



# APLICACIÓN DE UN PROCESO CONSTRUCTIVO NO CONVENCIONAL MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL RURAL

Universidad Santo Tomás – Tunja

Jeffer Alexander Gaona Gama

2025



APLICACIÓN DE UN PROCESO CONSTRUCTIVO NO CONVENCIONAL  
MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL  
RURAL



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

---

JEFFER ALEXANDER GAONA GAMA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
TUNJA  
2025

APLICACIÓN DE UN PROCESO CONSTRUCTIVO NO CONVENCIONAL  
MEDIANTE EL DISEÑO DE UN MODELO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL  
RURAL

JEFFER ALEXANDER GAONA GAMA

Documento final presentado como opción de grado para optar por el título de  
Ingeniero Civil

Aprobado Por:

PhD. NYDIA MARGARITA HABRAN ESTEBAN  
Director (a)

MSc. NELSON VARGAS ORTIZ  
Codirector

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
TUNJA  
2025

Nota de aceptación:

---

---

---

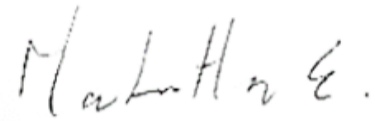
---

---

---

---

---

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. L. H. E.', positioned above a horizontal line.

Firma Director(a) del Proyecto

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Tunja, 03 de febrero de 2025

*Dedicado a mis padres  
José Belarmino Gaona Daza y María Alcira Gama Sosa,  
quienes son mi ejemplo a seguir y se han encargado de  
apoyar con gran esfuerzo mi formación como persona y  
como profesional.*

***Jeffer Alexander Gaona Gama***

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios por concederme sabiduría y fortaleza para culminar mi carrera universitaria de la mejor manera.

A la profesora Nydia Habran y al ingeniero Nelson Vargas, por su paciencia, orientación y conocimientos para poder realizar este proyecto.

Al ingeniero Cesar Gaona por sus aportes en la elaboración de salidas gráficas y presupuesto del proyecto.

Al ingeniero Gustavo Gaona por su orientación y aportes en la redacción de este escrito.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO II: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
2.1.1.    Descripción de la Problemática .....	5
<b>2.2.    JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.    OBJETIVOS .....</b>	<b>9</b>
2.3.1.    Objetivo General .....	9
2.3.2.    Objetivos Específicos .....	9
<b>CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1.    MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
3.1.1.    El Bambú.....	11
3.1.2.    La Guadua.....	13
3.1.2.1.    Morfología .....	14
3.1.2.2.    Propiedades .....	19
3.1.2.3.    Control de calidad .....	20
3.1.2.4.    Protección por diseño.....	27
3.1.2.5.    Mantenimiento .....	28
3.1.3.    Bahareque .....	28
3.1.3.1.    Bahareque Encementado .....	31
3.1.3.2.    Calidad de los materiales .....	32
3.1.3.3.    Muros.....	33
3.1.3.4.    Columnas .....	34
3.1.3.5.    Uniones .....	35
3.1.3.6.    Cubiertas.....	37
<b>3.2.    ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>38</b>
<b>CAPITULO IV: METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.    MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>44</b>
4.1.1.    Fase 1: Guadua como material de construcción .....	44
4.1.2.    Fase 2: Diseño del modelo de vivienda .....	44
4.1.3.    Fase 3: Cantidades y presupuesto del modelo de vivienda .....	45
4.1.4.    Cronograma de actividades.....	45
<b>CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.    RESULTADOS.....</b>	<b>47</b>
5.1.1.    Fase 1: Guadua como material de construcción .....	47
5.1.2.    Fase 2: Diseño del modelo de vivienda .....	47

5.1.2.1.	Diseño Arquitectónico .....	47
5.1.2.2.	Diseño Estructural.....	49
5.1.2.3.	Diseño Eléctrico .....	55
5.1.2.4.	Diseño Hidrosanitario .....	57
5.1.3.	Fase 3: Cantidades y presupuesto del modelo de vivienda .....	60
<b>5.2.</b>	<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>65</b>
<b>6.1.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>6.2.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>GLOSARIO.....</b>		<b>69</b>
<b>CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>71</b>
<b>7.1.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>74</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Hogares en déficit habitacional, según tipo (%). Nivel nacional.....	5
Tabla 2: Hogares según tipo de tenencia de la vivienda (%). Total nacional.....	6
Tabla 3: Hogares con déficit habitacional, según tipo (%). Área.....	6
Tabla 4: Hogares según tipo de tenencia de la vivienda (%). Área.....	6
Tabla 5: Guaduas usadas en construcción (América). .....	12
Tabla 6: Chusqueas usadas en construcción (América). .....	12
Tabla 7: Bambusas usadas en construcción (Asia). .....	13
Tabla 8: Productos utilizados para preservar el bambú. ....	24
Tabla 9: Clasificación de los culmos. ....	26
Tabla 10: Tipos de uniones según el material de conexión. ....	35
Tabla 11: Tipos de uniones según su función.....	36
Tabla 12: Edificaciones en Bambú Guadua a nivel internacional. ....	38
Tabla 13: Puentes peatonales construidos en bambú guadua a nivel internacional. .....	39
Tabla 14: Edificaciones en Bambú Guadua en Colombia. ....	40
Tabla 15: Puentes peatonales construidos en bambú guadua en Colombia. ....	41
Tabla 16: Dimensionamiento de espacios en el modelo de vivienda.....	48
Tabla 17: Módulos de Elasticidad (MPa) de guadua CH=12% (Tabla G.12.7-2)...	50
Tabla 18: Carga Vivas. ....	51
Tabla 19: Cargas Muertas. ....	51
Tabla 20: Datos espectro de diseño. ....	51
Tabla 21: Esfuerzos Vigas - Correas. ....	53
Tabla 22: Esfuerzos en Columnas. ....	53
Tabla 23: Esfuerzos en Columnas Compuestas. ....	53
Tabla 24: Tablero de circuitos de distribución del sistema eléctrico. ....	57
Tabla 25: Criterios de diseño sistema hidráulico.....	58
Tabla 26: Diámetros de tubería de desagüe.....	60
Tabla 27: Relación Costo área vivienda de interés social rural. ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Zonas en el mundo donde nace el bambú.....	11
Fig. 2: Partes de la Guadua. ....	14
Fig. 3: Rizoma.....	15
Fig. 4: Tallo o culmo.....	15
Fig. 5: Yema.....	16
Fig. 6: Ramas.....	16
Fig. 7: Hojas Caulinares.....	17
Fig. 8: Hojas de follaje. ....	17
Fig. 9: Inflorescencia.....	17
Fig. 10: Fruto.....	18
Fig. 11: Plántula.....	18
Fig. 12: Corte de la guadua. ....	21

Fig. 13: Curado por inmersión en agua.....	22
Fig. 14: Curado al calor.....	22
Fig. 15: Avinagrado de la guadua.....	23
Fig. 16: Preservado por Inmersión.....	23
Fig. 17: Preservado por método Boucherie.....	24
Fig. 18: Preservado por método Boucherie modificado.....	24
Fig. 19: Secado al aire.....	26
Fig. 20: Secado por inyección de aire.....	26
Fig. 21: Almacenamiento de la guadua.....	27
Fig. 22: Bahareque de tierra relleno.....	29
Fig. 23: Bahareque de tierra hueco.....	29
Fig. 24: Bahareque de tabla.....	30
Fig. 25: Bahareque metálico.....	30
Fig. 26: Bahareque Contemporáneo.....	31
Fig. 27: Bahareque encementado.....	31
Fig. 28: Entramado bahareque encementado.....	32
Fig. 29: Recubrimiento bahareque encementado.....	32
Fig. 30: Muro con diagonales o arriostrado.....	33
Fig. 31: Muro sin diagonales o no arriostrado.....	34
Fig. 32: Columnas en bahareque encementado.....	34
Fig. 33: Uniones tipo recto, boca de pescado y pico de flauta.....	35
Fig. 34: Uniones tipo bisel, con oreja y con 2 orejas.....	35
Fig. 35: Cubiertas en bahareque encementado.....	37
Fig. 36: Sistema industrializado en guadua.....	41
Fig. 37: Planta arquitectónica del modelo de vivienda.....	48
Fig. 38: Arquitectura del modelo de vivienda.....	49
Fig. 39: Estructura de guadua del modelo de vivienda a someter en SAP2000.....	50
Fig. 40: Espectro de diseño del modelo de vivienda.....	52
Fig. 41: Detalle de uniones.....	54
Fig. 42: Detalle de cubierta y cercha.....	54
Fig. 43: Corte transversal vigas de cimentación.....	55
Fig. 44: Sistema eléctrico del modelo de vivienda.....	56
Fig. 45: Planta sistema hidráulico del modelo de vivienda.....	58
Fig. 46: Planta sistema sanitario del modelo de vivienda.....	59

