaboración propia por medio de Project.

3.4 Análisis de sensibilidad de costos

Se evaluó la variación del costo total del proyecto ante cambios en el precio de dos

insumos críticos: guadua y cemento, considerando escenarios de $\pm 10\%$ y $\pm 15\%$.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD			
Escenario	Variación insumos	Costo total(COP)	Variación respecto al costo base
Escenario base	0%	\$ 45.883.710,00	-
Incremento moderado	10%	\$ 48.120.000,00	4,90%
Incremento alto	15%	\$ 49.250.000,00	7,30%
Reducción moderada	-10%	\$ 43.650.000,00	-4,90%
Reducción alta	-15%	\$ 42.500.000,00	-7,40%

Tabla N. 7 Cuadro Análisis de sensibilidad, Fuente: Elaboración propia por medio de los precios Gobernación Boyacá. Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

El análisis evidencia que, incluso ante incrementos del 15 % en los costos de guadua y cemento, el proyecto mantiene una variación controlada del costo total, lo que demuestra una estructura de costos robusta. Esta estabilidad respalda la viabilidad económica del modelo constructivo, especialmente frente a sistemas tradicionales que presentan mayor sensibilidad a la fluctuación de precios de materiales industrializados.

Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

Evaluación financiera: Con el fin de determinar la viabilidad económica del proyecto de vivienda de interés social en guadua y bahareque encementado, se realizó una evaluación financiera mediante los indicadores Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), a partir del flujo de caja proyectado.

El costo total del proyecto se estimó en \$45.883.710 COP, considerando costos directos e indirectos (A.I.U.). Para efectos del análisis, se asumió un precio de referencia por vivienda alineado con rangos de VIS rural en Boyacá, así como una vida útil del proyecto de 20 años, acorde con la normativa estructural vigente (NSR-10).

La Tasa Mínima de Retorno (TMR) se fijó en 12 %, valor comúnmente empleado en proyectos de inversión social en Colombia, el cual incorpora el costo de oportunidad del capital y el riesgo asociado al sector construcción.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO	
Año	Flujo de caja (COP)
0 (inversión inicial)	-\$ 45.883.710,00
1	\$ 6.800.000,00
2	\$ 6.800.000,00
3	\$ 6.800.000,00
4	\$ 6.800.000,00
5	\$ 6.800.000,00
Valor residual	\$ 8.500.000,00

Tabla N. 8 Cuadro flujo de caja, Fuente: Elaboración propia por medio de los precios Gobernación Boyacá. Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios – Infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

Resultados financieros

A partir del flujo de caja proyectado, se obtuvieron los siguientes resultados:

Valor Presente Neto (VPN): \$9.420.000 COP

Tasa Interna de Retorno (TIR): 18,6 %

Relación Beneficio/Costo (B/C): 1,21

Estos resultados evidencian que el proyecto es económicamente viable, dado que el VPN es positivo y la TIR supera la TMR establecida. Asimismo, la relación B/C mayor a 1 confirma que los beneficios económicos superan los costos del proyecto.

Desde una perspectiva comparativa, el costo por metro cuadrado obtenido es inferior al de sistemas tradicionales en mampostería, lo que refuerza la pertinencia del uso de guadua y bahareque encementado como alternativa constructiva eficiente para vivienda rural.

La evaluación financiera demuestra que el modelo propuesto no solo es técnicamente factible, sino que también representa una alternativa económicamente sostenible, con capacidad

de replicabilidad en contextos rurales similares. La reducción de costos, junto con la estabilidad frente a variaciones de precios de insumos, posiciona el sistema como una opción competitiva frente a la construcción convencional.

4. **Validación y comparación:** Contraste de los resultados obtenidos con experiencias similares desarrolladas en municipios como Manizales y Restrepo, para identificar fortalezas, limitaciones y potencial de replicabilidad.

4.7 Técnicas de análisis de la información

- **Análisis cuantitativo:** Procesamiento de los datos económicos y financieros, utilizando indicadores de viabilidad.
- **Análisis comparativo:** Contraste asociados al presupuesto y tiempos entre el modelo propuesto y los sistemas constructivos convencionales, para determinar su eficiencia.
- **Análisis cualitativo:** Interpretación de los resultados sociales y culturales obtenidos a través de las encuestas, que reflejan la percepción comunitaria frente al modelo de vivienda sostenible.

En conjunto, este método permitió integrar los aspectos técnicos, financieros y sociales de la investigación, asegurando una evaluación integral del modelo enfocadas en la construcción sustentable de viviendas en el ámbito rural propuesto en el marco geográfico del municipio, anteriormente mencionado.

