

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN, PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE PARA LA VEREDA SAN PABLO
DEL MUNICIPIO DE LÓPEZ DE MICAY, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



**PRESENTADO POR:
DIANA ALEJANDRA ALOMIA VIVEROS
CÓDIGO: 100418021144**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYÁN
2025**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD INVESTIGACIÓN, PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE PARA LA VEREDA SAN PABLO
DEL MUNICIPIO DE LÓPEZ DE MICAY, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

**PRESENTADO POR:
DIANA ALEJANDRA ALOMIA VIVEROS
CÓDIGO: 100418021144**

**DIRECTORA:
M.Sc. YESSICA M. MENZA**

**CODIRECTOR
Ph.D. ROGER ORTEGA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS
POPAYÁN
2025**

Nota de aceptación:

Firma de la directora

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, 15 de mayo de 2025

RESUMEN

Este trabajo presenta una propuesta del modelo de Vivienda de Interés Cultural (VIC) adaptado a las condiciones geográficas, climáticas y sociales de San Pablo, vereda rural del municipio de López de Micay, Cauca, Colombia. El proyecto integra cuatro componentes principales: caracterización del lugar, diseño arquitectónico y estructural, y propuestas de estrategias sostenibles. A partir de datos obtenidos mediante encuestas, fotografías, videos y espacios de participación social, se identificaron las prácticas constructivas locales, los materiales disponibles y las necesidades habitacionales de la comunidad. Con esta información, se desarrolló un modelo de vivienda palafítica tradicional, construido con madera local, pero mejorado considerando los requisitos de diseño sismo resistente y las condiciones de humedad e inundación del área. La propuesta arquitectónica fue elaborada en colaboración con el programa de arquitectura de la Universidad del Cauca y validada mediante retroalimentación con la comunidad. Esta tesis presenta una propuesta de vivienda VIC diseñada específicamente para la comunidad de San Pablo, de acuerdo con la caracterización realizada de su territorio, cultura, materiales, tradiciones, etc., integrando conocimientos tradicionales con criterios técnicos.

Palabras clave: Vivienda de Interés Cultural (VIC), construcción tradicional, madera, diseño sostenible.

ABSTRACT

This work presents a proposal for a Cultural Interest Housing (VIC) model adapted to the geographical, climatic, and social conditions of San Pablo, a rural village in the municipality of López de Micay, Cauca, Colombia. The project integrates four main components: site characterization, architectural and structural design, and proposals for sustainable strategies. Based on data collected through surveys, photographs, videos, and participatory spaces, local construction practices, available materials, and the housing needs of the community were identified. With this information, a model of traditional stilt housing was developed, built with locally sourced wood, and improved by considering earthquake-resistant design requirements as well as the area's humidity and flooding conditions. The architectural proposal was developed in collaboration with the Architecture Program at the University of Cauca and validated through community feedback. This thesis presents a VIC housing proposal specifically designed for the San Pablo community, based on the characterization of its territory, culture, materials, traditions, and more, integrating traditional knowledge with technical criteria.

Keywords: Cultural Interest Housing (VIC), traditional construction, wood, sustainable design

*“Desde la raíz profunda de la cultura, florecen los
sueños que se riegan con dedicación, se elevan con
perseverancia y cruzan los abismos con la confianza
sembrada en uno mismo.”*

DEDICATORIA

A la comunidad de San Pablo, por abrirme su corazón, sus saberes y su hogar. Gracias por inspirarme a creer en el poder del conocimiento arraigado a la tierra y a la tradición.

A mi familia, por ser mi refugio, mi fuerza y mi impulso. Sin su amor incondicional y su compañía, este camino no habría sido posible.

Y a la Ingeniera Yessica Menza, mi tutora de tesis, por su confianza, paciencia y acompañamiento constante durante este proceso. Su guía fue fundamental para hacer realidad este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Vivir 18 años en una comunidad tan bella como San Pablo y luego tener la oportunidad de formarme en la Universidad del Cauca ha sido una experiencia verdaderamente única e inolvidable. Los aprendizajes y vivencias adquiridos a lo largo de este camino han sido profundamente gratificantes, y son muchas las personas a quienes deseo expresar mi agradecimiento.

A mis padres, Celia Cruz Viveros Arena y Luis Carlos Alomía Baltán, por su amor incondicional, por educarme con valores y por brindarme la oportunidad de acceder a la educación superior.

A mi directora de tesis, M.Sc. Yessica Menza, por su guía, confianza y paciencia durante la realización de este trabajo. Agradezco profundamente su acompañamiento, así como el apoyo brindado para presentar una ponencia sobre este proyecto en la ciudad de Bucaramanga, una experiencia que marcó mi vida personal y académica.

Al ingeniero Carlos Calero, profesor de Metodología de la Investigación, por sus valiosos aportes académicos, y por motivarme a creer en el valor de la dedicación como uno de los pilares del éxito en la investigación.

Al Ph.D. Roger Ortega, codirector de esta tesis, por su apoyo constante y seguimiento comprometido durante el desarrollo del proyecto.

A la Universidad del Cauca, por formarme como ingeniera civil y darme la oportunidad de crecer profesional y personalmente.

A la comunidad de San Pablo, por su generosidad, disposición y por abrirme las puertas de su territorio y su conocimiento.

Y a todas las personas que, de forma directa o indirecta, contribuyeron a mi formación académica y al desarrollo de esta tesis. A todos, gracias por ser parte de este camino.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT.....	5
DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTOS	8
1 INTRODUCCIÓN.....	17
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
3 JUSTIFICACIÓN.....	19
4 OBJETIVOS.....	21
4.1 General.....	21
4.2 Específicos	21
5 METODOLOGÍA.....	21
5.1 Revisión de literatura	21
5.2 Caracterización de la vereda de interés.....	22
5.3 Desarrollo de la propuesta arquitectónica.....	22
5.4 Diseño estructural de la vivienda.....	22
5.5 Especificaciones técnicas e informe final	23
6 LIMITACIONES Y ALCANCE DE LA TESIS.....	24
7 REVISIÓN DE LITERATURA	25
7.1 Marco conceptual.....	25
7.1.1 Vivienda de Interés Cultural (VIC).....	25
7.1.2 Madera	26
7.1.3 Requisitos de diseño de la NSR-10 para estructuras con madera.....	34
7.1.4 Sistemas autosustentables de servicios básicos	40
7.1.5 Proyectos ecosostenibles en Colombia	49
7.2 Marco referencial	50

7.2.1	Antecedentes sobre la vivienda de interés social en Colombia	50
7.2.2	Vivienda ecosostenible: conceptos y experiencias en Colombia.....	51
7.2.3	Normativa y metas nacionales en sostenibilidad de la vivienda.....	52
8	CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO.....	53
8.1	Territorio	53
8.1.1	Historia.....	55
8.1.2	Demografía	56
8.2	Clima - Topografía.....	57
8.2.1	Geografía.....	59
8.3	Materiales locales.....	61
8.4	Costumbres, tradiciones y estilo de vida.....	66
8.5	Formas de implantación.....	68
8.6	Criterios normativos.....	70
8.7	Diálogo social y participación.	71
8.8	Planeación, diseño y espacios de habitación.....	74
8.9	Técnicas Constructivas, sistemas constructivos, Construcción	78
8.9.1	Ubicación y limpieza del terreno:	78
8.9.2	Cimentación	79
8.9.3	Instalación de Vigas de Entrepiso (Madres)	80
8.9.4	Instalación de Viguetas (Sobre Madres)	80
8.9.5	Instalación de Columnas	81
8.9.6	Instalación de Vigas y Viguetas de Cubierta	82
8.9.7	Instalación de Correas y Varas	83
8.9.8	Instalación del Piso	83
8.9.9	Pared	84

8.9.10	Cubierta.....	84
8.9.11	Observaciones generales.....	85
8.10	Técnicas Productivas, asociadas a cadenas productivas.....	89
8.10.1	Actividad económica	89
8.11	Mano de obra local.....	91
8.12	Costos.....	93
9	PROPUESTA ARQUITECTÓNICA PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE.....	93
10	PROPUESTA ESTRUCTURAL PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE.....	97
10.1	Materiales.....	99
10.1.1	Coeficiente de Poisson y Módulo de corte	100
10.2	Cargas	101
10.3	Modelo estructural	102
10.4	Resultados del análisis estructural	103
10.4.1	Seudo aceleración espectral y cortante basal	103
10.4.2	Verificación de las derivas.....	104
10.5	Diseño estructural de elementos en madera.....	106
10.5.1	Diseño de elementos solicitados por flexión	108
10.5.2	Diseño de elementos solicitados por fuerza axial	115
10.5.3	Diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial	116
10.6	Uniones	117
10.7	Diseño de la cimentación	118
10.8	Planos estructurales y especificaciones	119
11	PROPUESTAS DE SISTEMAS AUTOSUSTENTABLES PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE	120

11.1	Propuesta para garantizar energía en la vivienda.....	120
11.1.1	Paneles solares	120
11.2	Propuesta para garantizar agua en la vivienda.....	122
11.2.1	Sistema de recolección de aguas lluvias	122
11.3	Sistema para el manejo de aguas residuales	123
12	RESUMEN DE LA PROPUESTA.....	125
12.1	Condiciones del territorio	125
12.2	Validación del modelo arquitectónico	126
12.3	Evaluación del diseño estructural	126
12.4	Análisis de las propuestas autosustentables.....	128
12.5	Articulación entre los componentes.....	129
13	CONCLUSIONES	129
14	RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS	130
15	BIBLIOGRAFÍA	132
	ANEXO A.....	140
	ANEXO B.....	144
	ANEXO C	151
	ANEXO D.....	155
	ANEXO E	167

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Combinaciones de servicio	34
Tabla 2. Proyectos ecosostenibles en Colombia	50
Tabla 3. Árboles maderables de López de Micay	62
Tabla 4. Propiedades físicas y mecánicas de algunas especies maderables.....	66
Tabla 5. Tipo de cubiertas	85
Tabla 6 .Madera utilizada para la construcción de viviendas en la vereda San Pablo	88
Tabla 7. Factores de Reducción de Módulo de E y esfuerzos F_i	99
Tabla 8. Propiedades mecánicas admisibles de la madera de machare y mangle.....	100
Tabla 9.Coeficiente de Poisson de la madera.....	101
Tabla 10. Módulo de corte	101
Tabla 11. Cargas actuantes	102
Tabla 12. Cargas de viento.....	102
Tabla 13.Parametros para definir los coeficientes de modificación	106
Tabla 14. Resumen de coeficientes de modificación y esfuerzos admisibles para el machare...	106
Tabla 15. Resumen de coeficientes de modificación y esfuerzos admisibles para el mangle	106
Tabla 16. Resumen de las deflexiones de los elementos	108
Tabla 17. Resumen de los esfuerzos máximos en las varas y correas	110
Tabla 18. Resumen de los esfuerzos máximos en las vigas y viguetas.....	113
Tabla 19. Resumen de los esfuerzos máximos en las tablas de piso.....	114
Tabla 20.Resumen de esfuerzos de los elementos verticales continuos	115
Tabla 21. Resumen de esfuerzos máximos de los horcones (cimentación) y columnas	115
Tabla 22. Esfuerzos de los elementos sometidos a fuerza axial.....	116

Tabla 23. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de cubierta.....	116
Tabla 24. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de muros.....	117
Tabla 25. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de la cimentación	117
Tabla 26. Unión viga-horcón	118
Tabla 27. Elementos del sistema solar fotovoltaico.....	122
Tabla 28. Especificaciones Técnicas del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias	123
Tabla 29. Lista de Materiales por Componente del sistema SUTRANE	125
Tabla 30. Comparación de las secciones transversales de los elementos	128
Tabla 31. Consumos comunes de equipos electrodomésticos en una vivienda.	155
Tabla 32. Irradiación mensual del municipio de López del Micay((UPME), 2005)	158
Tabla 33. Panel solar monocristalino YL385D-36b (385 Wp)	160
Tabla 34. Volumen de captación por mes.....	163

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de trabajo.....	23
Figura 2. Estructura de la madera	28
Figura 3. Ubicación de San pablo	54
Figura 4. Mapa político de López de Micay Cauca	57
Figura 5. Precipitación promedio mensual	58
Figura 6. Precipitación máxima horaria.....	59
Figura 7. Relieve López de Micay	61
Figura 8. Sectores donde se encuentran las viviendas en San Pablo	69

Figura 9. Distribuciones típicas de las viviendas en San Pablo	77
Figura 10. Vista en planta del modelo arquitectónico	94
Figura 11. Vista 3D del modelo	96
Figura 12. Vista interna del modelo	97
Figura 13. Estudio de suelo del corregimiento de Noanamito	98
Figura 14. Espectro de diseño	102
Figura 15. Modelo estructural	103
Figura 16. Deriva máxima en sentido x (centímetros)	105
Figura 17. Deriva máxima en sentido y (centímetros)	105
Figura 18. Elementos de la estructura	107
Figura 19. Diagrama de deflexión diferidas de los elementos	109
Figura 20. Diagrama de momento de las correas	109
Figura 21. Diagrama de momento de las varas	110
Figura 22. Vigas que generan el mayor momento.	111
Figura 23.. Diagrama de fuerza axial de vigas de cubierta y columnas de pórtico del eje 1	112
Figura 24. Diagrama de fuerza axial de vigas de cubierta y columnas de pórtico del eje 3	112
Figura 25. Diagrama de fuerza axial de vigas de entrepiso y los palafitos del eje 4	112
Figura 26. Diagrama de flexión en las tablas de piso en N-mm	114
Figura 27. Diagrama de cortante en las tablas de piso en N-mm	114
Figura 28. Presiones máximas en las bombas	119
Figura 29. Esquema del flujo	124

LISTA DE FOTOGRAFÍA

Fotografía 1. Vivienda tipo en San Pablo	67
Fotografía 2. Lancha rápida para el transporte de personas.....	68
Fotografía 3. San pablo en verano	70
Fotografía 4. Vivienda palafítica con ventanas frontales y laterales.....	73
Fotografía 5. Socialización del modelo Arquitectónico.....	73
Fotografía 6. Embarcaciones para el transporte en el rio.....	75
Fotografía 7. Lancha de cabotaje para el transporte de mercancía	75
Fotografía 8. Estructura palafítica.....	76
Fotografía 9. Parte interna de una vivienda	76
Fotografía 10. Zona del Fogón.....	77
Fotografía 11. Horcones de una vivienda	79
Fotografía 12. Madres en la estructura	80
Fotografía 13. Sobre madres en la estructura.....	80
Fotografía 14. Columnas en la estructura.	81
Fotografía 15. Vigas y sobre vigas.....	82
Fotografía 16. Varas y correas.....	83
Fotografía 17. Pericotero	83
Fotografía 18. Piso de una vivienda.....	83
Fotografía 19. Pared en madera	84
Fotografía 20. Pared de super-board.....	84
Fotografía 21. Unión columna- viga.....	86
Fotografía 22. Unión horcón- madre	86

Fotografía 23. Construcción de la zona del fogón	87
Fotografía 24. Cultivo de caña.....	90
Fotografía 25. Mangle para uso de leña para la destilación.....	90
Fotografía 26. Coco para ser transportado al Valle del Cauca	90
Fotografía 27. Vivienda construida por Otoniel Viveros	92
Fotografía 28. Vivienda en Proceso de construcción.....	92

1 INTRODUCCIÓN

Las zonas rurales del litoral pacífico colombiano, como la vereda San Pablo en el municipio de López de Micay (Cauca), enfrentan históricamente múltiples desafíos asociados al aislamiento geográfico, la vulnerabilidad climática, las limitaciones en el acceso a servicios básicos y la ausencia de políticas de vivienda adaptadas a sus realidades. En este contexto, las comunidades han desarrollado formas propias de habitar el territorio, utilizando técnicas tradicionales como la construcción palafítica en madera, que responde a las condiciones de humedad, lluvias intensas y terrenos inestables.

Sin embargo, estas soluciones empíricas, aunque funcionales, suelen carecer de criterios técnicos estructurales y de estrategias que garanticen la sostenibilidad y durabilidad de las viviendas. Frente a esta realidad, surge la necesidad de proponer modelos habitacionales que, sin perder la identidad cultural y constructiva local, integren elementos técnicos, arquitectónicos y ambientales que mejoren las condiciones de habitabilidad y promuevan la autosostenibilidad.

Esta tesis presenta el diseño de una Vivienda de Interés Cultural (VIC)¹ ecosostenible, propuesta específicamente para las condiciones de San Pablo, a partir de un proceso que articula la caracterización del lugar, el diálogo con la comunidad, y el desarrollo de propuestas arquitectónicas, estructurales y autosustentables. El proyecto integra la participación de actores locales como maestros de obra y habitantes, el uso de materiales disponibles en el territorio, y la incorporación de estrategias sostenibles como la recolección de aguas lluvias.

De esta tesis se resalta el hecho de ser liderada por una integrante local en formación profesional, lo cual representa no solo un aporte técnico, sino también un compromiso personal con el fortalecimiento del conocimiento local y la búsqueda de soluciones que reconozcan las capacidades y saberes ancestrales de las comunidades del Pacífico caucano.

¹ La Vivienda de Interés Cultural (VIC) es una modalidad prioritaria que promueve las expresiones culturales de las comunidades, respaldada por la Ley 2079 de 2021.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las viviendas de interés social (VIS) se desarrollan para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de bajos ingresos, cumpliendo con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción sostenible (Minvivienda, 2024). Las VIS facilitan el acceso a una vivienda digna para personas que, de otro modo, no podrían costear una propiedad en el mercado tradicional. Sin embargo, este tipo de viviendas generalmente tiene un diseño y tamaño estándar, lo que significa que no se considera la cultura ni la forma de habitar de los ocupantes.

La ruralidad en Colombia ha estado enmarcada por una problemática que puede ser definida como el índice de pobreza multidimensional, que incluye el déficit en aspectos como: las condiciones de la vivienda y acceso a los servicios públicos domiciliarios (Molina & Alfonso, 2020). Estos aspectos ocasionan un estancamiento en el desarrollo y no permiten un acercamiento al nuevo concepto de ruralidad, amenazando con la extinción de las comunidades rurales por falta de oportunidades.

Otro aspecto de esta problemática es el impacto ambiental que genera el sector de la construcción, aportando en gran porcentaje al aumento del Dióxido de Carbono (CO₂) (Flores et al., 2019). La construcción es uno de los sectores con mayor índice en producción de gases con efecto invernadero, durante todas sus etapas: desde la etapa inicial de construcción, su vida útil y su demolición (Escobar & Amaro, 2022). De lo anterior se concluye que, aunque las construcciones son indispensables para el desarrollo de una sociedad, actualmente hacen parte de los principales contaminantes del medio ambiente.

Los materiales convencionales de la construcción además de producir CO₂, tienen un elevado costo de adquisición, especialmente en las zonas más alejadas de nuestro país (Ancho et al., 2020). El costo de la construcción con los sistemas convencionales viene sufriendo un alza en los precios

de los materiales en los últimos años. Esto evidencia que, cada vez es más difícil para la población con menos recursos acceder a una vivienda digna al alcance de sus posibilidades económicas. En 2021, en las cabeceras municipales, el déficit habitacional era del 20.4%, mientras que en los centros poblados y rurales la proporción fue del 68.2% (DANE, 2022). De acuerdo con lo anterior, es necesario que se incorporen nuevas alternativas en la construcción, utilizando materiales que se orienten al desarrollo sostenible y social. En este sentido, se propone el rescate y uso de materiales tradicionales locales, distintos a los convencionales industrializados, los cuales no requieren grandes procesos de transformación ni elevan los costos de transporte (Ancho et al., 2020).

Las necesidades básicas en la infraestructura en zonas rurales de Colombia se dan por la carencia del suministro de servicios públicos. Estas carencias se ven principalmente reflejadas en zonas rurales de difícil acceso como el municipio de López del Micay, ubicado en la costa pacífica colombiana. Por lo cual, con este proyecto se elaboró una propuesta de modelo de vivienda ecosostenible adaptado al entorno, las tradiciones, la cultura y los materiales locales de la vereda San Pablo, es decir, abarca las características de una vivienda de interés cultural (VIC) con propuestas que podrían garantizar los servicios básicos en condiciones rurales.

3 JUSTIFICACIÓN

La implementación de viviendas de interés cultural facilita el acceso a una vivienda desde un enfoque diferencial, considerando las particularidades de cada territorio, sus poblaciones y valores culturales (Ley 2079 de 2021). Este tipo de vivienda se adapta a su entorno, utilizando materiales de la región y diseños aceptados por las personas que la habitarán. En lugar de basarse en un prototipo estándar utilizado en todo el país, se toma como principal insumo la cosmovisión de cada territorio.

El uso de materiales ecoamigables como el bambú, el adobe y la madera para la construcción de viviendas, busca reducir los problemas ambientales por ser materiales de fácil renovación y de bajo costo (Ancho et al., 2020). Usar la madera como material de construcción nos brinda una opción distinta a los materiales industrializados y posee mayor accesibilidad por parte de las familias de la vereda San pablo del Municipio de López de Micay.

El sector de la construcción ofrece oportunidades para la generación de cambios por medio de pequeñas actividades que no impliquen grandes gastos económicos en el momento de su producción (Escobar & Amaro, 2022). Es de suma importancia crear e informar a la población de nuevos sistemas de construcción no convencionales que benefician a los usuarios en la reducción de costos, el cuidado del medio ambiente, reducción en el tiempo de ejecución y mayor resistencia ante las solicitudes de diseño (Ancho et al., 2020). Una buena construcción debe estar relacionada con la eficiente utilización de los materiales para la construcción, garantizando mantener un ambiente confortable y fácil acceso o transporte de los materiales.

Colombia se caracteriza por contar con una gran riqueza hídrica, que la mayoría de las poblaciones rurales aprovecha para abastecerse (Ruiz & Pérez, 2021). Según el IDEAM, en Colombia hay sectores que constituyen las zonas más lluviosas del mundo, como es el caso de la región pacífica,

donde la precipitación media anual varía entre 9000 mm y 11000 mm (IDEAM, 2022). López de Micay goza de alta pluviosidad, la cual facilita la captación, recolección, almacenamiento y manejo del agua lluvia (Gutiérrez, 2021). Lo anterior indica que, con un buen diseño de recolección de aguas lluvias se podrían satisfacer las necesidades básicas de una vivienda con suministro de agua continuo.

Este proyecto buscó generar un modelo de vivienda que cumpliera con las condiciones de vivienda de interés cultural definidas por el Gobierno Nacional. El diseño de esta vivienda contempló procesos constructivos favorables con el medio ambiente, proyectó una vivienda ecosostenible y permitió el uso de la madera como material principal de construcción. Específicamente, se buscó aprovechar los recursos naturales que tiene el Municipio de López de Micay, como lo son las altas precipitaciones y la gran variedad de árboles maderables.

4 OBJETIVOS

A partir de los requerimientos para el desarrollo del proyecto se establecieron los siguientes objetivos.

4.1 General

- ✓ Proponer un modelo de vivienda de interés cultural (VIC) ecosostenible para la vereda de San Pablo del Municipio de López del Micay (Cauca), adaptado a su entorno, costumbres y estilo de vida.

4.2 Específicos

- ✓ Estudiar las características de la vereda San pablo para definir los aspectos que deben ser abordados según la definición de vivienda VIC.
- ✓ Desarrollar la propuesta arquitectónica, con apoyo del programa de arquitectura, para el modelo de vivienda VIC.
- ✓ Elaborar el diseño estructural y especificaciones técnicas para el modelo de vivienda VIC.

5 METODOLOGÍA

La metodología que se siguió en el desarrollo del proyecto para el diseño de una vivienda de interés cultural (VIC) ecosostenible en el municipio de López de Micay, se estructuró en las siguientes etapas:

5.1 Revisión de literatura

Se realizó una revisión de artículos científicos y documentos relacionados que resultaran relevantes para el desarrollo de la propuesta de diseño de la vivienda.

Asimismo, se identificaron las especies de árboles maderables presentes en el municipio y se seleccionaron aquellas que podrían ser utilizadas de acuerdo con las normas de construcción y ambientales, considerando el nivel de producción en la zona y los requerimientos propios de una vivienda VIC.

5.2 Caracterización de la vereda de interés

Se llevó a cabo un estudio de caracterización de la vereda San Pablo, con el fin de definir los aspectos culturales, sociales y constructivos que debían considerarse en el concepto de la vivienda. Para ello, se realizaron encuestas a los habitantes, permitiendo comprender su cultura, su forma de habitar y las características de las viviendas existentes.

5.3 Desarrollo de la propuesta arquitectónica

Con base en la información obtenida en la etapa anterior, se definió un modelo arquitectónico con el apoyo del Programa de Arquitectura de la Facultad de Ingeniería Civil. Se proyectó una vivienda que cumpliera con las características propias de una vivienda de interés cultural y que, además, fuera ecosostenible. Para ello, se utilizó la madera como material estructural principal y se integraron estrategias como el uso de paneles solares y la recolección y aprovechamiento de aguas lluvias. Posterior a esto, se realizó una segunda encuesta para conocer la opinión de la población sobre el diseño realizado.

5.4 Diseño estructural de la vivienda

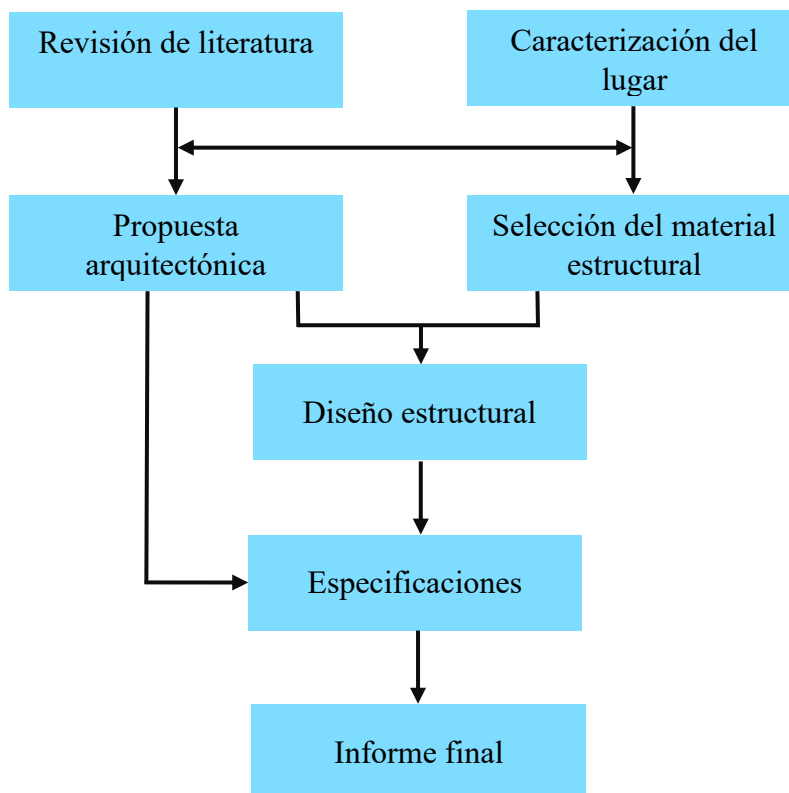
Se inició con la revisión del Título G de la NSR-10, correspondiente a estructuras de madera y guadua, para identificar los lineamientos técnicos aplicables. Posteriormente, se analizó la calidad de la madera estructural disponible en la región y se establecieron las bases del diseño estructural. Esto incluyó el diseño de elementos sometidos a flexión, cortante, fuerza axial y flexo-compresión, además, de la verificación de deflexiones y el control de daños por desplazamientos laterales.

5.5 Especificaciones técnicas e informe final

Con base en los diseños arquitectónico y estructural desarrollados, se elaboraron unas especificaciones técnicas básicas para la proyección y construcción futura de la vivienda. Finalmente, se compiló toda la información en un informe final, el cual incluyó los datos recolectados en la vereda, los planos, las memorias de diseño y las especificaciones técnicas correspondientes.

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que resume la metodología implementada en el desarrollo del proyecto.

Figura 1. Metodología de trabajo



6 LIMITACIONES Y ALCANCE DE LA TESIS

El presente proyecto tiene como alcance la propuesta de un modelo de vivienda de interés cultural, basado en el conocimiento tradicional de la zona y el diálogo directo con la comunidad de San Pablo, vereda del municipio de López de Micay. Esta propuesta buscó rescatar y fortalecer prácticas constructivas locales, integrándolas con criterios técnicos básicos que permitieran mejorar la calidad de vida de una comunidad, sin alterar el entorno cultural.

Cabe resaltar que no se realizaron estudios técnicos especializados, tales como estudios de suelos, ensayos de laboratorio de materiales, ni análisis geotécnicos detallados. Los insumos para el diseño estructural se fundamentan en la observación de las técnicas constructivas tradicionales utilizadas en la zona y en referencias de estudios realizados en veredas aledañas con características similares.

Entre las principales limitaciones del proyecto se encuentra el acceso restringido a la zona, dado que San Pablo es una vereda de difícil acceso por vía terrestre y con escasa conectividad. Esta situación dificultó la recolección directa de datos técnicos, la validación in situ del diseño estructural y la posibilidad de realizar pruebas o prototipos a escala real.

Si bien la presente propuesta integra soluciones autosustentables como el aprovechamiento de energía solar, la captación de aguas lluvias, y el tratamiento de aguas residuales, estos sistemas se abordan de manera preliminar y conceptual. Su desarrollo se presenta como una propuesta simple, debido a la falta de estudios técnicos detallados, pruebas piloto y análisis específicos de viabilidad económica y operativa. Por tanto, estas soluciones se presentan como lineamientos generales y su implementación requerirá estudios complementarios en fases posteriores.

A pesar de estas limitaciones, la propuesta constituye una base conceptual y técnica valiosa que puede ser complementada en futuras etapas con estudios más profundos, permitiendo así su eventual implementación y adaptación en contextos similares.

7 REVISIÓN DE LITERATURA

7.1 Marco conceptual

7.1.1 *Vivienda de Interés Cultural (VIC)*

La vivienda de interés cultural (VIC) es una categoría de vivienda que reconoce y valora la diversidad cultural, territorial y social del país, buscando garantizar el derecho a una vivienda digna, adecuada y contextualizada a las realidades locales. A diferencia de modelos estandarizados de vivienda social, la VIC se construye a partir de un enfoque diferencial, el cual reconoce que cada territorio posee características únicas, como sus condiciones climáticas, sus dinámicas sociales, su historia, sus valores culturales y sus prácticas constructiva, que deben ser consideradas en el proceso de diseño, planeación y ejecución de soluciones habitacionales.

Este tipo de vivienda no solo responde a una necesidad habitacional, sino que también representa una herramienta para fortalecer los lazos comunitarios, preservar las tradiciones locales y promover el desarrollo sostenible con base en los saberes ancestrales, el uso de materiales locales y la participación de las comunidades. En ese sentido, la VIC se convierte en una expresión tangible del patrimonio cultural inmaterial de las comunidades, articulando identidad, memoria y habitabilidad.

Teniendo en cuenta las disposiciones de la Ley 2079 de 2021 por la cual se dictan normas en materia de vivienda y hábitat y el Decreto 651 de 2022, que reglamenta aspectos específicos de la vivienda de interés cultural, se establece la necesidad de verificar la pertinencia, pertenencia y viabilidad de cada modelo VIC propuesto. Para ello, se ha definido una metodología de caracterización en 12 pasos que permite adaptar las soluciones habitacionales a los contextos territoriales y socioculturales específicos:

- 1-Territorio
- 2-Clima y topografía
- 3-Materiales locales
- 4-Costumbres, tradiciones, estilo de vida, resguardos.
- 5-Formas de implantación
- 6-Criterios normativos
- 7-Dialogo social y participación
- 8-Planeación, diseño y espacios de habitación
- 9-Técnicas constructivas, sistemas constructivos, construcción
- 10-Técnicas productivas, asociadas a cadenas productivas.
- 11-Mano de obra local.
- 12-Costos

Este enfoque metodológico no solo busca asegurar la viabilidad técnica y económica del proyecto, sino también su legitimidad social y cultural, permitiendo que las comunidades no solo habiten la vivienda, sino que se reconozcan en ella. Por eso, la VIC debe ser entendida no solo como una infraestructura, sino como una construcción colectiva de sentido y pertenencia social.

7.1.2 Madera

La madera es la porción sólida de los troncos de los árboles que se encuentra debajo de la corteza, y se caracteriza por su sostenibilidad. Algunas de las razones por las cuales la madera se considera un material sostenible incluyen su renovabilidad, su bajo impacto ambiental, su capacidad para almacenar carbono, su biodegradabilidad, la reducción del consumo de energía y su menor contribución a la contaminación.

A lo largo de la historia de la humanidad, la madera ha jugado un papel fundamental en múltiples áreas, destacándose como el material de construcción más versátil empleado por el ser humano. En arquitectura y diseño, ha alcanzado una posición preferencial; el conocimiento sobre su comportamiento y las condiciones óptimas para su uso son fruto de siglos de experimentación y experiencia acumulada (Barrera Peñafiel et al., 2022).

7.1.2.1 Estructura de la madera.

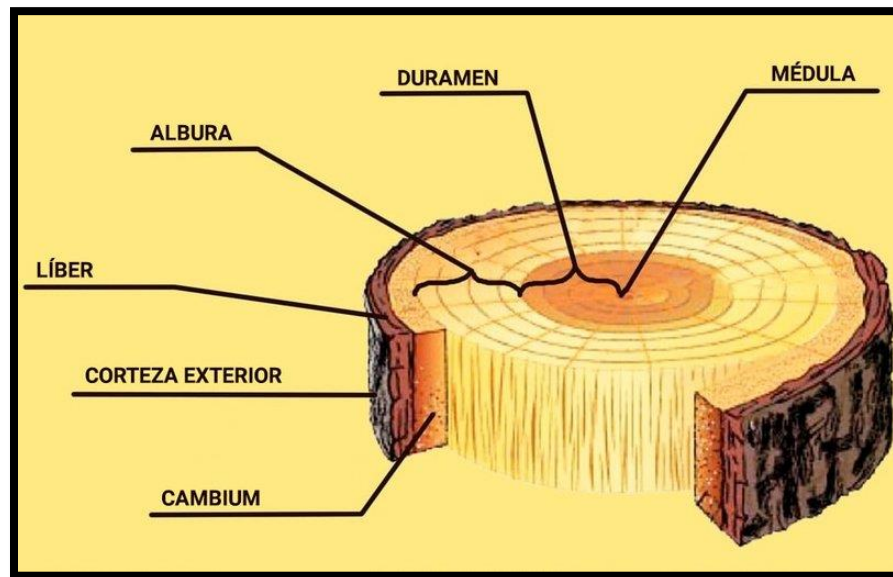
El tronco está formado por células tubulares, las cuales están conectadas por un polímero químico conocido como lignina. La orientación de estas células define la estructura de las fibras leñosas de la madera. Generalmente, estas células son alargadas y se extienden a lo largo del tronco y las ramas (MADERAME, 2024).