# CAPITULO I: GENERALIDADES

*“La mente que se abre a una nueva idea, jamás volverá a su tamaño original”*

*Albert Einstein*

## **ABSTRACT**

Since their beginnings, human beings have used natural resources to meet their needs. However, due to population growth, the use and consumption of these resources have increased, making access to them more limited and generating inequality. In this regard, the growing need for housing, while also preventing environmental degradation, has led to the establishment of alternatives that contribute to sustainable development. This study includes a theoretical compilation of *Guadua Angustifolia Kunth* and its applications in the construction industry, aiming to improve the quality of life of low-income families living in rural areas. This is achieved through the design of a rural social housing model that employs a non-conventional construction system using guadua and cemented bahareque, following the necessary construction guidelines. Additionally, based on the design results, an analysis is presented on the potential impact of implementing this type of housing on quality of life, the economy, and the environment.

## **RESUMEN**

Desde sus inicios el ser humano ha utilizado los recursos naturales para satisfacer sus necesidades, sin embargo, debido al crecimiento poblacional el uso y consumo de dichos recursos ha aumentado y, por tanto, su acceso es más limitado generando desigualdad. En este sentido, la creciente necesidad de tener una vivienda y a su vez evitar el deterioro del medio ambiente provoca que se establezcan alternativas que contribuyan a un desarrollo sostenible. En este trabajo se abarca un estudio que parte de una compilación teórica sobre la *Guadua Angustifolia Kunth* y sus aplicaciones en la industria de la construcción, hasta lograr dar aporte a una mejor calidad de vida a familias de escasos recursos que habitan sectores rurales a través del diseño de un modelo de vivienda de interés social rural, empleando un sistema constructivo no convencional usando la guadua y el bahareque encementado; todo bajo los lineamientos constructivos que lo permiten. Además, de acuerdo al resultado obtenido del diseño se presenta análisis de la influencia que tendría la ejecución de este tipo de diseño en términos de calidad de vida, economía y medio ambiente.

## INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible se ha vuelto una prioridad para los ingenieros, pues el ideal de ahora es promover procesos constructivos que generen el menor impacto ambiental posible [1]. Uno de estos procesos constructivos conduce nuevamente al uso de materiales naturales como la guadua, una planta ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales del mundo.

La guadua es un tipo de bambú que se caracteriza por las ventajas que ofrece al implementarse como materia prima; en el caso de la construcción ha llamado mucho la atención dado que posee propiedades físico-mecánicas las cuales permiten que se agregue a la lista de materiales de construcción, pues su uso contribuye al desarrollo por medio de nuevas configuraciones estructurales e innovación en articulaciones y uniones que se adaptan a diferentes geometrías y buenas transmisiones de carga [2].

La implementación de la guadua se destaca en el sistema de bahareque encementado, un sistema constructivo tradicional aprobado por la norma sismorresistente colombiana (NSR-10 título E) basado en la construcción de un esqueleto de guadua y muros (compuestos por esterilla de guadua, malla de alambre y mortero de cemento) que en conjunto trabajan para garantizar una estructura liviana, estable y resistente y además que aporta al desarrollo cultural, económico y ambiental en una sociedad, tanto así que en la zona del eje cafetero colombiano las construcciones con guadua son abundantes y patrimoniales.

Por otro lado, para garantizar el derecho a una vivienda digna, el gobierno colombiano implementa programas de viviendas de interés social dirigidos a personas de escasos recursos y en condición vulnerable. Dichas viviendas vienen diseñadas de tal manera que cumplan con estándares de calidad básicos que aseguren su habitabilidad [3]. Uno de los documentos que aporta a lo mencionado es el documento técnico de parametrización subsidio familiar de vivienda rural ofrecido por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia.

Por lo anterior, este proyecto académico consiste en diseñar un modelo de vivienda de interés social rural para aportar a una solución al déficit habitacional en familias de escasos recursos. Además, dentro del contenido del documento se presenta información que abarca un recorrido desde lo teórico a lo práctico en referencia a la guadua como planta y como material de construcción, el sistema del bahareque encementado y el diseño de la vivienda con base en la normativa de construcción colombiana. En la misma línea, se presenta un análisis de la implementación de este tipo de viviendas en términos de calidad de vida, economía y medio ambiente.

# CAPITULO II: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

*“De nuestras vulnerabilidades vienen  
nuestras fortalezas”*

*Sigmund Freud*

## 2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1.1. Descripción de la Problemática

El acceso a una vivienda digna es un derecho al que según el estado colombiano mediante su constitución política (art. 51) tienen todos sus habitantes, sin embargo, es un derecho que a su vez se convierte en un reto para el gobierno, pues con el aumento de la población resulta difícil lograr que todos accedan a una vivienda digna.

Son varios los factores que influyen en el crecimiento de población, dentro de estos se encuentran una alta tasa de fecundidad, aumento en la longevidad y/o migraciones, todas estas causas traen consigo consecuencias que en general provocan desigualdad en la sociedad y un aumento en el consumo de los recursos.

En Colombia para conocer el déficit habitacional, entidades como el DANE y la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) emplean una metodología en la cual clasifican el déficit habitacional en 2 tipos, déficit cualitativo y déficit cuantitativo. Estos tipos cuentan con un grupo de componentes que ayudan a identificar las deficiencias en una vivienda ya sea de tipo estructural o no, además cuentan con diferentes criterios de cálculo que dependen de la geografía donde se encuentran ya sea en cabeceras, centros poblados o áreas rurales [4].

Para ser más explícito con lo mencionado de la metodología de déficit habitacional, el déficit cualitativo identifica hogares que habitan viviendas que requieren mejoras o adecuaciones para cumplir con condiciones de habitabilidad adecuadas, lo cual hace que no sea necesario construir una vivienda nueva. Caso contrario a lo que identifica el déficit cuantitativo, pues este se encarga de viviendas con deficiencias estructurales y de espacio, es decir de viviendas sin ninguna condición de habitabilidad, lo que conlleva a que si se deba construir una vivienda nueva [5].

Basado en la información anterior, Colombia en el periodo 2019-2023 ha presentado bajas en el déficit habitacional a nivel nacional en los últimos años (Ver tabla 1), pero aún existe la necesidad en la población por contar con una vivienda propia, pues como se muestra en la tabla 2, a nivel nacional los hogares con una vivienda propia pasaron de ser en tan solo 5 años de 41.6% a 35.4% y hogares que hasta ahora están pagando su vivienda pasaron de 4.6% a 4.1%. Estos resultados indican que en Colombia la economía de los hogares está alcanzando solo para tener vivienda en arriendo dado que es el único aspecto que ha aumentado considerablemente pasando de 35.7% a 40.3% [4].

Tabla 1: Hogares en déficit habitacional, según tipo (%). Nivel nacional

Déficit	Total nacional				
	2019	2020	2021	2022	2023
Déficit habitacional	32.8	31.4	31.0	30.4	28.9
Déficit cuantitativo	8.2	8.0	7.5	7.3	6.8
Déficit cualitativo	24.6	23.4	23.5	23.1	22.1

Fuente: Adaptado de DANE, «Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2023», Bogotá, abr. 2024, pág. 9.

Tabla 2: Hogares según tipo de tenencia de la vivienda (%). Total nacional

Tenencia de vivienda	Total nacional				
	2019	2020	2021	2022	2023
Propia totalmente pagada	41.6	37.3	34.7	34.9	35.4
Propia, la están pagando	4.6	4.8	4.7	4.1	4.1
En arriendo o subarriendo	35.7	36.9	38.6	40.2	40.3
Con permiso del propietario, sin pago alguno (usufructuario)	14.1	14.6	15.4	13.9	14.5
Posesión sin título (ocupante de hecho)	2.2	3.4	3.6	4.5	3.4
Propiedad colectiva	1.8	3.0	3.1	2.4	2.5

Fuente: Adaptado de DANE, «Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2023», Bogotá, abr. 2024, pág. 7.