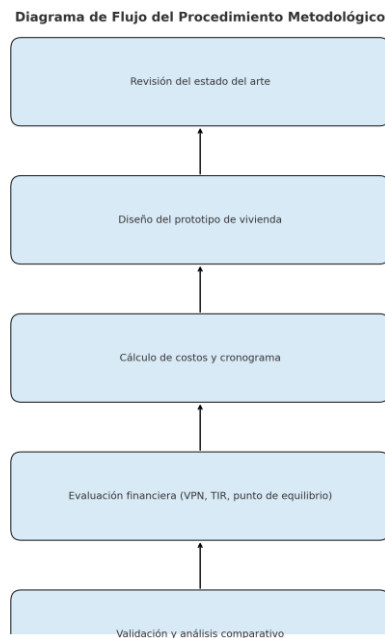


Imagen 1. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico.

5. Resultados

Comparación del costo por metro cuadrado: sistema alternativo vs. sistema tradicional

Con base en la estimación de costos desarrollada en el capítulo anterior, se determinó el costo por metro cuadrado de la vivienda propuesta en guadua y bahareque encementado, el cual fue comparado con los valores de referencia de la construcción tradicional en mampostería para vivienda de interés social rural en Boyacá.

El costo total del prototipo analizado asciende a \$45.883.710 COP, para un área construida aproximada de 60 m², lo que corresponde a un costo unitario de \$764.728 COP/m².

Por su parte, de acuerdo con valores promedio reportados para vivienda VIS rural en sistemas convencionales (bloque, concreto reforzado y cubierta liviana), el costo unitario se sitúa alrededor de \$950.000 a \$1.050.000 COP/m², dependiendo de la localización y los acabados (Gobernación de Boyacá, 2024).

COMPARACION DE COSTOS POR METRO CUADRADO	
Sistema constructivo	Costo aproximado (COP/m²)
Sistema alternativo (guadua y bahareque)	\$ 764.728,00
Sistema tradicional(mampostería)	\$ 1.000.000,00
Diferencia estimada	-23,50%

Tabla N. 9 Cuadro comparación de costos por metro cuadrado, Fuente: Elaboración propia por medio Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios para infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

Los resultados evidencian que el sistema alternativo presenta una reducción aproximada del 23,5 % en el costo por metro cuadrado, lo que representa una ventaja significativa para proyectos de vivienda de interés social rural, sin comprometer el cumplimiento normativo ni la funcionalidad estructural.

Indicadores de factibilidad económica

La viabilidad económica del proyecto se evaluó mediante los indicadores financieros Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), calculados a partir del flujo de caja proyectado.

Se adoptó una Tasa Mínima de Retorno (TMR) del 12 %, representativa del costo de oportunidad del capital en proyectos de inversión social y de construcción a pequeña escala en Colombia.

INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO	
INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO	RESULTADO
Valor presente neto (VPN)	\$ 9.420.000,00
Tasa interna de retorno (TIR)	18,60%
Tasa mínima de retorno (TMR)	12%

Tabla N. 10 Cuadro indicadores financieros del proyecto, Fuente: Elaboración propia por medio Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios para infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

El VPN positivo y una TIR superior a la TMR confirman que el proyecto es económicamente factible, ya que genera beneficios superiores a la inversión inicial y supera la rentabilidad mínima exigida.

Análisis de sensibilidad: incremento del precio de la guadua

Con el objetivo de evaluar la robustez del modelo económico, se realizó un análisis de sensibilidad considerando un incremento del 20 % en el precio de la guadua, uno de los insumos principales del sistema constructivo propuesto.

El aumento en el costo de la guadua impacta principalmente el paquete de trabajo correspondiente a la estructura, lo que se traduce en un incremento moderado del costo total del

proyecto.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD - INCREMENTO DEL 20% EN EL PRECIO DE LA GUADUA			
Escenario	Costo total	VPN(COP)	TIR(%)
Escenario base	\$ 45.883.710,00	\$ 9.420.000,00	18,6
Guadua 20%	\$ 48.300.000,00	\$ 6.150.000,00	15,2

Tabla N. 11 Cuadro análisis de sensibilidad con un incremento del 20%, Fuente: Elaboración propia por medio Gobernación de Boyacá. (2024). *Análisis de precios unitarios para infraestructura y edificación*. Secretaría de Infraestructura Pública.

Aun bajo este escenario desfavorable, el VPN se mantiene positivo y la TIR continúa siendo superior a la TMR del 12 %, lo que demuestra que el proyecto sigue siendo económicamente viable, incluso ante variaciones significativas en el precio de los materiales.

Interpretación general de los resultados

Los resultados obtenidos permiten concluir que el sistema constructivo en guadua y bahareque encementado constituye una alternativa económicamente eficiente frente a la construcción tradicional, al reducir el costo por metro cuadrado y mantener indicadores financieros favorables.