Al realizar un corte de la madera se pueden apreciar las siguientes partes (Figura 2)

- Corteza: Es la capa externa que resguarda los tejidos del árbol. Su función es protegerlo de factores como el viento, las condiciones climáticas adversas, el frío y el calor. Además, previene un endurecimiento excesivo de las capas internas y lo defiende contra la acción de hongos e insectos.
- Líber: Es un conducto de energía, es decir tiene el objeto de ser la capa conductora de la savia elaborada por las hojas hacia las ramas, tronco y raíces.
- Cambium: Es el tejido cuyas células tienen la capacidad de dividirse, lo cual es fundamental para el crecimiento del árbol. Es decir, el cambium es la capa responsable del desarrollo del árbol.
- La albura: Es la capa de color más claro. Por esta capa circula la savia viva.

- El duramen: Conocido como el corazón del árbol, es el elemento que lo sostiene. Las fibras de celulosa quedan retenidas por la lignina, formando el armazón de soporte del tronco. Esta es la capa maderable por excelencia.
- Médula: Es la zona central del tronco, generalmente de tonalidad más oscura. Su principal función es facilitar el transporte de nutrientes a lo largo del árbol.

Figura 2. Estructura de la madera



Fuente: (MADERAME, 2024).

7.1.2.2 Características físicas de la madera

Las propiedades físicas de la madera son aquellas características medibles que determinan su comportamiento frente a agentes externos sin que intervengan fuerzas mecánicas. Entre estas se destacan las propiedades direccionales, que hacen referencia a la variabilidad del comportamiento físico de la madera según la dirección en que se analice, por ejemplo: longitudinal (paralela a las fibras), radial (perpendicular al crecimiento del árbol, del centro hacia la corteza) y tangencial (paralela a los anillos de crecimiento).

Esta variación se debe a la anisotropía, entendida como la propiedad de un material de presentar comportamientos diferentes según la dirección en la que se midan sus propiedades físicas o mecánicas, debido a su estructura interna no uniforme. En el caso de la madera, la anisotropía está directamente relacionada con su estructura fibrosa orientada principalmente en sentido longitudinal, lo que influye en características como la contracción, la conductividad térmica, la absorción de humedad y la resistencia, entre otras (Ross & USDA Forest Service., 2010).

Además de estas propiedades direccionales, también se consideran otras como el contenido de humedad, la estabilidad dimensional, las propiedades térmicas y pirolíticas (resistencia al fuego), la densidad, así como la resistencia eléctrica, química y a la descomposición (Joshi et al., 2020).

Contenido de humedad: El contenido de humedad de la madera indica la cantidad de agua que contiene, expresada como un porcentaje en relación con el peso de la madera seca. En los árboles vivos, este porcentaje varía según la especie y el tipo de madera, pudiendo oscilar entre el 25% y más del 250%. Por lo general, la albura presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. (Joshi et al., 2020).

El agua en la madera puede encontrarse en dos formas: como agua libre, ubicada en las cavidades celulares, o como agua ligada, adherida a las paredes celulares. Durante el proceso de secado, el agua libre se elimina más rápidamente que la ligada. El punto de saturación de la fibra se alcanza cuando las paredes celulares están saturadas, pero casi no queda agua en las cavidades, y este punto suele estar entre el 21% y el 28%. Los cambios en la temperatura y humedad ambiental hacen que el contenido de humedad de la madera varíe gradualmente. Estos cambios pueden ralentizarse mediante recubrimientos o tratamientos, pero no detenerse completamente (Joshi et al., 2020).

Estabilidad dimensional. La madera no se encoge ni se hincha cuando el contenido de humedad está por encima del punto de saturación de la fibra, ya que el agua libre solo está en las cavidades

celulares, sin afectar las paredes celulares. Sin embargo, cuando la humedad baja de este punto, la madera se encoge al perder agua y se hincha al ganarla. Esto puede provocar grietas, deformaciones y alabeos. La estabilidad dimensional de la madera varía en cada una de sus tres direcciones. En la dirección longitudinal, la contracción es mínima (0,1-0,2%), pero en la madera juvenil o de reacción puede ser mayor. Las diferencias en la contracción tangencial (4,4-7,8%) y radial (2,2-5,6%) pueden distorsionar la forma de las piezas, ya que la contracción tangencial es generalmente el doble de la radial (Joshi et al., 2020).

Expansión térmica. La madera seca se expande cuando se calienta y se contrae al enfriarse, con coeficientes de expansión térmica que varían según la dirección. En la dirección paralela a las fibras, los coeficientes son constantes (3×10^{-6} a $4,5 \times 10^{-6}$ por °C), mientras que en las direcciones tangencial y radial son entre 5 y 10 veces mayores. La madera con humedad responde de manera diferente, ya que al calentarse se expande por el calor, pero también se contrae por la pérdida de humedad. Si la madera tiene un contenido de humedad bajo (3-4%), el efecto neto es una contracción al calentarse. Con niveles intermedios de humedad (8-20%), primero se expande y luego se contrae a medida que pierde agua (Joshi et al., 2020).

Densidad y peso específico. La densidad es una de las propiedades más relevantes de la madera, ya que refleja la cantidad de sustancia celular presente en una unidad de volumen. En general, las especies con madera más densa presentan mayor resistencia, mientras que las maderas más livianas tienen una resistencia menor.

El peso de cada tipo de madera varía según las condiciones climáticas en las que creció el árbol. A mayor peso, la madera tiene una mayor concentración de fibras y menos espacios entre ellas, lo que influye directamente en sus propiedades mecánicas (Joshi et al., 2020).

Resistencia eléctrica. La madera es un buen aislante eléctrico, pero su conductividad varía según la orientación de las fibras, la temperatura y el contenido de humedad. La conductividad en la dirección longitudinal es el doble que, en las direcciones radial o tangencial, y aumenta al doble por cada incremento de 10 °C. Las diferencias en conductividad por densidad o especie son insignificantes. Los medidores de humedad basados en la resistencia eléctrica funcionan midiendo la resistividad entre dos electrodos para estimar el contenido de humedad. Estos dispositivos requieren calibración para temperatura y especie, y son efectivos solo en rangos de humedad del 5 al 25%. No son precisos para madera muy seca (menos del 5-6%) o madera verde o tratada, ya que los tratamientos modifican la conductividad (Joshi et al., 2020).

7.1.2.3 Características mecánicas de madera.

Las propiedades mecánicas describen cómo un material reacciona a fuerzas externas. Estas incluyen propiedades elásticas, que indican la resistencia a la deformación, y propiedades de resistencia, que evalúan la capacidad de soportar cargas. Los valores de estas propiedades se expresan como tensión (fuerza por unidad de área) y deformación (cambio en forma debido a la tensión). Para obtener estos valores en la madera, se realizan pruebas de laboratorio en muestras de madera clara y recta, sin defectos naturales que puedan reducir su resistencia, como nudos o grietas (Joshi et al., 2020).

Propiedades elásticas. Las propiedades elásticas describen la resistencia de un material a la deformación bajo tensión y su capacidad para volver a sus dimensiones originales al eliminar dicha tensión. En un material idealmente elástico, toda la deformación es recuperable si se carga por debajo del límite elástico, y el material regresa a su forma original al quitar la carga. Aunque la madera no es completamente elástica y parte de la deformación puede no recuperarse de inmediato al quitar la carga, estas deformaciones residuales suelen recuperarse con el tiempo. Aunque se

clasifica técnicamente como un material viscoelástico, en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería se considera que la madera se comporta como un material elástico (Joshi et al., 2020).

Para un material isótropo con valores de propiedad iguales en todas las direcciones, las propiedades elásticas se miden mediante tres constantes elásticas: módulo de elasticidad (E), módulo de rigidez (G) y relación de poisson (μ).

7.1.2.4 Propiedades de resistencia.

Las propiedades de resistencia indican la capacidad máxima de un material para soportar cargas. En la madera, esta resistencia varía significativamente según la especie, las condiciones de carga, la duración de esta y otros factores materiales y ambientales. Debido a que la madera es anisotrópica, sus propiedades mecánicas difieren en los tres ejes principales, siendo la resistencia en la dirección longitudinal generalmente mucho mayor que en las direcciones tangencial y radial. Las propiedades en la dirección longitudinal se conocen como propiedades paralelas a la fibra. Para el diseño en ingeniería, basta con distinguir entre propiedades paralelas y perpendiculares a la fibra, ya que las direcciones tangencial y radial se distribuyen aleatoriamente durante el aserrado de la madera (Joshi et al., 2020).

Compresión. Al aplicar una carga de compresión en dirección paralela a la fibra, se genera una tensión que deforma las células de la madera a lo largo de su eje longitudinal. La falla inicial ocurre cuando las microfibras en la pared celular comienzan a plegarse, creando debilidades. Con el aumento de la tensión, las células de madera se pliegan en formas de "S", provocando arrugas visibles y grandes deformaciones por el colapso interno de la estructura celular.

En el caso de la compresión perpendicular a la fibra, la tensión deforma las células en dirección perpendicular a su longitud. Una vez que las cavidades celulares colapsan, la madera es muy resistente, ya que no hay espacios vacíos (Joshi et al., 2020).

Tensión. La madera presenta una gran resistencia en tensión cuando se carga paralelamente a la fibra. La falla ocurre debido a dos mecanismos: el deslizamiento entre células adyacentes y la ruptura de la pared celular, que puede suceder sin deformación visible antes de la falla completa. Históricamente, ha sido complicado obtener valores precisos de la resistencia a la tensión paralela a la fibra, por lo que a menudo se estima de manera conservadora a partir de pruebas de flexión, ya que la madera libre de defectos (clear Wood) tiende a fallar inicialmente en la cara sometida a tensión.

En contraste, la madera es relativamente débil en tensión perpendicular a la fibra, ya que las tensiones actúan perpendicularmente a las longitudes de las células, causando fisuras o separaciones a lo largo de la fibra, lo que compromete la integridad estructural. Las deformaciones son generalmente bajas antes de la falla debido a la estructura de la pared celular (Joshi et al., 2020).

Flexión. Las propiedades de flexión son críticas en la madera, especialmente cuando se utiliza como viga en sistemas de forjados o estructuras similares. Dado que las resistencias a la tracción y a la compresión paralelas a la fibra son diferentes, la resistencia a la flexión es inferior a la de tracción, pero superior a la de compresión (Joshi et al., 2020).

Cortante. Cuando la madera se utiliza como viga, experimenta esfuerzos de compresión en una superficie y esfuerzos de tracción en la opuesta. Esta oposición de esfuerzos genera una acción de corte a través de la sección de la viga, conocida como cortante horizontal, que actúa paralelamente a la fibra. En contraste, cuando el esfuerzo se aplica perpendicularmente a la longitud de las células en un plano paralelo a la fibra, se presenta un tipo de esfuerzo denominado cortante por rodadura (rolling shear) que produce una tendencia de las células de la madera a deslizarse unas sobre otras como si rodaran. Generalmente, los valores de resistencia al cortante por rodadura en muestras

libres de defectos (clear specimens) se sitúan entre el 18 % y el 28 % de los valores de cortante paralelo a la fibra (Joshi et al., 2020).

7.1.3 Requisitos de diseño de la NSR-10 para estructuras con madera

Los requisitos para el diseño de estructuras en madera están establecidos en el Título G de la NSR-10, desde el capítulo G.1 hasta el capítulo G.11. El apartado G.2.2 indica que el diseño de estructuras de madera se realiza mediante el método de los esfuerzos admisibles, por lo que deben considerarse los esfuerzos permisibles y los módulos de elasticidad correspondientes. Estos parámetros deben ser modificados por los coeficientes presentados en la Tabla G.2.2-10 si la madera es aserrada y seleccionada visualmente. Para identificar los esfuerzos actuantes, se deben aplicar las cargas de servicio establecidas en el apartado B.2.3.1, sin olvidar el efecto de la ortogonalidad en las combinaciones sísmicas (Tabla 1).

Tabla 1. Combinaciones de servicio

Combinaciones básicas	D + 0.7E	D + 0.75(0.7E) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7E
D	D + 0.7(Sx + 0.3Sy)	D + 0.525(Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(Sx + 0.3Sy)
D + L	D + 0.7(Sx - 0.3Sy)	D + 0.525(Sx - 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(Sx - 0.3Sy)
D + Lr	D + 0.7(-Sx + 0.3Sy)	D + 0.525(-Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(-Sx + 0.3Sy)
D + 0.75L + 0.75Lr	D + 0.7(-Sx - 0.3Sy)	D + 0.525(-Sx - 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(-Sx - 0.3Sy)
D + W	D + 0.7(Sy + 0.3Sx)	D + 0.525(Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(Sy + 0.3Sx)
D + 0.75W + 0.75L + 0.75Lr	D + 0.7(Sy - 0.3Sx)	D + 0.525(Sy - 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(Sy - 0.3Sx)
0.6D + W	D + 0.7(-Sy + 0.3Sx)	D + 0.525(-Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(-Sy + 0.3Sx)
	D + 0.7(-Sy - 0.3Sx)	D + 0.525(-Sy - 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr	0.6D + 0.7(-Sy - 0.3Sx)

7.1.3.1 Diseño de elementos solicitados por flexión

Los elementos que se comportan a flexión deben tener en cuenta los siguientes parámetros: deflexión, flexión, cortante y aplastamiento.

- **Deflexión:** Es uno de los parámetros más importantes en el diseño a flexión y debe calcularse utilizando la fórmula clásica de la teoría elástica (Ecuación 1). La forma de determinar las deflexiones admisibles se presenta en la Tabla G.3.2-1, y las combinaciones de carga a aplicar se encuentran en la Tabla G.3.2-3 de la NSR-10.

$$\Delta = \frac{5}{384} * \frac{wl^4}{EI}$$

Ecuación 1

- **Flexión.** A partir de la sección de máximo momento se determinan los esfuerzos máximos de tracción y compresión. En ninguna circunstancia, el momento actuante sobre una viga rectangular debe exceder el momento resistente calculado mediante la Ecuación 2.

$$M \leq F'b \frac{bd^2}{6} = F'b * S$$

Ecuación 2

Donde:

M = momento actuante en N-mm

F'b= esfuerzo admisible modificado a flexión en MPa

b , d = medidas de la sección rectangular mm

S = módulo de la sección en mm³

- **Cortante.** El esfuerzo cortante se analiza paralelo a las fibras; se define que, en cualquier sección transversal del elemento a flexión, no se puede exceder el esfuerzo admisible modificado. Para secciones rectangulares, el esfuerzo actuante se calcula como se indica en la Ecuación 3.

$$fv = \frac{3v}{2bd} \leq F'v$$

Ecuación 3

Donde:

f_v = esfuerzo cortante actuante, en MPa

F'_v = esfuerzo cortante admisible modificado en MPa

V = fuerza cortante vertical en la sección considerada,

b, d = dimensiones de la sección rectangular en mm.

- **Aplastamiento.** En los apoyos y otras secciones con cargas puntuales, se deben verificar los esfuerzos de compresión f_p en la dirección perpendicular a las fibras. La NSR-10 establece que tales esfuerzos deben ser menores al esfuerzo admisible de compresión modificado F'_p . El esfuerzo perpendicular al grano f_p , se calculará con la Ecuación 4:

$$f_p = \frac{N}{A_n} \leq F'_p \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

f_p = esfuerzo de aplastamiento actuante en MPa

F'_p = esfuerzo admisible modificado a compresión perpendicular a la fibra, en MPa.

N = fuerza axial actuante perpendicular a la fibra en N

A_n = área neta de aplastamiento en mm^2

7.1.3.2 Diseño de elementos solicitados por fuerza axial

Los elementos sometidos a fuerza axial se diseñan considerando que esta actúa a lo largo del eje longitudinal que pasa por el centroide de su sección transversal. Los esfuerzos actuantes de tensión y compresión axiales no deben exceder los esfuerzos admisibles establecidos en la Tabla G.2.2-1, los cuales deben ser ajustados mediante los coeficientes de modificación presentados en la Tabla G.2.2-10 de la NSR-10.

- **Elementos sometidos a tensión axial:** Bajo carga axial de tensión, el esfuerzo de tensión axial no debe sobrepasar el esfuerzo admisible modificado a tracción paralela a la fibra, tal como se indica en la Ecuación 5.

$$f_t = \frac{T}{A_n} \leq F'_t$$

Ecuación 5

Donde:

ft = esfuerzo actuante a tensión paralela al grano, en MPa.

T = fuerza axial de tensión actuante en N.

An = área neta de la sección en mm².

F't = esfuerzo admisible modificado de tensión paralela al grano en MPa.

- **Elementos sometidos a compresión axial:** La verificación de los elementos a compresión axial se encuentra en el apartado G.4.4. En el numeral se establece que se debe determinar la relación de esbeltez, la cual no debe ser mayor a 50 para fines de diseño. Dicha relación se calcula mediante la Ecuación 6 para secciones rectangulares, donde la longitud efectiva del elemento es el producto de su longitud real por el coeficiente de longitud efectiva (K_e) Ecuación 7 , que se presenta en la Tabla G.4.3-1.

$$\lambda = \frac{l_{e1}}{d_1} \frac{l_{e2}}{d_2}$$

Ecuación 6

$$L_e = k_e * l_u$$

Ecuación 7

Donde:

le = longitud efectiva en mm.

ke = coeficiente de longitud efectiva, según lo determinado en la tabla G.4.3-1.

lu = longitud no soportada lateralmente de la columna en la dirección considerada en mm.

λ = medida de esbeltez.

Le_{1,2} = longitud efectiva de la columna en la dirección considerada, en mm.

d_1, d_2 = dimensiones de la sección transversal en la dirección considerada, en mm.

Por otro lado, la carga axial actuante no debe ser mayor a la calculada con la Ecuación 8.

$$Pa = F'c * An \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

Pa = fuerza o carga admisible de la columna en N.

$F'c$ = esfuerzo admisible modificado a compresión paralela al grano en MPa, $F'c = CpF_c$

An = área neta de la columna en mm^2

- **Aplastamiento de elementos a compresión.** Los esfuerzos de compresión paralelos al grano ($f'c$) en los extremos de elementos comprimidos deben calcularse con base en el área neta de apoyo. Estos no deben superar el esfuerzo de referencia F_c , ajustado con los factores de modificación correspondientes, excepto C_p .
- **Acortamiento de elementos a compresión:** Los elementos sometidos a compresión axial son propensos a sufrir acortamiento en sentido longitudinal, el cual se evalúa mediante la Ecuación 9.

$$\Delta_{dc} = \frac{P * l_u}{A_n * E'_{0,5}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

Δ_{dc} = acortamiento en el sentido paralelo a las fibras, en mm.

P = carga axial actuante en N.

l_u = longitud no soportada de la columna en mm.

An = área neta de la sección de la columna en mm^2

$E'_{0,5}$ = módulo de elasticidad $E_{0,5}$ modificado paralelo a las fibras en MPa.

- Los elementos sometidos a esfuerzos combinados de flexión y tracción deben ser diseñados de manera que cumplan con lo establecido en la Ecuación 10 y la Ecuación 11.

$$\frac{ft}{F't} + \frac{fb}{Fb^*} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\frac{fb - ft}{Fb^{**}} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 11}$$

- **Uniones:** En el capítulo G.6 se describe el procedimiento para el diseño de uniones clavadas, empernadas y otros tipos de uniones. Este capítulo establece que se debe verificar que los esfuerzos de cortantes inducidos en la madera por las fuerzas de corte (V) no excedan los valores permisibles.

Para uniones separadas del extremo de la pieza por una distancia mayor o igual a cinco veces la altura de la sección transversal, se debe aplicar la Ecuación 12.

$$fv = \frac{3V'_r}{2bd_e} \leq F'v \quad \text{Ecuación 12}$$

Para uniones ubicadas a una distancia menor a cinco veces la altura de la pieza desde su extremo, se debe utilizar la Ecuación 13.

$$fv = \frac{3V'_r}{2bd_e} \left(\frac{d}{de} \right)^2 \leq F'v \quad \text{Ecuación 13}$$

de se define en el apartado G.3.4.4.5 según el medio de unión.

7.1.3.3 Sistemas estructurales.

En el capítulo G.9 se definen tres sistemas estructurales: sistemas de entramados livianos, sistema de poste viga y sistemas espaciales.

- **Sistema de entramados livianos.** Las paredes se construyen con soportes verticales cercanos entre sí, junto con soleras inferiores y correderas superiores que reciben cargas ligeras provenientes del entrepiso y la cubierta. Debido a esto, tanto las cargas como las

secciones son reducidas, y la rigidez del sistema depende principalmente de los revestimientos (láminas, listones o tableros) instalados en uno o ambos lados de los entramados, conforme a lo indicado en el Capítulo G7.

- **En el sistema de poste y viga**, las columnas se colocan a grandes distancias y se conectan mediante vigas principales que soportan las viguetas o cerchas del entrepiso o la cubierta. Este sistema genera altos esfuerzos en la madera, por lo que se requieren secciones grandes. Además, debido a las cargas transmitidas a la cimentación, es necesario un análisis detallado de los arriostramientos, muros de corte o diafragmas para resistir fuerzas sísmicas y de viento.

- **Sistemas espaciales.** Este tipo estructural se utiliza para cubrir grandes luces mediante la conexión transversal de entramados iguales, logrando una estructura eficiente y segura. Esta clasificación incluye sistemas como:

Retículas espaciales: formadas por cuadrículas paralelas unidas por diagonales a 45° o 60°, creando formas como tetraedros o pirámides.

Cúpulas geodésicas: superficies curvas compuestas por figuras planas (triángulos, hexágonos o pentágonos).

Lámelas: estructuras de gran tamaño hechas con barras delgadas entrelazadas.

7.1.4 Sistemas autosustentables de servicios básicos

Los sistemas autosustentables se clasifican como sistemas que pueden mantener su funcionamiento de forma autónoma a lo largo del tiempo, estos no dependen de insumos externos significativos. Este sistema se diseña para minimizar el impacto ambiental y utilizar eficientemente los recursos disponibles. Estos tipos de sistemas en una vivienda permiten reducir el impacto ambiental y

aumentar la eficiencia energética, por ejemplo: sistemas de energía renovable, sistemas de recolección de aguas lluvias y sistemas naturales de tratamiento de agua residual.

Por otro lado, una vivienda ecosostenible es aquella que busca beneficiarse al máximo de los recursos naturales para ofrecer espacios saludables y agradables haciendo uso de materiales y sistemas innovadores y duraderos. Además, esta clase de vivienda disminuye la contaminación al medio ambiente, reduciendo significativamente el impacto ambiental debido al uso de materiales de construcción del entorno (Torres, 2018).

Respecto a un diseño bioclimático, se busca beneficiarse del clima y la orientación solar para incrementar la iluminación natural, ventilación y el aprovechamiento térmico. Permite reducir la exigencia de sistemas artificiales de calefacción o refrigeración.

7.1.4.1 Sistemas autosustentables para generar energía eléctrica en una vivienda.

El mayor desafío ambiental en la actualidad es la reducción del consumo de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, junto con la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. La adopción de sistemas autosustentables puede desempeñar un papel clave en la disminución de la dependencia de estos recursos (López Mas et al., 2022). En este contexto, el uso de energías renovables se presenta como una alternativa clave, promoviendo la incorporación de fuentes limpias y sostenibles, como paneles solares, turbinas eólicas y sistemas de energía geotérmica, lo que permite reducir el impacto ambiental y la emisión de gases contaminantes (Schallenberg Rodríguez, 2008).

- **Energía eólica residencial**

Este sistema utiliza aerogeneradores de pequeñas escalas para producir electricidad a partir del viento. La energía eólica se genera mediante turbinas eólicas, que suelen tener dos o tres álabes de fibra de vidrio y un eje horizontal. La cantidad de energía producida depende

del diámetro del rotor y la cantidad de viento que puede interceptar. Los principales componentes de la turbina, como el rotor, el generador y la cola, están acoplados en la coraza, y la cola mantiene la turbina orientada hacia el viento.

Las turbinas deben instalarse en torres para aumentar la eficiencia, ya que a mayor altura se obtiene más energía y se reducen las turbulencias causadas por obstáculos como edificios y árboles. Se recomiendan torres autoportantes o retenidas en aplicaciones residenciales debido a su bajo costo y facilidad de instalación. También existen torres abatibles, útiles para mantenimiento y protección en caso de huracanes (Ayala et al., 2021).

- **Sistema de energía hidráulica doméstica**

Aprovechan el flujo de agua de ríos o corrientes cercanas para generar electricidad mediante microturbinas. De cierta manera, la energía hidroeléctrica es la fuente de energía alternativa ideal, ya que su suministro es confiable, constante y predecible, superando a la energía eólica o solar en estos aspectos. Algunas turbinas pueden aprovechar hasta el 90% de la energía cinética y potencial del agua que fluye a través de ellas, mientras que las instalaciones pequeñas suelen tener una eficiencia del 70%. A diferencia de otras tecnologías de energía alternativa, las instalaciones hidroeléctricas pueden generar hasta 200 veces más energía de la que se requiere para su construcción y funcionamiento.

Las pequeñas centrales hidroeléctricas son discretas, silenciosas, libres de emisiones y tienen un bajo impacto ambiental. La fuente de energía renovable convencional con mayor viabilidad para estudios y aprovechamiento en el ámbito domiciliario es la mini y microhidroeléctrica. Sin embargo, no existe una clasificación estandarizada de estas centrales como fuente de energía descentralizada ni en su contribución a la reducción del uso de fuentes térmicas no renovables (Moreno-Romero et al., 2021).

- **Biogás a partir de residual orgánica**

Transforma desechos orgánicos en biogás mediante un biodigestor. El gas generado puede utilizarse para cocinar, calentar agua o generar electricidad. Un biodigestor anaerobio es un contenedor hermético donde se descompone materia orgánica en presencia de bacterias, generando biogás y fertilizantes orgánicos. Estos sistemas se emplean para el tratamiento de aguas residuales, ya que permiten la degradación de la materia orgánica disuelta en el agua, asegurando que los efluentes cumplan con la normativa ambiental vigente. Los biodigestores se clasifican según su modo de operación, capacidad de carga y vaciado. De manera general, se dividen en tres tipos: de régimen continuo, semicontinuo y discontinuo (Moreno-Romero et al., 2021).

- **Energía geotérmica climatización**

La energía geotérmica permite aprovechar el calor del subsuelo para calefacción en invierno y refrigeración en verano mediante bombas de calor geotérmicas. Este tipo de energía se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre y, después de la solar, es uno de los recursos más importantes. Su origen radica en el interior de la Tierra y se genera principalmente por la desintegración de isótopos radiactivos y el movimiento de las placas tectónicas, entre otros procesos. Sin embargo, hasta el momento solo se han explotado los yacimientos ubicados en la corteza terrestre, donde materiales permeables retienen el agua y le transmiten su calor. Por ello, el verdadero recurso aprovechable se conoce como fluido geotermal (Sola Carrion, 2023).

- **Paneles solares**

Los paneles solares son sistemas diseñados para convertir la luz solar en electricidad mediante células fotovoltaicas. Representan una alternativa sostenible y eficiente, ya que

la energía solar es una fuente inagotable (Ajayan et al., 2020). Debido a sus beneficios, la demanda de esta tecnología ha aumentado significativamente, consolidándose como una opción competitiva para la generación de electricidad en sectores residenciales y comerciales a nivel global (Castaño-Serna et al., 2022).

Estos paneles están conformados por placas fotovoltaicas que captan la radiación solar y la transforman en electricidad. Cada placa está compuesta por celdas solares fabricadas con materiales semiconductores, como el silicio, que poseen la capacidad de convertir la luz en energía eléctrica (Julieta C, 2017).

El área de terreno que se necesita para las instalaciones depende de la ubicación geográfica, las condiciones de insolación y la topología del terreno, sin embargo, en muchas ocasiones los paneles solares se pueden instalar en el techo de las edificaciones o en espacios no utilizados (Dey & Pesala, 2020).

Requisitos funcionales. La función esencial de un sistema de paneles solares es convertir la energía del sol en electricidad. Los componentes fundamentales del sistema son: la estructura de soporte, los módulos fotovoltaicos, las baterías, el inversor, los puntos de carga, el sistema de iluminación y el cableado necesario para la conexión de los módulos. En la fase de diseño, se especifican todos los elementos del sistema, identificando las funciones y subfunciones que deben cumplir (Castaño-Serna et al., 2022).

Evaluación del recurso solar: El análisis del recurso solar permite estimar su potencial en distintas ubicaciones mediante la medición de la irradiación global horizontal (GHI, por sus siglas en inglés). Este indicador contempla tanto la radiación directa como la difusa que incide sobre una superficie horizontal y se expresa en kWh/m² por día. Evaluar el GHI facilita conocer el rendimiento energético que puede obtenerse en una zona determinada,

sin necesidad de considerar aspectos operativos o técnicos. Su valor puede verse afectado por elementos como la temperatura del aire, la velocidad del viento, y la presencia de polvo o contaminantes.

En el caso de Colombia, la media diaria de irradiación es de aproximadamente 4,5 kWh/m², lo cual es superior al promedio global, que se estima en 3,9 kWh/m² por día. Incluso, esta cifra excede los 3,0 kWh/m² por día registrados en Alemania, un país ampliamente reconocido por su desarrollo en energía solar fotovoltaica, con una capacidad instalada cercana a los 36 GW en su matriz energética (Castaño-Serna et al., 2022).

7.1.4.2 Sistemas de recolección de aguas lluvias

Los sistemas de recolección de aguas lluvias son soluciones sostenibles diseñadas para capturar, almacenar y reutilizar el agua de lluvia en diversas actividades. Su implementación contribuye a la reducción del consumo de agua potable y ayuda a mitigar problemas como la escasez hídrica y las inundaciones urbanas. Además de la captación y el aprovechamiento del agua, el uso de tecnologías eficientes, como grifos con sensores o inodoros de doble descarga, permite optimizar su consumo y mejorar la gestión del recurso hídrico (Delgado, 2020).

Los componentes principales de un sistema de recolección de aguas lluvia son: superficie de captación, canaletas y bajantes, filtros, tanque de almacenamiento y sistema de distribución.

- **Superficie de captación.** Se sugiere utilizar materiales no tóxicos y libres de contaminantes, siendo comúnmente empleado el techo de una vivienda como superficie de captación. Esta superficie, que recibe directamente la lluvia, constituye el primer componente de los sistemas de recolección de aguas lluvias (Lalwani, 2022).

Existen diversos tipos de superficies de captación, entre los que se incluyen las internas o de microcaptación, las externas o de macrocaptación, y los sistemas de cubierta:

Internas o de microcaptación: Estas superficies abarcan áreas pequeñas, de entre 1 y 30 m². Se utilizan principalmente para captar agua que se almacena directamente en el suelo, sin provisión para el desbordamiento.

Externas o de macrocaptación: En este caso, se requieren superficies mayores a 30 m². El agua recolectada es transportada a sistemas de almacenamiento externos, que incluyen una provisión para manejar el excedente.

Sistemas de cubierta: Los techos son un ejemplo común de superficies de captación en sistemas domésticos.

Se prefieren superficies impermeables, siendo los techos y patios los más utilizados en la captación doméstica. Materiales como el zinc o el cobre facilitan la conducción del agua, pero pueden generar contaminantes debido a la presencia de metales pesados, lo que hace necesario un tratamiento del agua recolectada antes de su uso. La calidad de la superficie de captación es crucial para garantizar que el agua recolectada sea segura para su almacenamiento y uso. La contaminación de las superficies, como la acumulación de residuos en los techos, puede comprometer la calidad del agua recolectada, especialmente en áreas urbanas (Lalwani, 2022).

- **Canaletas y bajantes.** Transporta el agua desde la superficie de captación (techo) hacia un sistema de filtración o almacenamiento.
- **Filtros.** permiten eliminar los contaminantes como las hojas, sedimentos y otros antes de que el agua ingrese al depósito.
- **Tanque de almacenamiento.** Depósito cerrado para evitar la evaporación, contaminación y proliferación de mosquitos. Pueden ser superficiales o subterráneos.

- **Sistema de distribución.** Bomba y tuberías que conducen el agua hacia puntos de uso. El agua de lluvia puede tener diversos usos, entre ellos: riego de jardines y cultivos, limpieza de áreas exteriores y vehículos, descarga de inodoros, lavado de ropa, consumo humano y cocina. Para estos dos últimos casos, se requiere una purificación completa mediante filtros avanzados y procesos de desinfección.

7.1.4.3 Sistemas naturales de tratamiento de agua residual.

Los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales son tecnologías que imitan los procesos ecológicos para depurar el agua contaminada sin necesidad de químicos o alta energía. Se basan en la acción de microorganismos, plantas y materiales filtrantes (como grava o arena) para eliminar contaminantes y hacer que el agua tratada sea segura para su reutilización o retorno al medioambiente. Estos sistemas son sostenibles, requieren bajo mantenimiento y pueden integrarse en viviendas rurales o comunidades autosustentables. Algunos ejemplos incluyen humedales artificiales, biodigestores, filtros de arena y jardines de lluvia.

- **Humedales artificiales.** Los humedales artificiales desempeñan un papel clave en la reutilización segura del agua, ya que imitan los procesos naturales de filtración y depuración. Un sistema bien diseñado y mantenido puede garantizar una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes (Arias et al., 2021). Estos sistemas reproducen mecanismos biológicos, físicos y químicos similares a los de los humedales naturales, incluyendo filtración, sedimentación, adsorción, volatilización, fitoacumulación y actividad microbiana. Gracias a estos procesos, los humedales artificiales permiten la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y metales como hierro, plomo y cadmio en aguas residuales. Además, han demostrado ser efectivos en la remoción

de contaminantes orgánicos persistentes, hidrocarburos y en la reducción de la contaminación microbiológica (Pérez et al., 2022).

Su implementación en zonas rurales ofrece una alternativa descentralizada y sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando plantas acuáticas y microorganismos para mejorar la calidad del agua antes de su reintegración al ambiente (Jauregui Haza & González Hernández, 2022).