Ahora bien, en cuanto a la ubicación geográfica de los hogares y para enfoque de este proyecto el caso del déficit habitacional del área rural en Colombia también ha disminuido a nivel nacional pasando de 70.2% a 65.5% en el periodo 2019-2022 y aunque en términos de habitabilidad no hay diferencia significativa en déficit cuantitativo, el porcentaje es considerable pues 21.2% de los hogares rurales necesitan de una vivienda nueva (Ver tabla 3).

Además, se percibe que en el sector rural los hogares con vivienda propia también han disminuido en términos del periodo 2019-2022 (Ver tabla 4), a su vez el tener una vivienda en arriendo o con permiso del propietario y por posesión propiedad colectiva han tenido diferencias significativas en su mayoría aumentando [6]. Todo esto y lo mencionado en el apartado anterior indica que aún el acceso a una vivienda sigue siendo un problema.

Tabla 3: Hogares con déficit habitacional, según tipo (%). Área

Déficit	Cabecera				Diferencia significativa 2019-2022	Centro poblado y rural disperso				Diferencia significativa 2019-2022
	2019	2020	2021	2022		2019	2020	2021	2022	
Déficit habitacional	21.6	21.6	20.4	20.5	No	70.2	64.5	68.2	65.5	Si
Déficit cuantitativo	4.1	4.2	3.7	3.4	Si	22	20.9	20.7	21.2	No
Déficit cualitativo	17.5	17.4	16.7	17.1	No	48.2	43.6	47.5	44.3	Si

Fuente: Adaptado de DANE, «Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2022», Bogotá, abr. 2023, pág. 8.

Tabla 4: Hogares según tipo de tenencia de la vivienda (%). Área

Déficit	Cabecera				Diferencia significativa 2019-2022	Centro poblado y rural disperso				Diferencia significativa 2019-2022
	2019	2020	2021	2022		2019	2020	2021	2022	
Propia totalmente pagada	39.1	35.4	33.4	33.2	Si	49.6	43.6	39.1	40.8	Si
Propia, la están pagando	5.5	5.8	5.7	4.9	No	1.4	1.3	1.1	1.1	No
En arriendo o subarriendo	43.3	43.9	45.9	47.6	Si	11.2	14.2	14.2	14.9	Si
Con permiso del propietario, sin pago alguno (usufructuario)	9.5	10.6	11	10	No	29	27.6	30.4	27.3	Si
Posesión sin título (ocupante de hecho)	1.5	2.2	2.3	2.7	Si	4.7	7.2	7.6	10.6	Si

Propiedad colectiva	1.1	2	1.7	1.6	Si	4	6.1	7.5	5.2	Si
---------------------	-----	---	-----	-----	----	---	-----	-----	-----	----

Fuente: Adaptado de DANE, «Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2022», Bogotá, abr. 2023, pág. 6.

De acuerdo a las cifras expuestas y sumando el impacto ambiental que genera la industria de la construcción se requiere buscar alternativas para poder ayudar a los hogares de escasos recursos y al medio ambiente, para ello la guadua angustifolia kunth resulta ser la más apropiada en dado que es una planta con propiedades físicas y mecánicas que le permiten catalogarse como material de construcción, además es renovable y en términos constructivos con base en diferentes investigaciones permite tener menos tiempo de ejecución y mayor economía, lo que indica que el acceso a viviendas construidas a base de guadua sean más asequibles.

Entonces, conociendo la necesidad y cumpliendo con el objeto de este proyecto que es una alternativa de solución por medio del diseño de una vivienda de interés social rural usando guadua se podrá tener una idea sobre ¿Qué influencia tiene la construcción de viviendas en guadua en términos de calidad de vida, economía y medio ambiente?

## 2.2. JUSTIFICACIÓN

El ser humano desde sus inicios ha explotado los recursos naturales a su conveniencia para satisfacer sus necesidades. Sin embargo, con el pasar del tiempo la población ha aumentado y el uso de dichos recursos se ha vuelto excesivo e irresponsable causando afectaciones irreparables en la naturaleza. Debido a esto, se debe tener presente que la calidad de vida de una población parte de tener un entorno sano y seguro; y esto se consigue promoviendo alternativas que permitan que se ejecuten proyectos sustentables, sostenibles, económicos y socialmente factibles, para conseguir el desarrollo de las zonas urbanizables.

Partiendo de lo anterior, aspectos como calidad de vida, economía y medio ambiente se logran con la implementación de la guadua angustifolia kunth en proyectos de vivienda, pues es un material que a lo largo del tiempo ha tomado fuerza debido a sus propiedades físico-mecánicas y a sus servicios ecosistémicos. De hecho, antes no existía una norma que cobijara su uso [7] en sistemas constructivos, solo fue hasta el año 2010 con la actualización de la norma sismorresistente de construcción de Colombia (NSR-10) que la guadua abrió su espacio en el título G en cuanto a calidad y en el título E como material constructivo en el sistema de bahareque encementado.

A partir de lo anterior, el propósito de este trabajo académico es que, mediante el estudio e investigación de la guadua como planta y material de construcción, se diseñe un modelo de vivienda de interés social rural la cual pueda servir como una alternativa para dar solución a las diferentes problemáticas que se generan en las comunidades por falta de una vivienda digna; además con aportar a soluciones sostenibles para reducir la huella de carbono que deja la industria de la construcción convencional en su proceso de producción con las grandes emisiones de CO<sub>2</sub> que afectan el recurso hídrico y los ecosistemas [8].

## **2.3. OBJETIVOS**

### **2.3.1. Objetivo General**

Diseñar un modelo de vivienda de interés social rural por medio de un proceso constructivo no convencional empleando guadua *Angustifolia Kunth*.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

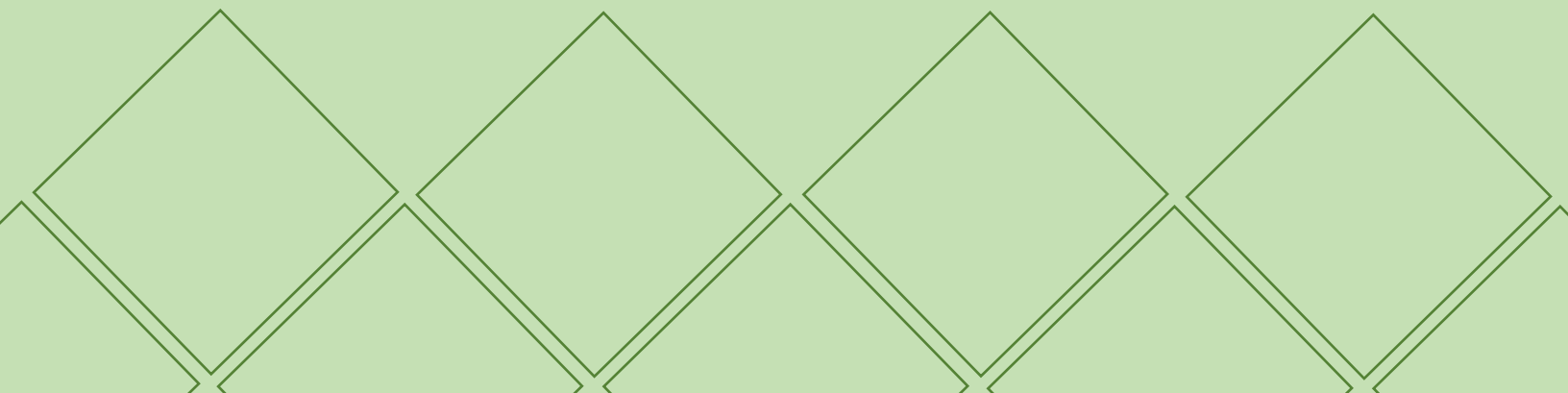
- Identificar el comportamiento físico-mecánico de la guadua *angustifolia kunth* al emplearse como material de construcción, por medio de la estructuración del marco teórico y estado del arte.
- Definir los criterios del modelo de vivienda tomando como referencia la normativa de construcción que permite el uso de la guadua y el documento técnico de parametrización subsidio familiar de vivienda rural ofrecido por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio de Colombia.
- Emplear softwares de diseño especializados para la esquematización de las salidas gráficas de los diseños que componen la vivienda.
- Realizar el análisis de cantidades y presupuestos del diseño del modelo de vivienda rural.