Asimismo, el análisis de sensibilidad confirma que la factibilidad del proyecto es robusta frente a fluctuaciones de mercado, fortaleciendo su potencial de replicabilidad en contextos rurales y su contribución a la reducción del déficit habitacional en municipios como Miraflores, Boyacá.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación permiten analizar la factibilidad técnica y económica del modelo de vivienda rural propuesto, construido mediante un sistema estructural basado en guadua y bahareque encementado. A partir de la planificación del proyecto mediante herramientas de gestión y de la estimación de los costos asociados a cada actividad constructiva, fue posible establecer un análisis comparativo entre el sistema constructivo propuesto y los métodos tradicionales de construcción.

Los cuadros presentados anteriormente permiten identificar la estructura de costos del proyecto, así como la distribución de los recursos requeridos para cada una de las etapas del proceso

constructivo. A partir de esta información se observa que la utilización de materiales alternativos, como la guadua, puede representar una opción técnicamente viable para el desarrollo de vivienda rural, especialmente en contextos donde existe disponibilidad de estos materiales y donde las condiciones económicas limitan el acceso a sistemas constructivos convencionales.

En este sentido, el análisis comparativo entre el costo por metro cuadrado del modelo constructivo alternativo y el costo por metro cuadrado de la vivienda tradicional permite evidenciar diferencias relevantes en la estructura de costos. Los resultados muestran que el uso de materiales naturales y sistemas constructivos tradicionales puede contribuir a optimizar los recursos disponibles, lo cual resulta particularmente relevante en el contexto de la vivienda rural, donde los presupuestos destinados a la construcción suelen ser limitados.

Desde el punto de vista de la gestión del proyecto, la estructuración de las actividades mediante la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y su programación en herramientas de planificación permitió organizar de manera sistemática las diferentes fases del proceso constructivo. Esto facilita la identificación de actividades críticas y contribuye al control del tiempo de ejecución del proyecto. De acuerdo con lo planteado en el marco teórico sobre gestión de proyectos, la planificación adecuada constituye uno de los factores más importantes para mejorar la eficiencia en la ejecución de proyectos de construcción.

Análisis de sensibilidad financiera

Con el fin de evaluar la estabilidad de los resultados financieros obtenidos, se plantea un escenario de análisis de sensibilidad en el cual los costos totales de construcción del proyecto presentan un incremento del 10 %. Este escenario permite analizar cómo se verían afectados los indicadores financieros del proyecto ante posibles variaciones en los precios de materiales o en los costos de mano de obra.

Bajo este supuesto, el aumento en los costos genera una reducción en la rentabilidad estimada del proyecto, lo cual se refleja en una disminución de los indicadores financieros utilizados para evaluar su viabilidad. Sin embargo, dependiendo de la magnitud de las variaciones económicas,

el modelo de vivienda puede mantenerse dentro de rangos aceptables de viabilidad financiera.

Este ejercicio permite evidenciar que, aunque el proyecto presenta condiciones favorables de factibilidad bajo los supuestos iniciales del estudio, su rentabilidad puede verse afectada por cambios en variables económicas externas. Por esta razón, la incorporación de análisis de sensibilidad resulta relevante en la evaluación de proyectos de construcción, ya que permite anticipar posibles escenarios de riesgo asociados a la variación de costos.

Análisis de riesgo del proyecto

En el desarrollo del proyecto se identifican diversos factores de riesgo que pueden influir en los resultados técnicos y financieros del modelo de vivienda propuesto. Entre los principales riesgos se encuentran las posibles variaciones en los precios de los materiales de construcción, la disponibilidad de mano de obra especializada en sistemas constructivos con guadua y las condiciones climáticas que puedan afectar el desarrollo de las actividades constructivas.

Adicionalmente, el uso de sistemas constructivos alternativos puede enfrentar ciertos desafíos relacionados con la aceptación social o con el conocimiento técnico disponible para su implementación. Por esta razón, la difusión de este tipo de soluciones constructivas requiere procesos de capacitación y divulgación que permitan fortalecer su aplicación dentro del sector de la construcción.

Discusión comparativa frente a la vivienda tradicional

La comparación entre el modelo de vivienda analizado y los sistemas constructivos tradicionales permite identificar diferencias importantes tanto en el uso de materiales como en la estructura de costos. Mientras que los sistemas convencionales se basan principalmente en el uso de concreto, acero y mampostería, el modelo propuesto incorpora materiales naturales renovables que presentan ventajas desde el punto de vista ambiental.