- **Filtros de arena y grava.** El uso de filtros de arena y grava como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas ha demostrado ser eficiente en la remoción de partículas en suspensión y materia orgánica. Quirós Ivankovich, (2022) destaca que estos sistemas funcionan como un tratamiento secundario al permitir la filtración y adsorción de contaminantes, mejorando la calidad del agua tratada antes de su reutilización o disposición final.
- **Biodigestores anaerobios.** Los biodigestores anaerobios son una tecnología clave para el tratamiento de aguas residuales domésticas, permitiendo la generación de biogás como subproducto del proceso de degradación de la materia orgánica. Isaza Santos et al., (2021) compararon dos sistemas anaeróbicos y evidenciaron su efectividad en la reducción de carga orgánica en comunidades sin acceso a sistemas convencionales de tratamiento, resaltando su potencial para aplicaciones en viviendas rurales.
- **Jardines de lluvia o biofiltros.** Los biofiltros y jardines de lluvia ofrecen una solución ecológica para el tratamiento de aguas residuales grises. Morales Corozo & Loo Vergara, (2023) diseñaron un biofiltro para la eliminación de contaminantes en aguas residuales comunitarias, demostrando que estos sistemas pueden reducir significativamente la

presencia de sólidos y nutrientes en el agua, lo que los hace ideales para su reutilización en riego y otras aplicaciones no potables.

- **Letrinas ecológicas (baños secos).** Las letrinas ecológicas, o baños secos, representan una alternativa sostenible para la gestión de residuos humanos en zonas rurales. Palacin Salcedo et al., (2020) implementaron un sistema natural de tratamiento en una institución educativa, demostrando que el uso de materiales como aserrín o ceniza facilita la degradación de los desechos y la conversión en abono, eliminando la necesidad de agua potable y promoviendo el saneamiento autosuficiente.
- **Pozos sépticos.** Los pozos sépticos permiten hacer el tratamiento primario de aguas residuales que generalmente proceden de pequeños centros poblados donde no se tienen sistemas de alcantarillado ni plantas de tratamiento de aguas residuales. El propósito de los pozos sépticos es la reducción y depuración de organismos patógenos y bacterias generadas por las actividades domésticas que afectan la salud de la población aledaña, además de forma indirecta afecta el medio ambiente, pues al darle un mal uso de los residuos sólidos se ven afectadas las fuentes hídricas superficiales y subterráneas. (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2019).

7.1.5 Proyectos ecosostenibles en Colombia

En la Tabla 2 se presentan algunos proyectos ecosostenibles que se han realizado en el país; se muestran los materiales usados en la construcción y el aprovechamiento de aguas lluvia entre otras características.

Tabla 2. Proyectos ecosostenibles en Colombia

PROYECTO	VENADILLO TOLIMA	SAN JUAN DE SUMAPAZ	BOYACA	COLEGIO DE LAS AGUAS MONTEBELLO	CENTRO DE DESARROLLO INFANTIL «EL GUADUAL»
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Bambú	Muro tompé	Madera, piedra, tapia pisada, techos verdes	Guadua como único material estructural, fachadas con esterilla y recubiertas con un aglomerado basado en cal y arcilla	Construido con el material más resistente y con menor impacto ambiental con el que cuenta el país: La guadua.
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS	Trampas de grasa, filtro, humedal artificial	No especifica	Pozo séptico casero de bajo costo	No especifica	Conexión a alcantarillado
ECONOMÍA	Turismo, huertas caseras	Implementaci ón de un biodigestor	Invemaderos	Materiales de construcción económicos y presentes en la zona	Materiales de construcción económicos y presentes en la zona
ABROCHAMIENT O DE AGUAS LLUVIAS	Se usan canales y tanques para la recolección de aguas lluvias.	Se usan canales, se depositan en tanques y se distribuyen para la cocina y el baño	Canaletas, filtro casero	Aprovechamiento de las cubiertas para la recolección de aguas y tanques para su almacenamiento	Aprovechamiento de las cubiertas para la recolección de aguas y tanques para su almacenamiento
DISEÑO DE VIVIENDA	Diseño adecuado para que la iluminación de la vivienda sea iluminación del exterior durante el día	Diseño adecuado para que la iluminación de la vivienda sea iluminación del exterior en el día	Diseño adecuado para que la iluminación de la vivienda sea iluminación del exterior en el día	Esta obra de gran tamaño y riqueza arquitectónica será una de las principales construcciones en bambú de todo Latinoamérica, y con ella se espera revalorizar este material y mostrar al mundo sus muchas posibilidades	Su construcción de baja tecnología y los diferentes métodos de recolección de agua, iluminación y ventilación natural, resaltan la arquitectura bioclimática que maneja el centro educativo
ZONAS VERDES	Si	Si	Si	Si	Si
REFERENCIA	(Molina & Alfonso, 2020)	(Guerreiro, 2022)	(Torres, 2018)	(Franco, 2014)	(Feldman & Quiñones, 2016)

7.2 Marco referencial

7.2.1 Antecedentes sobre la vivienda de interés social en Colombia

La vivienda de interés social (VIS) en Colombia se ha considerado como un instrumento fundamental de política pública para reducir el déficit habitacional, especialmente en zonas rurales y urbanas marginales. El programa "Mi Casa Ya", implementado por el Gobierno Nacional, ha

facilitado el acceso a vivienda propia a familias vulnerables mediante subsidios y créditos hipotecarios. Sin embargo, su cobertura en regiones como el Pacífico caucano ha sido limitada, lo que evidencia brechas en la equidad territorial del acceso a la vivienda digna (Tropicana FM, 2025).

Además, se han desarrollado investigaciones y proyectos académicos enfocados en mejorar la calidad y sostenibilidad de la vivienda social, integrando principios de eficiencia energética, aprovechamiento de recursos locales y adaptación climática.

7.2.2 Vivienda ecosostenible: conceptos y experiencias en Colombia

Una vivienda ecosostenible se considera aquella en la que su diseño minimiza el impacto en el ambiente, y contempla el uso eficiente de recursos (agua, energía, materiales) y garantiza condiciones de habitabilidad saludables. En Colombia, varias universidades y organizaciones han liderado propuestas en este sentido:

- Universidad Nacional de Colombia: A través de su grupo GEMMA, ha desarrollado viviendas bioclimáticas en comunidades rurales como Isla Fuerte y Necoclí, donde se aprovechan recursos naturales como la luz solar y los vientos alisios, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía externas (GEMMA, 2025)
- Universidad Piloto de Colombia: Propuso un prototipo de vivienda rural sustentable en Cundinamarca, basado en materiales alternativos como concreto con cáscaras de huevo, sistemas de recolección de agua lluvia y paneles solares (Roa et al., 2024)
- Pontificia Universidad Javeriana: Diseñó un proyecto de vivienda multifamiliar sostenible en Tunja, con espacios flexibles que se adaptan a las necesidades económicas y sociales de las familias (Javeriana, 2025).

- La Universidad del Cauca, en alianza con la Universidad del Valle, ha desarrollado una solución tecnológica basada en impresión 3D con criterios de sostenibilidad, adaptabilidad y eficiencia energética, dirigida a comunidades rurales en el departamento del Cauca. Este proyecto buscó abordar el alto déficit habitacional en zonas rurales mediante opciones tecnológicas innovadoras para la construcción de viviendas e infraestructura sostenible (Unicauca, 2025).

Estas experiencias muestran el potencial de integrar sostenibilidad ambiental y bienestar social, especialmente en contextos vulnerables.

7.2.3 Normativa y metas nacionales en sostenibilidad de la vivienda

En el marco de la lucha contra el cambio climático y la promoción del desarrollo sostenible, el Gobierno colombiano ha trazado la meta que para el año 2030, al menos el 50 % de las viviendas entregadas sean sostenibles (El Colombiano, 2024). Esto implica no solo un reto técnico, sino también político y financiero, especialmente en zonas rurales apartadas como López de Micay.

López de Micay, municipio del departamento del Cauca, enfrenta desafíos estructurales en infraestructura, servicios básicos y acceso a vivienda digna. A través de la búsqueda en fuentes oficiales, medios de comunicación y bases de datos gubernamentales, no se han encontrado registros de proyectos de vivienda de interés social o vivienda ecosostenible ejecutados en este municipio o en la vereda San Pablo.

Esta ausencia de inversión estatal en vivienda evidencia una oportunidad para implementar propuestas innovadoras adaptadas a las condiciones ambientales, sociales y culturales de la región, como lo plantea esta investigación. Integrar enfoques sostenibles podría aportar no solo a la reducción del déficit habitacional, sino también a la mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

Los antecedentes revisados demuestran que, si bien Colombia ha avanzado en políticas y proyectos de vivienda social y sostenible, existen vacíos significativos en zonas rurales como López de Micay. La carencia de programas específicos en la región resalta la necesidad de diseñar soluciones habitacionales innovadoras, adaptadas al entorno, que consideren materiales locales, eficiencia de recursos y participación comunitaria. Este trabajo busca contribuir a cerrar esa brecha mediante una propuesta contextualizada de vivienda ecosostenible para la vereda San Pablo.

8 CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO

La caracterización de la vereda “San Pablo” se llevó a cabo mediante un enfoque integral que combinó la revisión de literatura con un trabajo directo con la comunidad. Para complementar y contrastar la información obtenida, se realizaron talleres participativos con los habitantes de la comunidad, con el objetivo de comprender en profundidad su forma de habitar, sus dinámicas sociales, sus necesidades y su relación con el entorno. Este proceso permitió recopilar insumos claves para proponer el diseño arquitectónico, asegurando que respondiera de manera efectiva a las condiciones locales, los valores culturales y las prácticas cotidianas de la comunidad beneficiaria.

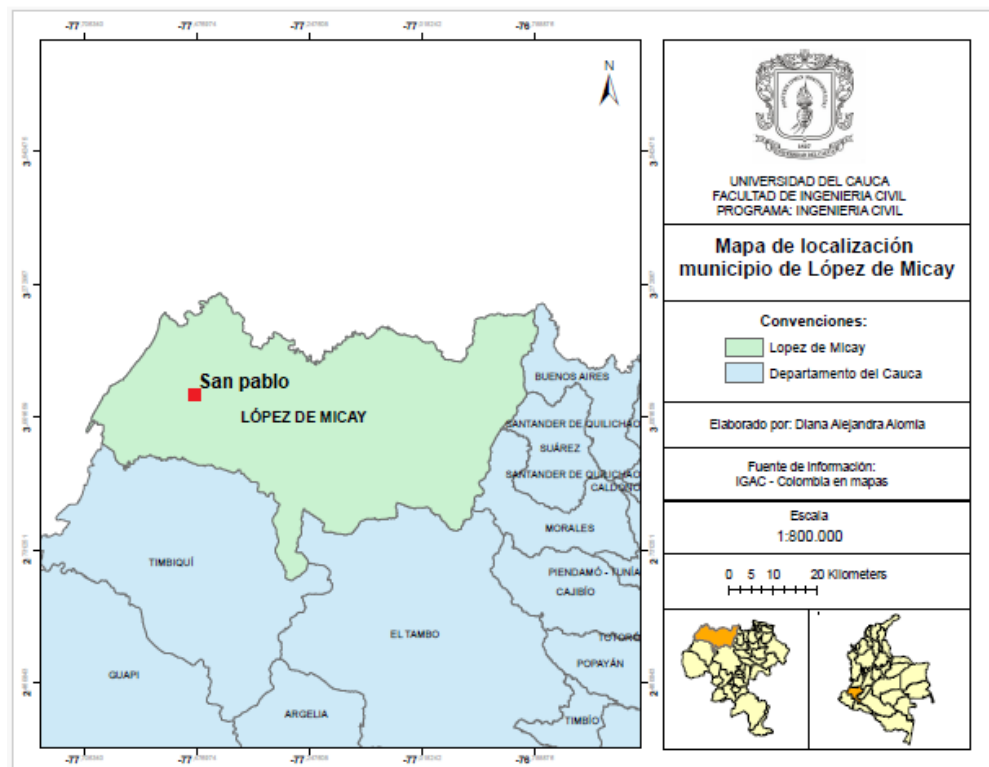
8.1 Territorio

El territorio representa la base sobre la cual se desarrolla cualquier proyecto de vivienda, pues define las condiciones físicas, ambientales y sociales que determinan su viabilidad. En el marco de la Ley 2079 de 2021, se busca reconocer y formalizar los asentamientos en terrenos ocupados de manera informal, asegurando que estos cumplan con criterios de seguridad y habitabilidad. Es crucial identificar áreas adecuadas para la urbanización, evitando riesgos como inundaciones o deslizamientos. Además, la planeación territorial debe garantizar el acceso a servicios públicos y

equipamientos urbanos. La ubicación de la vivienda influye directamente en la calidad de vida de sus habitantes, facilitando la movilidad, el acceso al empleo y la integración comunitaria. Por ello, cualquier intervención debe responder a un análisis integral del territorio. A continuación, se describen los aspectos más importantes del territorio:

- San Pablo es una vereda del municipio de López Micay, ubicada en la región pacífica del departamento del Cauca, Colombia (Figura 3). López de Micay es uno de los 42 municipios que conforman este departamento. El municipio se localiza a 84 km de la capital departamental, Popayán. Sus coordenadas son $2^{\circ}50'47''\text{N}$ $77^{\circ}14'50''\text{O}$, con una altitud media de 89 m s. n. m. (Quintero, 2019).

Figura 3. Ubicación de San pablo



Fuente: Adatado por el autor a partir de información del (IGAC, 2025)

8.1.1 Historia

La región del río San Juan del Micay ha experimentado múltiples incursiones y transformaciones desde la llegada de los conquistadores españoles en el siglo XVI. En 1525, el conquistador Diego de Almagro llevó a cabo las primeras exploraciones en la zona, descubriendo el río San Juan del Micay. Este lugar, caracterizado por zonas inundables, espesa vegetación y tribus indígenas que vivían con independencia presentaba grandes desafíos para establecer una colonia. La resistencia de las tribus locales y las difíciles condiciones geográficas hicieron que la colonización fuera extremadamente complicada (Romoli, 1963).

Con el tiempo, estas primeras exploraciones y explotaciones sentaron las bases para la fundación de asentamientos permanentes. En los años siguientes, embarcaciones españolas partían con el objetivo de realizar incursiones para adquirir materiales preciosos, como el oro, y, además, capturar a los nativos de la región para ser utilizados como mano de obra esclava en minas y haciendas. El trabajo forzoso redujo drásticamente la población indígena, tal que, a finales del siglo XVII, esta población casi había desaparecido, lo que llevó a su reemplazo por esclavos africanos. Este cambio en la estructura social y económica marcó un punto de inflexión en la historia de la región.

En 1888, Luciano Alomía, Facundo Riascos y Pancracio Riascos fundaron el actual Municipio de López de Micay. Su nombre surge de la combinación del nombre indígena del río con un homenaje póstumo al general José Hilario López, quien en 1851 decretó la abolición de la esclavitud en Colombia. La liberación de los esclavos marcó un cambio significativo en la estructura social de la región, transformando las dinámicas laborales y la composición demográfica de la población.

Por otra parte, San Pablo pertenece al corregimiento de Noanamito, nombre que conmemora a sus primeros pobladores indígenas, los noanames. Previamente a la llegada de esta comunidad indígena, las familias Ilario y Riascos habían comenzado a poblar el lugar con población

afrodescendiente. El centro poblado de Noanamito es un punto estratégico para el municipio, pues todas las lanchas rápidas que vienen de los municipios vecinos y hasta de la misma cabecera municipal hacen una parada en este corregimiento, consolidando su importancia dentro de la región (Alcaldía de López de Micay, 2025).

En resumen, la historia de la región del río San Juan del Micay refleja las complejidades de la colonización, la resistencia indígena, y las transformaciones sociales que han dado forma a su identidad actual. Este legado histórico sigue siendo visible en la estructura y dinámica de los asentamientos que persisten hasta hoy.

8.1.2 Demografía

El municipio cuenta con una rica diversidad étnica y una estructura comunitaria bien organizada, que se refleja en la distribución de su población y sus consejos comunitarios. La población se compone mayoritariamente de afrodescendientes (79%), seguidos por indígenas (8%) y mestizos (13%).

Las comunidades indígenas, pertenecientes a los pueblos Embera y Eperara Siapidara, mantienen una estructura social y una organización político-administrativa propias. Estas comunidades se encuentran distribuidas en cinco reservas a orillas de los ríos Micay, Naya y Saija (Alcaldía de López de Micay, 2025).

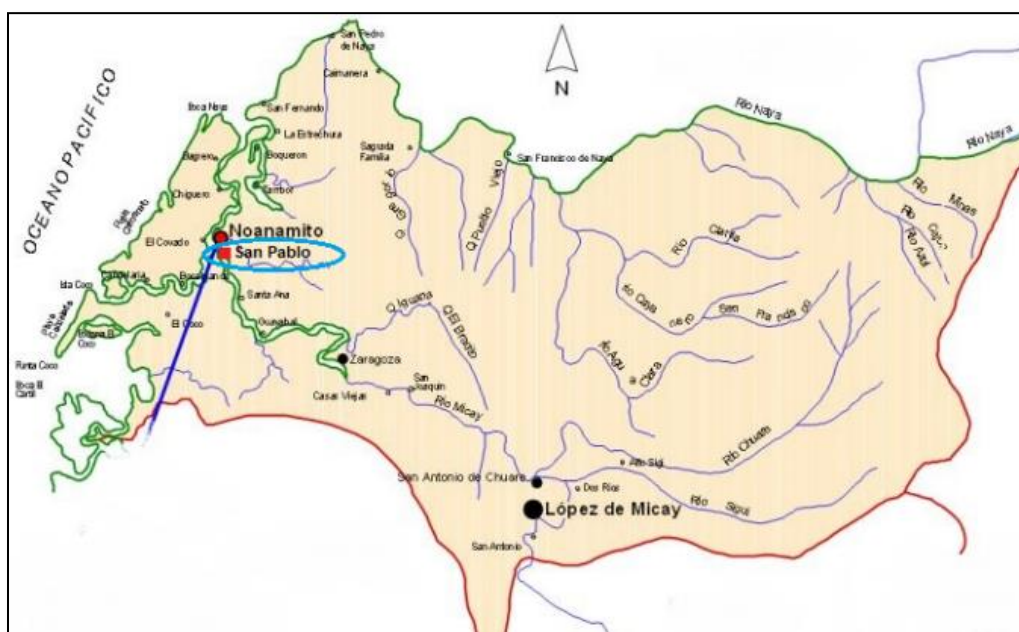
Además de su diversidad étnica, el municipio se caracteriza por su sólida estructura comunitaria. Existen seis concejos comunitarios, cada uno con su dinámica propia:

- Consejo Comunitario Sanjoc Parte Alta del Río Micay
- Consejo Comunitario Manglares del Río Micay
- Consejo Comunitario El Playón del Río Sigüí
- Comunidad de Río Chuare Integración

- Consejo Comunitario Mamuncia Río Micay Medio
- Consejo Comunitario Río Naya

La vereda de San Pablo, del corregimiento de Noanamito, pertenece al Consejo Comunitario Manglares (Figura 4). Esta vereda se encuentra a la orilla del río en la parte baja del municipio. Esta estructura organizativa y diversidad étnica subrayan la riqueza cultural y la cohesión comunitaria del municipio.

Figura 4. Mapa político de López de Micay Cauca



Fuente: (Quintero, 2019)

8.2 Clima - Topografía

Las condiciones climáticas y topográficas son determinantes en el diseño y construcción de viviendas sostenibles y seguras. La Ley 2079 enfatiza la importancia de adaptar las soluciones de vivienda a las características del entorno, evitando impactos negativos y reduciendo vulnerabilidades.

En regiones con altas precipitaciones, es clave diseñar sistemas de drenaje eficientes y cubiertas resistentes. En zonas cálidas, la ventilación cruzada y los materiales térmicos pueden mejorar el

confort sin necesidad de un alto consumo energético. La topografía influye en el tipo de cimentación y en la distribución de las viviendas, pues construir en pendientes requiere estrategias específicas. Considerar estos factores desde la planeación permite reducir costos de mantenimiento y aumentar la resiliencia de las construcciones ante el cambio climático.

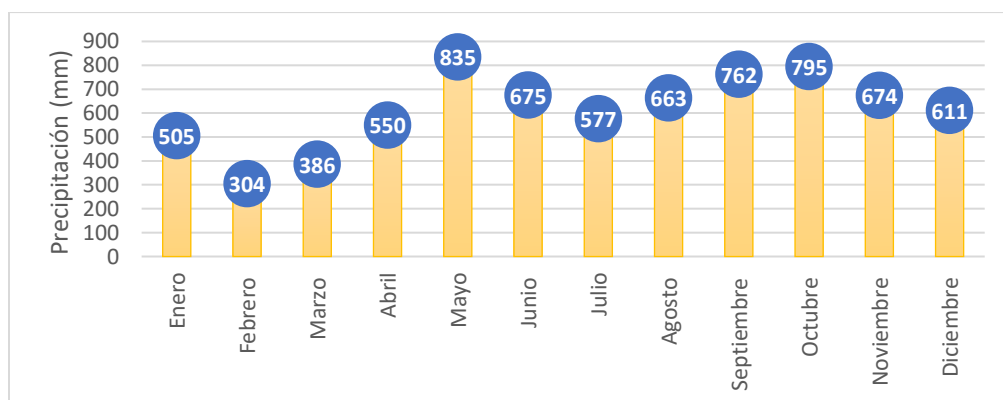
López de Micay es reconocido como uno de los municipios más lluviosos de Colombia, con precipitaciones que se encuentran entre las más altas del mundo. El 5 de agosto de 2009, el IDEAM catalogó su cabecera municipal como el lugar más lluvioso del país, según los registros de la estación meteorológica ubicada en Puerto López (IDEAM, 2022).

Según datos históricos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la estación más cercana a la zona de estudio (NOANAMITO [53070050]) registra una precipitación promedio anual de 7.167 mm. Cabe destacar que esta estación se encuentra aproximadamente a 100 metros sobre el nivel del mar.

A continuación, se presenta la precipitación promedio mensual según la estación meteorológica (NOANAMITO [53070050]) (Figura 5 y

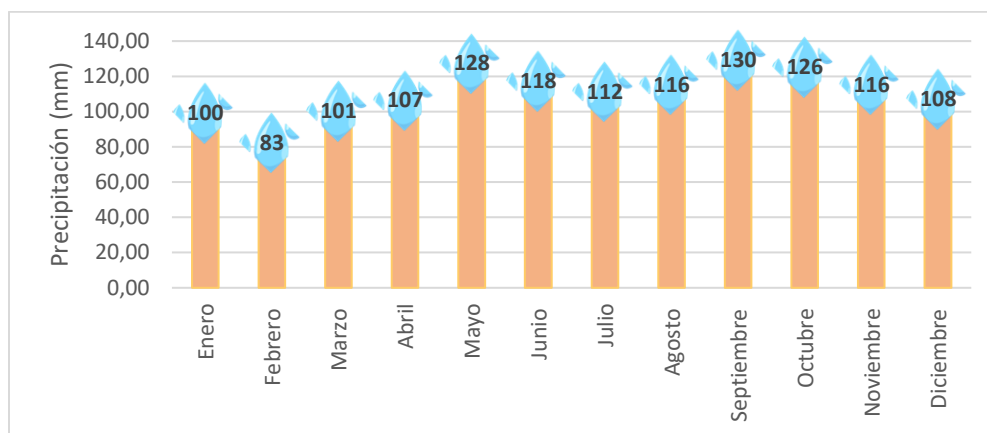
Figura 6).

Figura 5. Precipitación promedio mensual



Fuente. Elaboración propia a partir de (IDEAM, 2022)

Figura 6. Precipitación máxima horaria



Fuente: Elaboración propia a partir (IDEAM, 2022).

López de Micay presenta una temperatura promedio de 25 °C y una altura máxima de 500 msnm. Sus precipitaciones anuales varían entre 2.000 y 9.000 mm. El municipio se distribuye en los siguientes pisos térmicos:

- Cálido: 2.597 km² (83,7%)
- Medio: 352 km² (11,4%)
- Frío: 152 km² (4,9%)

8.2.1 Geografía

El municipio de López de Micay, ubicado en una región geográficamente diversa y compleja, se caracteriza por sus variados límites y distintas zonas geomorfológicas.

- Al este: limita con Buenos Aires, Suárez y Morales.
- Al oeste: con el océano Pacífico.
- Al norte: con Buenaventura.
- Al sur: con Timbiquí y El Tambo.

Una de las principales características del municipio de López de Micay es su diversidad geográfica, reflejada en la coexistencia de zonas montañosas y costeras (Figura 7), lo que genera una gran variedad de paisajes y condiciones ambientales. Esta diversidad territorial tiene implicaciones tanto para la ocupación del suelo como para la vulnerabilidad frente a fenómenos naturales.

Cordillera Occidental: ubicada en el sector oriental del municipio, se distingue por sus relieves escarpados y agrestes, con pendientes pronunciadas que superan el 25 % en algunas áreas. Estas zonas presentan una vegetación densa y suelos inestables, propensos a procesos de remoción en masa como deslizamientos y derrumbes.

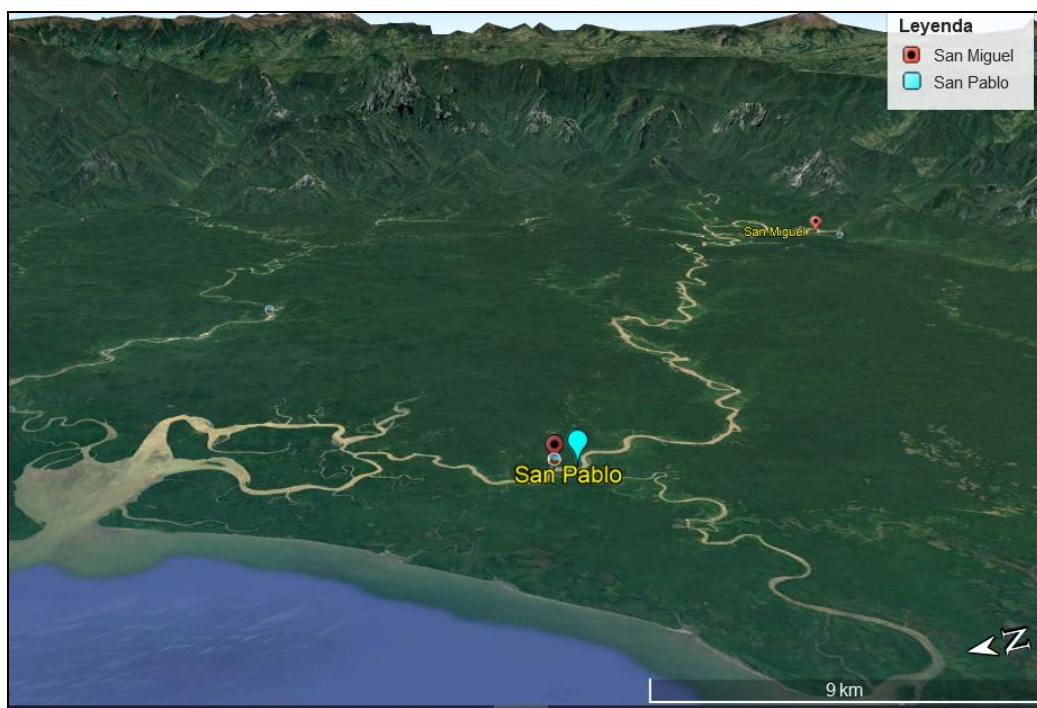
Zona costera: corresponde a una amplia franja paralela a la línea del litoral pacífico, influenciada por las mareas, la acumulación de sedimentos fluviales y la formación de ecosistemas como manglares y estuarios. Esta zona presenta altitudes muy bajas, generalmente menores a 10 metros sobre el nivel del mar, y sufre frecuentes inundaciones debido a la combinación de lluvias intensas, marejadas y crecientes de los ríos.

El municipio está atravesado por una densa red hidrográfica, donde destacan los ríos Micay y Naya, junto con numerosos tributarios menores. Esta red fluvial marca la dinámica del territorio y actúa como eje de conexión entre veredas y corregimientos. Sin embargo, también incrementa la exposición del municipio a eventos naturales como inundaciones, avalanchas y crecientes súbitas. En síntesis, López de Micay combina áreas montañosas, fluviales y costeras, lo que le confiere una notable riqueza ecológica y paisajística, pero también una alta susceptibilidad a eventos naturales adversos. Esta complejidad geográfica impone retos importantes en términos de planificación territorial, acceso a servicios y gestión del riesgo adversos.

Se observan importantes depósitos de grava, arenas y sedimentos finos en las zonas bajas y costeras, muchos de ellos asociados a playas, deltas y manglares. En estas áreas, predominan lodos

ricos en materia orgánica que favorecen una biodiversidad única, pero que también presentan limitaciones para ciertas actividades agrícolas y de construcción se observan importantes depósitos de grava, arenas y sedimentos finos en las zonas bajas y costeras, muchos de ellos asociados a playas, deltas y manglares. En estas áreas, predominan lodos ricos en materia orgánica que favorecen una biodiversidad única, pero que también presentan limitaciones para ciertas actividades agrícolas y de construcción (Colombia en mapas, 2025).

Figura 7. Relieve López de Micay



Fuente: Google Earth. (2025). Vista satelital de López de Micay, Cauca.

8.3 Materiales locales

El uso de materiales locales en la construcción de viviendas promueve la sostenibilidad y la eficiencia económica. La Ley 2079 fomenta el aprovechamiento de recursos naturales disponibles en cada región, evitando la dependencia de insumos costosos (p.ej. cemento y acero) y reduciendo la huella de carbono del transporte de materiales. Además, utilizar materiales tradicionales permite respetar las técnicas constructivas propias de cada comunidad, fortaleciendo la identidad cultural.

La guadua, la tierra compactada, el bahareque y otros elementos han demostrado ser eficaces y adecuados en distintas zonas del país. Su aplicación, combinada con innovaciones tecnológicas, puede mejorar la resistencia y durabilidad de las viviendas. Incorporar materiales locales también genera empleo y dinamiza la economía de la región, beneficiando a la comunidad en múltiples niveles.

Para la propuesta estructural de este proyecto, se buscó utilizar materiales como la madera nativa, con la cual se reduce el impacto al medio ambiente (Ancho et al., 2020). En la vereda de San Pablo, los materiales más utilizados en la construcción incluyen la madera, la guadua, la chonta y las palmas de quitasol, aunque estas últimas han caído en desuso en la actualidad.

La madera es el material predominante en la construcción de la vereda San Pablo, ya que la comunidad cuenta con una gran variedad de árboles maderables adecuados para la estructura de las viviendas. En la Tabla 3 se presentan algunos de los árboles maderables que se encuentran a lo largo del municipio:

Tabla 3. Árboles maderables de López de Micay

Manglares	Parte media	Parte alta	
Sajo	Cedro	Cuangare	Caimito Silbador
Mangle	Tangare	Sande	Sangre gallina
Machare	Mayo	Chanul	Sangre gallo
Tangare	Mosquito	Chachajo	Costillo
Cuangare	Higuerón	Laurel	Suela
• Otobo	Machare	Carra	Luna
• Castaño	Cuangare	Querre amarillo	Plátano
• Cebo	Sande	Perena	Tostado
	Jigua retroso	Purga	Carbonero
	Caimito popa	Anime	Caimito pelao
	Cedro arisco	Mispero (Caimito)	Mare
	Ceiba	Chaquiro	Mata palo
	Chimbusa	Guayacán	Caucho
	Mario	Ají	Popa
	Pumarrosa		

La comunidad de San Pablo selecciona cuidadosamente los tipos de madera según la parte de la estructura en la que serán utilizadas. Por ejemplo, sin importar su ubicación dentro del municipio, los habitantes suelen emplear guayacán para la cimentación de sus viviendas debido a su resistencia y durabilidad. Es importante resaltar que las palmas de quitasol se encuentran principalmente en la parte alta del municipio, por lo que su uso en la vereda de San Pablo no es recomendable.

La madera tiene múltiples aplicaciones en la región. Se emplea en la carpintería para la fabricación de canoas, canaletes, asientos y estructuras de viviendas, así como en la construcción de puentes, entre otros usos. Por su parte, la guadua se utiliza para fabricar guazas y otros instrumentos musicales, estructuras provisionales o de almacenamiento, y plataformas elevadas que evitan el contacto directo con el suelo, protegiéndolas de las inundaciones. Dentro de los árboles maderables más comunes y de fácil acceso para la comunidad de San pablo se encuentran:

Machare: Puede alcanzar una altura de hasta 30 metros y un diámetro de 75 cm. Su tronco es recto y cilíndrico, con raíces tablares y algunas adventicias. Las raíces tablares son estructuras planas y ensanchadas que se proyectan desde la base del tronco, proporcionando estabilidad en suelos poco profundos o saturados de agua. Por su parte, las raíces adventicias son aquellas que emergen desde partes del tallo o ramas en lugar de surgir directamente desde la raíz principal, lo que permite al árbol anclarse y adaptarse mejor a terrenos inestables o inundables. La corteza externa presenta un tono que varía entre rojo castaño y café oscuro, con una textura escamosa y ligeramente fisurada. En cuanto a la corteza interna, esta es inicialmente amarilla, pero con el tiempo adquiere una tonalidad negra. La albura es de un tono amarillo pálido a blanco, con una transición marcada hacia el duramen, que es de color marrón pálido (WWF-Colombia, 2013).

Sajo: Puede alcanzar una altura de hasta 28 metros y un diámetro de 50 cm. Su tronco es recto, cilíndrico y de color dorado. La corteza externa tiene un tono café grisáceo, con una textura escamosa y fisuras superficiales. En contraste, la corteza interna es de color rosado a rojizo vetado, con una textura arenosa, sabor astringente y una escasa presencia de resina rosada. La albura presenta un tono blanco rosáceo con una transición gradual hacia el duramen, que es de color marrón rosáceo y, en ocasiones, exhibe bandas grises. La diferencia entre albura y duramen es poco marcada (WWF-Colombia, 2013).

Tangare: Puede alcanzar hasta 40 metros de altura. Su tronco es recto, cilíndrico y presenta bambas grandes. La corteza externa es de color gris amarillento y se desprende en placas irregulares, dejando cicatrices permanentes. Por su parte, la corteza interna es de color rosado, de grosor medio y no quebradiza. La albura tiene un tono amarillo oscuro, con una transición gradual hacia el duramen, que es de color marrón rojizo y presenta vetas oscuras en tonos amarillo verdoso (WWF-Colombia, 2013).

Sande: Puede alcanzar hasta 35 metros de altura y 150 cm de diámetro. Su tronco es recto y cilíndrico. La corteza externa es delgada, de color gris verdoso, con una textura lisa y finamente agrietada, con lenticelas medianas alineadas en finas líneas longitudinales. La corteza interna tiene un tono anaranjado y exuda un látex blanquecino, abundante y pegajoso. La albura es de color blanco rosáceo y presenta poca diferencia con el duramen, que es de un tono marrón muy pálido (WWF-Colombia, 2013).