# CAPITULO III: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

*“Vale más saber alguna cosa de todo, que saberlo todo de una sola cosa”*

*Blaise Pascal*



### 3.1. MARCO TEÓRICO

#### 3.1.1. El Bambú

Es una planta que pertenece a la familia Poaceae y subfamilia Bambusoideae. Puede tener 1 o 2cm hasta 40m de altura, su estructura consta de tallos generalmente duros y vigorosos, los cuales les permite mantenerse estables ante eventos naturales. A nivel mundial, se han identificado aproximadamente 1200 especies y 70 géneros; su crecimiento silvestre se da mayormente en zonas tropicales, subtropicales y templadas, aunque en algunos casos se puede dar en hábitats secos, es decir, pueden crecer desde el nivel del mar hasta los 4000msnm, surtiendo continentes como África, Asia y Latinoamérica [9], como se muestra en la figura 1.

Fig. 1: Zonas en el mundo donde nace el bambú.



Fuente: J. González y Y. Samudio, «Conexiones en estructuras de guadua: Una revisión de literatura», 2021, pág. 13.

La taxonomía del bambú según Mercedes J [10], debido a la gran variedad de esta planta y los cruces entre ellos, se presenta de manera genérica y la más aceptada corresponde a la siguiente:

<b>División:</b>	Espermatophyta
<b>Subdivisión:</b>	Angiosperma
<b>Clase:</b>	Monocotiledónea
<b>Orden:</b>	Poales, Glumiflorae o graminae
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Subfamilia:</b>	Bambusoideae
<b>Nombre vulgar:</b>	Caña brava, bambú, guadua.

A nivel de uso en construcción, las especies de bambú más utilizadas en América son las del género Guadua y Chusquea y en el caso de Asia son las del género Bambusa y Dendrocalamus [9], sus características se reflejan en las tablas:

Tabla 5: Guaduas usadas en construcción (América).

Especie	Origen	Altura (m)	Diámetro (cm)	Características
Guadua Angustifolia Kunth	Centro América (Entre México y Panamá) Sur América (excepto Chile y Bolivia)	17 - 24	8 - 14	Resistente, flexible y durable. Mejor material para la construcción de estructuras.
Guadua Aculeaza	Centro América, entre México y Panamá	12 – 25	10 - 15	Entrenudos cortos y espesor moderado. Usos generales.
Guadua Amplexifolia (Caña brava)		-	-	Originaria de América central, Norte de Colombia y Venezuela, Cauro en Nicaragua
Guadua Amplexifolia	Mexico, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá	18	10	Entrenudos cortos, los inferiores semi sólidos. Usos generales. Es la menos indicada de las especies registradas para la construcción, pero muy empleada en Nicaragua.
Guadua Inermis	México	10 - 12	4 - 7	Tallo poco recto o arqueado. Se usa para construir kioscos en zonas muy calientes y en casas con muros de bahareque.
Guadua paniculata munro	De México hasta Bolivia	6 - 9	1 - 4	Entrenudos sólidos en la base y huecos en el resto del culmo. Su fibra la hace óptima para tejidos artesanales; también tiene potencial como planta ornamental.
Guadua superba Huber	Selva Amazónica de Colombia, Brasil y Perú	15 - 20	9 - 12	Sus culmos densos, de pared gruesa (13 a 43cm) pueden ser potenciales para la industria del papel y la del piso.
Guadua Chacoensis	Paraguay, Norte de Argentina, trópico boliviano y Sur de Brasil	10 - 20	12	Se emplea construcciones, fabricación de laminados, aglomerados, parquet; elaboración de muebles y artesanías; fijador de dióxido de carbono; protección de cuencas.
Guadua Weberbaueri Pilger	Amazonía de Brasil, Colombia, Perú y Venezuela	20 - 25	7 - 10	Entrenudos de hasta de 1m de longitud, espinas numerosas más o menos desarrolladas. Se ha utilizado en actos ceremoniales, flechas y para la elaboración de instrumentos musicales, en viviendas temporales de comunidades nativas del Perú y en techos permanentes como caña chancada.
Guadua Sarcocarpa Londoño	Brasil, Bolivia y Perú	20 - 25	5 - 10	Poseen frutos camosos que son consumidos por indígenas Piros y Machiguengas, a menudo tienen una espina gruesa por nudo. Se ha usado en actos ceremoniales, flechas e instrumentos musicales.

Fuente: Elaboración propia, con base en SENCICO, Manual de construcción de estructuras con Bambú. 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40199815/MANUAL\\_DE\\_CONSTRUCCI\\_and\\_Oacute\\_N\\_DE\\_ESTRUCTURA\\_S\\_DE\\_BAMB\\_and\\_Uacute\\_](https://www.academia.edu/40199815/MANUAL_DE_CONSTRUCCI_and_Oacute_N_DE_ESTRUCTURA_S_DE_BAMB_and_Uacute_)

Tabla 6: Chusqueas usadas en construcción (América).

Especie	Origen	Altura (m)	Diámetro (cm)	Características
Chusquea Culeou fo	Chile	6	4	Cáscara muy fuerte.
Chusquea Culeou Desvaux	América Central América del Sur	6	4 - 6	Tallo sólido, color amarillo.
Chusquea quila kunth	Chile	-	-	Tallo sólido.

Chusquea spp (Chuaque, surco, carrizo)	América Central y Sur América. En altas zonas andinas	-	-	Tallo largo y esbelto, relativamente débil, macizo en el centro.
--	---	---	---	---

Fuente: *Elaboración propia, con base en SENCICO, Manual de construcción de estructuras con Bambú. 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40199815/MANUAL\\_DE\\_CONSTRUCCI\\_and\\_Oacute\\_N\\_DE\\_ESTRUCTURA\\_S\\_DE\\_BAMB\\_and\\_Uacute\\_](https://www.academia.edu/40199815/MANUAL_DE_CONSTRUCCI_and_Oacute_N_DE_ESTRUCTURA_S_DE_BAMB_and_Uacute_)*

Tabla 7: *Bambusas usadas en construcción (Asia).*

Especie	Origen	Altura (m)	Diámetro (cm)	Características
Bambusa oldhamii Munro	Asia, Taiwan	6 – 21	3 - 12	Cultivada en Estados Unidos, Centro América (menos Nicaragua) y Sur América (menos Venezuela, Ecuador, Bolivia, Paraguay, Argentina y Chile). Color verde fuerte, internudos cortos.
Bambusa textilis	Asia	12	5	Sirven para atar armazones de casas y esteras para paredes.
Bambusas textiles McClure	Estados Unidos, Guatemala, Costa Rica y Colombia			Entrenudos largos, madera delgada. Se usa en amarres de estructuras.
Bambusa Tuldooides	Asia	17	5	Cultivada en Brasil y El Salvador.
Bambusa Vulgaris	Asia	6 - 21	5 - 12	Se cultivan 2 tipos, uno tallo verde y otro tallo verde con estrías amarillas. Fibras delgadas y fuertes, susceptible de ser atacada por los insectos.
Dendrocalamus asper	India	25	20	Cultivada ahora en Estados Unidos, Honduras, Panamá, Ecuador, Brasil y Perú. Su cáscara es dura y se raja menos que el dendrocalamus giganteus. Es buena para la construcción.

Fuente: *Elaboración propia, con base en SENCICO, Manual de construcción de estructuras con Bambú. 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40199815/MANUAL\\_DE\\_CONSTRUCCI\\_and\\_Oacute\\_N\\_DE\\_ESTRUCTURA\\_S\\_DE\\_BAMB\\_and\\_Uacute\\_](https://www.academia.edu/40199815/MANUAL_DE_CONSTRUCCI_and_Oacute_N_DE_ESTRUCTURA_S_DE_BAMB_and_Uacute_)*

### 3.1.2. La Guadua

La guadua es uno de los géneros del bambú más importante de América Latina, con 30 especies aproximadamente que se distribuyen a lo largo de México hasta Argentina. Crecen al igual que las demás especies de bambú en regiones tropicales y se pueden encontrar en un rango de altitud que puede ser desde el nivel del mar hasta los 2200 m.s.n.m., con precipitaciones entre 1200 y 2500 milímetros anuales y temperaturas de 18 y 25°C; sin embargo, se puede adaptar a condiciones diferentes pero su desarrollo no es ideal [11], para un uso neto de construcción.

La guadua angustifolia kunth es una gramínea de la familia del bambú. Su nombre surge en 1822 cuando el alemán Carl Kunth determinó que constituía un género en sí misma. Esta planta es nativa de Colombia, donde se han identificado 4 especies a lo largo de sus regiones, en la región Andina es abundante la guadua angustifolia kunth, en Orinoquía y la costa atlántica se encuentra la guadua amplexifolia y en Amazonas y el corredor chocono se encuentran la guadua superba y la guadua weberbauri [12].