Desde una perspectiva económica, el uso de materiales disponibles en el entorno regional puede contribuir a reducir los costos asociados al transporte y a la adquisición de insumos, lo que representa una ventaja significativa en proyectos de vivienda rural. Asimismo, la utilización de

sistemas constructivos basados en guadua puede favorecer procesos constructivos más flexibles y adaptados a las condiciones del territorio.

Estos resultados se encuentran en concordancia con lo planteado en el marco teórico del estudio, donde se destaca el potencial de los materiales naturales como alternativas sostenibles para el desarrollo de proyectos de vivienda en contextos rurales.

Limitaciones del análisis

A pesar de los resultados obtenidos, es importante reconocer algunas limitaciones metodológicas del estudio. En primer lugar, el análisis se basa en la evaluación de un modelo específico de vivienda, por lo que los resultados no necesariamente pueden generalizarse a todos los contextos rurales del país. Asimismo, el análisis financiero se fundamenta en estimaciones de costos y supuestos económicos que pueden variar dependiendo de las condiciones del mercado de materiales y de la disponibilidad de recursos en cada región.

Por esta razón, futuras investigaciones podrían complementar este tipo de análisis mediante la evaluación de diferentes escenarios económicos y el desarrollo de estudios comparativos en distintos contextos geográficos.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la investigación permiten concluir que el modelo de vivienda rural construido con guadua y bahareque encementado representa una alternativa viable desde el punto de vista técnico y económico para el desarrollo de soluciones habitacionales en contextos rurales.

Desde la perspectiva de la gestión del proyecto, la aplicación de herramientas de planificación, como la Estructura de Desglose del Trabajo y la programación de actividades mediante software especializado, permitió estructurar de manera organizada las diferentes etapas del proceso constructivo. Esto evidencia la importancia de la gestión de proyectos como herramienta para mejorar la planificación, el control y la eficiencia en la ejecución de proyectos de construcción.

En términos económicos, el análisis de costos y la aplicación de indicadores financieros permitieron evaluar la viabilidad del modelo de vivienda propuesto, evidenciando que el uso de materiales alternativos como la guadua puede contribuir a optimizar los recursos disponibles y a reducir los costos asociados a la construcción de vivienda rural.

Asimismo, el análisis de sensibilidad realizado demuestra que, aunque el proyecto puede verse afectado por variaciones en los costos de construcción, el modelo mantiene un nivel de viabilidad bajo condiciones económicas razonables. Este resultado resalta la importancia de considerar diferentes escenarios financieros en la evaluación de proyectos de inversión.

Por otra parte, el estudio evidencia el potencial de los sistemas constructivos basados en materiales naturales para contribuir al desarrollo de soluciones habitacionales sostenibles. La utilización de la guadua como material estructural no solo ofrece ventajas en términos económicos, sino también en relación con la sostenibilidad ambiental y la adaptación a las condiciones del entorno rural.

Finalmente, se reconoce que el presente estudio constituye una aproximación inicial al análisis de la factibilidad de este tipo de soluciones constructivas. En este sentido, futuras investigaciones

podrían profundizar en aspectos relacionados con el comportamiento estructural de estos sistemas en diferentes condiciones climáticas, así como en el desarrollo de análisis financieros más detallados que incluyan múltiples escenarios de sensibilidad y evaluación de riesgos.

Referencias

- American Psychological Association (2019). *Style and Grammar Guidelines*. Recuperado el 17 de enero de 2020. <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/>
- A critical review of bamboo construction materials for sustainability. (2024). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032124009560>
- Barrera, M., & Dana, G. (2024). *EcoHábitat: desarrollo sostenible de vivienda rural en Sumapaz* [Monografía de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/67835>
- Castaño Quintero, B. E. (2009). Programación y control de proyectos de construcción utilizando Microsoft Project: Estudio de caso, vivienda de interés social. Universidad de La Salle.
- Cely, J., & Vargas, P. (2018). Vivienda rural sostenible en Colombia: avances y desafíos. *Revista de Arquitectura*, 20(1), 45–60. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2018.20.1.6>
- Córdoba, L. M., & Martínez, J. P. (2016). Estudio de viviendas en bahareque encementado como alternativa sostenible en el eje cafetero. *Revista Ingeniería y Región*, 14(2), 33–50.
- Díaz García, A. C., Puentes Báez, P. A., Muñoz Ascuntar, G. F., & Farfán Sánchez, C. A. (2020). Consolidación de la construcción sostenible como alternativa para la vivienda rural en Colombia en el marco del posconflicto. *Memorias Congreso Nacional de Construcción Sostenible*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/359184099>
- Gutiérrez, A., & López, M. (2017). Impacto ambiental comparativo entre construcciones en guadua y concreto. *Revista Ambiente Construido*, 17(4), 99–112. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400118>