Cedro: es una especie arbórea prominente en la región de la costa pacífica colombiana; puede alcanzar hasta 40 metros de altura y un diámetro de hasta 120 cm; el tronco es Recto y cilíndrico, frecuentemente con raíces tablares que pueden extenderse hasta 2 metros de altura, la corteza externa es de color café rojizo, con una textura delgada, algo escamosa o a veces en placas con

lenticelas; la corteza interna presenta un tono rojizo claro, con textura fibrosa-vidriosa y sabor amargo. La albura es de color crema amarillenta, con una transición abrupta al duramen de color marrón rojizo muy pálido(WWF-Colombia, 2013).

Cuangare: Puede alcanzar entre 30 y 35 metros de altura, con un diámetro de hasta 60 cm y una altura comercial de 20 metros. Su tronco es recto y cilíndrico, con bambas medianamente desarrolladas y aletones en la base. La corteza externa tiene un tono café cobrizo, mientras que la corteza interna es de color rosado y exuda un látex rojizo. La albura es angosta y presenta un tono blanco amarillento o crema, con una diferencia poco marcada respecto al duramen, que es de color rosado claro. En estado verde, la madera muestra un tono rosado amarillento, que al secarse se torna marrón amarillento (WWF-Colombia, 2013).

Mangle: Puede alcanzar entre 20 y 25 metros de altura, con un diámetro de hasta 50 cm. Su tronco es irregular y frecuentemente ramificado desde la base, con raíces aéreas (neumatóforos) y zancudas que le proporcionan estabilidad en suelos inundados. La corteza externa es rugosa y de color marrón oscuro a grisáceo, mientras que la interna presenta un tono rojizo y exuda taninos de color marrón. La albura es angosta y de color amarillo pálido, diferenciándose claramente del duramen, que varía de marrón rojizo a rojo oscuro. En estado verde, la madera tiene un tono rojizo intenso, que al secarse se torna marrón oscuro con vetas más claras (Quintana, 2011).

En la Tabla 4 se resumen las propiedades físicas y mecánicas de las especies maderables con mayor disponibilidad en la zona de estudio, según lo identificado en la caracterización local. Esta información es relevante para seleccionar los materiales más adecuados en el diseño y construcción de viviendas adaptadas a las condiciones del territorio.

Tabla 4. Propiedades físicas y mecánicas de algunas especies maderables

Propiedad	Especie						
	Machare	Sajo	Tangare	Sande	Cedro	Cuangare	Mangle
Densidad básica (g/cm ³)	0,58	0,37	0,49	0,42	0,42	0,33	0,89
Contr. tangencial (%)	11,3	8,8	8,6	7,3	7,3	4,8	
Contr. radial (%)	5,3	5,6	4,7	4,1	4,1	2,6	
Contr. volumétrica (%)	16,6	13,9	12,9	11,4	11,4	7,5	
Relación T/R	2,13	1,57	1,82	1,78	1,78	1,86	
Mód. elasticidad (kg/cm ²)	172000	127000	127000	113000	113000	111000	169273,52
Mód. rotura (kg/cm ²)	1492	975	1045	928	928	674	1025
Compresión paralela (kg/cm ²)	719	503	511	520	520	395	799,6
Compresión perpendicular (kg/cm ²)	102	69	75	82	82	45	
Corte paralelo (kg/cm ²)	79	67	84	78	78	52	230
Dureza (kg)	823	274	437	460	460	218	823
Tenacidad (kg·m)	0,82	2,4	2,01	2,24	2,24		

Fuente: Elaboración propia a partir de (WWF-Colombia, 2013) y (Manguriu et al., 2013)

8.4 Costumbres, tradiciones y estilo de vida

El diseño y construcción de viviendas deben responder a las prácticas culturales, estilos de vida y costumbres de las comunidades beneficiadas. En el caso de resguardos indígenas y territorios colectivos, la Ley 2079 establece que las soluciones habitacionales deben ser concertadas con sus habitantes, garantizando su autonomía y formas de vida tradicionales.

La disposición de los espacios, los materiales y las técnicas de construcción deben respetar las dinámicas familiares y comunitarias, evitando imponer modelos ajenos a la cultura local. Además, la vivienda no solo debe ser funcional, sino también un reflejo de la identidad de sus ocupantes. Es fundamental el diálogo con las comunidades para comprender sus necesidades y aspiraciones, asegurando que el hábitat construido fortalezca su cohesión. La vereda de San Pablo es una

hermosa comunidad ubicada en la parte baja del río Micay, justo sobre sus orillas. Se trata de un asentamiento disperso con una cultura única y un fuerte arraigo a sus tradiciones.

A pesar de no contar con servicios básicos como energía eléctrica y agua potable, la comunidad encuentra en esta condición una oportunidad para convivir de manera más cercana con la naturaleza, apreciándola en su estado más puro.

La vereda de San Pablo está conformada principalmente por población afrodescendiente. Las viviendas, están construidas en su mayoría con madera y se encuentran elevadas entre 1.5 y 2 metros sobre el nivel del suelo para mitigar los efectos de inundaciones. Estas edificaciones tienen generalmente una forma rectangular y están cubiertas por techos de dos a cuatro aguas (Fotografía 1).

Cada vivienda alberga, en promedio, a cinco personas y dispone de espacios distribuidos para habitaciones, sala, cocina y un fogón con sus respectivas subdivisiones. Además, es común encontrar tanques de recolección de aguas lluvias ubicados en la parte frontal y trasera de las edificaciones, permitiendo el aprovechamiento del recurso hídrico para diversas actividades domésticas, social y su sentido de pertenencia.

Fotografía 1. Vivienda tipo en San Pablo



8.5 Formas de implantación

La implantación de las viviendas dentro del territorio debe obedecer a criterios de planificación y sostenibilidad. La Ley 2079 impulsa el desarrollo de asentamientos organizados que faciliten la accesibilidad, la conectividad y la prestación de servicios básicos. La disposición de las viviendas no puede ser arbitraria, sino que debe responder a factores como la orientación solar, la proximidad a fuentes de agua y la integración con espacios públicos. En zonas rurales, la implantación debe permitir la coexistencia con actividades productivas, como la agricultura o la pesca. En áreas urbanas, se debe priorizar la densificación sostenible y la creación de espacios de convivencia. Un adecuado diseño urbano mejora la calidad de vida, reduce costos de infraestructura y previene problemas de segregación y marginalidad.

Con respecto a la vereda de San Pablo los habitantes de esta vereda viven a orillas del río en viviendas palafíticas, soportadas sobre elementos de madera denominados horcones.

El río es un recurso fundamental para la comunidad, no solo por el suministro de agua, sino también porque constituye el único medio de transporte. En la zona, el transporte acuático es la única opción, realizándose mediante canoas y lanchas rápidas (Fotografía 2).

Fotografía 2. Lancha rápida para el transporte de personas



Las viviendas están orientadas hacia el río, de la misma manera en que en otros lugares las casas se disponen de frente a las carreteras. Se encuentran a pocos metros de la orilla, ya que, en épocas de verano, la cercanía al agua es esencial para cubrir las necesidades básicas del hogar y facilitar la comunicación con otros habitantes (Figura 8 y Fotografía 3).

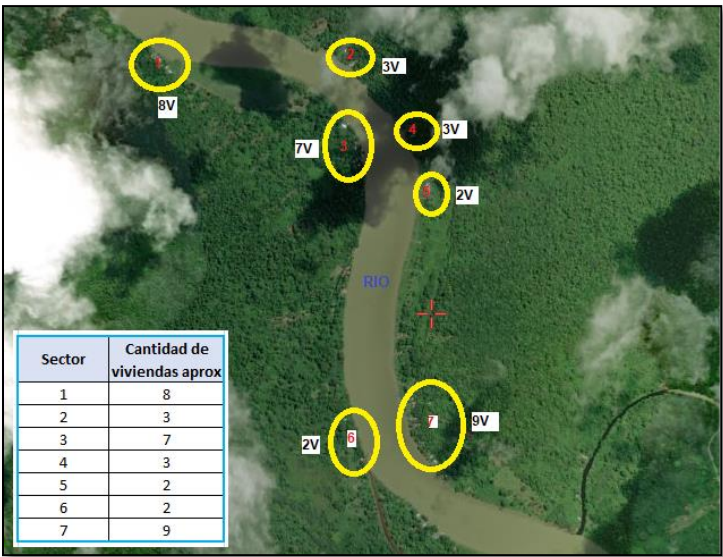
Las viviendas están implantadas de forma dispersa en ambas orillas del río y existen viviendas, conectadas mediante pequeños puentes que facilitan el acceso a la orilla.

Alrededor de las viviendas, suelen haber espacios destinados a diferentes actividades: un área para secar la ropa al sol, eras construidas con guadua o canoas viejas donde se cultivan hortalizas y plantas medicinales, así como árboles frutales y cultivos de pan-coger.

En la región, los más comunes son la papachina, pepa de pan, chivo, banano cachaco, roso, plátano y yuca, entre otros.

Entre los árboles frutales más comunes en la zona se encuentran la guayaba, guanábana, chirimoya, papaya, limón, zapote, cacao, naranja y mangostino, entre otros.

Figura 8. Sectores donde se encuentran las viviendas en San Pablo



Fuente:(Satellites, 2025)

Fotografía 3. San Pablo en verano



8.6 Criterios normativos

El cumplimiento de las normativas urbanísticas y ambientales es fundamental para garantizar viviendas seguras y habitables. La Ley 2079 establece lineamientos claros para la legalización de asentamientos informales, asegurando que las soluciones de vivienda se ajusten a estándares mínimos de calidad. Estas normas incluyen requisitos estructurales, acceso a servicios públicos, cumplimiento de normas sísmicas y respeto por áreas de protección ambiental. Sin una regulación adecuada, las viviendas pueden estar expuestas a riesgos como derrumbes, incendios o problemas sanitarios. Además, la legalización urbanística permite a los habitantes acceder a subsidios y créditos de mejoramiento. La aplicación de criterios normativos no solo ordena el crecimiento urbano, sino que también protege los derechos de los ciudadanos a una vivienda digna y segura.

Para un diseño arquitectónico adecuado, es fundamental considerar la Ley 2079 de 2021 y el Decreto 651 de 2022, asegurando que la vivienda cumpla con los criterios de interés cultural.

En cuanto al diseño estructural, la construcción debe cumplir con la Norma Sismo Resistente NSR-10, la cual regula edificaciones seguras frente a eventos sísmicos en Colombia. Dado que la

vivienda será construida en madera, se deben aplicar las disposiciones del Título G de la NSR-10, estos requisitos fueros presentados en la sección 7.1.3.

Además, estos proyectos deben cumplir con las normativas ambientales para minimizar y monitorear su impacto en el entorno. Para ello, es obligatorio acatar la Ley 1753 de 2015 y el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiental y Desarrollo Sostenible (Decreto 1076 de 2015).

8.7 Diálogo social y participación.

El desarrollo de proyectos de vivienda no puede imponerse sin la participación de las comunidades. La Ley 2079 promueve el diálogo social como una herramienta clave para garantizar que las soluciones habitacionales respondan a las necesidades reales de los habitantes. La consulta previa en comunidades indígenas y afrodescendientes es un requisito fundamental para respetar sus derechos. Además, la participación comunitaria en el diseño y ejecución de los proyectos genera mayor apropiación y sostenibilidad. Cuando la comunidad se involucra, se pueden identificar problemas específicos y encontrar soluciones acordes a sus dinámicas. La vivienda es un elemento central en la vida de las personas, por lo que su planificación debe ser inclusiva y participativa, garantizando que cada voz sea escuchada.

La cultura de la vereda San Pablo se distingue por su diversidad étnica y sus fuertes lazos con la naturaleza. El pueblo afrodescendiente ha preservado sus tradiciones ancestrales a lo largo de los años. La música y la danza son elementos centrales en la vida cotidiana de la comunidad, con géneros musicales como el currulao y la marimba de chonta, que se interpretan durante festividades y celebraciones especiales. Asimismo, las prácticas religiosas tradicionales, como las festividades de la Santísima Trinidad y la Semana Santa, son elementos fundamentales de la identidad cultural de la región.

Para desarrollar un modelo de vivienda que respetara y reflejara esta rica herencia cultural, fue esencial llevar a cabo un diálogo social y participativo en la etapa de planeación y diseño arquitectónico. Este proceso involucró al consejo comunitario, maestros de obra y los habitantes de la vereda en general, quienes estuvieron interesados en conservar la identidad cultural a través de la construcción de viviendas tradicionales.

Con el objetivo de establecer una relación más cercana con las familias de la comunidad, se llevó a cabo un recorrido en canoa. Este recorrido permitió no solo conocer el territorio desde la perspectiva de sus habitantes, sino también visitar cada una de las viviendas para dialogar directamente con sus residentes. Durante estas visitas, se presentó el proyecto y se aplicó una encuesta exploratoria para comprender en mayor profundidad su forma de vida, sus dinámicas sociales y sus necesidades (Anexo A). La comunidad mostró una actitud amable, cooperativa y entusiasta, participando activamente en el proceso y expresando sus expectativas con respecto al proyecto. Esta interacción fue clave para obtener insumos que fundamentarán un diseño arquitectónico acorde con la realidad y cultura local.

De esta actividad se concluye que, la vereda San Pablo está conformada por 34 viviendas habitadas en promedio por 5 personas, estimando un total de 170 habitantes.

Mediante esta caracterización, se identificó que uno de los aspectos más relevantes para los habitantes es la inclusión de ventanas en la parte frontal y lateral de la vivienda, lo cual mejora la entrada de luz natural y la ventilación cruzada (.

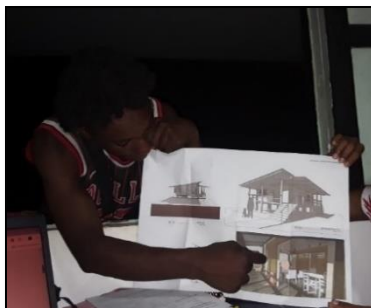
Fotografía 4). Asimismo, la comunidad enfatizó la importancia de mantener el entrepiso elevado para evitar el contacto con el suelo, recomendando el uso de palafitos como sistema de cimentación. Esta solución tradicional, protege las viviendas de la humedad y las inundaciones.

Fotografía 4. Vivienda palafítica con ventanas frontales y laterales



La encuesta No. 1, que consistió en recopilar datos sobre la forma de habitar de los habitantes, sus costumbres, su manera de construir, incluyendo el tamaño de los espacios y dimensiones de los elementos, fue el insumo principal para la elaboración del diseño arquitectónico preliminar, el cual fue socializado con la comunidad, para garantizar su participación en la proyección de la vivienda VIC (Fotografía 5). Durante la socialización se resolvieron diversas inquietudes de la comunidad respecto a la propuesta, destacándose las relacionadas con el ingreso de agua durante lluvias con vientos fuertes. Se explicó que la pendiente definida y los detalles constructivos de los elementos evitarían filtraciones, incluso bajo condiciones adversas. En general, el modelo presentado fue bien recibido por la comunidad, lo que valida su pertinencia con las expectativas locales y la metodología de vivienda VIC. En el Anexo B se presentan los resultados de la encuesta, que demuestran la aceptación por parte de la comunidad.

Fotografía 5. Socialización del modelo Arquitectónico.



8.8 Planeación, diseño y espacios de habitación

La planeación y diseño de las viviendas deben garantizar espacios adecuados para el desarrollo de la vida familiar y comunitaria. La Ley 2079 enfatiza la importancia de generar entornos habitables que no solo ofrezcan refugio, sino también bienestar y funcionalidad. La distribución de los espacios debe responder a las necesidades de las familias, permitiendo la privacidad, la iluminación natural y la ventilación. Además, se deben considerar áreas de uso común, zonas verdes y espacios recreativos para fortalecer la integración social. Un buen diseño no solo impacta la estética de la vivienda, sino también su eficiencia energética y su costo de mantenimiento. Invertir en una planeación adecuada garantiza un hábitat más digno y sostenible a largo plazo.

Al hacer un recorrido en la vereda de San Pablo y completar la encuesta No. 1, fue posible identificar que, al construir sus viviendas, las familias de la comunidad seleccionan cuidadosamente la ubicación, evitando terrenos con playas muy pronunciadas, ya que, en temporada seca, estas zonas pueden quedar alejadas del río, dificultando el acceso al agua. Asimismo, prefieren evitar áreas propensas a derrumbes severos, priorizando terrenos más estables que garanticen la seguridad de la estructura.

Las viviendas se construyen cerca al río porque se necesita el agua para satisfacer las necesidades domésticas, además, utilizan específicamente el Río San Juan de Micay y sus afluentes como ruta de transporte acuática. El río principal tiene tres afluentes: El río Jolí, El río Chuare y el río Sigui.

Es importante mencionar que los medios de transporte acuático son los únicos utilizados para el transporte a través del municipio, debido a que no existen carreteras transitables (Fotografía 6 y Fotografía 7).

Fotografía 6. Embarcaciones para el transporte en el río



Fotografía 7. Lancha de cabotaje para el transporte de mercancía



El caudal del río, que alcanza un promedio de $280 \text{ m}^3/\text{s}$, puede incrementarse significativamente durante la temporada de lluvias, llegando a superar los 6 metros por encima de su nivel habitual. Esta condición hidrológica representa un riesgo considerable para las construcciones cercanas,

especialmente aquellas ubicadas en zonas bajas o próximas a la ribera, lo que ha influido en las estrategias locales de asentamiento y diseño constructivo (UNGRD, 2025).

En general, los palafitos tienen una altura promedio total de 3 metros, de los cuales aproximadamente 1.5 metros están enterrados en el suelo para proporcionar estabilidad, mientras que los 1.5 metros restantes se elevan sobre el nivel del terreno (Fotografía 8). Como se ha mencionado esta elevación es fundamental para mitigar los efectos de la humedad y prevenir inundaciones, permitiendo que el agua fluya libremente durante las crecidas sin comprometer la estructura habitable. Los palafitos cumplen una función clave como sistema de cimentación, ofreciendo resistencia a las variaciones del nivel del agua y garantizando la seguridad de la construcción.

Fotografía 8. Estructura palafítica



En cuanto a la distribución de espacios, las habitaciones suelen ser espacios de dimensiones aproximadas de 2×3 m y 3×5 m. La vivienda cuenta con habitaciones, sala, baño, cocina y fogón, (Figura 9) este último ubicado en la parte trasera y separado de la cocina por una o dos paredes. Esta disposición permite una ventilación adecuada, evitando que el humo se propague al resto de la vivienda (Fotografía 9 y Fotografía 10).

Fotografía 9. Parte interna de una vivienda



Fotografía 10. Zona del Fogón



La cubierta de la vivienda, por lo general, cuenta con al menos dos aguas, lo que favorece el rápido desalojo del agua de lluvia, evitando filtraciones y reduciendo problemas de humedad en el interior. Este diseño responde a las condiciones climáticas de la zona, asegurando la durabilidad y confort de la vivienda en un entorno húmedo y propenso a precipitaciones constantes.

Figura 9. Distribuciones típicas de las viviendas en San Pablo



8.9 Técnicas Constructivas, sistemas constructivos, Construcción

La selección de técnicas y sistemas constructivos influye directamente en la durabilidad y seguridad de las viviendas. La Ley 2079 incentiva el uso de métodos eficientes y sostenibles, que permitan construir de manera rápida y económica sin comprometer la calidad. Asimismo, es importante aprovechar la tecnología sin dejar de lado los conocimientos tradicionales de cada región. La combinación de innovación y experiencia local permite construir viviendas resistentes a sismos, inundaciones y otras amenazas naturales. Aplicar técnicas constructivas apropiadas garantiza edificaciones más seguras y confortables para las familias beneficiadas.

A continuación, se describe el proceso constructivo de una vivienda palafítica en la vereda de San Pablo, detallando cada etapa desde la selección del terreno hasta la construcción de la cubierta.

8.9.1 Ubicación y limpieza del terreno:

La selección del terreno es un aspecto clave en el proceso constructivo. Se priorizan áreas libres de humedad, alejadas de zonas bajas propensas a inundaciones y de terrenos con alta

susceptibilidad a derrumbes. En caso de riesgo de deslizamientos, se recomienda construir a mínimo 100 metros de la orilla, ya que los derrumbes pierden fuerza con el tiempo y la distancia. Una vez definido el terreno, se realiza la limpieza del área, eliminando maleza y árboles grandes para garantizar un espacio adecuado para la cimentación.

8.9.2 Cimentación

La cimentación es un proceso fundamental que consta de dos elementos principales:

Bamba: Pieza de madera de aproximadamente 60×60 cm y un espesor de 7 cm, colocada en el fondo de la excavación para distribuir cargas.

Horcón: Poste de madera con una altura de 3 metros, de los cuales 1.5 metros permanecen enterrados para garantizar estabilidad y 1.5 metros sobresalen, elevando la vivienda sobre el nivel del suelo (Fotografía 11).

Fotografía 11. Horcones de una vivienda



Instalación de Horcones: Los horcones, que funcionan como pilares estructurales, se ubican con una separación aproximada de 3 metros entre sí. Durante su instalación, se utilizan "atraques", que consisten en piezas de madera que evitan movimientos indeseados y garantizan su correcta compactación con el suelo. En muchas ocasiones, los horcones se dejan en reposo entre uno y tres meses, permitiendo que el terreno y la madera se estabilicen antes de continuar con la construcción.

8.9.3 Instalación de Vigas de Entrepiso (Madres)

Sobre los horcones se instalan las vigas principales, conocidas como "madres". Para mejorar la conexión estructural, se realiza una muesca en el horcón, permitiendo una mejor unión con la viga (Fotografía 12).

Fotografía 12. Madres en la estructura



8.9.4 Instalación de Viguetas (Sobre Madres)

Las viguetas, también llamadas "sobre madres", se colocan sobre las madres con una separación adecuada según el tipo de madera y las cargas a soportar. Estas piezas alcanzan hasta 10 metros de longitud, con voladizos de 1 metro (Fotografía 13).

Fotografía 13. Sobre madres en la estructura



8.9.5 Instalación de Columnas

Las columnas tienen una altura de 2.3 a 2.5 metros y se alinean con los horcones perimetrales. Posteriormente, se agregan parales (estructuras de menor dimensión) para subdividir los espacios interiores y soportar las paredes de la vivienda (

Fotografía 14).

Fotografía 14. Columnas en la estructura.



8.9.6 Instalación de Vigas y Viguetas de Cubierta

Vigas de cubierta: Se instalan sobre las columnas y se extienden 1 metro más allá de las madres, generando un voladizo de 50 cm en cada lado para proteger la estructura de la lluvia.

Viguetas de cubierta (Sobre Vigas): Se ubican sobre las vigas y se extienden al menos 1 metro más allá de las sobre madres, proporcionando mayor protección a las paredes contra la intemperie (

Fotografía 15).

Fotografía 15. Vigas y sobre vigas



8.9.7 Instalación de Correas y Varas

Las correas se construyen con secciones de 3×2 cm que recorren la estructura en sentido longitudinal, conectando las sobre vigas (Fotografía 16).

Las varas son elementos similares a las correas que se sujetan mediante "pericotos", optimizando la estabilidad de la cubierta. Los pericotos son elementos verticales que permiten darle inclinación a la cubierta (Fotografía 17).

Fotografía 16. Varas y correas



Fotografía 17. Pericotero



8.9.8 Instalación del Piso

El piso se compone de elementos de madera de 1 o $1 \frac{1}{2}$ pulgada de espesor y un ancho de 10 pulgadas (Fotografía 18). Antes de su instalación, se colocan chanclores o piezas transversales de madera para nivelar y reforzar la estructura.

Fotografía 18. Piso de una vivienda.



8.9.9 Pared

Las paredes se construyen con madera de 10 pulgadas de ancho y $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor, fijadas a los parales mediante clavos (Fotografía 19). En los últimos años, se ha incorporado el uso de super-board, el cual se fija con tornillos para mayor resistencia (Fotografía 20).

Fotografía 19. Pared en madera



Fotografía 20. Pared de super-board



8.9.10 Cubierta

Principalmente se utilizan dos tipos de cubierta en la región: de Culata y Boca de Horno (

Tabla 5).

Tabla 5. Tipo de cubiertas

Cubierta de Culata: Tiene tres aguas (dos laterales y una frontal), evitando la entrada de lluvia impulsada por el viento.	
Cubierta de Boca de Horno: Posee dos aguas, lo que puede permitir la entrada de agua en lluvias con viento fuerte.	

Dado que López de Micay es una de las zonas más lluviosas de Colombia, se recomienda el uso de cubiertas con al menos dos aguas, reduciendo la acumulación de humedad en las paredes. Además, las vigas y viguetas de cubierta suelen ser de mayor longitud que las del entrepiso, asegurando la protección de las paredes.

8.9.11 Observaciones generales

Algunas consideraciones generales de la estructura se describen a continuación:

- Las uniones estructurales principales se realizan mediante ensambles a media madera y se refuerzan con clavos (Fotografía 21 y Fotografía 22).

- Los horcones se dejan en reposo durante algunas semanas tras su instalación, permitiendo una mejor compactación con el terreno.
- La madera se corta en la fase lunar menguante, ya que los locales reconocen que al cortarla en luna llena será más propensa a la infestación por broma (insecto que perfora la madera).
- El tipo de madera determina el tiempo de reposo antes de su uso. Algunas especies, como mangle y nato se utilizan recién aserradas, ya que con el tiempo se endurecen y dificultan su clavado.
- El fogón es un espacio importante para la vivienda tradicional, y se construye usualmente en un espacio independiente (
-
-
- Fotografía 23).

Fotografía 21. Unión columna- viga

Fotografía 22. Unión horcón- madre



Fotografía 23. Construcción de la zona del fogón



En la Tabla 6 se presenta la variedad de especies de madera utilizadas en la construcción tradicional de viviendas en la vereda San Pablo. Estas maderas se seleccionan según la función estructural o de cerramiento que cumplen en la vivienda. Por ejemplo, para los horcones o palafitos se emplean especies como el mispero, guayacán, mangle y zaupe, reconocidas por su resistencia y durabilidad. Asimismo, maderas como el chanul, laurel, machare y mangle son comúnmente utilizadas en elementos estructurales como vigas y columnas, mientras que otras como el querre amarillo, canul, perena y caimito son utilizadas para los pisos.

Tabla 6 .Madera utilizada para la construcción de viviendas en la vereda San Pablo

Característica	Tipo de madera
Palafito (Horcón)	Míspero, Guayacán, Mangle, Zaupe
Bamba	Nato, Guayacán, Mangle, Cedro
Piso	Querré amarillo, Canul, Perena, Nato, Machare, Caimito
Paredes	Machare, Tangare, Sajo, Cedro
Vigas	Chanul, Laurel, Mangle, Machare
Columnas	Chanul, Laurel, Mangle, Machare
Correas	Cedro, Mangle, Machare
Varas	Cedro, Mangle, Machare
Cielorraso	Peinemono, Cedro

8.10 Técnicas Productivas, asociadas a cadenas productivas.

Vincular la vivienda con actividades productivas es clave para fortalecer la economía de las comunidades. La Ley 2079 resalta la importancia de integrar la producción local en los proyectos de vivienda, fomentando la autogestión y el desarrollo económico. En zonas rurales, por ejemplo, las viviendas pueden incluir espacios para huertas familiares, cría de animales o talleres de producción artesanal. En contextos urbanos, se pueden promover modelos de vivienda productiva que integren comercio o trabajo en casa. Al alinear la vivienda con las dinámicas económicas de la comunidad, se generan oportunidades de empleo y se mejora la autosuficiencia de los hogares. Los habitantes del corregimiento de Noanamito se dedican a diversas actividades económicas, entre las que destacan la agricultura, la pesca, el transporte fluvial mediante lanchas de cabotaje y lanchas rápidas de fibra para el traslado de personas, así como la docencia.

8.10.1 Actividad económica

La economía de este municipio se basa principalmente en la agricultura, la pesca y la minería artesanal. En la vereda San Pablo la principal actividad económica es la agricultura. Entre los cultivos destinados a la comercialización local, sobresalen la papa chica y la caña (

Fotografía 24). La caña se utiliza para la producción de miel y para su destilación en viche, una bebida artesanal tradicional que para su producción requiere leña derivada del mangle (Fotografía 25).

Fotografía 24. Cultivo de caña



Fotografía 25. Mangle para uso de leña para la destilación



Otro cultivo de gran importancia es el coco (Fotografía 26), sin embargo, su producción no se realiza directamente en la vereda sino en las zonas costeras. La experiencia de los habitantes ha demostrado que el coco prospera mejor en suelos cercanos al mar, lo que ha llevado a los agricultores a establecer estos cultivos en dichas áreas.

Fotografía 26. Coco para ser transportado al Valle del Cauca



8.11 Mano de obra local

El uso de mano de obra local en los proyectos de vivienda fomenta el empleo y el fortalecimiento comunitario. La Ley 2079 impulsa la capacitación de pobladores en técnicas de construcción, permitiéndoles participar activamente en el desarrollo de sus propias viviendas. Este enfoque no solo reduce costos, sino que también crea sentido de pertenencia y empoderamiento de los saberes tradicionales.

Las viviendas de esta comunidad son construidas por sus propios habitantes, quienes aplican técnicas tradicionales transmitidas de generación en generación. Dentro de la comunidad, el maestro de obra más reconocido es Otoniel Viveros, ampliamente valorado por la calidad de su trabajo y su compromiso con cada proyecto, siendo un referente de la construcción de viviendas palafíticas. La mano de obra local no cuenta con formación técnica formal; sus conocimientos han sido adquiridos empíricamente a través de la experiencia directa y el aprendizaje entre pares, sin haber salido de la zona para capacitarse. En este contexto, la realización de este proyecto con autoría de una estudiante de ingeniería civil perteneciente a la comunidad representa un avance técnico para las construcciones de la zona y genera expectativas respecto a la mejora de sus prácticas constructivas y al fortalecimiento de sus saberes tradicionales.

Resaltando el trabajo de la mano de obra local, en este informe se incluyen fotografías de viviendas construidas por el maestro Otoniel Viveros, que evidencian tanto la riqueza del conocimiento ancestral como las oportunidades para su articulación con criterios técnicos actuales (

Fotografía 27 y Fotografía 28).

Fotografía 27. Vivienda construida por Otoniel Viveros



Fotografía 28. Vivienda en Proceso de construcción



8.12 Costos

El acceso a la vivienda digna no debe ser inaccesible para las familias de bajos recursos. La Ley 2079 busca reducir costos mediante el uso de materiales locales, técnicas eficientes, mano de obra local y financiamiento accesible.

Según la opinión y experiencia de algunos habitantes de San Pablo, el costo de una vivienda pequeña construida principalmente en madera oscila entre 20 y 30 millones de pesos. Este valor puede aumentar hasta 100 o 140 millones si se opta por un sistema tradicional de mampostería o concreto reforzado, debido al alto costo del flete para el transporte de los materiales.

9 PROPUESTA ARQUITECTÓNICA PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE

La propuesta preliminar del diseño arquitectónico fue elaborada por el estudiante de arquitectura Sebastián Cadena, bajo la supervisión del arquitecto y docente Javier Barrera Guzmán, ambos vinculados a la Universidad del Cauca. El modelo fue desarrollado a partir de los insumos técnicos y socioculturales proporcionados por este proyecto, incluyendo los resultados de las encuestas

aplicadas en la comunidad, material fotográfico, videos, y retroalimentación obtenida mediante los procesos de participación comunitaria.

Es importante mencionar que, debido a la falta de financiamiento del proyecto no fue posible coordinar salidas de campo junto con los diseñadores; por tanto, el modelo arquitectónico se construyó con base en la información suministrada desde el territorio, lo cual resalta el valor del trabajo colaborativo y la capacidad de traducción espacial de las necesidades y costumbres locales en una propuesta arquitectónica coherente con el contexto.

El modelo plantea una vivienda palafítica que responde a las condiciones climáticas y geográficas de la región, incorporando elementos funcionales y sostenibles. En planta, la vivienda contempla tres habitaciones, sala, cocina, comedor, baño, una zona destinada a la recolección de aguas lluvias, así como un pasillo frontal y otro lateral que favorecen la circulación y ventilación cruzada (

Figura 10).

Figura 10. Vista en planta del modelo arquitectónico

no solo cumple una función climática y ambiental, sino que también aporta a la sostenibilidad del modelo habitacional propuesto.

Figura 11. Vista 3D del modelo



Fuente: Propuesta desarrollada por Sebastián Cadena

Asimismo, se incorporaron puertas móviles y ventanas ubicadas en las fachadas frontal y lateral, lo cual mejora la ventilación e iluminación natural (Figura 12). La vivienda cuenta con dos accesos mediante escaleras: una ubicada en la parte frontal y otra en la parte trasera, lo que facilita el ingreso desde distintos puntos y mejora la conectividad con el entorno inmediato.

Esta propuesta representa un punto de partida en la construcción de un modelo de vivienda ecosostenible adaptado a las dinámicas y conocimientos del territorio, integrando elementos tradicionales y criterios técnicos actuales.

Figura 12. Vista interna del modelo



Fuente: Propuesta desarrollada por Sebastián Cadena

El diseño arquitectónico final, que integra los ajustes realizados tras el desarrollo del modelo estructural, se presenta en el Anexo E. Estos ajustes fueron elaborados por el arquitecto Daniel SantaCruz, con base en la propuesta preliminar desarrollada por Sebastián Cadena. Su intervención permitió afinar aspectos técnicos del modelo y garantizar una mayor coherencia entre las dimensiones estructurales y las soluciones arquitectónicas, manteniendo siempre el enfoque ecosostenible y contextual propuesto desde el inicio del proyecto.

10 PROPUESTA ESTRUCTURAL PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE

Siguiendo los requisitos de Título G de la NSR -10, el diseño estructural de la vivienda palafítica se llevó a cabo utilizando el método de esfuerzos de trabajo para estructuras en madera. Según las definiciones del capítulo G.9, se definió como sistema estructural el de poste y viga, usando secciones en madera estructural aserrada. Para realizar el análisis sísmico se usaron el método de la fuerza horizontal equivalente (F.H.E) y el espectro de diseño definido en la sección A.2.6 de la

NSR-10. La evaluación de cargas gravitacionales se realizó para una estructura de un piso con cubierta liviana y un sistema de entrepiso elevado conformado por elementos en madera. El proceso de cálculo y modelado estructural se realizó mediante el uso del software SAP2000 y hojas de cálculo en Excel.