La guadua angustifolia kunth es una especie que sobresale dentro del género gracias a sus propiedades físico-mecánicas y por el tamaño de sus culmos o tallos, los cuales pueden crecer 21cm al día logrando alturas de 30m y diámetros de 25cm. Así mismo, a la vista se refleja modulada por tallos largos, rectos y uniformes y físicamente se caracteriza por ser liviana, hueca, resistente, flexible y levemente cónica [12] lo que indica que a medida que va creciendo va disminuyendo su diámetro.

En cuanto al suelo ideal para un desarrollo óptimo de la guadua, suele ser rico en material orgánico, bien drenado, de textura arenosa, areno-limosa, arcillosa y franco-limosa. Aunque suelen preferir orillas de ríos y quebradas, se encuentran en óptimas condiciones en sitios pendientes alejados de fuentes de agua [11].

### 3.1.2.1. Morfología

La guadua por sus propiedades físico-mecánicas puede reproducirse por medio de brotes que van evolucionando en diámetro y altura a tal punto que dependen del tipo de suelo y las condiciones climáticas [13].

Las partes genéricas de la guadua son: rizoma, cepa, basa, sobre basa, varillón y copa. Sin embargo, se destaca que cada una de las partes tienen un uso y Villada [7] en su investigación lo esquematiza como se refleja en la figura 2.

Fig. 2: Partes de la Guadua.

DESCRIPCIÓN	UTILIZACIÓN
<b>COPA:</b> Parte apical de la guadua, mide de 1.20 a 2m de longitud.	Se replica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica
<b>VARILLÓN:</b> Sección de menor diámetro, mide 3m aproximadamente.	Sirve como correa de techos con tejas de barro o paja, también como tutor en cultivos transitorios.
<b>SOBREBASA:</b> Tramo de buen comercio debido a su diámetro que permite un uso variado, mide 4m aproximadamente.	Sirve como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción. También como viguetas para formatear planchas y como postes de espalderas en cultivos
<b>BASA:</b> Es la parte que más usos tiene debido a su diámetro intermedio. Es la sección más comercial de la guadua. Mide 8m aproximadamente.	De esta sección se elabora esterilla, la cual tiene muchos usos: en construcción de paredes, casetones y formaletas de plantas. También se utiliza como vigas y columnas en construcciones nuevas de guadua.
<b>CEPA:</b> Sección basal del culmo de mayor diámetro, debido a sus entrenudos más cortos y proporciona una mayor resistencia y mide 3m.	Sirve como columnas en construcción y para cercas.
<b>RIZOMA:</b> Es un tallo modificado subterráneo, que se conoce popularmente como "caimán".	En decoración, muebles y juegos infantiles.

Fuente: Adaptada de L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág.27.

Por otro lado, dentro de la morfología de esta planta se encuentran: rizoma, tallo o culmo, yema, ramas, hojas caulinares, hojas de follaje, inflorescencia, fruto y plántula.

**Rizoma:** Parte subterránea, se compone por la base estructural modificada de un culmo. Su función es captación, suministro, transferencia y almacenamiento de agua y nutrientes [12].

Fig. 3: Rizoma.



Fuente: Tomado de L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág. 28.

**Tallo o Culmo:** Es hueco y dividido por varios diafragmas que se ven como anillos en el exterior. La parte entre los anillos se llama entrenudo, allí crecen las ramas. La distancia entre nodos varía dependiendo de la especie [12].

Fig. 4: Tallo o culmo.



Fuente: Adaptado de <https://aneia.uniandes.edu.co/wp-content/uploads/2023/06/bambu-2.jpg>.

**Yema:** Siempre está protegida por un profilo, puede ser activa o inactiva, de carácter vegetativo o reproductivo. En el culmo se localizan por encima de la línea nodal y en posición dística, rompen su inactividad generalmente cuando el culmo ha completado el crecimiento apical [3].

Fig. 5: Yema.



Fuente: L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág. 30.

**Ramas:** Se presentan 3 tipos, en la parte superior hay ramas que se desarrollan apenas las hojas caulinares dejan al descubierto la parte superior del culmo, en la parte baja del culmo hay ramas plagitropicas, estas crecen de manera horizontal y las ramas de tipo basal u ortotrópicas, estas crecen de manera vertical. Son macizas, ocasionalmente se atrofian y son reemplazadas por espinas de 10 o 15cm en promedio [12].

Fig. 6: Ramas.



Fuente: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtyci-IraoLNqpe3JCpZmN8xPiHAdfEP\\_IUaca4SHf7wnNX7681izfBhQRbXclv1WHOF0&usqp=CAUJ](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRtyci-IraoLNqpe3JCpZmN8xPiHAdfEP_IUaca4SHf7wnNX7681izfBhQRbXclv1WHOF0&usqp=CAUJ).

**Hojas Culinarias:** Su forma es triangular, son de color marrón o café claro. Cubren el rizoma en los primeros estados del tallo para proteger las salidas de las ramas básales, ramas apicales o prefoliaciones [12].

Fig. 7: Hojas Caulinares.



Fuente: <https://i.pinimg.com/236x/f9/9d/9d/f99d9d578bc43c44121cf56f591c8906.jpg>.

**Hojas de Follaje:** Son verdes, sus puntas son lanceoladas y lisas, en su revés presentan pubescencia blanca. Cuando caen aportan biomasa al suelo [12]. Son la principal fuente de alimento en la planta [3].

Fig. 8: Hojas de follaje.



Fuente: [https://www.inecol.mx/inecol/images/ciencia\\_hoy/bambu/insectos/insecbambu\\_arriba.jpg](https://www.inecol.mx/inecol/images/ciencia_hoy/bambu/insectos/insecbambu_arriba.jpg)

**Inflorescencia:** Es el orden de las flores de una planta. En los bambúes es un eje que emerge de un raquis primario, estos terminan en una espiguilla que es la unidad estructural en la inflorescencia de los bambúes [3].

Fig. 9: Inflorescencia.



Fuente: L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág. 33.

**Fruto:** Su forma es muy diversa y amplia. En la mayoría de las especies es un cariopsis con pericarpio seco, delgado y tiene forma de un grano de trigo o de arroz [3].

Fig. 10: Fruto.



Fuente: L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág. 34.

**Plántula:** En esta especie tienen valor taxonómico. Hay 2 tipos diferentes basados en la forma y posición de la primera hoja extendida de la plántula. Una es panicoideae y se caracteriza por que la primera hoja es amplia, ovalada o lanceolada y su posición es horizontal y la otra es festucoide en la que la primera hoja es larga, angosta y relativamente vertical en su posición [3].

Fig. 11: Plántula.



Fuente: L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015, pág. 35.

EL ciclo de vida de la guadua como lo muestran es su investigación Moreno y Cendales [12] se clasifica de la siguiente manera:

- **Rebrote, renuevo o borracho:** Al pasar el tiempo la planta genera nuevos rebrotes, estos evolucionan en diámetro y altura y dependiendo el tipo de suelo y condiciones climáticas logran entre 10-13cm de altura en 30 días y sus diámetros aumentan en promedio 0.10mm mensuales.
- **Guadua juvenil, verde o biche:** Entre los 6-24 meses, la guadua no logra la resistencia ideal para ser utilizada debido a su alto contenido de humedad. Se caracteriza por tener los entrenudos de color verde intenso, los nudos con bandas nodales de color blanquecino, pubescencia de color café claro y el grosor de las paredes varía entre 1-2.5cm.
- **Guadua madura o hecha:** Esta fase se da entre 2 y 4 años. Se caracteriza por la desaparición del lustre del entrenudo, es más clara y comienza la aparición de manchas de hongos color gris claro. Sin embargo, la planta es apta para ser aprovechada ya que el tallo llega a su máximo grado de resistencia y menor contenido de humedad.

- **Guadua sobre madura:** En esta fase los hongos y líquenes desaparecen del tallo y empiezan a crecer hongos en forma de plaquetas de color rojizo. Además, se inicia la decoloración y el tallo se va tornando amarillento, lo que indica la finalización del ciclo vegetativo de la guadua.
- **Guadua seca:** En esta fase la guadua adulta no aprovechada ya está completamente degradada debido a la pérdida de humedad, el tallo se torna de color amarillento, se presentan manchas rojizas en toda su longitud y disminuye hasta el 80% de su resistencia.