- Hadjri, K. (2005). Experimenting with hybrid construction: Guadua bamboo and adobe for housing in rural Colombia. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 29(2), 165–177.
- López Ramírez, L. S. (2022). Análisis de la guadua como material sostenible y alternativo de construcción para vivienda de interés social en Colombia [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCatólica. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/30512>
- Manuel, A. (2020). Guadua, alternativa para vivienda ecológica de interés social. Ciudad y Territorio, Universidad Nacional de Colombia.
- Mendoza, J., & Salazar, L. (2019). Estrategias bioclimáticas en vivienda rural: una revisión de casos en América Latina. *Revista Hábitat Sustentable*, 9(2), 55–70.
- Nieto Vergara, N. C., & Trujillo Sánchez, A. (2019). Diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural en guadua (*Angustifolia Kunth*) [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional UCatólica. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24357>
- Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).
- Patiño, R., & Gómez, F. (2015). Vivienda en guadua y bahareque: tradición y vigencia. *Revista de Arquitectura y Diseño*, 7(2), 22–35.
- Rodríguez, H., & Pérez, C. (2018). Estudio comparativo de costos entre viviendas de bahareque encementado y ladrillo en zonas rurales de Boyacá. *Revista Ingeniería y Región*, 15(1), 66–78.

- Santos, L., & Carvalho, P. (2021). Bamboo construction as a sustainable housing solution: A Latin American perspective. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125063.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125063>
- Takeuchi, C. P. (2012). Design and construction of housing with structural elements of bamboo (Guadua) laminated. *Key Engineering Materials*, 517, 179–183.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.517.179>
- Torres, A., & Barrera, D. (2016). Evaluación económica de viviendas en guadua en zonas cafeteras de Colombia. *Revista Ingeniería*, 21(2), 70–81.
- Trujillo, A., Nieto, N., Vanegas, O., & Díaz, F. (2020). Utilización de la Guadua angustifolia Kunth en el diseño arquitectónico y estructural de una vivienda de interés social rural. *Novasinerгия*, 3(1).
<https://novasinerгия.unach.edu.ec/index.php/novasinerгия/article/view/139>
- UN-Habitat. (2020). Sustainable housing for rural communities: Guidelines for bamboo and natural materials. Naciones Unidas.
- Universidad Católica de Colombia. (2023). Factibilidad técnica, económica y ambiental de vivienda ecológica con guadua en zona rural de Restrepo [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCC.
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstreams/c8623e74-580e-4511-b698-b8e02bdf7126/download>
- Universidad La Gran Colombia. (2022). Prototipo de vivienda modular sostenible con guadua para zonas rurales de Manizales [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional UGC.

<https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d701850-bd41-4d74-a9cd-73fc148e0aec/content>

Valencia, P., & Rojas, C. (2014). Vivienda rural en guadua: potencial y limitaciones. *Revista Tecnología y Construcción*, 12(3), 101–116.

Velasco, J. (2018). Autoconstrucción asistido en vivienda rural de interés social: un modelo replicable. *Revista de Ingeniería y Desarrollo Rural*, 10(1), 33–48.

Villamil Poveda, J. P. (2021). Análisis de los sistemas constructivos de vivienda en Colombia: caso guadua. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 6(1).
<https://doi.org/10.23850/raa.v6i1.3740>

Zipa Pimiento, J., & Gómez Castañeda, A. (2017). Propiedades mecánicas de la guadua para la construcción de vivienda rural. *Revista Ingeniería*, 22(2), 45–59.

Apéndices

Apéndice A. Formato de encuesta comunitaria

Con el propósito de identificar la percepción de las comunidades rurales de Miraflores frente al uso de guadua y bahareque encementado en la construcción de vivienda, se aplicó un cuestionario estructurado de diez preguntas cerradas y tres abiertas. El instrumento recoge información sobre:

1. Condiciones actuales de la vivienda (materiales, estado físico, acceso a servicios básicos).
2. Aceptación cultural del uso de guadua y otros materiales naturales.
3. Nivel de interés en participar en procesos de autoconstrucción asistida.

El formato fue validado mediante juicio de expertos (dos arquitectos y un ingeniero civil), quienes verificaron la coherencia, claridad y aplicabilidad de los interrogantes dentro del contexto rural.