El modelo estructural se conformó a partir elementos (poste-viga) unidos por nudos articulados y se dividió la estructura en dos partes principales:

1. Cimentación palafítica: Constituida por horcones de madera que elevaron la vivienda sobre el nivel del suelo 1.5 metros. Este tipo de cimentación fue seleccionada debido a que el proyecto se ubica en una zona propensa a inundaciones, lo que hace necesario mantener el nivel habitable por encima de posibles crecidas del río Micay. En el modelo estructural, se usaron resortes con rigidez lateral y horizontal de $4116,92 \text{ kN/m/m}^2$ y $2925,00 \text{ kN/m/m}^2$, respectivamente. Estos valores fueron obtenidos de un estudio de suelos realizado en la vereda de Noanamito, de condiciones similares a las encontradas en la vereda San Pablo (Figura 13). Sin embargo, se aclara que es necesario validar la información con un estudio de las condiciones locales de esta vereda.
2. Estructura superior: Formada por un sistema de postes y elementos horizontales, que proporcionaron la rigidez y resistencia necesarias ante cargas gravitacionales y laterales. Además, se implementó un sistema de arriostramiento con diagonales entre los postes, con el fin de asegurar la estabilidad ante cargas laterales y cumplir con los lineamientos arquitectónicos del proyecto.

Figura 13. Estudio de suelo del corregimiento de Noanamito

CONTIENE

INFORME DE SUELOS Y GEOTÉCNICO

OBJETO:

CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL CORREGIMIENTO
DE NOANAMITO MUNICIPIO DE LÓPEZ DE MICAY – CAUCA.

REPÚBLICA DE COLOMBIA

DEPARTAMENTO DEL CAUCA

MUNICIPIO DE LÓPEZ DE MICAY

CORREGIMIENTO DE NOANAMITO

Tabla 22. Módulos de reacción para elementos superficiales

Descripción del Terreno	Z(m)	Peso Específico (γ)	E	Kv	Kh
		(KN/m3)	Kpa	KN/m3	KN/m3
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	1.00	18.00	3900.00	4116.92	2925.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	2.00	18.00	4200.00	4433.61	3150.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	3.00	18.00	3900.00	4116.92	2925.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	4.00	18.00	4800.00	5066.98	3600.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	5.00	18.00	5100.00	5383.67	3825.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	6.00	18.00	4800.00	5066.98	3600.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	7.00	18.00	6000.00	6333.73	4500.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	8.00	18.00	6900.00	7283.79	5175.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	9.00	18.00	5700.00	6017.04	4275.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	10.00	18.00	5400.00	5700.36	4050.00
Arcilla de baja de plasticidad (CL)	10.30	18.00	6900.00	7283.79	5175.00

10.1 Materiales

Como se había planteado en la caracterización del territorio, el material estructural de diseño es la madera. Tras socializar con la comunidad y revisar los tipos de madera contemplados en el Título G de la NSR-10, se determinó que el árbol maderable de fácil acceso para la comunidad es el machare; por lo tanto, esta especie se usó en los elementos de la estructura superior. Para la cimentación palafítica se empleó una especie con mayor densidad y resistencia al agua; en este caso, se utilizó el mangle, ya que es de fácil acceso para los habitantes.

El machare es una madera estructural definida en la NSR-10 como Tipo ES5, por esta razón el diseño se basó en los esfuerzos admisibles presentados en la Tabla G.2.2-1, así como en los módulos de elasticidad de la Tabla G.2.2-2. Por otro lado, dado que el mangle no está definido en la NSR-10, se usaron los valores de esfuerzos admisibles correspondientes aplicando los factores de la Tabla G-A-1 (Tabla 7). Los esfuerzos admisibles de ambas especies usadas en la propuesta estructural se presentan en la Tabla 8.

Tabla 7. Factores de Reducción de Módulo de E y esfuerzos Fi

	MOE	Flexión (F_b)	Compresión Paralela (F_c)	Tensión (F_t)	Compresión perpendicular (F_p)	Corte (F_v)
FC		0.80	-	0.64	-	-
F_d		0.90	-	0.84	-	-
FS		2.00	1.6	2.00	1.6	3.0
FDC		1.60	1.6	1.60	-	1.6
FR_i		0.225	0.39	0.16875	0.625	0.2083
Norma NTC – 301 COV_i	0.22	0.16	0.18	0.16	0.28	0.14
$F_{0.05}$		0.7368 F_b	0.7039 F_c	0.7368 F_t	0.5394 F_p	0.7697 F_v
$F_i = F_R i F_{i0.05}$		0.1660 F_b	0.2745 F_c	0.1245 F_t	0.3371 F_p	0.1600 F_v
$E_{0.5} = \bar{E}$	$E_{0.5}$			MOE módulo de elasticidad $\bar{E} = E_{0.5}$ módulo de elasticidad		
$E_{0.05}$	0.638 $E_{0.5}$	$E_{0.05} = E_{0.5} (1 - 1.645COV_E)$		$E_{0.05}$ módulo de elasticidad longitudinal promedio		
E_{min}	0.96 $E_{0.5}$	$E_{min} = E_{0.5} (1 - 1.645COV_E) \frac{1.03}{F_s = 1.66}$		E_{min} módulo de elasticidad longitudinal 5° percentil		
				E_{min} módulo de elasticidad longitudinal mínimo		

Fuente. (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10., 2010)

Tabla 8. Propiedades mecánicas admisibles de la madera de machare y mangle

Esfuerzo/módulo	Machare	Mangle
	Admisible MPa	Admisible MPa
Esfuerzo admisible a flexión, (F_b)	15	16,6
Esfuerzo admisible a compresión paralela (F_c)	13	21,96
Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, (F_p)	2	----
Esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, (F_t)	11	19,67
Esfuerzo admisible a cortante paralelo a la fibra, (F_v)	1,1	3,52
Módulo de elasticidad promedio longitudinal E_{05}	11200	16600
Módulo de elasticidad al 5° percentil E_{005}	8250	10590,8
Módulo de elasticidad mínimo, longitudinal E_{min}	4435	6573,6

10.1.1 Coeficiente de Poisson y Módulo de corte

El coeficiente de Poisson indica la relación entre la deformación transversal y la deformación longitudinal en un material sometido a carga axial (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficiente de Poisson de la madera

Madera			
Orientación de la muestra	Coeficiente de Poisson relacionado	Coeficiente de Poisson para maderas de baja densidad	Coeficiente de Poisson para maderas de alta densidad
Longitudinal:	v_{LT} e v_{LR}	0.40 ± 0.05	0.43 ± 0.07
Radial:	v_{RT} e v_{RL}	0.25 ± 0.25	0.35 ± 0.30
Tangencial:	v_{TR} e v_{TL}	0.20 ± 0.15	0.18 ± 0.15

Fuente: (SONELASTIC, 2025)

- U_{12} = Relación entre la deformación radial y la carga en la dirección longitudinal.
- U_{13} = Relación entre la deformación tangencial y la carga en la dirección longitudinal.
- U_{23} = Relación entre la deformación tangencial y la carga en la dirección radial.

El módulo de corte (G) fue calculado en función del módulo de elasticidad E y del coeficiente de Poisson ν usando la Ecuación 14; los resultados se presentan en la Tabla 10.

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad \text{Ecuación 14}$$

Tabla 10. Módulo de corte

Orientación	Machare		Mangle	
	Poisson(u)	G (MPa)	Poisson(u)	G (MPa)
RL	0,25	4480,00	0,35	6148,15
TL	0,2	4666,67	0,18	7033,90
TR	0,2	4666,67	0,18	7033,90

10.2 Cargas

La evaluación de las cargas externas gravitacionales en la cubierta y en el entrepiso se indican en la

Tabla 11. En la

Tabla 12 se resume la evaluación de las cargas de viento. Finalmente, en la Figura 14 se presenta el espectro de diseño definido para la vereda San Pablo considerando un suelo tipo D.

Tabla 11. Cargas actuantes

Tipo de carga	Valor
Cargas vivas de cubierta Lr (kN/m ²)	0,5
Cargas vivas de entrepiso L (kN/m ²)	1,8
Carga muerta correspondiente a la cubierta D (kN/m ²)	0,022
Carga muerta correspondiente al cielorraso D (kN/m ²)	0,15
Carga muerta correspondiente a los paneles solares D (kN/m ²)	0,11
Carga muerta correspondiente a otras instalaciones D (kN/m ²)	0.025
Carga de viento W (kN/m ²)	0.40

Tabla 12. Cargas de viento

	Zonas	P10 KN/m ²	Ps KN/m ²
Presiones horizontales	A	0,12	0,1044
	B	-0,05	-0,0435
	C	0,08	0,0696
	D	-0,03	-0,0261
Presiones verticales	E	-0,13	-0,1131
	F	-0,08	-0,0696
	G	-0,09	-0,0783
	H	-0,06	-0,0522

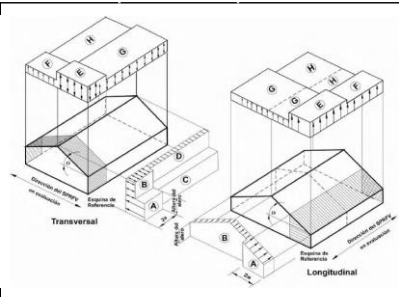
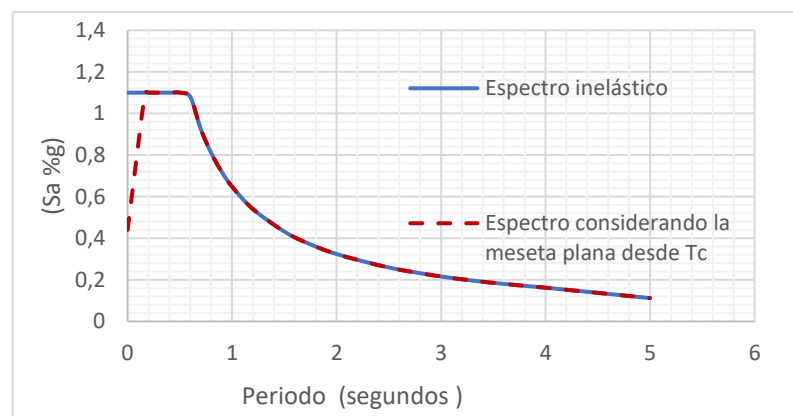


Figura 14. Espectro de diseño

Espectro de diseño NSR-10	
Aa	0,4
Av	0,3
Fa	1,1
Fv	1,8
Cálculo de Ta, Tc, TL	
Ta	0,126
Tc	0,589
TL	4,32

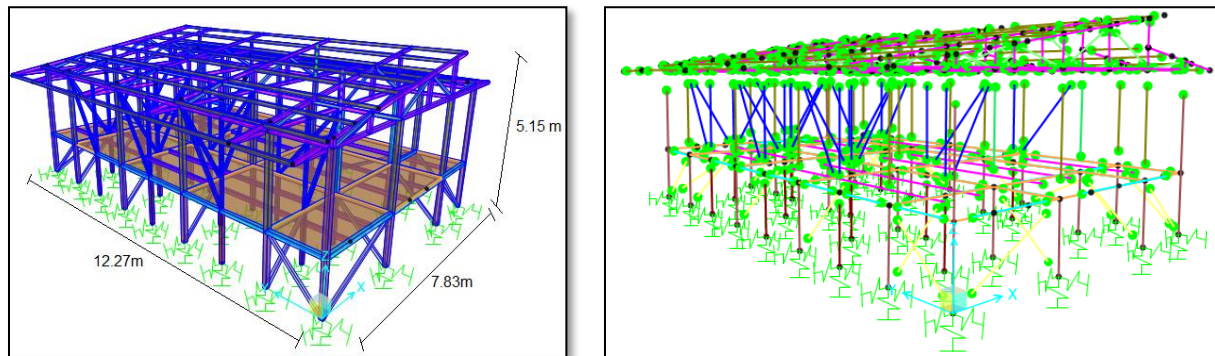


10.3 Modelo estructural

El modelo estructural se definió, con vanos de máximo 3 metros, este se elaboró en el software SAP2000 y para simular las articulaciones se usaron “releases” (Figura 15).

La cimentación se conformó usando palafitos de madera profundizados en el terreno 2 metros y apoyados en resortes lineales, verticales y horizontales, para representar la posible inestabilidad del terreno.

Figura 15. Modelo estructural



Fuente. Elaboración propia con base en resultados de SAP2000

10.4 Resultados del análisis estructural

10.4.1 Seudo aceleración espectral y cortante basal

Periodo de la estructura: Para el modelo estructural se calculó el periodo de vibración teniendo en cuenta la altura de la estructura como lo indica la Ecuación 17 de la sección A.4.2 de la NSR-10.

$$T_a = C_t * h^\alpha \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

C_t y α son valores que dependen del tipo de estructura según la Tabla A.4.2-1

h : es la altura de la edificación

Para la propuesta de diseño: $C_t = 0.0488$, $\alpha: 0.75$, $h = 5,15\text{m}$ y $T_a = 0.167\text{s}$.

A partir del periodo de vibración y del espectro de diseño presentando anteriormente, se calculó una seudo aceleración espectral (S_a) de 1.1%g. Calculando el peso de la estructura con el modelo estructural, fue posible obtener el cortante basal estático definido con la Ecuación 16.

$$V = \frac{W * Sa}{R}$$

Ecuación 16

donde:

V es el cortante basal (kN)

W es el peso total de la estructura, equivalente a 155,95 kN.

R es el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica, tomado como 1 para estructuras de baja capacidad de disipación de energía, como es el caso del modelo estructural propuesto.

$$V = \frac{155,95 * 1,1}{1} = 171.55kN$$

10.4.2 Verificación de las derivas

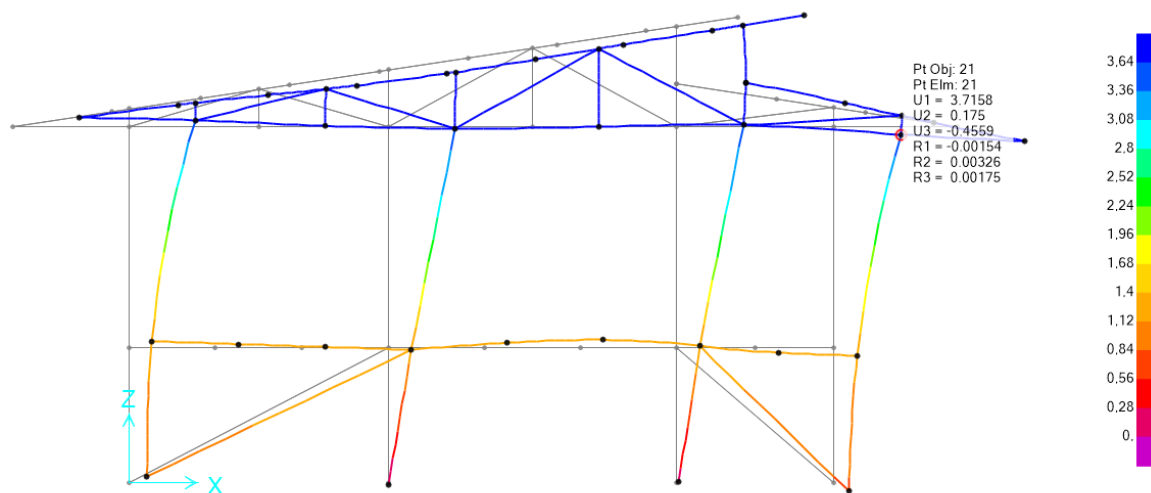
La estructura es de un piso con altura menor a 6.0 metros, por lo tanto, aplica el numeral A.6.4.1.5. A.6.4.1.5 de la NSR-10: “No hay límites de deriva en edificaciones de un piso, siempre que los muros y las particiones interiores y exteriores, así como los cielorrasos se diseñen para acomodar las derivas del piso”.

Aunque la altura máxima de la estructura es de 5,2 metros, se decidió verificar la deriva en ambas direcciones de la estructura, con el fin de limitar los desplazamientos laterales para el control de daños de los elementos no estructurales de cubierta. Según lo indicado, en la

Figura 16 y en la

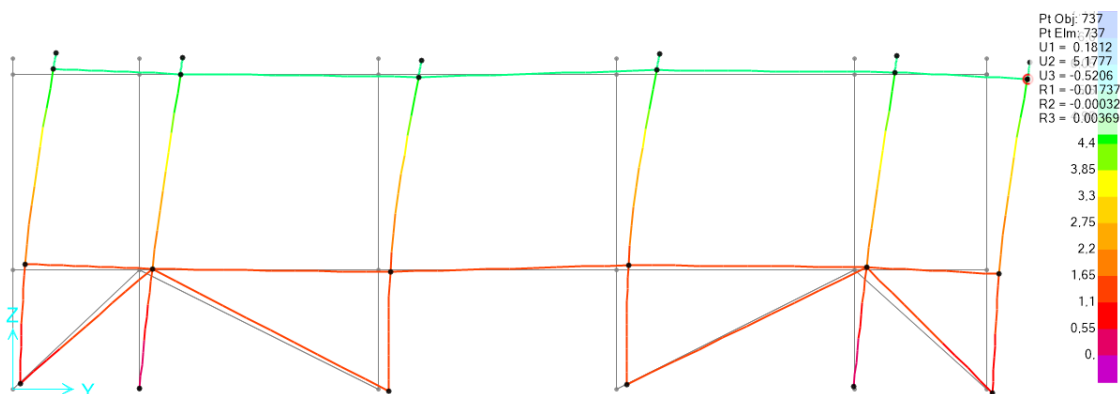
Figura 17, se concluye que la estructura podría presentar un desplazamiento de 3.72 centímetros en la dirección X y de 5.18 centímetros en la dirección Y, valores considerados aceptables para el proyecto.

Figura 16. Deriva máxima en sentido x (centímetros)



Fuente: elaboración propia con base en resultados de SAP2000.

Figura 17. Deriva máxima en sentido y (centímetros)



Fuente: elaboración propia con base en resultados de SAP2000.

10.5 Diseño estructural de elementos en madera

En esta sección se compararon los esfuerzos actuantes en los postes (compresión axial, flexocompresión y pandeo) y en las vigas (flexión, cortante y deflexión) con los valores admisibles establecidos en la NSR-10 (Tabla 14,

Tabla 15). En esta verificación es requerido considerar factores de ajuste que dependen de la especie de madera, el contenido de humedad, la orientación de la fibra, la duración de las cargas, entre otros parámetros definidos en la Tabla 13.

Tabla 13. Parametros para definir los coeficientes de modificación

Duración de la carga	Permanente
Humedad CH%	CH>19%
Temperatura	Mayor o igual a 37,8
Estabilidad de las vigas	Cumpliendo con G.3.3.4.2
Existe acción conjunta	No

Tabla 14. Resumen de coeficientes de modificación y esfuerzos admisibles para el machare

Tipo de esfuerzo	CD	Cm	Ct	CL	Cf	Cfu	Cin	Cr	Cp	Cb	Esfuerzo admisible	Esfuerzo Modificado
Flexión viga Fb (MPa)	0,9	0,75	1	1	1	1	0,8	1			15	8,1
Flexión correas Fb(MPa)	0,9	0,75	1	1	1,15	1	0,8	1			15	9,32
Flexión varas Fb (MPa)	0,9	0,75	1	1	1,1	1	0,8	1			15	8,91
Tensión Ft (MPa)	0,9	0,75	1		1		0,8	1			11	5,94
Compresión Fc ll (MPa)	0,9	0,7	1		1		0,8	1	0,8		13	6,55
Compresión Fp (MPa)		0,8	1				1	1		1	2	1,6
Cortante Fv (MPa)	0,9	0,8	1				0,8	1			1,1	0,63

Tabla 15. Resumen de coeficientes de modificación y esfuerzos admisibles para el mangle

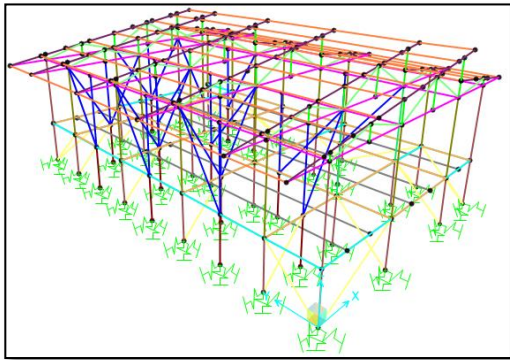
Tipo de esfuerzo	CD	Cm	Ct	CL	Cf	Cfu	Cin	Cr	Cp	Cb	Esfuerzo admisible	Esfuerzo Modificado
Tensión Ft (MPa)	0,9	0,75	1		1		0,8	1			19,67	10,62

Compresión Fc II (MPa)	0,9	0,7	1		1		0,8	1	0,9		21,96	11,07
---------------------------	-----	-----	---	--	---	--	-----	---	-----	--	-------	-------

En la

Figura 18 se indican los elementos para los cuales se presentará el diseño por el método de los esfuerzos admisibles en las siguientes secciones del informe.

Figura 18. Elementos de la estructura

	Figura 18. Elementos de la estructura				
	Nombre	Material	Altura (in)	Ancho (in)	Color
	Correas	Machare	3,5	3	Yellow
	Varas	Machare	4	3	Purple
	Vigas de Cubierta	Machare	4	3	Pink
	Vigas de Entrepiso	Machare	4	4	Cyan
	Viguetas	Machare	4	3	Grey
	Columnas	Machare	5	5	Olive
	Horcon	Mangle	5	5	Brown
	Diagonales de cubierta	Machare	3	2	Green
	Diagonales de muros	Machare	3	3	Blue
	Diagonales de la cimentación	Mangle	3	3	Light Yellow

Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

10.5.1 Diseño de elementos solicitados por flexión

1. Deflexión

La flexión es uno de los parámetros más críticos en el diseño de estructuras de madera, debido a la naturaleza del material y su comportamiento ante cargas aplicadas. Según lo indicado en el apartado G.3.2 de la NSR-10, es obligatorio verificar el efecto de distintos tipos de carga sobre los elementos estructurales. En este análisis, se consideran los siguientes casos de carga:

- Carga viva: según el uso residencial de la edificación.
- Carga debido al viento: considerando las condiciones climáticas de la zona.
- Cargas totales: que incluyen el peso propio, cargas muertas y las combinaciones requeridas por la norma.

Los resultados del chequeo de deflexión para cada uno de estos casos se presentan en la Tabla 16, donde se detallan los esfuerzos máximos, las deformaciones admisibles y el cumplimiento de los elementos estructurales frente a los requisitos normativos.

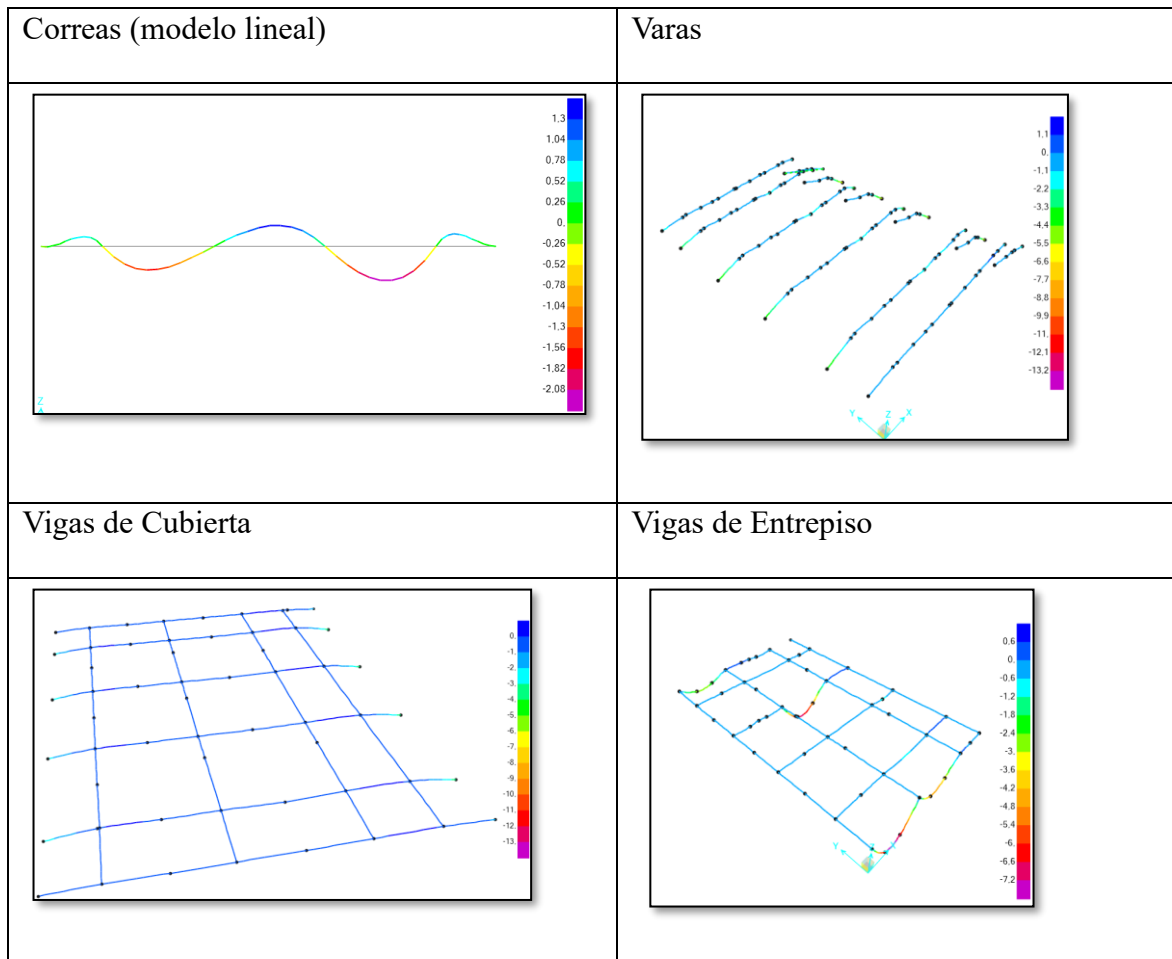
En la Figura 19, se presentan los diagramas de deflexiones bajo la combinación de cargas diferidas $1,8D + L$. Para el caso de la correa se realizó un modelo lineal por este caso es más representativo.

Tabla 16. Resumen de las deflexiones de los elementos

Característica	Correas	Varas	Vigas de Cubierta	Vigas de Entrepiso
Luz (mm)	3000	1600	3000	1500
Base d (mm)	88,9	101,6	101,6	101,6
Altura b (mm)	76,2	76,2	76,2	76,2
Deflexión admisible bajo carga viva (mm)	10	5,33	8,3	5
Deflexión máxima bajo carga viva (mm)	9,9	3,1	0,5	2,52
Deflexiones admisibles bajo carga de viento (mm)	12,5	6,67	---	6,25
Deflexión máxima bajo carga de viento (mm)	2,2	0,56	---	0,57
Deflexión admisible bajo cargas totales (mm)	12,5	6,67	10	6,25
Deflexión máxima bajo cargas totales				
Deflexión inmediata(mm)	8,7	4,4	4,4	4,5

Deflexión diferida (mm)	11,6	6,6	7,5	6,1
-------------------------	------	-----	-----	-----

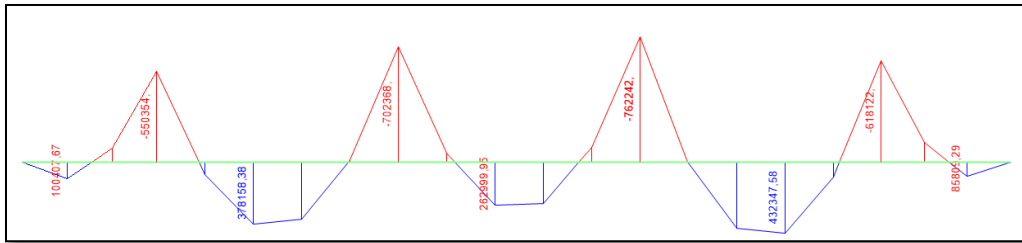
Figura 19. Diagrama de deflexión diferidas de los elementos



2. Flexión, contante y aplastamiento

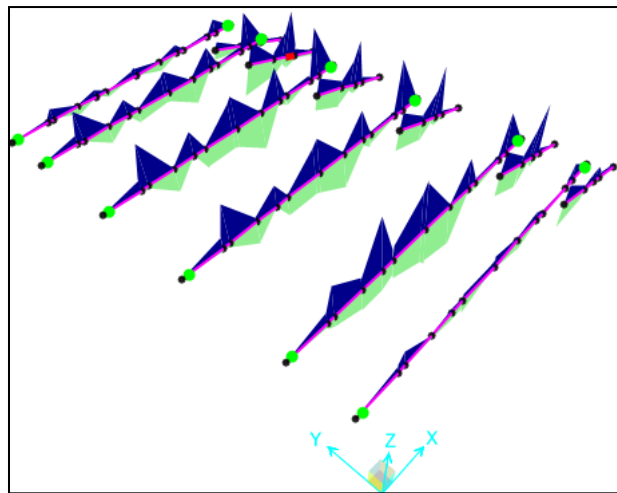
Varas y correas: En la Figura 20 y Figura 21 se presentan los diagramas de momento flector correspondiente a las correas y a las varas. El tramo de la correa que genera el momento máximo negativo se indica en color rojo y corresponde a la correa 6 (COR6). Por otro lado, en la se detallan los esfuerzos admisibles y los esfuerzos máximos actuantes, así como la combinación de carga que produce dichos esfuerzos.

Figura 20. Diagrama de momento de las correas



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Figura 21. Diagrama de momento de las varas



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Tabla 17. Resumen de los esfuerzos máximos en las varas y correas

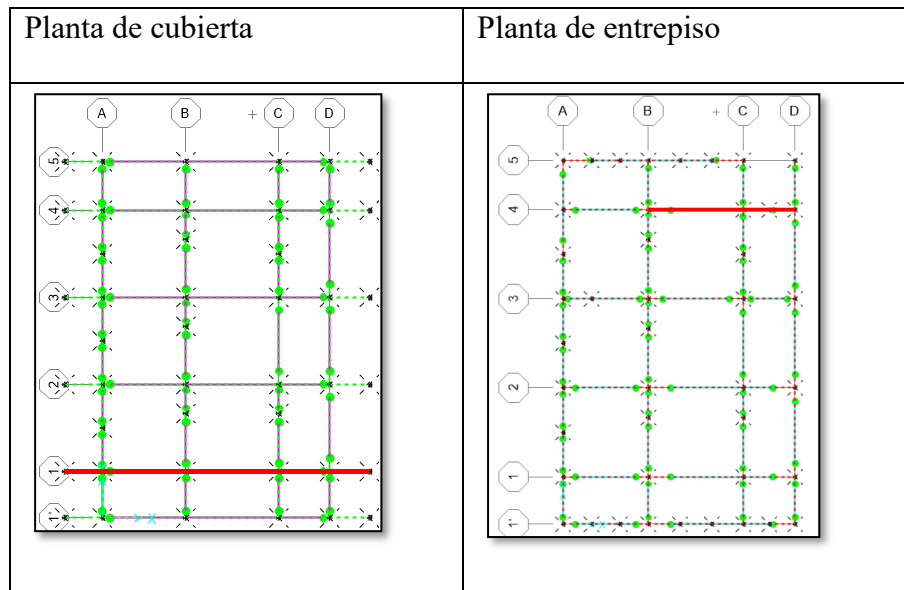
	Esfuerzos	Sección (in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Correas	Flexión Fb (MPa)	3,5*3	9,32	7,85	D + 0.75W +0.75L + 0.75Lr
	Momento (N-mm)	3,5*3	934953,69	788094,26	D + 0.75W +0.75L + 0.75Lr
	Cortante Fv (MPa)	3,5*3	0,63	0,36	D + 0.75W +0.75L + 0.75Lr
	Aplastamiento (MPa)	3*3	1,6	0,36	D - Sy - 0.3Sx
Var	Flexión Fb	4*3	8,91	6,71	D + 0.75W +0.75L +

(N/mm ²)				0.75Lr
Momento (N-mm)	4*3	1168069,92	879395	D + 0.75W + 0.75L + 0.75Lr
Cortante Fv (MPa)	4*3	0,63	0,52	D + 0.75W + 0.75L + 0.75Lr
Aplastamiento (MPa)	5*3	1,6	1,45	D - Sx + 0.3Sy
Aplastamiento (MPa)	4*3	1,6	0,71	D + 0.75(Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr

- Vigas y viguetas: Las vigas que generan los mayores momentos se pueden apreciar en la
-
-

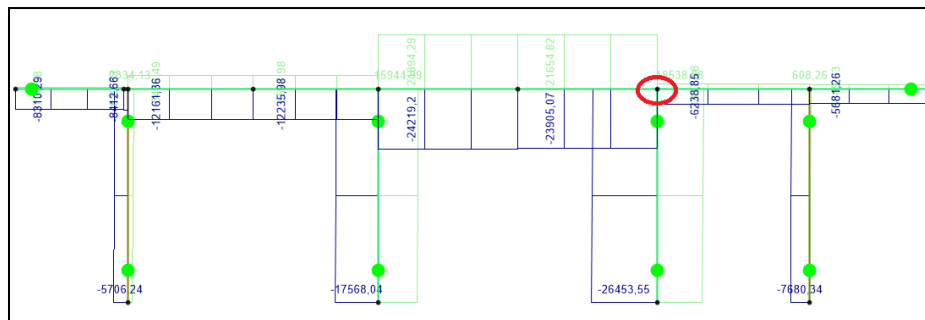
- Figura 22, los diagramas con los elementos que generan la mayor fuerza axial se muestran en las figuras: Figura 23, Figura 24, Figura 25; por otro lado los valores de esfuerzos actuantes y admisibles se resumen en la Tabla 18.

Figura 22. Vigas que generan el mayor momento.