### 3.1.2.2. Propiedades

Debido a que la naturaleza es variable, no existen 2 elementos que sean iguales y la guadua no es la excepción ya que las condiciones edafoclimáticas en las que se encuentra alteran características como crecimiento, altura, diámetro, espesor, forma y anatomía, las cuales generan diferentes propiedades físico-mecánicas. Por esto, establecer datos estándar resulta complejo, sin embargo, a la hora de diseñar estructuras se tienen en cuenta esfuerzos admisibles o factores de seguridad [14].

Las propiedades físicas y mecánicas del material en cuestión las muestra Moreno y Cendales [12] así:

#### 3.1.2.2.1. Propiedades físicas de la guadua

- **Contenido de humedad:** La humedad del culmo se reduce con la altura y la edad, dependiendo de la época del año, pues es directamente proporcional en época de invierno y sequía. Cuando el contenido de humedad se encuentra entre el 1-12%, la carga admisible del material permanece constante, sin embargo, a partir del 12.5%, la resistencia a la rotura aumenta.
- **Densidad:** En los culmos se mide en función de las sustancias sólidas, esto quiere decir que al tener mayor densidad los culmos, tendrán mayor resistencia a la flexión, sin embargo, al someterlos a compresión, tracción o corte no hay mayor diferencia entre si hay mayor resistencia o no.

#### 3.1.2.2.2. Propiedades mecánicas de la guadua

De acuerdo con los ensayos realizados por Moreno y Cendales [12] el comportamiento de los culmos de guadua se comportaron así:

- **Resistencia a la flexión:** Una mejor resistencia a la flexión de los culmos se obtiene a partir de características como: Edad adulta, menor diámetro, alineamiento del culmo, presencia del nudo y mayor densidad.
- **Resistencia a la compresión:** Los culmos de guadua poseen membranas muy fibrosas, las cuales garantizan una capacidad considerable de resistencia a la compresión y mucha flexibilidad. Por ende, cuando los culmos tienen mayor diámetro, un corte de 90°, edad adulta, mayor densidad y la no presencia de nudos, presenta mejores comportamientos en cuanto a la resistencia a la compresión.

- **Resistencia al corte:** Para que los culmos tengan una mejor resistencia al corte cuenta con características directamente proporcionales como: mayor diámetro, mayor espesor, mayor densidad y sin dejar a un lado el corte, el cual debe ser de 90°.
- **Resistencia a la tracción:** Para garantizar un comportamiento apto a la tracción los culmos debe contar con características como: Edad adulta, menor diámetro, presencia de nudos, alineamiento paralelo, mayor espesor y mayor densidad.

### 3.1.2.2.3. Factores que influyen en las propiedades mecánicas de la guadua

Los factores que influyen en las propiedades mecánicas según Palacios [14] en su investigación, son:

- **Clima:** Influye directamente en el desarrollo y propiedades mecánicas de la guadua angustifolia, con precipitaciones anuales de 1300mm y un brillo solar óptimo entre 1800 y 2200 hr/luz/año. Además, en términos de dimensiones como grandes diámetros, alturas y espesores se da entre 1200 y 1500 msnm, si no se encuentran en este rango simplemente se retrasa el desarrollo óptimo para el uso que se requiere.
- **Suelo:** Debe ser rico en materia orgánica, bien drenado, areno-limoso, arcilloso y franco-limoso. De hecho, la guadua suele preferir orillas de ríos, pero pueden desarrollarse en sitios pendientes alejados de fuentes de agua [11].
- **Inclinación del terreno:** En suelos de origen volcánico como los del Eje cafetero colombiano, las laderas han sido erosionadas arrastrando nutrientes que crecen el valle geográfico. Si embargo, las guaduas que crecen en este valle poseen menor resistencia a la compresión y a flexión que las que crecen en las cordilleras.
- **Edad del culmo:** La guadua en su estado maduro posee mejores características para ser utilizadas, este lo consigue a los 5 años, sin embargo, entre 3 y 6 años logra mayor resistencia a la compresión.
- **Contenido de humedad:** Con este factor, solo se afirma que a menor contenido de humedad tenga la guadua, mejor será su resistencia.
- **Anatomía y morfología:** Influye directamente en los métodos de preservación y secado y claramente con las propiedades físico-mecánicas
- **Anatomía y morfología:** Están relacionadas con las propiedades físico-mecánicas e influye directamente los métodos de preservación y secado.

### 3.1.2.3. Control de calidad

Así como todos los materiales de construcción deben contar con determinadas características para ser utilizados, la guadua no es la excepción y para poderla usar como material para una estructura debe contar con unos requisitos que ofrece la norma sismorresistente colombiana (NSR10) [15], estos son:

- La especie de la guadua deber ser angustifolia kunth, no se permite otra especie diferente a la ya mencionada.
- La edad de la guadua a cosechar debe oscilar entre los 4 y 6 años.
- El contenido de humedad debe corresponder con el contenido de humedad del lugar donde se va a usa la guadua. Si las edificaciones se construyen con guadua que esté

verde, se debe tener en cuenta todas las precauciones posibles para garantizar que las piezas al secarse tengan el dimensionamiento previsto en el diseño.

- La guadua estructural debe tener buena durabilidad natural o estar debidamente preservada. Además, se deben aplicar todos los recursos para protegerla mediante el diseño de contacto con la humedad, radiación solar, insectos y hongos.

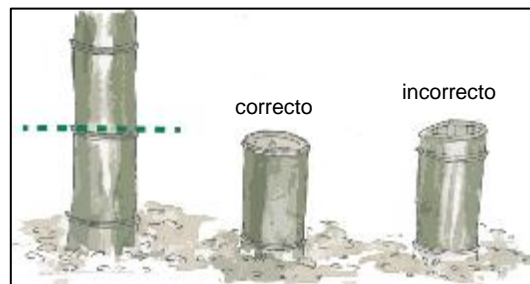
Cabe resaltar que para tener una guadua que cumpla con los requisitos ya mencionados, se debe llevar un control que parte desde su cosecha hasta su almacenamiento. Este proceso se desarrolla de la siguiente manera:

#### 3.1.2.3.1. Cosecha/Corte:

La edad que debe tener la guadua para ser cortada debe ser de 4 a 6 años, pues a esta edad la guadua llega a su madurez, su tejido es más duro y tiene menor contenido de humedad [16]; si se corta a una edad más temprana la guadua atraerá a los insectos que afectaran su calidad dado que tendrá más contenido de almidón y azúcares [14].

El corte debe hacerse a ras del primer o segundo nudo que está sobre el suelo con un machete o una sierra, si no está a ras del nudo se puede crear un vaso que puede almacenar agua lluvia y esto puede pudrir el rizoma de la guadua [16].

Fig. 12: Corte de la guadua.



Fuente: Tomado de L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, *Manual para la construcción con bambú*, pág. 12.

#### 3.1.2.3.2. Afectaciones de la guadua:

Antes de utilizar la guadua se le debe realizar un proceso de tratamiento o preparación con el fin de asegurar su buena duración, ya que es indiscutible que al ser un material natural fácilmente puede ser atacada por insectos y hongos debido a su contenido de humedad, almidón y azúcar en sus culmos [16]. Por tal motivo antes de consolidar un tratamiento, se debe conocer el origen de las afectaciones que pueden darse de forma directa e indirecta, como lo indica de forma más detallada Moreno y Vega [17] en su investigación de patologías en estructuras de guadua:

**Agentes directos:** Son aquellos de origen inmediato como agentes bióticos y abióticos.

- **Agentes bióticos:** Hongos cromógenos, xilófagos, de pudrición (parda, blanca y blanda), mohos e insectos (*Dinoderus minutus*, *parisoschoenus* y *podischnus agenor*).
- **Agentes abióticos:** Fotodegradación, humedad, cambios del clima y fuego.

**Agentes Indirectos:** Son aquellos originados por defectos de diseño o ejecución, dentro de estos se encuentran: Fallo en proceso constructivo, materiales, mala disposición de un elemento y sobreesfuerzos.