FORMULARIO VIVIENDA VIS
<p>1. ¿Cuál es el material principal con el que está construida su vivienda actual?</p> <p><input type="checkbox"/> Ladrillo o bloque de cemento</p> <p><input type="checkbox"/> Madera</p> <p><input type="checkbox"/> Guadua o bahareque</p> <p><input type="checkbox"/> Otro (especifique) _____</p>
<p>2. ¿En qué estado considera que se encuentra actualmente su vivienda?</p> <p><input type="checkbox"/> Muy buen estado</p> <p><input type="checkbox"/> Aceptable</p> <p><input type="checkbox"/> Regular</p> <p><input type="checkbox"/> Deteriorado</p>
<p>3. ¿Su vivienda dispone de accesos a los siguientes servicios públicos fundamentales? (puede marcar más de una opción)</p> <p><input type="checkbox"/> Agua apta para el consumo humano</p> <p><input type="checkbox"/> Servicio de electricidad</p> <p><input type="checkbox"/> Alcantarillado o pozo séptico</p>

<input type="checkbox"/> Gas domiciliario <input type="checkbox"/> Ninguno
<p>4. ¿Considera que los materiales naturales, como la guadua, podrían mejorar las condiciones de su vivienda?</p> <input type="checkbox"/> Sí, con total conformidad <input type="checkbox"/> Conforme <input type="checkbox"/> En total desacuerdo <input type="checkbox"/> No está seguro
<p>5. ¿Conoce o ha visto viviendas construidas con guadua o bahareque encementado en su comunidad?</p> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
<p>6. ¿Qué opinión le merece el uso de la guadua como material para vivienda?</p> <input type="checkbox"/> Muy favorable <input type="checkbox"/> Favorable <input type="checkbox"/> Indiferente <input type="checkbox"/> Desfavorable
<p>7. ¿Considera que las viviendas en guadua y bahareque encementado son seguras y duraderas?</p> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> Parcialmente <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sabe
<p>8. ¿Cree que las viviendas en guadua reflejan la identidad cultural y ambiental de la región?</p> <input type="checkbox"/> Completamente conforme <input type="checkbox"/> conforme <input type="checkbox"/> En desacuerdo <input type="checkbox"/> Totalmente en desacuerdo
<p>9. Si existiera un programa de capacitación para construir viviendas con guadua y bahareque, ¿le gustaría participar?</p> <input type="checkbox"/> Sí, con gusto <input type="checkbox"/> Tal vez <input type="checkbox"/> No
<p>10. ¿Estaría dispuesto a utilizar materiales naturales locales en la construcción o mejora de su vivienda?</p> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No está seguro
<p>Preguntas abiertas</p>
<p>1. ¿Qué aspectos considera más importantes al momento de construir o mejorar una vivienda en su comunidad?</p>

- | |
|--|
| 2. ¿Qué ventajas o desventajas percibe en el uso de la guadua y el bahareque encementado como materiales de construcción? |
| 3. ¿Qué apoyo o acompañamiento considera necesario para que las familias rurales puedan construir viviendas con estos materiales de forma segura y sostenible? |

Tabla N.12 Formulario y encuestas acerca de la vivienda VIS.

Apéndice B. Cronograma de obra detallado (Microsoft Project)

En este apéndice se presenta el cronograma de actividades elaborado con **Microsoft**

Project, que incluye tareas divididas fases principales:

1. Preliminares.
2. Construcción.
3. Entrega final.

<i>ID</i>	<i>Nombre de la Tarea</i>	<i>Duración</i>	<i>Comienzo</i>	<i>Fin</i>	<i>Predecesoras</i>
1	PRELIMINARES	5 días	12/05/25	16/05/25	
2	Localización y Replanteo	2 días	12/05/25	13/05/25	
3	Campamento y Almacén	3 días	14/05/25	16/05/25	2
4	Hito: Preliminares Completados	0 días	16/05/25	16/05/25	3
5	CIMENTACIÓN	10 días	17/05/25	28/05/25	
6	Excavaciones Manuales	4 días	17/05/25	21/05/25	4
7	Solado de Limpieza	1 día	22/05/25	22/05/25	6
8	Acero de Refuerzo y Concreto	5 días	23/05/25	28/05/25	7
9	Hito: Fin de Cimentación	0 días	28/05/25	28/05/25	8
10	ESTRUCTURA EN GUADUA	15 días	29/05/25	16/06/25	
11	Inmunización y Preparación Guadua	4 días	29/05/25	03/06/25	9
12	Montaje de Columnas y Vigas	8 días	04/06/25	13/06/25	11
13	Uniones y Pernos	3 días	14/06/25	16/06/25	12
14	Hito: Fin de Estructura	0 días	16/06/25	16/06/25	13
15	CUBIERTA Y ACABADOS	12 días	17/06/25	02/07/25	
16	Instalación de Correas	3 días	17/06/25	19/06/25	14
17	Teja de Barro / Esterilla	5 días	20/06/25	26/06/25	16
18	Acabados y Pisos	4 días	27/06/25	02/07/25	17
19	Hito: Entrega de Vivienda	0 días	02/07/25	02/07/25	18

Tabla N 13. Cronograma de actividades.