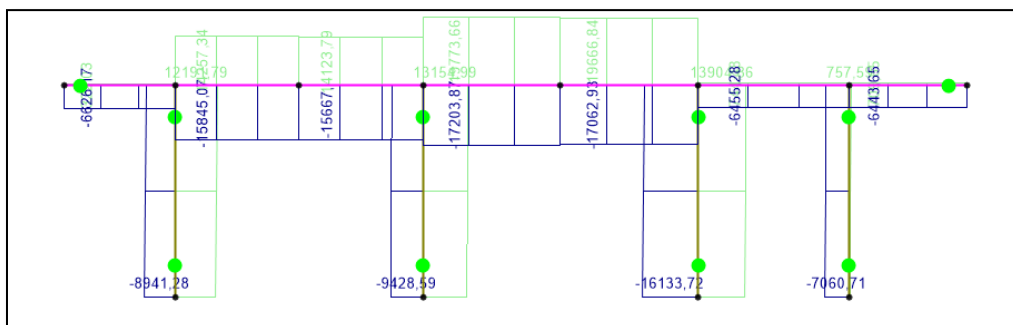
Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Figura 23.. Diagrama de fuerza axial de vigas de cubierta y columnas de pórtico del eje 1



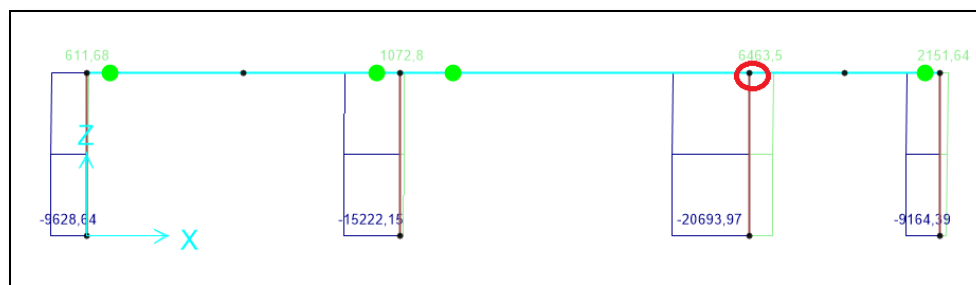
Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Figura 24. Diagrama de fuerza axial de vigas de cubierta y columnas de pórtico del eje 3



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Figura 25. Diagrama de fuerza axial de vigas de entrepiso y los palafitos del eje 4



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Tabla 18. Resumen de los esfuerzos máximos en las vigas y viguetas

	Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Vigas de cubierta	Flexión Fb (MPa)	4*3	8,91	5,06	D - Sx + 0.3Sy
	Momento (N-mm)	4*3	1061881,75	663315,39	D - Sx + 0.3Sy
	Cortante Fv (MPa)	4*3	0,63	0,03	D - Sx - 0.3Sy
	Aplastamiento (MPa)	5*3	1,6	1,44	D - Sy + 0.3Sx
	Aplastamiento (MPa)	6*3	1,6	1,58	D - Sy + 0.3Sx
Vigas de entrepiso	Flexión Fb (MPa)	4*4	8,1	3,1	D - Sx + 0.3Sy
	Momento (N-mm)	4*4	2765317,05	1056886,8	D - Sx + 0.3Sy
	Cortante Fv (MPa)	4*4	0,63	0,11	D - Sx + 0.3Sy
	Aplastamiento (MPa)	5*4	1,6	0,5	D - Sy + 0.3Sx
Viguetas	Flexión Fb (MPa)	4*3	8,91	4,82	D + 0.75(Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr
	Momento (N-mm)	4*3	1168069,92	6659702,8	D + 0.75(Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr
	Cortante Fv (MPa)	4*3	0,63	0,06	D + 0.75(Sx + 0.3Sy) + 0.75L + 0.75Lr
	Aplastamiento (MPa)	4*3	1,6	0,02	D - Sy + 0.3Sx

3. Piso

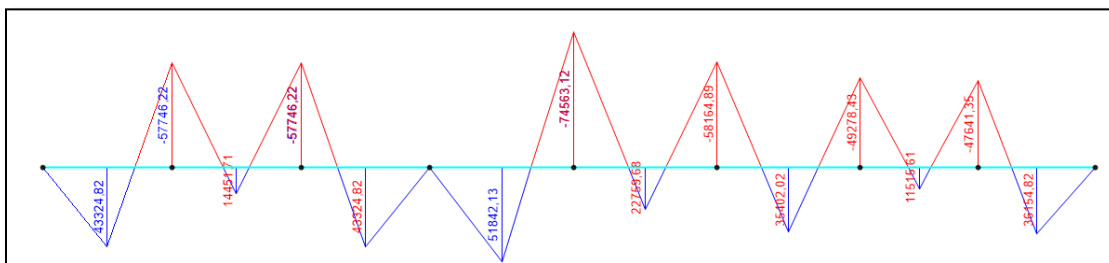
El piso de la estructura se propone en tablas elaboradas con machare de 1 pulgadas de espesor y 30 centímetros de ancho. Esta sección típicamente usada se considera adecuada para resistir los esfuerzos de flexión generados por las cargas vivas y muertas que actúan sobre el sistema de entrepiso.

En la Tabla 19 se presentan los esfuerzos máximos actuantes en el piso, y en la Figura 26 y Figura 27 se indican los diagramas de flexión y cortante para un modelo de un elemento lineal con apoyos continuos.

Tabla 19. Resumen de los esfuerzos máximos en las tablas de piso

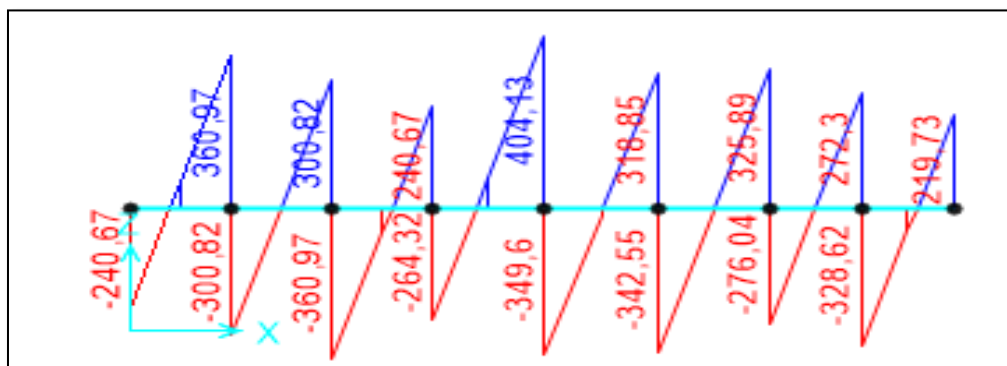
Esfuerzos	Sección(cm)	Admisible	Actuante
Flexión Fb (MPa)	30*2,54	8,10	2,48
Momento (N-mm)	30*2,54	587902,05	74563,12
Cortante Fv (MPa)	30*2,54	0,63	0,082

Figura 26. Diagrama de flexión en las tablas de piso en N-mm



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

Figura 27. Diagrama de cortante en las tablas de piso en N-mm



Fuente: Elaboración propia a partir de SAP2000

10.5.2 Diseño de elementos solicitados por fuerza axial

El horcón H3A es el elemento que presenta la mayor carga axial a tensión, mientras que el horcón HC4 registra el mayor esfuerzo a compresión axial, como se muestra en la

Tabla 21. Por su parte, en la Tabla 20 se presentan los esfuerzos máximos de los elementos verticales continuos, los cuales son fundamentales para garantizar la rigidez y estabilidad global de la estructura.

Tabla 20. Resumen de esfuerzos de los elementos verticales continuos

Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Tensión axial Ft MPa	5*5	10,62	0,38	D - Sy - 0.3Sx
Compresión axial (N)	5*5	53237,09	10402,86	D + 0.75(Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr
Compresión axial fc(MPa)	5*5	2,29	0,45	D + 0.75(Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr
Aplastamiento	5*5	11,06784	0,37751187	D + 0.75(Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr
Acortamiento (mm)	0,11			
Relación de esbeltes	38,88			

Tabla 21. Resumen de esfuerzos máximos de los horcones (cimentación) y columnas

	Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Horcón	Tensión axial Ft MPa	5*5	10,62	0,53	D - Sy + 0.3Sx
	Compresión axial (N)	5*5	208641,00	20177,47	D - Sy + 0.3Sx
	Compresión axial fc (MPa)	5*5	8,98	0,87	D - Sy + 0.3Sx
	Aplastamiento	5*5	11,07	0,87	D - Sy + 0.3Sx
	Acortamiento (mm)	0,21			
	Relación de esbeltes	14,76			
Columna	Tensión axial Ft MPa	5*5	5,90	1,09	D - Sy + 0.3Sx
	Compresión axial (N)	5*5	56926,27	24612,36	D - Sy + 0.3Sx
	Compresión axial fc (MPa)	5*5	3,53	1,53	D - Sy + 0.3Sx
	Acortamiento (mm)	0,095			
	Relación de esbeltes	28,94			

Tabla 22. Esfuerzos de los elementos sometidos a fuerza axial

Elemento	Compresión axial (MPa)			Tensión axial (MPa)		
	Fuerza N	Esfuerzo	E admisible	Fuerza N	Esfuerzo	E admisible
HA1	-13920,23	-0,599	8,98	2309,41	0,099	10,60
HA2	-13223,52	-0,569	8,98	6277,38	0,270	10,60
HA3	-15398,21	-0,663	8,98	6988,35	0,301	10,60
HA4	-9449,92	-0,407	8,98	557,53	0,024	10,60
HA5	-5909,99	-0,254	8,98	999,37	0,043	10,60
HB1	-15624,98	-0,673	8,98	1504,91	0,065	10,60
HB2	-19150,57	-0,825	8,98	2275,46	0,098	10,60
HB3	-19678,49	-0,847	8,98	2345,85	0,101	10,60
HB4	-15028,59	-0,647	8,98	1097,08	0,047	10,60
HB5	-7034,97	-0,303	8,98	1452,18	0,063	10,60
HC1	-14004,93	-0,603	8,98	2574,64	0,111	10,60
HC2	-18884,78	-0,813	8,98	3832,33	0,165	10,60
HC3	-19005,14	-0,818	8,98	5022,75	0,216	10,60
HC4	-20177,47	-0,869	8,98	6372,76	0,274	10,60
HC5	-10376	-0,447	8,98	8777,48	0,378	10,60
HD1	-10783,23	-0,464	8,98	741,02	0,032	10,60
HD2	-13021,59	-0,561	8,98	2130,11	0,092	10,60
HD3	-12256,67	-0,528	8,98	2619,5	0,113	10,60
HD4	-9045,07	-0,389	8,98	2212,22	0,095	10,60
HD5	-3645,14	-0,157	8,98	114,59	0,005	10,60
HA1'	-7674,53	-0,330	8,98	1722,45	0,074	10,60
HB1'	-7191,72	-0,310	8,98	285,06	0,012	10,60
HC1'	-7819,7	-0,337	8,98	1674,8	0,072	10,60
HD1'	-4621,06	-0,199	8,98	794,93	0,034	10,60

10.5.3 Diseño de elementos solicitados por flexión y carga axial

Tabla 23. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de cubierta

Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Flexión Fb (MPa)	3*2	9,32	0,35	D + 0.75W + 0.75L + 0.75Lr
Tensión axial Ft MPa	3*2	5,90	2,07	
$(f_t/F_t) + (f_b/F_b) \leq 1$	0,39		CUMPLE	
$(F_b - f_t)/F_b \leq 1$	0,41		CUMPLE	

Tabla 24. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de muros

Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Flexión Fb (MPa)	3*3	9,32	0,71	D + 0.75(Sy + 0.3Sx) + 0.75L + 0.75Lr
Tensión axial Ft MPa	3*3	5,90	4,02	
$(f_t/F_t) + (f_b/F_b) \leq 1$	0,76		CUMPLE	
$(F_b - f_t)/F_b \leq 1$	0,80		CUMPLE	

Tabla 25. Chequeo de esfuerzos en las diagonales de la cimentación

Esfuerzos	Sección(in)	Admisible	Actuante	Combinación de carga del esfuerzo actuante
Flexión Fb (MPa)	3*3	10,31	1,73	D - Sy + 0.3Sx
Tensión axial Ft MPa	3*3	10,62	2,84	
$(f_t/F_t) + (f_b/F_b) \leq 1$	0,43		CUMPLE	
$(F_b - f_t)/F_b \leq 1$	0,43		CUMPLE	

10.6 Uniones

Se propone el uso de pernos metálicos para las uniones entre los elementos estructurales. En la Tabla 36 se presenta el análisis de selección del perno considerando el esfuerzo máximo actuante en la conexión entre la viga de entrepiso (4x4") y el horcón (5x5"). El tipo de conexión adoptado es de un solo perno en corte simple, donde la viga se apoya directamente sobre el horcón y el perno atraviesa ambos elementos. Esta configuración permite una transmisión eficiente de las cargas verticales, asegurando la estabilidad de la unión.

La elección del diámetro y el material del perno se realiza en función de los esfuerzos de corte y compresión paralela a la fibra, cumpliendo con los requisitos de capacidad según la NSR-10, Título G.

Tabla 26. Unión viga-horcón

Datos de entrada v	Valor	Unidades
Esfuerzo admisible	0,63	MPa
Esfuerzo cortante actuante	0,11	MPa
Diámetro del perno 3/8"	9,5	mm
Espesor de la sección cortada d	101,6	mm
Distancia donde se encuentra el perno de	50,8	mm
Altura b	101,6	mm
Esfuerzo cortante en la sección bruta		
Fuerza cortante ajustada (V_r)	545,03	N
Esfuerzo calculado a cortante paralelo a la fibra (f_v)	0,08	MPa
$f_v \leq F'_v$	CUMPLE	
Esfuerzo cortante		
Fuerza cortante ajustada (V_r)	545,0	N
Esfuerzo calculado a cortante paralelo a la fibra (f_v)	0,2	MPa
$f_v \leq F'_v$	CUMPLE	
Uniones empernadas		
Coeficiente de contenido de humedad (C_m)	0,8	
Coeficiente de temperatura (C_t)	1	
Coeficiente por utilización de platinas (C_{pl})	1,25	
Carga admisible modificada para uniones empernadas (P')	4896	N
Carga admisible modificada para uniones empernadas (Q')	2430	N
Angulo con dirección a las fibras (α)	90	°
Carga admisible modificada con un ángulo (N')	3528,3	N
Tornillo		
Área de cortante	965,2	mm ²
Resistencia máxima	3,66	MPa

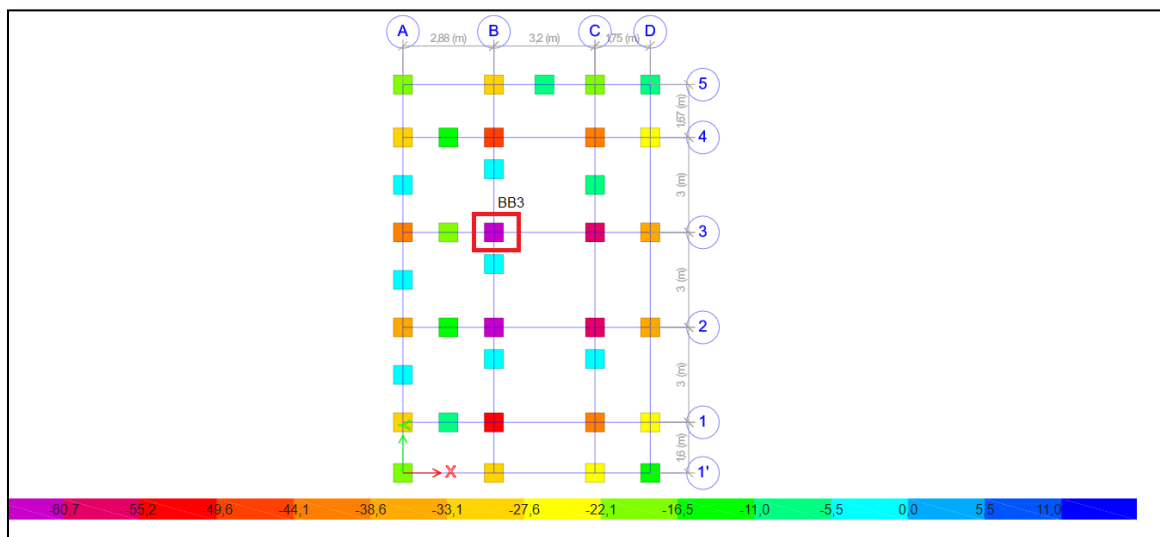
10.7 Diseño de la cimentación

El estudio geotécnico consultado, presenta los valores de presión del suelo a diferentes profundidades. Para el diseño estructural de esta vivienda palafítica se adopta, de manera conservadora, la presión mínima admisible al nivel del terreno natural, con un valor de 64,84 kN/m².

Usando el software SAFE, la cimentación se conformó mediante horcones (palafitos) y un elemento adicional ubicado en el base denominado bamba, cuya función fue distribuir la carga al terreno. En este caso, la bamba es un elemento cuadrado de madera con un espesor de 7 cm, típicamente usado.

El análisis de cargas se realiza considerando las combinaciones de cargas de servicio según lo establecido en la NSR-10. De lo anterior, se identificó que la máxima presión en el terreno es de 64 kN/m^2 para una sección de bamba de $60 \times 60 \text{ cm}$. El apoyo correspondiente a la bamba BB3 presentó el mayor esfuerzo, mientras que en los otros apoyos se calcularon presiones menores. Sin embargo, para unificar el diseño y conservar el sistema usado por los maestros locales, se proponen bambas de $60 \times 60 \text{ cm}$ en todos los apoyos.

Figura 28. Presiones máximas en las bambas



Fuente: Elaboración propia a partir de Safe

10.8 Planos estructurales y especificaciones

En el Anexo C se presentan los planos estructurales de la propuesta estructural del modelo de vivienda, además, se indican las especificaciones de construcción requeridas para el manejo de los materiales y su correcta instalación.

11 PROPUESTAS DE SISTEMAS AUTOSUSTENTABLES PARA EL MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE

Las propuestas de sistemas autosustentables se fundamentan en un análisis previo de las condiciones ambientales, sociales y técnicas del territorio. Para ello, se identificaron los sistemas actualmente utilizados por la comunidad para el acceso al agua, la gestión de residuos, la obtención de energía y otros servicios básicos. Estos sistemas existentes, aunque en muchos casos informales o con limitaciones, sirvieron como punto de partida para plantear soluciones adaptadas al contexto. Entre los aspectos más relevantes considerados se encuentran la ubicación de la comunidad a orillas del río San Juan del Micay, su localización en una de las zonas más lluviosas de Colombia, la irradiación solar disponible y el carácter predominantemente plano del terreno.

11.1 Propuesta para garantizar energía en la vivienda

Se propone el uso de paneles solares como fuente principal de energía para la vivienda, dado que la comunidad ya cuenta con experiencia en su uso, pues al menos dos viviendas disponen de este sistema. Además, los paneles solares representan una alternativa sostenible y eficiente en una zona con alta irradiación solar. No obstante, no se descarta la posibilidad de implementar un sistema de energía hidráulica doméstica, aprovechando el caudal del río como recurso complementario para la generación de electricidad.

11.1.1 Paneles solares

Para el aprovechamiento de la energía solar, es fundamental identificar la radiación solar del lugar y determinar la hora solar pico, así como establecer la carga energética requerida por la vivienda para su funcionamiento adecuado. A partir de esta información, se procede a la selección del sistema de energía solar fotovoltaica más apropiado.

La propuesta del sistema solar presentada en este proyecto se basa en el artículo “Sistema solar fotovoltaico aislado para el suministro de energía eléctrica a una vivienda rural” Maestre, (2014) desarrollado en la Universidad Antonio Nariño. Este trabajo sirve como referencia técnica y metodológica para el diseño del sistema, adaptando sus principios a las condiciones específicas de la zona rural de San Pablo, en el municipio de López de Micay.

El procedimiento desarrollado se presenta en el Anexo D y a continuación se resume la propuesta técnica de selección del panel solar (Tabla 27).

Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico: Para diseñar el sistema de generación de energía, primero se identificaron los equipos eléctricos de la vivienda (licuadora, congelador, televisor, iluminación y cargadores de celulares), estimándose un consumo diario de 3,45 kWh. La potencia de cada equipo se calculó aplicando las fórmulas básicas de electricidad y sumando su consumo energético diario.

El sistema fotovoltaico propuesto consta de tres subsistemas:

- Generación (paneles solares),
- Almacenamiento (baterías),
- Control (regulador MPPT e inversor).

Para el dimensionamiento de los paneles solares, se consideró una hora solar pico (HSP) de 4 horas para López de Micay y se propuso el uso de paneles monocristalinos de 385 Wp. De lo anterior, se determinó que se necesitan 3 paneles para cubrir la demanda diaria, aplicando un factor de seguridad del 30 %.

Se seleccionó un regulador solar MPPT de 60 A, un inversor de 2000 W, y un banco de baterías compuesto por 2 baterías de 200 Ah conectadas en serie para garantizar el suministro de energía incluso en días nublados.

Tabla 27. Elementos del sistema solar fotovoltaico

Producto	Cantidad
Panel solar de 385W monocristalino 72 celdas	3
Batería de Gel 12V 200Ah	2
Inversor 24V de onda pura 2000W	1
Controlador MPPT 60A	1
Breaker 16 Amperes DC Siemens 72 voltios	1
Breaker 63 Amperes DC Siemens 72 voltios	1
Kit cables banco de baterías 24V serie AWGN°6	1
Kit cables fotovoltaicos	1
Caja fusibles tipo riel con fusible 15A 1000V DC	1

11.2 Propuesta para garantizar agua en la vivienda

San Pablo cuenta con dos fuentes hídricas principales que pueden garantizar el suministro de agua en la vivienda: el río San Juan del Micay y el agua de lluvia. Sin embargo, debido a la presencia de minería ilegal en la región, el agua del río presenta un alto nivel de contaminación, lo que la hace menos adecuada para el consumo doméstico.

Por esta razón, en el diseño propuesto se prioriza el aprovechamiento de las aguas lluvias como fuente principal de abastecimiento. Esta solución no solo reduce la exposición a contaminantes, sino que también representa una alternativa sostenible, aprovechando la alta pluviosidad de la zona y promoviendo la autosuficiencia hídrica de la vivienda.

11.2.1 Sistema de recolección de aguas lluvias

Para la propuesta del sistema de recolección de aguas lluvias, se consideran varios factores clave: la precipitación anual del lugar, el medio de captación, y el volumen de agua necesario para cubrir las necesidades de la familia. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), el consumo básico recomendado por persona es de 100 litros de agua al día. Con base en esta referencia, se calcula la cantidad total de agua requerida para la vivienda, garantizando un suministro adecuado para sus habitantes. Además, se evalúan aspectos como la capacidad de

almacenamiento, los métodos de filtración y la eficiencia del sistema para asegurar un aprovechamiento óptimo del recurso hídrico (Buitrago González et al., 2022).

El procedimiento desarrollado para definir la propuesta de recolección de aguas lluvias se presenta en el Anexo D y a continuación se resumen algunas especificaciones técnicas (Tabla 28).

Tabla 28. Especificaciones Técnicas del Sistema de Recolección de Aguas Lluvias

Componente	Especificación Técnica
Superficie de captación	Techo de zinc de 8,1 m x 12,3 m (99,63 m ²), inclinación 10°.
Consumo estimado	500 L/día (5 personas), equivalente a 15.000 L/mes (15 m ³).
Cálculo de captación	Fórmula $V=P \times A \times n$; eficiencia considerada 85 %.
Canaletas	PVC, diámetro de 4 a 6 pulgadas, pendiente del 1–2 %.
Bajantes	PVC, 2 bajantes de 4 pulgadas de diámetro.
Sistema de filtración inicial	- Filtro de malla gruesa
	- Filtro de primer lavado
	- Filtro de sedimentos (arena y grava).
Tanques de almacenamiento	Tres tanques plásticos de 5.000 L cada uno, sobre estructura de concreto.
Características del tanque	Tapa hermética, válvula de purga inferior y rebosadero para excedentes de agua.
Sistema de distribución	Bomba manual o eléctrica y tuberías de PVC de ½” o ¾”.
Tratamiento de agua	Filtro de carbón activado y desinfección mediante lámpara UV para uso de agua potable.

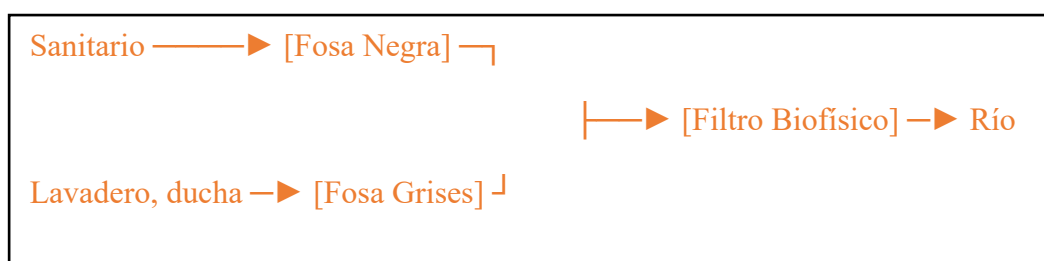
11.3 Sistema para el manejo de aguas residuales

Para el pretratamiento de aguas residuales domésticas, se propone implementar el Sistema Unitario de Tratamiento del Agua, Nutrientes y Energía (SUTRANE), desarrollado por Almayra et al. (2012), utilizando en lo posible materiales locales disponibles en la comunidad (Tabla 29).

El SUTRANE es un sistema natural y descentralizado, especialmente diseñado para comunidades rurales, y se basa en dos procesos principales (Figura 29):

- Biodegradación aeróbica de las aguas grises (provenientes de lavamanos, lavaderos, duchas, etc.), realizada en una fosa con plantas acuáticas que promueven la oxigenación y descomposición de materia orgánica.
- Biodegradación anaeróbica de las aguas negras (provenientes del inodoro), realizada en una fosa tipo biodigestor, donde se descompone la materia orgánica sin presencia de oxígeno.

Figura 29. Esquema del flujo



Ambas fosas están conectadas a un filtro biofísico, que consiste en un sistema de tratamiento final basado en un cultivo hidropónico en capas de piedra, grava, arena y tierra, donde se siembran flores u hortalizas. Este filtro actúa como una barrera física y biológica que mejora la calidad del agua, reduciendo su carga contaminante (Almaya et al., 2012).

El agua tratada puede ser reutilizada para riego o bien descargada al entorno con un impacto mínimo. Lo anterior, hace del SUTRANE una alternativa ecológica, económica y eficiente, perfectamente adaptable a las condiciones sociales, ambientales y técnicas de comunidades rurales como la de San Pablo.

Tabla 29. Lista de Materiales por Componente del sistema SUTRANE

Fosa de aguas grises	Fosa de aguas negras	Filtro biofísico
1 barril plástico reciclado (200–250 L) 1 tapa o plástico para cubrir 1 metro de tubo PVC de 1.5" (entrada) 1 metro de tubo PVC de 2" (salida) 1 codo de 90° PVC de 2" 1 válvula simple (opcional)	1 barril plástico reciclado (500 L preferiblemente) 1 tapa sellable o cubierta plástica 1 tubo PVC de 4" (entrada desde sanitario) 1 tubo PVC de 2" (salida) 1 codo de 90° PVC de 2" Trampa de grasas (opcional) 1 tapón o registro para mantenimiento	Geomembrana o lona plástica gruesa (mínimo 2 × 2 m) Malla metálica o madera para hacer un cajón (1.8 m largo × 1 m ancho × 0.6 m alto) 60 L de piedra bola de río (15 cm) 40 L de grava (10 cm) 40 L de gravilla (10 cm) 40 L de arena gruesa (10 cm) 1 carretilla de tierra vegetal (10 cm) Semillas de flores ornamentales locales (caléndulas, heliconias, etc.) 1 tubo PVC de 2" para entrada 1 tubo PVC de 2" para salida al río

Los pasos para la construcción del sistema de manejo propuesto se presentan en el Anexo D

12 RESUMEN DE LA PROPUESTA

El presente capítulo tiene como propósito integrar los hallazgos obtenidos a lo largo del proceso investigativo, que abarca la caracterización del territorio, el diseño arquitectónico, el diseño estructural y las propuestas autosustentables. Este análisis permite reflexionar sobre la pertinencia, viabilidad y proyección del modelo de vivienda VIC ecosostenible, a partir de los insumos recopilados en campo, la interacción con la comunidad y el desarrollo técnico del modelo.

12.1 Condiciones del territorio

La caracterización del lugar permitió comprender las dinámicas sociales, ambientales y constructivas de la vereda San Pablo, ubicada en el municipio de López de Micay, Cauca.

La comunidad se localiza en una zona de alta pluviosidad y su principal estrategia de adaptación ha sido el uso de viviendas palafíticas elevadas sobre horcones de madera. Esta práctica, heredada de generaciones anteriores, evidencia un conocimiento empírico valioso, aunque limitado por la falta de formación técnica. La mano de obra local, si bien hábil, no ha tenido acceso a procesos

formales de capacitación, lo que influye directamente en la calidad y seguridad de las construcciones. Este panorama resalta la importancia de fortalecer las capacidades locales mediante propuestas accesibles y contextualizadas.

12.2 Validación del modelo arquitectónico

La propuesta arquitectónica fue desarrollada a partir de los resultados de las encuestas, observaciones directas y material audiovisual recopilado en la vereda. Aunque los diseñadores no estuvieron físicamente en el lugar, el modelo responde a los requerimientos espaciales y culturales expresados por los habitantes gracias a que la autora de esta investigación habita la misma comunidad y reconoce la cosmovisión de su propio pueblo.

El diseño contempla una vivienda palafítica compuesta por tres habitaciones, sala, comedor, cocina, zona de recolección de aguas lluvias, pasillo frontal y lateral, con dos accesos mediante escaleras frontal y trasera. La comunidad valoró positivamente la distribución de espacios, la incorporación de zonas de circulación cubiertas y la ventilación cruzada que facilita el confort térmico.

12.3 Evaluación del diseño estructural

El modelo estructural se basa en un sistema de postes y vigas de madera, apoyados sobre horcones que elevan la vivienda para evitar el contacto directo con el terreno húmedo. Se consideraron las dimensiones y disposición de los elementos estructurales en función de la resistencia de las maderas locales y del conocimiento empírico de los constructores.

La propuesta estructural integra recomendaciones técnicas que pueden ser asimiladas por la comunidad sin requerir herramientas o procesos complejos, lo que facilita su implementación. Además, se buscó garantizar la estabilidad de la vivienda ante esfuerzos horizontales, como vientos fuertes o movimientos sísmicos, a través de un modelo estructural simple pero representativo.

Este modelo representa una mejora frente a las soluciones actuales, sin romper con la lógica constructiva tradicional, lo que favorece su apropiación por parte de la población local.

Se realizó una comparación técnica entre el peso estimado del diseño estructural propuesto y el de una vivienda construida según las dimensiones comúnmente utilizadas en la vereda San Pablo por la mano de obra local (Tabla 30). El cálculo del peso total de la vivienda basado en las propiedades del machare, permite estimar que una vivienda tradicional tendría un peso aproximado de 139,52 kN, mientras que el modelo VIC propuesto en esta investigación alcanza un peso total de 155,95 kN. Lo anterior, representa un aumento del 11,8 % en el peso de la vivienda, que podría asociarse a un posible incremento en el costo total de la vivienda VIC, pero que debería interpretarse como un mejoramiento estructural que responde adecuadamente a requerimientos técnicos de la norma vigente.

Este incremento de peso se debe a la optimización técnica de ciertos elementos, especialmente los horcones, columnas y madres, cuyas dimensiones fueron ampliadas para mejorar el comportamiento estructural ante esfuerzos horizontales y garantizar mayor estabilidad y durabilidad. Si bien el modelo es ligeramente más pesado, esta diferencia es justificada por su mayor seguridad estructural y resistencia a las condiciones del terreno húmedo, sin comprometer la capacidad constructiva de la comunidad ni exigir maquinaria especializada.

Tabla 30. Comparación de las secciones transversales de los elementos

Descripción	Sección transversal (in) de los elementos de la vivienda tradicional	Sección transversal (in) de los elementos de la vivienda VIC
Horcones	5*4	5*5
Madres	4 *4	5*4
Sobres madres	3*4	3*4
Columnas	4*4	5*5
Vigas	3*4	3*4
(Sobre Vigas)	3*4	3*4
Correas	3*2	3,5*3
varas	3*2	4*3
Tablas de pared(espesor)	½”	½”
Tablas de piso (espesor)	1”	1”
Peso	195. 55 kN	139,52kN

12.4 Análisis de las propuestas autosustentables

El modelo VIC incluye estrategias autosustentables que buscan reducir la dependencia de recursos externos y mitigar el impacto ambiental de la vivienda. Entre estas, se destaca el sistema de recolección de aguas lluvias, que aprovecha la geometría de la cubierta y la alta pluviosidad de la zona para abastecer a la vivienda de agua para uso doméstico básico.

También se incorporan principios de arquitectura pasiva, como la orientación de la vivienda, la ventilación cruzada natural, el aprovechamiento de la iluminación diurna y el uso de materiales locales como el machare y el mangle. Estas decisiones buscan no solo reducir costos de construcción, sino también promover prácticas sostenibles a largo plazo.

La propuesta también considera la inclusión de tecnologías simples y replicables que permitan a las familias mejorar progresivamente sus condiciones de vida sin comprometer el equilibrio ambiental del entorno.

12.5 Articulación entre los componentes

Uno de los principales logros de este trabajo radica en la articulación coherente entre las características del territorio, las necesidades de la comunidad y las propuestas técnicas planteadas.

El modelo VIC ecosostenible no se concibe como una solución aislada, sino como una propuesta integral que dialoga con el contexto cultural, ambiental y económico de la vereda San Pablo.

Esta propuesta representa un avance significativo para la comunidad, tanto por su enfoque participativo como por el hecho de que ha sido liderada por una integrante local en formación profesional. Como posible primera ingeniera de la vereda, esta participación ha despertado un profundo interés y altas expectativas entre los habitantes, quienes ven en esta iniciativa una oportunidad para fortalecer sus prácticas constructivas, conservar sus saberes tradicionales y mejorar su calidad de vida, reconociendo el aporte de las instituciones académicas en el proceso.

13 CONCLUSIONES

- El diseño de la vivienda VIC ecosostenible responde a las condiciones ambientales, sociales y culturales del territorio, integrando conocimientos tradicionales con criterios técnicos. La estructura palafítica, los materiales locales y las estrategias pasivas de confort térmico y captación de aguas lluvias se alinean con las necesidades y capacidades de la comunidad.
- La participación de la comunidad en el diagnóstico y retroalimentación del modelo permitió validar los espacios, usos y preferencias. A pesar de que el equipo diseñador del modelo arquitectónico no visitó físicamente la vereda, el uso de encuestas, fotografías y videos fue clave para construir una propuesta significativa y apropiada.
- Aunque el modelo propuesto es un 11,8 % más pesado que el construido tradicionalmente en San Pablo, este incremento responde a mejoras estructurales claves que incrementan la

durabilidad y seguridad de la vivienda, manteniendo la posibilidad de ser construida por la mano de obra local no calificada.

- La participación de los habitantes en el levantamiento de información, validación de los espacios y aportes empíricos, permitió desarrollar una propuesta cercana a sus dinámicas y aspiraciones. Esta interacción fortaleció el sentido de pertenencia y abrió camino para futuras iniciativas de mejora en las condiciones de habitabilidad.
- La vivienda VIC incorpora principios de autosostenibilidad mediante la captación de aguas lluvias, ventilación cruzada natural y eficiencia en el uso de materiales. Esta estrategia se alinea con los retos de accesibilidad a servicios básicos en la región y propone una alternativa replicable y escalable para otras zonas rurales con condiciones similares.