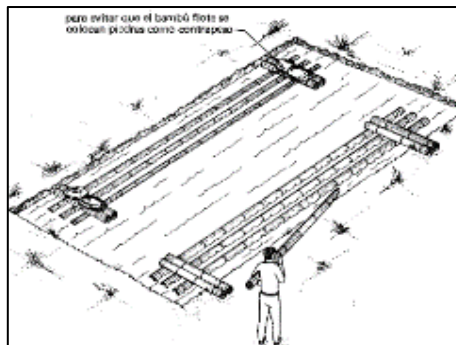
### 3.1.2.3.3. Tratamiento y/o preparación de la guadua

Para evitar los ataques y/o afectaciones y del mismo modo para mejorar la durabilidad de los culmos de guadua a usar, se debe realizar un tratamiento de preservación ya sea natural o químico, dado que una guadua sin ser tratada puede durar un periodo de tiempo de entre 2 a 3 años, mientras que si se trata adecuadamente puede durar más de 20 años [16].

#### - Tratamientos de Protección/Naturales:

**Inmersión en agua:** Consiste en sumergir los culmos recién cortados en agua por un tiempo no mayor a 4 semanas. No es un tratamiento efectivo dado que los culmos se manchan y si duran por más tiempo en el agua llegan a perder resistencia y se vuelven más quebradizos.[18].

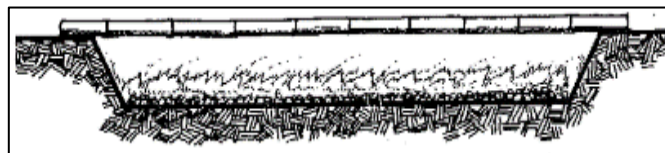
Fig. 13: Curado por inmersión en agua.



Tomado de O. Hidalgo, Manual de construcción con Bambú. 2003, pág. 8.

**Curado al Calor:** Los culmos se colocan de forma horizontal sobre brasas (puestas en una excavación de 30 a 40 cm) a una distancia tal las llamas no los quemen, además se deben girar constantemente. Generalmente este tratamiento se hace a campo abierto, además también se emplea para enderezar guaduas torcidas [18].

Fig. 14: Curado al calor.



Fuente: Tomado de O. Hidalgo, Manual de construcción con Bambú. 2003, pág. 9.

**Avinagrado:** Después de haber cortado los culmos, se dejan recostados con ramas y hojas sobre los otros culmos lo más vertical posible y aislado del suelo por un tiempo no

menor a 4 semanas [18]. Este proceso sirve para que los culmos cortados disminuyan su contenido de azúcares, almidones y humedad a fin de limitar y/o evitar el ataque de insectos y microorganismos. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con el manejo y mantenimiento de guadua (sitio de cultivo de guadua), pues de esto depende la efectividad de este proceso [19].

Fig. 15: Avinagrado de la guadua.

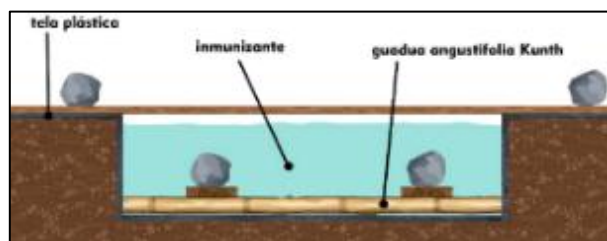


Fuente: Tomado de J. Goyeneche y N. Castro, «Prevención de la degradación de la guadua angustifolia kunth en un sistema constructivo aporticado», Bogotá, jul. 2020, pág. 69.

#### - Tratamientos de Protección/Químicos:

**Preservado por Inmersión:** Consiste en perforar los culmos en su interior con una varilla corrugada (12mm o 1/2") [20] para luego ser sumergidos en un tanque o excavación que contiene una solución de preservante disuelto en agua (4% de ácido bórico más 4% de sales de bórax), esto por un periodo de 3 a 5 días [14]. Este proceso tiende a ser el más efectivo, además el preservante usado no solo es económico, sino que es amigable con el medio ambiente [16].

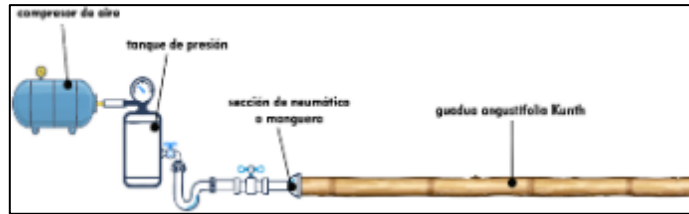
Fig. 16: Preservado por Inmersión.



Fuente: Tomado de J. Goyeneche y N. Castro, «Prevención de la degradación de la guadua angustifolia kunth en un sistema constructivo aporticado», Bogotá, jul. 2020, pág. 70.

**Preservado a Presión (Boucherie):** Después de 1 a 8 horas de haber cortado el culmo se ubica horizontalmente y se conecta a un tanque de presión por medio de una manguera o neumático, el cual bajo presión aplicará el preservante al culmo [20].

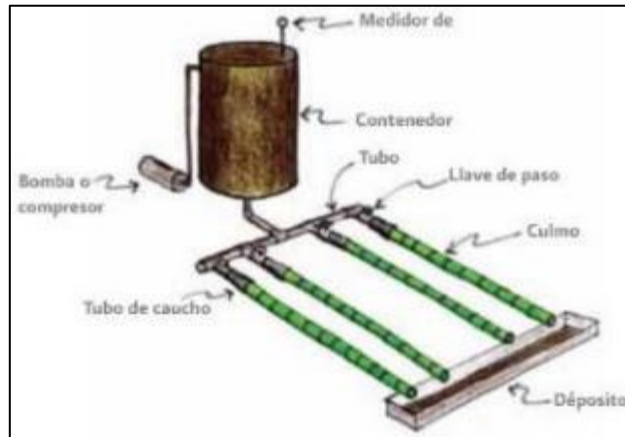
Fig. 17: Preservado por método Boucherie.



Fuente: Tomado de J. Goyeneche y N. Castro, «Prevención de la degradación de la guadua angustifolia kunth en un sistema constructivo aporticado», Bogotá, jul. 2020, pág. 71.

**Boucherie modificado:** Es similar al método boucherie normal, sin embargo, resulta ser más efectivo ya que permite tratar varios culmos al tiempo. El tanque que se usa debe ser hermético y se llena con el preservativo hasta las  $\frac{3}{4}$  partes, luego se aplican de 10 a 15 libras de aire utilizando una bomba de aire portátil [18].

Fig. 18: Preservado por método Boucherie modificado.



Fuente: Tomado de <https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2020/12/construcciones-limpias-con-bambu-manual.html>

De acuerdo al uso que tendrá el bambú/gadua, Hidalgo [18] en su manual proporciona la siguiente tabla:

Tabla 8: Productos utilizados para preservar el bambú.

Aplicación del bambú tratado	Tipo de preservativo	Concentración (%)	Absorción Lbs/pie 3 sal seca	Duración del tratamiento en horas	Años de servicio esperado
1. <b>Uso a la intemperie y en contacto con el suelo:</b> a. Postes para cercos, astas, andamios, etc. b. Soportes para plantas.	A a C E	A C 8, B - 4 E - 10	A, B, C 0.3 a 0.4 0.3	3 - 4 2	10 - 15 8 - 10
2. <b>Construcción de vivienda:</b>	A a E F, G, H, I	A&C - 6 B - 3; D - 8	A a D-0 0.2 a 0.3	2 - 3 1	15 - 20 10

a. Cerchas, pares, correas, cabios y columnas. b. Persianas, cielorrasos, paneles para puertas.		E – 10 F, G, H – 6 1 – 2	E 0.5 0.1 – 0.2		
<b>3. Refuerzos:</b> a. Refuerzo en concreto. b. Refuerzo en muros recubiertos con barro.	F & F D & E	6 D – 6; E – 8	0.2 0.2 a 0.3	1 – 2 2	25 – 30 10 – 15
<b>4. Artículos artesanales:</b> Canastas, zarandas, tamiz, etc.	G & H	5	0.1	0.5	5 – 8
<b>5. Usos profilácticos</b>	A a I Dependiendo del uso final del bambú.	6 – 8	0.05	0.5	5
<b>6. Protección del fuego:</b> a. Parte interna de la casa. b. Al aire libre.	J J	25 25	2 a 3 2 a 3	6 a 8 6 a 8	15 – 20 10 – 15
A. Pentóxido de arsénico Sulfato de cobre cristalizado Dicromato de sodio	1 : 3 : 4	G. Ácido bórico Bórax Dicromato de sodio			2 : 2 : 0.5
B. Sales de Bolinden		H. Ácido bórico Bórax			1 : 1
C. Sulfato de cobre Dicromato de sodio Ácido acético	5,6 : 5,6 : 0.25	I. Pentaclorofenato de sodio			
D. Ácido Bórico Sulfato de cobre cristalizado Dicromato de Sodio	1,5 : 3 : 4	J. Composición antiséptica a prueba de fuego: Ácido bórico Sulfato de cobre cristalizado Cloruro de zinc Dicromato de sodio			3 : 1 : 5 : 6
E. Cloruro de zinc Dicromato de sodio	1 : 1				
F. Cloruro de zinc Dicromato de Sodio	5 : 1,5				

Fuente: Tomado de O. Hidalgo, Manual de construcción con Bambú. 2003, pág. 12.