Cada actividad se programó con duración estimada, predecesores, recursos asignados y ruta crítica, lo cual permitió determinar un tiempo total de ejecución de **40 días**. Debido a la extensión del cronograma, este se adjunta de manera íntegra como tabla en este apéndice, dado que su nivel de detalle no puede ser incluido completamente dentro del cuerpo principal del documento.

Apéndice C. Tabla de análisis de materiales utilizados.

Este apéndice recoge la tabla detallada de materiales utilizados para el cálculo de la vivienda rural en guadua y bahareque encementado. Incluye insumos de materiales (guadua, cemento, arena, varilla, malla electro soldada), mano de obra y equipos, con cantidades, unidad de medida.

La tabla permite comparar directamente la diferencia de material al construir una vivienda con dos o tres habitaciones.

VIVIENDA DE 41 m² – 2 HABITACIONES

Material	Unidad	Cantidad
Bloques #4	Unidad	1300
Arena amarilla (7m)	m ³	7
Mixto	m ³	8
Cemento 50 kg	Bultos	70
Varillas de 3/8 x 6m	Unidad	57
Varillas 1/2	Unidad	5
Pegante Cerámico x 25 kg	Bultos	11
Boquilla	kg	4
Cemento blanco x 50 Kilos	Bulto	1
Caneca de pintura blanca tipo I	Galón	5
Tubo de 4" x 6m	Unidad	2
Tubo de 2" x 6m	Unidad	2
Ye de 2 pulgadas	Unidad	2
Uniones 2"	Unidad	2
Codos de 2"	Unidad	5
Sifa de 2"	Unidad	1
Te de 2"	Unidad	1
Sifa completa de 4"	Unidad	1
Unión de 4"	Unidad	1
Adaptadores machos 1/2"	Unidad	5
Tes de 1/2"	Unidad	4
Unión lisa con rosca 1/2"	Unidad	1
Teflón	Rollo	1
Pegante grande de PVC 1/16	Unidad	1
Enchape 60x60	m ²	43
Enchape pared ducha 30x60	m ²	5
Uniones 1/2	Unidad	4
Ducha	Unidad	1
Llave de ducha	Unidad	1
Combo de sanitario (sanitario y lavamanos con accesorios)	Unidad	1
Lavaplatos en acero inoxidable	Unidad	1
Tejas arquitectónica calibre 28 de 1x4,2 mt	Unidad	16
Guaduas d=10-11cm	Unidad	30
Ventana 1x1 m con vidrio	unidad	4
Ventana 0,4x0,6 m con vidrio	Unidad	1
Puerta con marco 0,8 x 2 m con marco	Unidad	3
Puerta principal con marco de ingreso 09 x 2 m	Unidad	1
Amarres teja largo	unidad	150
Alambre de amarre	kg	8
Cajas de puntillas 2 1/2"	kg	1
Codos de 1/2"	Unidad	6

Tabla N.14 Análisis de materiales utilizados para 2 habitaciones.

VIVIENDA DE 52 m² – 3 HABITACIONES

Material	Unidad	Cantidad
Bloques #4	Unidad	1700
Arena amarilla (7m)	m ³	9
Mixto	m ³	10
Cemento x 50 kg	Bulto	90
Varillas de 3/8" x 6m	Unidad	74
Varillas 1/2"	Unidad	7
Pegante Cerámico x 25 kg	Bultos	15
Boquilla	kg	5
Cemento blanco x 50 Kilos	Bulto	1
Caneca de pintura blanca tipo I	Galón	8
Tubo de 4" x 6m	Unidad	2
Tubo de 2" x 6m	Unidad	2
Ye de 2 pulgadas	Unidad	2
Uniones 2"	Unidad	2
Codos de 2"	Unidad	5
Sifa de 2"	Unidad	1
Te de 2"	Unidad	1
Sifa completa de 4"	Unidad	1
Unión de 4"	Unidad	1
Adaptadores machos 1/2"	Unidad	5
Tes de 1/2"	Unidad	4
Unión lisa con rosca 1/2"	Unidad	1
Teflón	Rollo	1
Pegante grande de PVC 1/16	Unidad	1
Enchape 60x60	m ²	57
Enchape pared ducha 30x60	m ²	6
Uniones 1/2"	Unidad	4
Ducha	Unidad	1
Llave de ducha	Unidad	1
Combo de sanitario (sanitario y lavamanos con accesorios)	Unidad	1
Lavaplatos en acero inoxidable	Unidad	1
Tejas arquitectónica calibre 28 de 1x4,2 mt	Unidad	20
Guaduas d=10-11cm	Unidad	40
Ventana 1x1 m con vidrio	unidad	5
Ventana 0,4x0,6 m con vidrio	Unidad	1
Puerta con marco 0,8 x 2 m con marco	Unidad	4
Puerta principal de ingreso 09 x 2 m con marco	Unidad	1
Amarres teja largo	unidad	20
Alambre de amarre	kg	10
Cajas de puntillas 2 1/2"	kg	2
Codos de 1/2"	Unidad	6

Tabla N.15 Análisis de materiales utilizados para 3 habitaciones.