14 RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

- Se recomienda construir un prototipo de la vivienda a escala real para evaluar en condiciones reales el comportamiento estructural, especialmente frente a cargas horizontales como sismos o vientos. Este proceso permitiría ajustar las secciones y uniones.
- Dado que la mano de obra en la región es empírica, se recomienda desarrollar materiales didácticos y manuales técnicos ilustrados para la correcta interpretación del modelo constructivo, facilitando su réplica por parte de la comunidad y promoviendo el fortalecimiento de capacidades locales.
- Finalmente, se propone investigar la posibilidad de adaptar el modelo VIC a otras veredas del litoral pacífico colombiano, evaluando cambios necesarios en los materiales, distribución espacial o técnicas constructivas según las particularidades de cada territorio.
- Se sugiere desarrollar una propuesta detallada de los sistemas autosustentables de la vivienda, adaptado a las condiciones de la región.

- Como trabajo futuro, se propone la elaboración de un presupuesto detallado de la vivienda tipo, incluyendo análisis de costos de materiales, mano de obra y transporte. Así mismo, se plantea desarrollar un manual de construcción que contemple procedimientos paso a paso, medidas de seguridad y buenas prácticas, así como un manual de mantenimiento periódico para garantizar la durabilidad del sistema estructural y funcional de la vivienda.

15 BIBLIOGRAFÍA

- Ajayan, J., Nirmal, D., Mohankumar, P., Saravanan, M., Jagadesh, M., & Arivazhagan, L. (2020). A review of photovoltaic performance of organic/inorganic solar cells for future renewable and sustainable energy technologies. *Superlattices and Microstructures*, 143, 106549. <https://doi.org/10.1016/J.SPML.2020.106549>
- Alcaldía de López de Micay. (2025). *Alcaldía de López de Micay*. <https://lopezcauca.micolombiadigital.gov.co/>
- Almaya, M., Elizabeth, M., Cuenca, D., Rafael, A., Granados, A., Elizabeth, K., & Calzada, C. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 78–97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894005>
- Ancho, G. P., Condor, J. R., & Bravo, C. R. Y. (2020). *Diseño Estructural De Una Vivienda Unifamiliar Eco Sostenible a Base De Bambú De Interes Social En El Distrito De Morropon En La Region De Piura*. <https://repositorio.usil.edu.pe/items/a84bd7b7-5e08-4d74-870e-d881cab802b7>
- Arias, C. A., Vera, P. I. L., Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., & Stein, O. (2021). Humedales para Tratamiento. In *Humedales para Tratamiento*. IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789062526>
- Arroyave Rojas, J., Quintero García, K. L., Medina Restrepo, C. A., & González Duque, M. E. (2022). *Evaluación de la cantidad, calidad fisicoquímica y microbiológica del agua lluvia para los potenciales usos domésticos. Caso de estudio: institución universitaria colegio mayor DE ANTIOQUIA*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.1939>

- Ayala, R., Freire, J., Lopez, J., & Salazar, J. (2021). Análisis de la energía eólica como sustituto para la energía convencional en casas del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador. *Athenea Engineering Sciences Journal*, 2(3), 40–46. <https://doi.org/10.47460/ATHENEA.V2I3.15>
- Barrera Peñafiel, L., Encalada, A. L., & Proaño Escandón, D. (2022). La Madera en Arquitectura. Identificación y Caracterización de la Madera Estructural en el Ecuador. *Cuadernos Del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 159. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi159.6829>
- Buitrago González, M. E., Santacoloma Londoño, S., Villegas Méndez, L. C., & Martínez Martina, M. A. (2022). *Educación para la sostenibilidad en ingeniería ambiental como aporte al desarrollo social*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.709>
- Castaño-Serna, J. P., Bolaños-Ibáñez, V., Garnica-Zuñiga, L. M., De La Ossa-Villadiego, L. B., Agudelo-Flórez, S., & Chica-Arrieta, E. L. (2022). Diseño de un árbol solar para la seccional del Bajo Cauca de la Universidad de Antioquia. *Revista UIS Ingenierías*, 21(2). <https://doi.org/10.18273/revuin.v21n2-2022007>
- Colombia en mapas. (2025). *Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:500.000. Año 2014 - Colombia en mapas*. <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.43784778320864,-0.17644239911865092,-71.23179309571162,9.90326984502256,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=204#>
- DANE. (2022). *Boletín Técnico Déficit Habitacional*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/deficit-habitacional>.
- Delgado, Z. D. S. (2020). Elección de la metodología probabilística más apropiada para el dimensionamiento de tanques de almacenamiento de agua lluvia. Caso de estudio sede vivero de la universidad distrital. Daniel.

File:///C:/Users/VERA/Downloads/ASKEP_AGREGAT_ANAK_and_REMAJA_PRINT.Docx
, 21(1), 1–9.

Dey, S., & Pesala, B. (2020). Solar tree design framework for maximized power generation with minimized structural cost. *Renewable Energy*, 162, 1747–1762.
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.07.035>

El Colombiano. (2024). *Colombia vira hacia la construcción verde: el 50% de las viviendas que se entreguen a 2030 deberán ser sostenibles.*
<https://www.elcolombiano.com/negocios/construcciones-verdes-en-colombia-el-50-de-las-viviendas-entregadas-a-2030-seran-sostenibles-LF25314618>

Escobar, B. C., & Amaro, M. C. (2022). *Vivienda autosustentable con disminución de CO2 en su construcción.* <http://hdl.handle.net/10785/9384>

Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2019). *Pozos sépticos: definición, estructura Y TIPOS.*
Blog: Fibras y Normas de Colombia S.A.S.
<https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/pozos-septicos-estructura-y-tipos/>

Flores, O. L. B. A., & Julca, M. I. J. (2019). Facultad de ingeniería y arquitectura escuela académico profesional de arquitectura “ Materiales estructurales eco-sostenibles y el impacto ambiental en las edificaciones de Picup - Huaraz , 2019 . ” - “ Terminal terrestre interprovincial en Huaraz - A nc. <https://Repositorio.Ucv.Edu.Pe/>, 0–2.

GEMMA. (2025). *Universidad Nacional de Colombia : Grupo de Investigación GEMMA - Sede Medellín - Grupo GEMMA.*
<https://minas.medellin.unal.edu.co/gruposdeinvestigacion/gemma/8-principal/3-grupogemma.html>

- Guimarães, J., Ibáñez, J., Litter, M., & Pizarro, R. (2001). Desinfección de agua. *Psa.EsJR Guimarães, J Ibáñez, MI Litter, R Pizarro Eliminación de Contaminantes Por Fotocatálisis Heterogénea, 2001•psa.Es.*
<https://www.psa.es/en/units/stw/projects/solwater/files/CYTED01/22cap15.pdf>
- Gutiérrez, C. C. L. (2021). *Universidad surcolombiana gestión servicios bibliotecarios carta de autorización.* www.usco.edu.co,
- IDEAM. (2022). *Estudio Nacional Del Agua* . <http://www.ideam.gov.co/>
- IGAC. (2025). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi.* <https://www.igac.gov.co/>
- Isaza Santos, I. I., González, F., & Gómez, Y. (2021). Comparación de dos sistemas de tratamiento anaeróbicos de aguas residuales de características homogéneas para escuelas sin sistema de tratamiento. *Centros: Revista Científica Universitaria, 10(1).*
<https://doi.org/10.48204/j.centros.v10n1a4>
- Jauregui Haza, U., & González Hernández, Y. (2022). Tendencias en la modelación matemática de biorreactores con membranas sumergidas para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia, Ambiente y Clima, 5(1).* <https://doi.org/10.22206/cac.2022.v5i1.pp53-83>
- Javeriana. (2025). *Portal Pontificia Universidad Javeriana.* <https://www.javeriana.edu.co/inicio>
- Joshi, P., Sah, S., Pant, P., Joshi, H., Kumar Tamta, K., & Tewari Fulara, B. (2020). *Wood Science and Technology.* <https://www.uou.ac.in/sites/default/files/slm/FR-10.pdf>
- Julieta C, P. I. G. (2017). *energias-renovables-y-eficiencia-energetica.* Instituto Tecnológico de Canarias. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/energias-renovables-y-eficiencia-energetica>
- Lalwani, A. (2022). Rainwater harvesting: In urban centers within the hard rock terrain of the deccan basalts of India. In *Rainwater Harvesting: In Urban Centers within the Hard Rock*

- Terrain of the Deccan Basalts of India*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-05710-6/COVER>
- López Mas, M., Oliva-Cruz, M., Gosgot Angeles, W., & Espinoza Canaza, F. I. (2022). Rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con seguidor solar bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1). <https://doi.org/10.25127/aps.20221.858>
- MADERAME. (2024). *Partes de la madera y sus funciones*. https://maderame.com/partes-madera/#google_vignette
- Maestre, Y. A. M. (2014). *Sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a una vivienda rural*.
- Manguriu, G. N., Oyawa, W. O., & Abuodha, S. O. (2013). Physical and Mechanical Properties of Mangrove From Kilifi in Kenya. *Global Engineers & Technologists Review*, 3(3).
- Molina, B. M., & Alfonso, G. L. K. (2020). Vivienda rural sostenible como potenciador del municipio de venadillo en el norte del departamento del tolima. *File:///C:/Users/VERA/Downloads/ASKEP_AGREGAT_ANAK_and_REMAJA_PRINT.Docx*, 21(1), 1–9.
- Morales Corozo, J. P., & Loor Vergara, K. (2023). Diseño de biofiltro para eliminación de contaminantes de aguas residuales de la comunidad Ballagán, Ecuador. *Revista Científica Ecociencia*, 10(2). <https://doi.org/10.21855/ecociencia.102.801>
- Moreno-Romero, T. J. G., Vera-Luzuriaga, J. G., López-Ortiz, S. A., & Zabala-Aguilar, L. A. (2021). Aprovechamiento de la energía hidráulica domiciliaria para el encendido de un calefón a gas. *Dominio de Las Ciencias*, 7(4), 590–602.
<https://doi.org/10.23857/DC.V7I4.2112>

- OMS. (2022). *Una persona necesita 100 litros de agua al día: OMS - Gaceta UDG*.
<https://www.gaceta.udg.mx/una-persona-necesita-100-litros-de-agua-al-dia-oms/>
- Palacin Salcedo, J. J., Tanus, J. L., & López Hoyos, I. D. (2020). Implementación de un sistema natural para tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Estudio de caso para una institución educativa del municipio de Malambo – Colombia. *Revista Sennova: Revista Del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5(1). <https://doi.org/10.23850/23899573.2382>
- Pérez, Y. A., García Cortés, D. A., & Jauregui Haza, U. J. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1). <https://doi.org/10.7818/ecos.2279>
- Quintana, O. Z. M. (2011). *Caracterización del mangle rojo (Rhizophora mangle) bajo diferentes presiones en dos sitios de Honduras*. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/442>
- Quintero, santacruz J. S. (2019). *Lopez De Micay* . Wikipedia.
- Quirós Ivankovich, A. (2022). Uso de la filtración en bloques de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales ordinarias. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(2). <https://doi.org/10.36829/08asa.v16i2.1327>
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. (2010). *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Roa, G. J. C., Rocha, S. M. A., Leyva, L. J. P., & Molina, R. J. S. (2024). Construyendo un futuro más verde: propuesta de vivienda sostenible para el municipio del Colegio del departamento de Cundinamarca, Colombia. *Encuentro Internacional de Educación En Ingeniería*, 1–11. <https://doi.org/10.26507/PAPER.3771>

- Romoli, K. (1963). Apuntes sobre los pueblos autóctonos del litoral colombiano del Pacífico en la época de la conquista española. *Revista Colombiana de Antropología*, 12, 261–290.
<https://doi.org/10.22380/2539472X.1693>
- Ross, R. J., & USDA Forest Service., F. P. Laboratory. (2010). Wood handbook : wood as an engineering material. *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL- GTR-190, 2010: 509 p. 1 v., 190*. <https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-190>
- Ruiz, J. D. F., & Pérez, B. Y. L. V. (2021). Prototipo de vivienda con criterios de sostenibilidad en la zona rural de Saravena, Arauca. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Satellites. (2025). *Satelital mapa de Noanamito // Colombia, Región de Cauca*.
https://satellites.pro/mapa_de_Noanamito#3.056718,-77.526913,15
- Schallenberg Rodríguez, J. C. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Instituto Tecnológico de Canarias.
- Sola Carrion, M. J. (2023). *Rehabilitación energética en hotel rural usando energías renovables: energía solar térmica y energía geotérmica*. <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/19931>
- Torres, T. Ö. (2018). Modelos de vivienda rural sostenibles y productivos. *Https://Repository.Usta.Edu.Co/*, 6(1), 1–8.
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ruma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Unicauca. (2025). *Univalle y Unicauca impulsan investigación para mejorar viviendas de comunidades rurales en el Cauca – Radio 1040 AM*.

<https://radio1040am.com/2021/10/27/univalle-y-unicauca-impulsan-investigacion-para-mejorar-viviendas-de-comunidades-rurales-en-el-cauca/>

(UPME), Colombia. M. de M. y Energía. U. de P. M. E. (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia*. 175. <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2414>

WWF-Colombia. (2013). *Maderas de Colombia* | WWF.
<https://www.wwf.org.co/?213040/Maderas-de-Colombia>

ANEXO A

ENCUESTAS APLICADAS

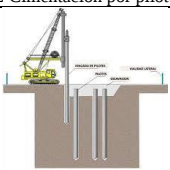
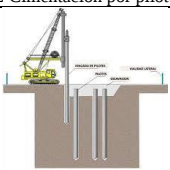
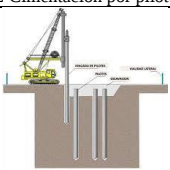
Encuesta 1

VIVIENDAS DE INTERÉS CULTURAL (VIC)

La siguiente encuesta va dirigida la población de la vereda de San Pablo del Municipio de López de Micay del departamento del Cauca. El objetivo es conocer las costumbres, tradiciones, formas de implantación y técnicas constructivas de las viviendas de esta población; todo ello con el fin de recolectar información pertinente para el diseño de una vivienda de interés cultural (Ley 2079 de 2021 sobre vivienda y hábitat).

Nombre _____

Vivienda _____

¿Cuántas personas viven en la vivienda? ☐ Una ☐ Dos ☐ Tres ☐ Cinco ☐ Mas de cinco							
¿Cuánto tiempo demoro construyendo su vivienda? _____							
¿Cuánto costó la mano de obra cuando construyó su vivienda? ¿Qué tipo de cimentación tiene su vivienda? <table border="1"> <tr> <td> ☐ Losa de cimentación  </td> <td> ☐ Zapata de cimentación  </td> </tr> <tr> <td> ☐ vigas de cimentación  </td> <td> ☐ Cimentación por pilotes  </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> ☐ Otra Cual: _____ </td> </tr> </table>		☐ Losa de cimentación 	☐ Zapata de cimentación 	☐ vigas de cimentación 	☐ Cimentación por pilotes 	☐ Otra Cual: _____	
☐ Losa de cimentación 	☐ Zapata de cimentación 						
☐ vigas de cimentación 	☐ Cimentación por pilotes 						
☐ Otra Cual: _____							
¿De qué material está construida la cimentación de su vivienda? _____							
¿De qué material está construida su vivienda? ☐ Concreto ☐ Bareque ☐ Adobe ☐ Guadua ☐ Madera ☐ Otro Cual: _____							
¿Qué consideraciones tubo al momento de definir la ubicación de su vivienda?							
¿Qué técnica constructiva utilizo para la construcción de su vivienda? ¿Cuál es el uso general de su vivienda? ☐ Exclusivamente residencial ☐ Se suelen hacer actividades que reúnen aproximadamente 200 personas en la vivienda ☐ Se utiliza como bodega ☐ Como comercio minorista							

Mocione algunas de sus costumbres y tradiciones relacionada con su vivienda y forma de habitar.
¿Qué consideraciones cree usted que se debería tener al momento de diseñar una vivienda de interés cultural para la vereda de San Pablo?
Con el consentimiento del propietario se registrará la siguiente de información sobre la vivienda.
¿Qué sistema o configuración estructural tiene la vivienda? ☐ Pórticos ☐ Muros ☐ Combinado ☐ Dual ☐ Tradicional ☐ Otro Cual_____
¿Cuántos metros cuadrados tiene la vivienda? ¿Qué sección transversal tienen las columnas? ¿Qué sección transversal tienen las vigas? ¿Cuál es el área de la habitación más pequeña? ¿Cuál es el área de la habitación más grande?
¿Tipo de cubierta de la vivienda? Liviana ☐ Pesada ☐
¿De qué material es la cubierta de la vivienda? Observación Adicional

Encuesta 2

Encuesta sobre el diseño preliminar: "modelo de vivienda VIC ecosostenible para la vereda San Pablo del municipio de López de Micay, departamento del Cauca".

Objetivo: Conocer la opinión de la comunidad de San Pablo sobre el diseño preliminar de una vivienda de interés cultural y eco-sostenible, adaptada al entorno, costumbres y estilo de vida de la vereda de San Pablo.

1. Nombre:

2. Zona:



Marca solo un óvalo.

- ☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4
☐ 5
☐ 6
☐ 7

3. 1. Edad:

Marca solo un óvalo.

- ☐ Menos de 18 años
☐ 18-30 años
☐ 31-50 años
☐ Más de 50 años

4. 2. Género:

Marca solo un óvalo.

- ☐ Masculino
☐ Femenino
☐ Prefiero no decirlo
☐ Otro: _____

5. 3. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la vereda de San Pablo?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Menos de 1 año
☐ 1-5 años
☐ 6-10 años
☐ Más de 10 años

6. 4. ¿Cuál es su principal actividad económica?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Agricultura
☐ Ganadería
☐ Comercio
☐ Artesanías
☐ Otro: _____

7. 5. Conoce el proyecto: modelo de vivienda VIC ecosostenible para la vereda San Pablo del municipio de López de Micay, departamento del Cauca".

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
☐ No

8. 6. ¿Ha tenido la oportunidad de ver el diseño preliminar de la vivienda?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
☐ No

9. 7. En general, ¿qué tan satisfecho(a) está con el diseño preliminar de la vivienda?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Muy satisfecho(a)
☐ Satisfecho(a)
☐ Neutral
☐ Insatisfecho(a)
☐ Muy insatisfecho(a)

13. 11. ¿Le gustaría que la vivienda incluyera sistemas de energía renovable (como paneles solares)?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Sí
☐ No
☐ Tal vez

14. 12. ¿Cree que es importante incluir un sistema de recolección y uso de aguas lluvias?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Muy importante
☐ Importante
☐ Neutral
☐ Poco importante
☐ Nada importante

15. 13. ¿Que tipo de madera de fácil acceso considera que se debe usar para el modelo de vivienda VIC? (Machare, tangare, cedro, sande, etc)

10. 8. ¿Cree que el diseño preliminar de la vivienda es adecuado para el entorno natural de la vereda San Pablo?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Muy adecuado
☐ Adecuado
☐ Neutral
☐ Poco adecuado
☐ Nada adecuado

11. 9. ¿Considera que el diseño respeta y refleja la cultura y las costumbres de la comunidad?

Marca solo un óvalo.

- ☐ Totalmente de acuerdo
☐ De acuerdo
☐ Neutral
☐ En desacuerdo
☐ Totalmente en desacuerdo

12. 10. ¿Qué elementos del diseño considera más importantes? (Seleccione los que apliquen)

Selecciona todos los que correspondan.

- ☐ Uso de materiales ecológicos y locales
☐ Diseño que facilite la ventilación y la iluminación natural
☐ Espacios para actividades familiares y comunitarias
☐ Adaptación al clima local
☐ Otro: _____

16. 14. ¿Tiene alguna sugerencia específica para mejorar el diseño preliminar de la vivienda?

17. 15. ¿Hay otros aspectos importantes que cree que se deberían considerar en el diseño de la vivienda?

18. 16. ¿Considera que la distribución de los espacios dentro de la vivienda es adecuada para las necesidades de una familia en esta comunidad?

Marca solo un óvalo.

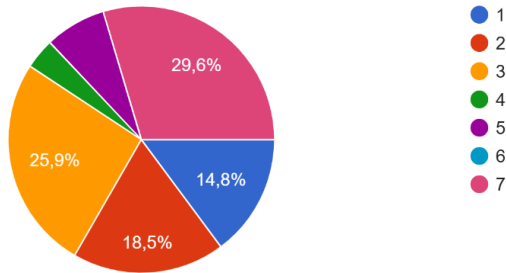
- ☐ Muy adecuada
☐ Adecuada
☐ Neutral
☐ Poco adecuada
☐ Nada adecuada

19. 17. ¿Hay algún aspecto específico que le gustaría cambiar o mejorar en la distribución de los espacios o la fachada de la vivienda?

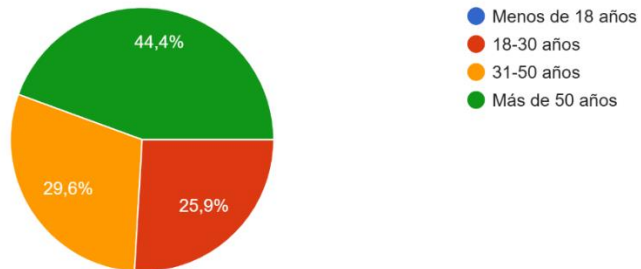
ANEXO B

RESUMEN DE LA ENCUESTA 2 SOBRE EL MODELO ARQUITECTÓNICO PRELIMINAR

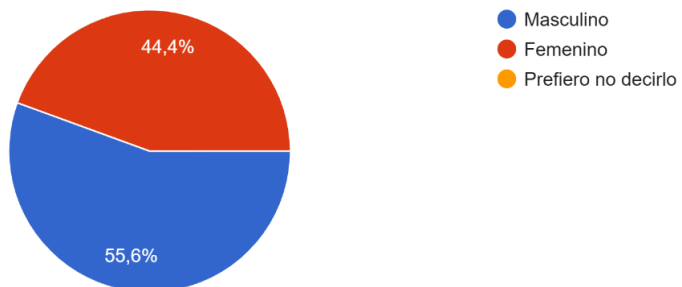
0. Zona:
27 respuestas



1. Edad:
27 respuestas

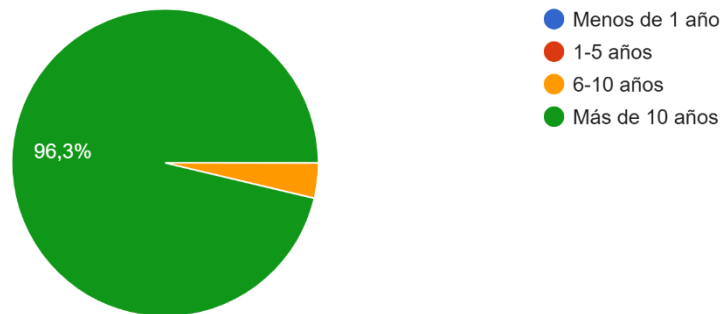


2. Género:
27 respuestas



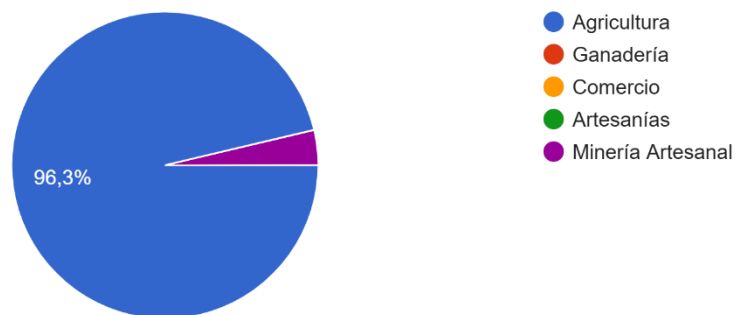
3. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la vereda de San Pablo?

27 respuestas



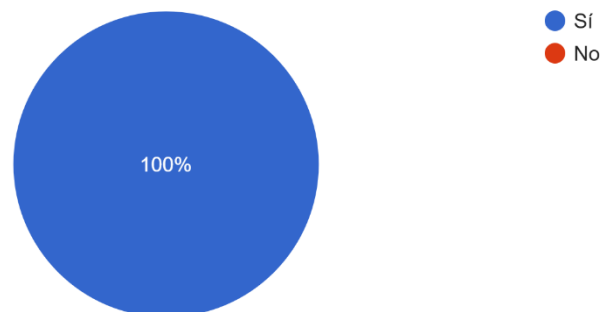
4. ¿Cuál es su principal actividad económica?

27 respuestas



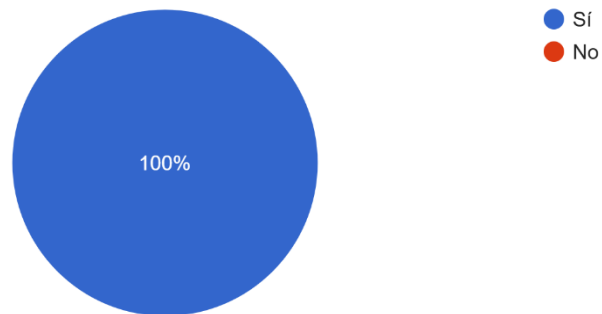
5. Conoce el proyecto: modelo de vivienda VIC ecosostenible para la vereda San Pablo del municipio de López de Micay, departamento del Cauca".

27 respuestas



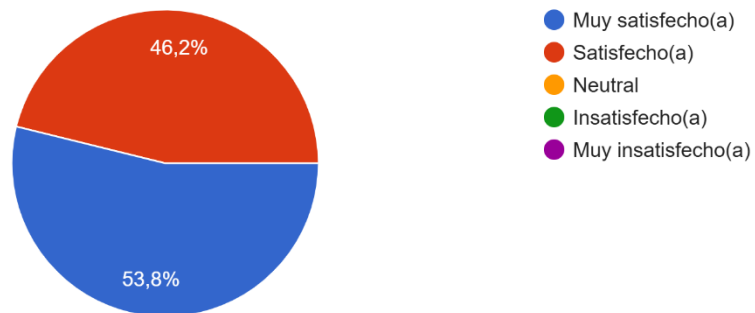
6. ¿Ha tenido la oportunidad de ver el diseño preliminar de la vivienda?

27 respuestas



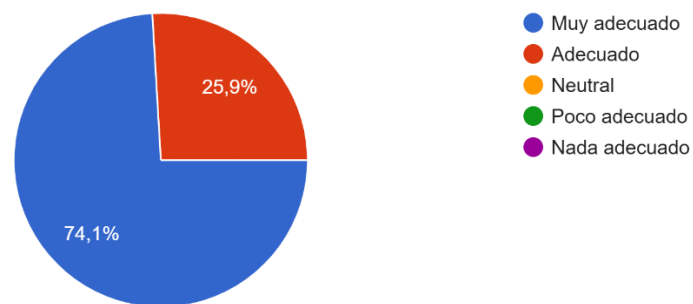
7. En general, ¿qué tan satisfecho(a) está con el diseño preliminar de la vivienda?

26 respuestas



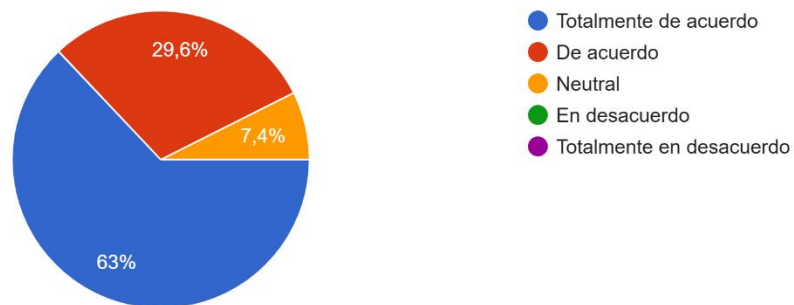
8. ¿Cree que el diseño preliminar de la vivienda es adecuado para el entorno natural de la vereda San Pablo?

27 respuestas



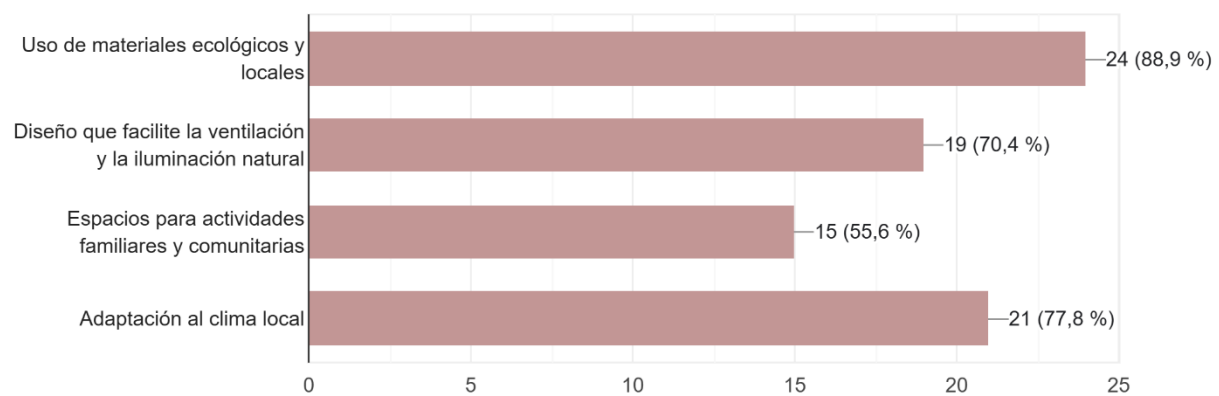
9. ¿Considera que el diseño respeta y refleja la cultura y las costumbres de la comunidad?

27 respuestas



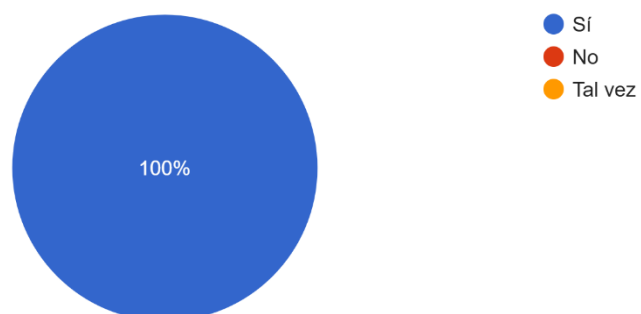
10. ¿Qué elementos del diseño considera más importantes? (Seleccione los que apliquen)

27 respuestas



11. ¿Le gustaría que la vivienda incluyera sistemas de energía renovable (como paneles solares)?

27 respuestas



12. ¿Cree que es importante incluir un sistema de recolección y uso de aguas lluvias?

26 respuestas



13. ¿Que tipo de madera de fácil acceso considera que se debe usar para el modelo de vivienda VIC? (Machare, tangare, cedro, sande, etc)

27 respuestas

Machare
Mangle
Mangle
Mangle, Machare
Cedro
Mangle: la madera se ha escaseado bastante
Chanud Machare
Machare,Chanul

Mangle y Nato

Machare, mangle

Mangle y cedro

Machare, Tangare

machare

14. ¿Tiene alguna sugerencia específica para mejorar el diseño preliminar de la vivienda?

27 respuestas

No

No tengo ninguna sugerencia

NO

Me gustan las viviendas con un solo pasillo

No tengo ninguna sugerencia, me gusta el modelo

Mejorar el sistema de recolección de agua, para que está pueda ser distribuida através de la tubería en toda la casa

Cambiar el diseño de la cubierta. Seria mejor una cubierta de dos aguas o tres aguas al mismo nivel; es decir si la cubierta es de dos aguas debe dividirse en el centro de la vivienda al mismo nivel.

ninguna sugerencia

15. ¿Hay otros aspectos importantes que cree que se deberían considerar en el diseño de la vivienda?

26 respuestas

No

No hay ningún aspecto importante que creo se deba considerar, pues el modelo es adecuado para el entorno.

No

Lo único es cambiar el techo

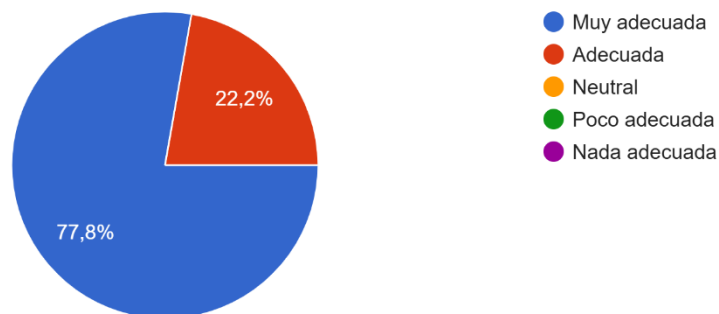
Se podría considerar hacer un diseño con concreto, por que dura mas que la madera... LA madera se esta escaseando en la zona.

ningun aspecto

Falta un fogon de leña

16. ¿Considera que la distribución de los espacios dentro de la vivienda es adecuada para las necesidades de una familia en esta comunidad?

27 respuestas



17. ¿Hay algún aspecto específico que le gustaría cambiar o mejorar en la distribución de los espacios o la fachada de la vivienda?

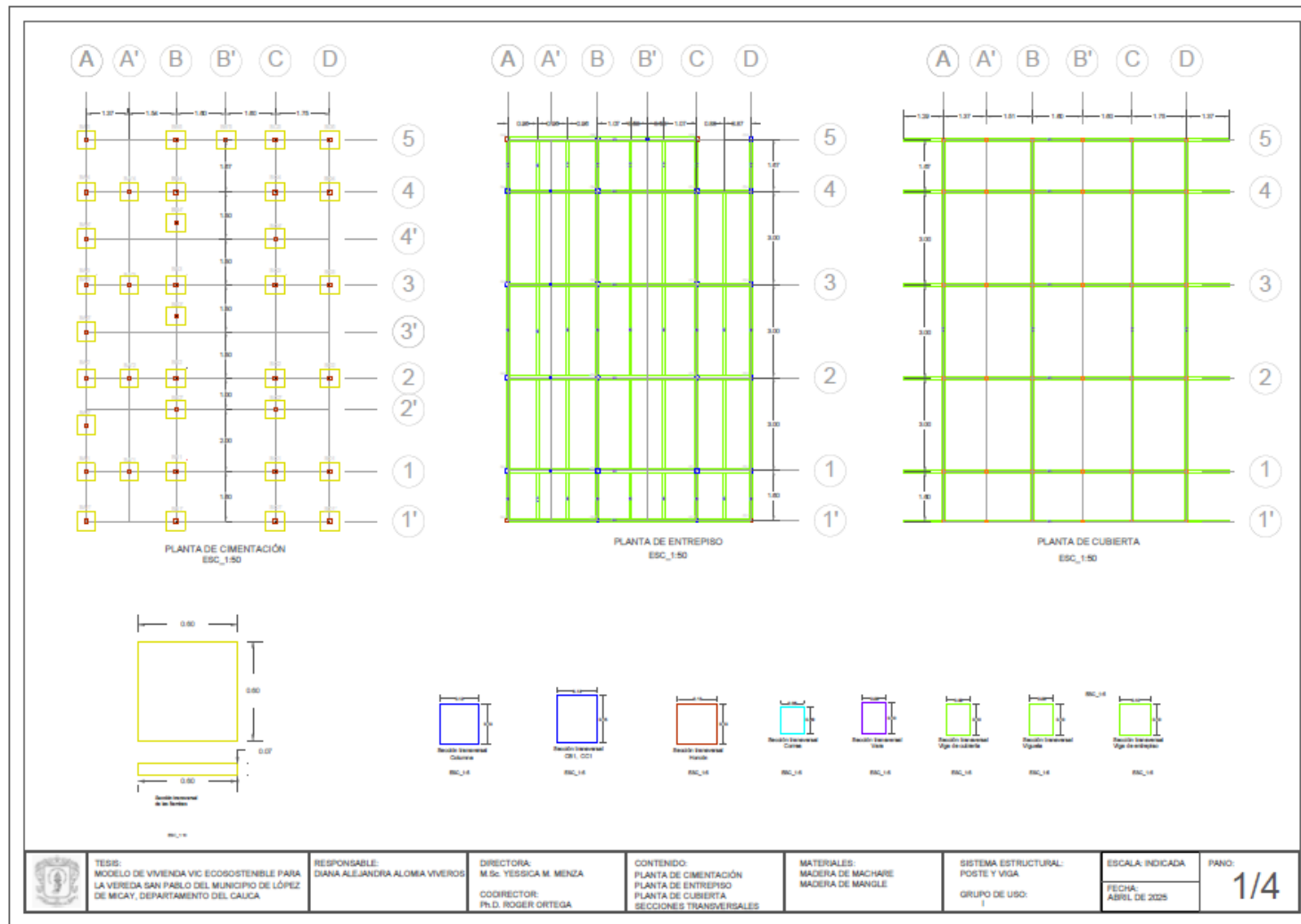
27 respuestas

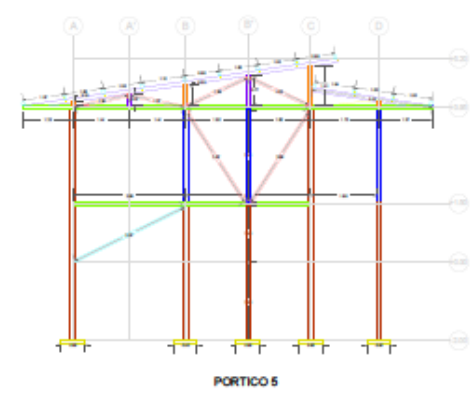
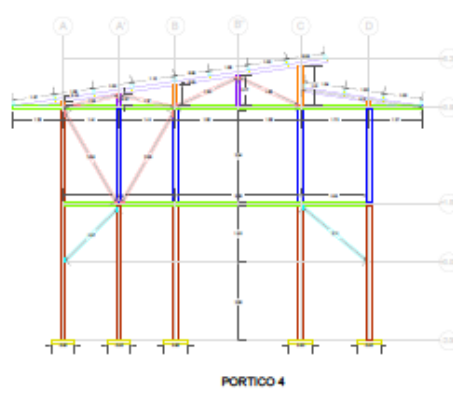
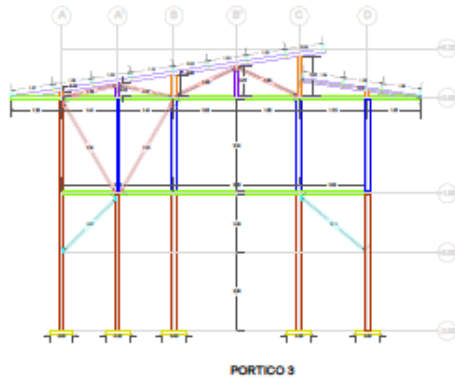
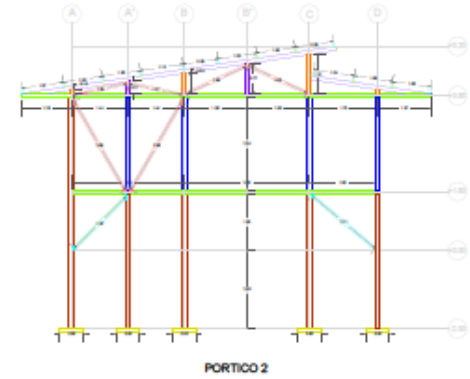
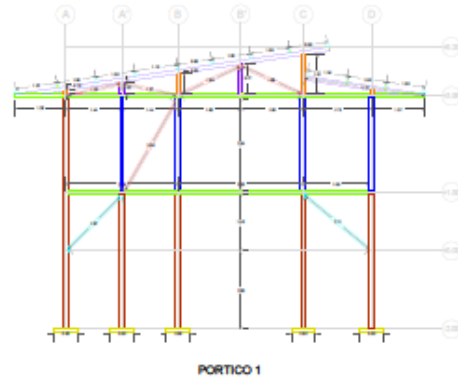
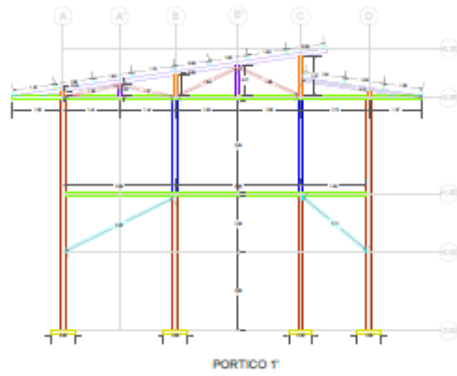
No

Tener en cuenta la alta humedad de la zona.

ANEXO C

PLANOS ESTRUCTURALES





TESIS:
MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE PARA
LA VEREDA SAN PABLO DEL MUNICIPIO DE LÓPEZ
DE MICAY, DEPARTAMENTO DEL CAUCA

RESPONSABLE:
DIANA ALEJANDRA ALOMA VIVEROS

DIRECTORA:
M.Sc. YESSICA M. MENZA
COORDINADOR:
Ph.D. ROGER ORTEGA

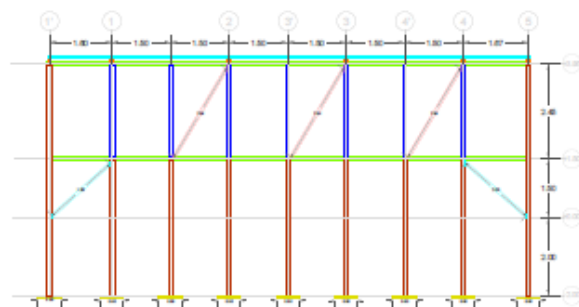
CONTENIDO:
PÓRTICOS DEL EJE X

MATERIALES:
MADERA DE MACHARE
MADERA DE MANOLE

SISTEMA ESTRUCTURAL:
POSTE Y VIGA
GRUPO DE USO:
I

ESCALA: ESC. 1:50
FECHA:
ABRIL DE 2025

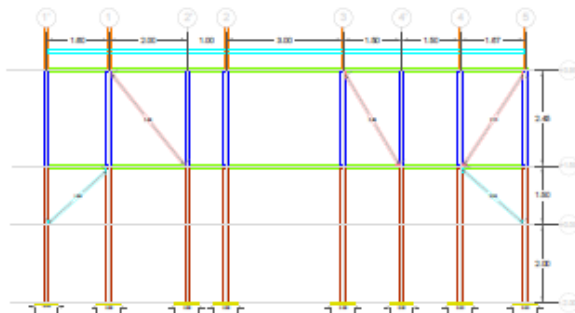
PANO:
2/4



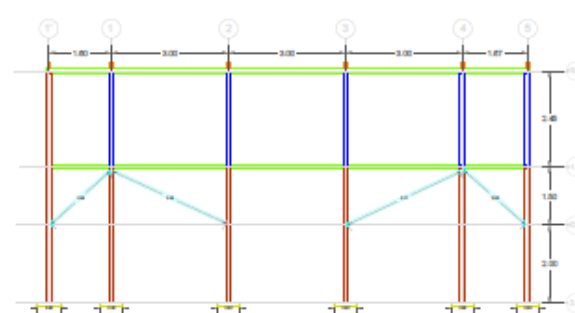
PORTICO A



PORTICO B



PORTICO C



PORTICO D



TESIS:
MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE PARA
LA VEREDA SAN PABLO DEL MUNICIPIO DE LÓPEZ
DE MICAY, DEPARTAMENTO DEL CAUCA

RESPONSABLE:
DIANA ALEJANDRA ALOMA VIVEROS

DIRECTORA:
M.Sc. YESSICA M. MENZA

COORDINADOR:
Ph.D. ROGER ORTEGA

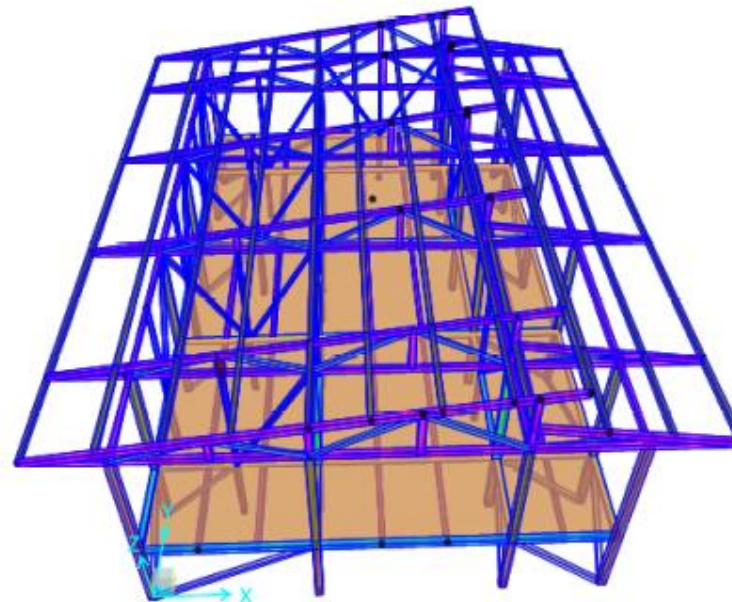
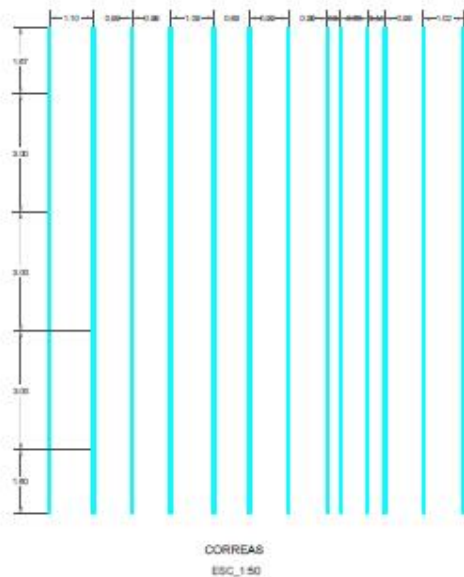
CONTENIDO:
PÓRTICOS DEL EJE Y

MATERIALES:
MADERA DE MACHARE
MADERA DE MANGLE

SISTEMA ESTRUCTURAL:
POSTE Y VIGA
GRUPO DE USO:
I

ESCALA: ESC. 1:50
FECHA:
ABRIL DE 2025

PÁGINA:
3/4



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Normatividad Aplicable

El diseño estructural se desarrolló conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en particular el Título Q. Construcciones en Madera. Se consideraron también los Títulos B (Cargas), C (Análisis estructural) y D (Amenaza sísmica), según la aplicabilidad. Además, se tomaron en cuenta criterios técnicos adaptados al uso de especies locales como el machare y el mangle.

Sistema Estructural

La estructura se compone de un sistema de postes y vigas de madera sobre horcones (palefita), elevando la vivienda del suelo. Se utilizó el método de fuerza horizontal equivalente para el análisis sísmico.

Materiales

Madera de Macheere

Uso: Estructura principal (postes, vigas).

Propiedades de diseño:

Módulo de elasticidad: 11200 MPa
Resistencia a la compresión paralela a la fibra: 13 MPa
Resistencia a la tracción paralela a la fibra: 15 MPa
Durabilidad: Alta (muy resistente a la pudrición).

Tratamiento: Secado natural en sombra.

Madera de Mangle

Uso: Horcones y apoyos en contacto con el suelo.

Propiedades de diseño:

Módulo de elasticidad: 19600 MPa
Resistencia a la compresión paralela a la fibra: 21,9 MPa
Resistencia a la tracción paralela a la fibra: 16,8 MPa

Conexiones

Uniones articuladas con pernos galvanizados, tornillos y clavos tratados.
Protección anticorrosiva para elementos metálicos en contacto con la madera.

Cimentación

Se realiza una excavación de dos metros para ubicar los horcones, y en la base se coloca la "bomba" (pieza de madera) para mejorar el anclaje y la distribución de cargas.

Consideraciones Sísmicas

Se aplica el método de fuerza horizontal equivalente.

Se realiza anclamiento en lugares donde el diseño arquitectónico lo permita.

Mantenimiento

Inspección anual de la estructura, especialmente en zonas de contacto con el suelo o expuestas al agua.

Reaplicación de tratamientos protectores cada dos años.

Complemento Normativo - Título Q.11 NSR-10

De acuerdo con el Capítulo Q.11 de la NSR-10, esta edificación es aplicable a viviendas rurales de un piso. Este capítulo establece:

Uso permitido de maderas locales resistentes, con o sin tratamiento.

Uniones tradicionales son válidas si garantizan transmisión de cargas.

Estabilidad lateral debe lograrse mediante geometría estructural, conexiones eficientes y anclajes adecuados.

Se permite el uso de horcones directamente enterrados en el terreno.

El análisis sísmico se puede realizar mediante el método de fuerza horizontal equivalente.

La vivienda palefita fue diseñada conforme al Título Q.11 de la NSR-10, integrando criterios tradicionales y técnicos que garantizan resistencia estructural y seguridad frente a eventos sísmicos.



TESIS:
MODELO DE VIVIENDA VIC ECOSOSTENIBLE PARA
LA VEREDA SAN PABLO DEL MUNICIPIO DE LÓPEZ
DE MICAÍ, DEPARTAMENTO DEL CAUCA

RESPONSABLE:
DIANA ALEJANDRA ALONSO VIVEROS

DIRECTORA:
M.Sc. YESSICA M. MENZA

COORDINADOR:
Ph.D. ROGER ORTEGA

CONTENIDO:
CORREAS
VISTA 3D
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

MATERIALES:
MADERA DE MACHARE
MADERA DE MANGLE

SISTEMA ESTRUCTURAL:
POSTE Y VIGA
GRUPO DE USO:
1

ESCALA: INDICADA
FECHA:
ABRIL DE 2025

PÁGINA:
4/4

ANEXO D

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR PROPUESTAS AUTOSUSTENTABLES

A. Determinar la carga de la vivienda a la cual se le va a suministrar energía eléctrica:

Para dimensionar adecuadamente el sistema de generación de energía, es fundamental identificar los equipos eléctricos que estarán en uso dentro de la vivienda. En este caso, se considera una vivienda destinada a cinco personas, por lo que se incluyen los siguientes dispositivos y cargas eléctricas (Tabla 31).

Tabla 31. Consumos comunes de equipos electrodomésticos en una vivienda.

Equipos	Potencia (W)	Periodo de operación (h)	Cantidad	Tecnología	Potencial Total (W)	Energía (Wh/día)	Energía (kWh/día)
Licuada	350	0,2	1	Convencional	350	70	0,07
Congelador	250	10	1	Convencional	250	2500	2,5
Televisor	100	3	1	LED	100	300	0,3
Luces	9	5	12	LED	108	540	0,54
Celulares	5	4	2	Convencional	10	40	0,04
Total					818	3450	Ec = 3,45

La potencia es la cantidad de energía consumida o entregada por unidad de tiempo. Se mide en watts (W) y es un parámetro fundamental en el diseño y dimensionamiento de equipos eléctricos, ya que cada dispositivo requiere una potencia específica para su correcto funcionamiento. La potencia eléctrica de la mayoría de los equipos está expresada en watts (W) y se determina a partir de la relación entre voltaje y amperaje. Para calcular estos valores, se pueden emplear las siguientes fórmulas (Ecuación 17, Ecuación 18 y Ecuación 19):

$$W = V * I \quad \text{Ecuación 17}$$

$$V = \frac{W}{I}$$

Ecuación 18

$$I = \frac{W}{V}$$

Ecuación 19

Donde:

W= es la potencia eléctrica en vatios (watts).

V= es el voltaje eléctrico en voltios (volts).

I= es la corriente eléctrica en amperios (amperios).

La energía es el resultado de multiplicar la potencia de un equipo por el número de horas que permanece encendido. Su unidad de medida es el kilovatio-hora (kWh). Con la Ecuación 20 se calcula el consumo energético.

$$\text{kWh} = \text{kW} \times \text{h}$$

Ecuación 20

Donde:

Energía (kWh) = Potencia (kW) × Tiempo de uso (horas)

El consumo total de energía de un conjunto de equipos se obtiene sumando el consumo individual de cada uno durante un período determinado, generalmente calculado por día o mes.

Este parámetro se determina con la Ecuación 21.

$$Ec = \sum Ei ; Ei = E1 + E2 + E3 + \dots En$$

Ecuación 21

En donde,

E_i ; Consumo de energía eléctrica del equipo (carga) i , en kWh, día o mes.

Como se aprecia en la Tabla 31, el consumo total de energía eléctrica del conjunto de equipos es de 3,45 kWh por día.

B. Determinar los elementos que hacen parte del sistema solar fotovoltaico:

Los sistemas fotovoltaicos se componen de tres subsistemas principales:

1. Subsistema de generación: Se encarga de convertir la energía solar en electricidad y está compuesto por el panel solar.
2. Subsistema de almacenamiento: Su función es acumular la energía generada durante el día para su uso en horas nocturnas. Este subsistema está representado por la batería.
3. Subsistema de control: Permite gestionar y supervisar el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico. Generalmente incluye el controlador de carga, el interruptor termomagnético, el inversor de voltaje de DC a AC y la fusilera de protección para el consumo de energía.

Cálculo de paneles solares:

Para este proyecto se propone el uso de paneles monocristalinos, debido a su eficiencia y disponibilidad en el mercado. Para dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico, se deben considerar los siguientes factores clave:

1. Demanda energética diaria: Determinar la cantidad de energía consumida por la vivienda en un día, sumando la potencia de los equipos eléctricos y el tiempo de uso de cada uno.
2. Capacidad de generación de los paneles: Asegurar que los paneles solares generen suficiente energía para cubrir la demanda diaria de la vivienda.

3. Hora Solar Pico (HSP): Es el número de horas efectivas de radiación solar en las que los paneles operan a su máxima capacidad. Este valor es fundamental para estimar la cantidad de paneles necesarios.
4. Eficiencia y pérdidas del sistema: Incluir factores como la eficiencia del inversor, pérdidas por temperatura y acumulación de suciedad en los paneles.

Con base en estos criterios, se seleccionará el número y la capacidad de los paneles solares que garantizarán el suministro eléctrico adecuado para la vivienda.

$$N^{\circ} \text{ panel} = \frac{EC * 1.3}{HSP * WP} \quad \text{Ecuación 22}$$

EC = Consumo diario

HPS = Hora solar pico

WP = Potencia panel

1.3 = es un fator de seguridad, sobredimensional de un 30% más de consumo.

El consumo diario de kWh se debe multiplicar por 1000 para hacer la conversión y tener las unidades de energía en Watts neta que hay que captar.

$$EC = 3.45kWh * 1000 = 3450Wh$$

Tabla 32 .Irradiación mensual del municipio de López del Micay((UPME), 2005)

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Irradiación kWh/m ² /día	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	3.5 - 4.0	4.0 - 4.5	4.5 - 5.0	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	4.0 - 4.5	3.5 - 4.0	3.5 - 4.0

Para determinar la Hora Solar Pico (HSP) a partir de la irradiación solar diaria (kWh/m²/día), se usa la Ecuación 23.

$$HPS = \frac{\text{Irradiación solar (kWh/m}^2\text{/día)}}{1(\text{kWh/m}^2)}$$

Ecuación 23

- La irradiación solar diaria (kWh/m²/día) representa la cantidad total de energía solar que incide en un metro cuadrado en un día.
- La HSP se define como el número de horas en las que la irradiancia solar es equivalente a 1 kW/m².
- Como 1 kW/m² es el valor estándar de irradiancia en condiciones de prueba, dividir la irradiación solar diaria por este valor nos da el equivalente en horas.
- La irradiación solar en López de Micay varía entre 3.5 y 4.5 kWh/m²/día. Para un diseño conservador, tomaremos 4 kWh/m²/día.

$$HPS = \frac{4 (\text{kWh/m}^2\text{/día})}{1(\text{kW/m}^2)} = 4 \text{ h/día}$$

Wp = 385W este tipo de panel fotovoltaico con esta potencia se propone porque es uno de los más comercializados en el mercado colombiano.

$$N^{\circ} \text{ panel} = \frac{3450 \text{Wh} * 1.3}{4 \text{h} * 385 \text{W}} = 2.91$$

El valor es de 2.91 y se realiza una aproximación a 3, por lo tanto, si el consumo diario es de 3.45k Wh se debe utilizar 3 paneles de 385W (Tabla 33).

Tabla 33. Panel solar monocristalino YL385D-36b (385 Wp)

Propiedad	Valor
Potencia Máxima (Pmax)	385 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	40.62 V
Corriente en el Punto de Máxima Potencia (Imax)	9.48 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	48.83 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	10.12 A
Eficiencia	19.4 %
Tolerancia de Potencia	±1.5 %

Fuente: elaboración propia

El regulador solar MPPT permite operar los paneles solares a una tensión diferente a la de la batería, optimizando la producción de energía al ajustar la tensión de trabajo al punto de máxima potencia (MPPT). Los paneles solares de 40V, compuestos por 72 celdas en serie, alcanzan su máxima potencia a una tensión de aproximadamente 48.5V (Vmp). Para determinar la corriente máxima de carga, se divide la potencia total de los paneles entre la tensión de la batería (ver Ecuación 1).

$$\frac{P_{tot}}{V_{bat}} = I_{MAX} \quad \text{Ecuación 24}$$

Se requiere un regulador MPPT de 60A, cuya potencia se calcula con el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico. Dado que los paneles están conectados en serie, la potencia del regulador se determina con la Ecuación 25.

$$P_c = V_0 * I_s \quad \text{Ecuación 25}$$

$$P_c = 48.83V * (3 * 10.12Ah) = 1482.48Wh$$

Se selecciona un controlador solar MPPT de la marca Victron, ya que cumple con los requisitos establecidos.

Inversor:

El inversor tiene la función de transformar la energía eléctrica de corriente continua, suministrada por los paneles solares, en corriente alterna para alimentar los dispositivos eléctricos instalados. En esta instalación, el inversor recibe una tensión de entrada de 24V en corriente continua y genera una tensión de salida de 60 Hz en corriente alterna. Un aspecto fundamental del inversor es su rendimiento, mayor al 90% valor que debe considerarse al diseñar el sistema. Un factor clave para elegir un inversor es su potencia, ya que determina la cantidad de energía que se puede utilizar simultáneamente sin afectar el desempeño del sistema. En este caso, se empleará un inversor de 2000 W, seleccionado por su capacidad para cumplir con los requerimientos del sistema.

Baterías:

El almacenamiento de energía eléctrica depende de las baterías, cuya función es garantizar el suministro en distintas condiciones. Para lograr una tensión de trabajo adecuada, las baterías deben conectarse en serie, mientras que su conexión en paralelo permite aumentar la capacidad de almacenamiento y asegurar el autoabastecimiento del sistema. La cantidad de baterías se determinan siguiendo la Ecuación 26.

$$\text{Banco de baterías} = \text{número de días} * \text{consumo diario} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$Bb = 1 * 3450Wh = 3450Wh$$

$$Bb = \frac{3450Wh}{24V} = 143.75 Ah$$

Para el diseño se proponen 2 baterías de 200Ah, debido a que se conectaran en serie.

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR EL SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS LLUVIA

a) Superficie de Captación.

La captación del agua se realizará a través de la cubierta de la vivienda, la cual está conformada por un techo de zinc con una inclinación aproximada de 10° lo cual es compatible con las recomendaciones para techos eficientes en captación pluvial (Buitrago González et al., 2022). Las dimensiones del techo son de 8.1 m de ancho y 12.3 m de largo, lo que proporciona una superficie de captación de 99.63 m².

Dado que la vivienda está diseñada para cinco habitantes, se estima un consumo de agua basado en la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que sugiere 100 litros diarios por persona. Por lo tanto, la demanda total de agua para la vivienda será:

$$V = 500 \frac{L}{dia} * 30 dias = \frac{15000L}{mes} = 15m^3$$

Esto significa que la vivienda necesita 15,000 litros de agua al mes para satisfacer las necesidades básicas de sus habitantes.

El volumen de agua captada mensualmente se calcula con la Ecuación 27.

$$V = P * A * n \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

P = La precipitación mensual en metros

A = área de captación en metros cuadrados (99.63m²)

n=es la eficiencia del sistema (para el caso se estima de 0.85 por perdidas y evaporación)

Por ejemplo, para mayo que presenta la mayor precipitación:

$$V = 0.835m * 99.63m^2 * 0.85 = 70.7m^3 \cong 70700L$$

Febrero que presenta la menor precipitación.

$$V = 0.304m * 99.63m^2 * 0.85 = 25.7m^3 \cong 25700L$$

Incluso en el mes más seco (Tabla 34), la captación supera el consumo (15,000 litros), por lo que el sistema puede abastecerse todo el año.

Tabla 34. Volumen de captación por mes

Mes	Precipitación (mm)	Precipitación (m)	Área de captación (m ²)	Volumen de captación (m ³)	Volumen de captación (L)
Enero	505	0,505	99,63	42,77	42766,18
Febrero	304	0,304	99,63	25,74	25744,39
Marzo	386	0,386	99,63	32,69	32688,60
Abril	550	0,55	99,63	46,58	46577,03
Mayo	835	0,835	99,63	70,71	70712,39
Junio	675	0,675	99,63	57,16	57162,71
Julio	577	0,577	99,63	48,86	48863,53
Agosto	663	0,663	99,63	56,15	56146,49
Septiembre	762	0,762	99,63	64,53	64530,35
Octubre	795	0,795	99,63	67,32	67324,97
Noviembre	674	0,674	99,63	57,08	57078,03
Diciembre	611	0,611	99,63	51,74	51742,84

Fuente: elaboración propia a partir de la información del IDEAM

b) Canaletas y bajantes

La selección de canaletas y bajantes teniendo en cuenta proyectos similares (Arroyave Rojas et al., 2022; Buitrago González et al., 2022)

- ❖ Se proponen canaletas de PVC a lo largo del borde inferior del techo para dirigir el agua a los bajantes.
- ❖ Las canaletas tendrán una pendiente del 1-2 % para facilitar el flujo del agua.
- ❖ Se recomienda un diámetro de 4 a 6 pulgadas para las canaletas, dependiendo del caudal de lluvia.

- ❖ Se instalarán dos bajantes de PVC de 4 pulgadas de diámetro en los extremos del techo, dirigidos hacia el sistema de filtración inicial.

c) Sistema de Filtración Inicial

- ❖ Filtro de malla gruesa en las canaletas.
- ❖ Filtro de primer lavado: Un sistema que desecha los primeros litros de agua contaminados con polvo y residuos del techo.
- ❖ Filtro de sedimentos con arena y grava para eliminar impurezas antes del almacenamiento.

El sistema de filtración inicial contempla el uso de malla gruesa, un sistema de primer lavado y un filtro de sedimentos de arena y grava. Esta configuración se alinea con las prácticas sugeridas en proyectos similares (Arroyave Rojas et al., 2022; Buitrago González et al., 2022)

d) Tanque de Almacenamiento

Para el almacenamiento del agua recolectada, se propone la instalación de tres tanques de 5,000 litros cada uno, lo que permitirá cubrir la demanda mensual de la vivienda, estimada en 15,000 litros.

Debido al peso de los tanques con agua se propone una estructura de concreto adyacente a la vivienda para que soporte los tanques de almacenamiento de agua. Esto permitirá garantizar la estabilidad estructural de la vivienda y facilitar el acceso al agua almacenada sin comprometer la seguridad de la construcción.

Se proponen tanques de plástico los cuales deben incluir:

- ❖ Tapa hermética para evitar contaminación.
- ❖ Válvula de purga en la parte inferior para limpiar sedimentos.

- ❖ Desborde para el exceso de agua en temporada de lluvias.

e) Sistema de Distribución

- ❖ Bomba manual o eléctrica para llevar el agua a la vivienda.
- ❖ Tuberías de PVC de ½” o ¾” para distribuir el agua a grifos y puntos de uso.
- ❖ Filtro de carbón activado y UV porque el agua será utilizada para consumo humano.

Dado que el agua recolectada será utilizada para consumo humano, se propone un tratamiento adicional mediante filtro de carbón activado y luz ultravioleta, técnica recomendada por (Guimarães et al., 2001) , quienes destacan su efectividad para reducir la carga microbiológica en zonas rurales

PASOS DE CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA SUTRANE

1. Instalar fosa de aguas negras

- Enterrar el barril de 500 L cerca del sanitario.
- Cortar orificios para entrada (PVC 4”) y salida (PVC 2”).
- Colocar la salida en un nivel inferior para facilitar el flujo al filtro.
- Asegurar la tapa para facilitar mantenimiento

2. Instalar fosa de aguas grises

- Enterrar el barril más pequeño (200 L) cerca de los lavaderos o duchas.
- Instalar tubería de entrada y salida.
- Colocar plantas acuáticas
- Tapar parcialmente para que reciba luz solar.

3. Construir filtro biofísico

- Armar un cajón rectangular con madera o malla metálica (1.8 × 1 × 0.6 m).

- Forrar con geomembrana o plástico grueso sin dejar fugas.
- Llenar por capas (de abajo hacia arriba): piedra bola, grava, gravilla, arena, tierra.
- Sembrar flores u hortalizas ornamentales encima.
- Conectar entrada desde las fosas (con válvula si se quiere alternar entre aguas grises y negras).
- Hacer salida del extremo opuesto con tubo hacia una zanja o directamente al río

4. Conectar tuberías

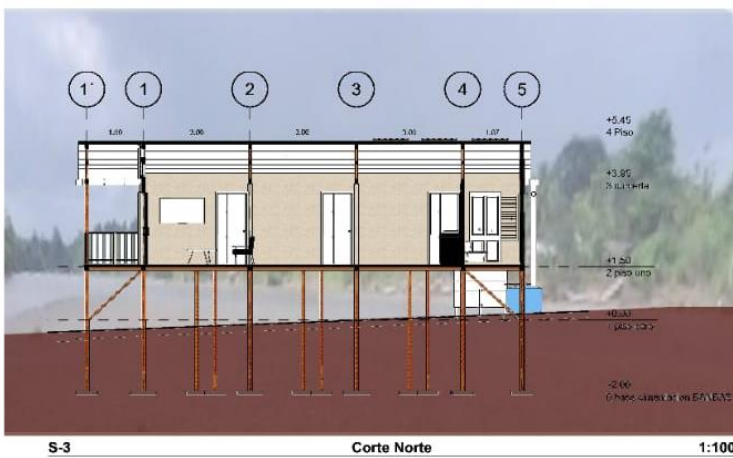
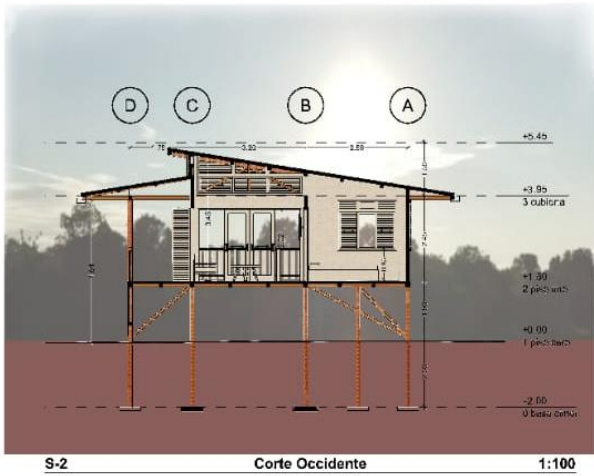
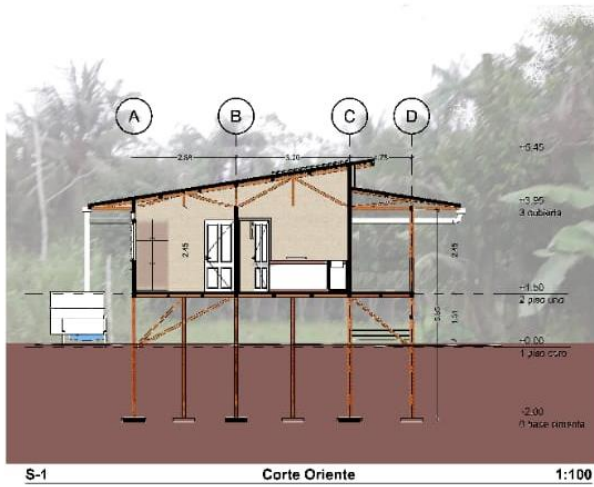
- Instalar todas las conexiones con pendiente mínima del 1%.
- Usar codos, abrazaderas o cemento según el tipo de conexión.
- Asegurarse de que no haya fugas.

5. Mantenimiento

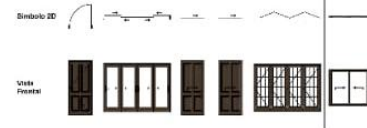
- Mensual: Revisar el barril de aguas negras y extraer la nata si es visible.
- Cada 6 meses: Lavar la capa superior del filtro (arena y tierra), revisar drenaje.
- Anual: Vaciar lodos del fondo de los barriles si se llenan (se puede usar como fertilizante compostado).

ANEXO E

Propuesta arquitectónica final



Nombre Elemento	Puerta 04	Puerta Corredor 24	Puerta ...	Puerta ...	Puerta Corredor P1	Ventana Cor...
ID Elemento	P-01	P-02	P-03	P-05	P-06	V-03
Cantidad	1	1	1	1	1	1
Tamaño	0.60x2.10	2.80x2.10	0.60x2.10	0.60x2.10	3.00x2.10	1.51x1.42
Altura	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10



E-04 Puertas y Ventanas - Madera 1:1.37

Ventana Corredor ...	Ventana Corredor ...	Ventana Corredor ...	Ventana Corredor ...	Ventana Corredor ...	Ventana E...
V-03	V-01	V-05	V-06	V-07	V-04
2.06x1.42	1.85x1.42	1.85x0.81	2.15x0.86	3.09x1.12	0.56x1.42
1/34	1/37	1/34	1/37	1/36	1/37