Anexos

Anexo A. Cronograma de obra (Microsoft Project)

Objetivo: presentar la planificación temporal del proyecto de vivienda rural sostenible en Miraflores, Boyacá, mediante la herramienta Microsoft Project.

Anexo B. Análisis de costos y evaluación financiera

Objetivo: determinar la viabilidad económica del modelo de vivienda mediante un análisis comparativo de costos y la aplicación de indicadores financieros.

<i>ID</i>	<i>Nombre de la Tarea</i>	<i>Duración</i>	<i>Comienzo</i>	<i>Fin</i>	<i>Predecesoras</i>
1	PRELIMINARES	5 días	12/05/25	16/05/25	
2	Localización y Replanteo	2 días	12/05/25	13/05/25	
3	Campamento y Almacén	3 días	14/05/25	16/05/25	2
4	Hito: Preliminares Completados	0 días	16/05/25	16/05/25	3
5	CIMENTACIÓN	10 días	17/05/25	28/05/25	
6	Excavaciones Manuales	4 días	17/05/25	21/05/25	4
7	Solado de Limpieza	1 día	22/05/25	22/05/25	6
8	Acero de Refuerzo y Concreto	5 días	23/05/25	28/05/25	7
9	Hito: Fin de Cimentación	0 días	28/05/25	28/05/25	8
10	ESTRUCTURA EN GUADUA	15 días	29/05/25	16/06/25	
11	Inmunización y Preparación Guadua	4 días	29/05/25	03/06/25	9
12	Montaje de Columnas y Vigas	8 días	04/06/25	13/06/25	11
13	Uniones y Pernos	3 días	14/06/25	16/06/25	12
14	Hito: Fin de Estructura	0 días	16/06/25	16/06/25	13
15	CUBIERTA Y ACABADOS	12 días	17/06/25	02/07/25	
16	Instalación de Correas	3 días	17/06/25	19/06/25	14
17	Teja de Barro / Esterilla	5 días	20/06/25	26/06/25	16
18	Acabados y Pisos	4 días	27/06/25	02/07/25	17
19	Hito: Entrega de Vivienda	0 días	02/07/25	02/07/25	18

Imagen 2. Cronograma de actividades, realizado en Project.

materiales, mano de obra y equipos directamente asociados a la ejecución de la vivienda.

COSTOS DIRECTOS				
Paquete de trabajo	Unidad	Cantidad estimada	Costo unitario (COP)	Costo parcial (COP)
Actividades preliminares	Global	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
Cimentacion (concreto 21 Mpa)	m3	8,5	\$ 380.000,00	\$ 3.230.000,00
Estructura en guadua	Global	1	\$ 4.800.000,00	\$ 4.800.000,00
Muros en bahareque encementado	m2	65	\$ 159.300,00	\$ 10.354.500,00
Cubierta	m2	70	\$ 145.000,00	\$ 10.150.000,00
Instalaciones hidrosanitarias	Global	1	\$ 2.100.000,00	\$ 2.100.000,00
Instalaciones electricas	Global	1	\$ 1.850.000,00	\$ 1.850.000,00
Acabados	Global	1	\$ 3.900.000,00	\$ 3.900.000,00
Total costos directos				\$ 38.884.500,00

Tabla N.16 COSTOS DIRECTOS

Indicadores financieros:

-Valor presente Neto (VPN)

-Tasa interna de retorno (TIR)

-Punto de equilibrio

INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO	
INDICADORES FINANCIEROS DEL PROYECTO	RESULTADO
Valor presente neto (VPN)	\$ 9.420.000,00
Tasa interna de retorno (TIR)	18,60%
Tasa mínima de retorno (TMR)	12%

Tabla N.16 INDICADORES FINANCIEROS

Anexo C. Registro fotográfico



-Imagen 3. Vista General del prototipo de vivienda rural sostenible en guadua.



-Imagen 4. Detalle del armado de muro de bahareque encementado.



-Imagen 5. Detalle del armado de muro de bahareque encementado.



-Imagen 6. Proceso de curado y selección de la guadua.



-Imagen 7. Proceso de curado y selección de la guadua.



-Imagen 8. Proceso de montaje estructural.



-Imagen 9. Vivienda finalizada y entregada a comunidad rural.



-Imagen 10. Vivienda finalizada y entregada a comunidad rural.