### 3.1.2.3.4. Limpieza:

Después de someter los culmos a alguno de los tratamientos de preservación, se deben limpiar. En caso de haber sido sumergidos, se deben limpiar del musgo y líquenes, de hecho, lo más eficiente en tiempo y costo es el uso de una hidrolavadora con chorro de agua a presión. Sin embargo, no es recomendable el uso de esponjas ni cepillos metálicos ya que pueden debilitar la cascara [16].

### 3.1.2.3.5. Secado:

La guadua es un material higroscópico y poroso, pues absorbe agua sea líquida en forma de vapor. Esta capacidad provoca que la cascara de sus culmos se hinche y sus propiedades mecánicas disminuyan [16]. Hay diferentes métodos de secado, pueden ser naturales y artificiales. Como secado natural se da el secado al medio ambiente, para

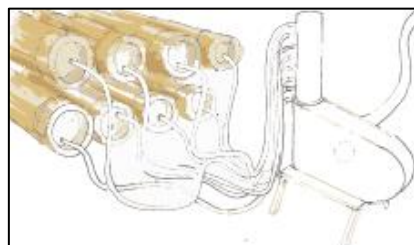
este simplemente se organizan los culmos de tal forma que la brisa pueda secarlos, pero se debe tener muy en cuenta la protección contra la lluvia; por otro lado, el secado artificial se logra con ayuda de hornos de secado o inyecciones de aire y secado solar en cámaras de secado [20].

Fig. 19: Secado al aire.



Fuente: Tomado de Tomado de L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, Manual para la construcción con bambú, pág. 15.

Fig. 20: Secado por inyección de aire.



Fuente: Tomado de Tomado de L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, Manual para la construcción con bambú, pág. 16.

### 3.1.2.3.6. Clasificación:

El contenido de humedad de los culmos debe coincidir con la humedad del ambiente donde se dispondrá, sin embargo, lo ideal es que tenga alrededor de un 15% de contenido de humedad para que se logre adaptar. Entonces, cuando ya se logra dicho porcentaje, los culmos se clasifican por grados de calidad teniendo en cuenta parámetros como longitud, diámetro, rectitud y estado físico [16].

Tabla 9: Clasificación de los culmos.

Grado	Características	Usos	Observaciones
A	Culmos fuertes y rectos, clasificar por diámetros. Diámetro: mínimo 9cm. Espesor de pared: mínimo 8mm. Longitud: mínimo 6.5m.	Columnas Vigas Latas Esterilla	Pertenece a la basa y sobre basa de la caña de bambú.
B	Culmos fuertes, ligeramente curvados, clasificar por diámetros. Diámetro: mínimo 9cm. Espesor de pared: mínimo 8mm. Longitud: mínimo 6.5m.	Columnas Vigas Latas Esterilla	Pertenece de la basa hasta el varillón de la caña de bambú.
C	Culmos con más de una curva y con ligeras grietas. Útil solo en secciones. Diámetro: mínimo 9cm. Espesor de pared: mínimo 8mm. Longitud: mínimo 6.5m.	Latas Esterilla	Pertenece de la basa hasta el varillón de la caña de bambú.
No se aceptan: Culmos aplastados o con rajaduras de más de 2 entrenudos. Culmos con plagas u hongos. Culmos verdes. Culmos con pared menor a 8mm. Culmos con diámetro menor a 8cm. Culmos viche menores de 4 años de edad.			

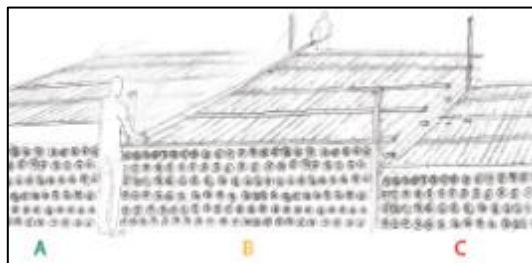
Fuente: Tomado de L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, Manual para la construcción con bambú, pág. 17.

### 3.1.2.3.7. Almacenamiento:

El almacenamiento de los culmos se da cuando estos logran el equilibrio en su contenido de humedad con el del ambiente y claramente cuando se encuentren secos. Estos deben estar separados entre sí y deben evitar el contacto con el suelo [20]. En caso de que algunos culmos no cuenten con el contenido de humedad promedio se deben separar para someterse a secado acelerado por 10 días [16].

El lugar de almacenamiento debe ser cubierto y seco, debe contar con unos aleros para evitar el contacto con la intemperie [16].

Fig. 21: Almacenamiento de la guadua.



Fuente: Tomado de L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, *Manual para la construcción con bambú*, pág. 19.

### 3.1.2.4. Protección por diseño

La protección por diseño se plantea debido a que la guadua como material natural siempre va a estar expuesta a diferentes agentes sobre todo a la intemperie. Por esto el ideal de la protección por diseño es cumplir con ciertas condiciones las cuales van a permitir que la durabilidad y el comportamiento de la estructura en guadua sea óptimo. Algunas de las condiciones las cita Goyeneche y Castro [20] en su investigación que tiene que ver con la prevención de la degradación de la guadua en un sistema a porticado:

- Se deben evitar caídas, aplastamientos o impactos de alto riesgo de los culmos de guadua para no alterar sus propiedades.
- Los elementos de guadua (columnas) no pueden estar en contacto directo con el suelo (al menos unos 20cm), se deben apoyar en sobrecimientos correctamente impermeabilizados. Además, no pueden estar enterrados o sumergidos en la cimentación o cualquier superficie hecha en concreto.
- La cubierta de la edificación debe contar con amplios aleros para evitar el contacto de la lluvia y el sol con las paredes en guadua, en caso de no ser posible o que no se requieran aleros, se usa preservación química.
- Deben estar tapados o sellados los espacios en la cubierta y/o entrepisos donde se puedan alojar roedores.
- En espacios donde la guadua se vea expuesta a vapor, se requiere ventilación e impermeabilización.
- Todas las instalaciones no pueden atravesar los elementos estructurales.

### **3.1.2.5. Mantenimiento**

Así como se debe hacer un tratamiento preconstructivo a la guadua, es importante tener en cuenta un mantenimiento para garantizar una buena vida útil dado que no deja de ser un material natural. Entonces más allá de hacer un mantenimiento por degradación, se hace por prevención para garantizar que los elementos no sean atacados por insectos y hongos.

El manual de SENCICO 2014 [9] menciona que el mantenimiento de la guadua se puede realizar con ceras, lacas barnices o pinturas y además propone diferentes periodos de mantenimiento según sea el caso de exposición de la guadua, estos son:

- Para piezas de bambú expuestas a la intemperie se debe realizar el mantenimiento cada 6 meses.
- Para piezas de bambú en exteriores, protegidas de la intemperie, se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada 1 año.
- Para piezas estructurales de bambú en interiores, se debe realizar el mantenimiento como mínimo cada 2 años.

Por otro lado, el manual para la construcción con bambú [16], más allá de mencionar qué tipo de preservantes se pueden usar para el mantenimiento de las estructuras, recomienda algunos como aceite y resina a base de linaza o aceite de palma al cual se le añade óxido de zinc (ZnO) o dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) como protector UV. Además, menciona que el mantenimiento se debe hacer cada 2 años.

Para mantener las estructuras se debe aplicar una pintura de aceite o alguna laca, sin embargo, se recomienda más los aceites y resinas a base de linaza. Un producto adecuado para mantener el bambú es el aceite de palma, al cual se le incorpora dióxido de zinc o de titanio como protector UV. Cuando ya esté colocado el aceite, se debe aplicar una capa de cera para evitar que se pegue el polvo. Este mantenimiento se debe hacer en periodos de 2 años.[16]

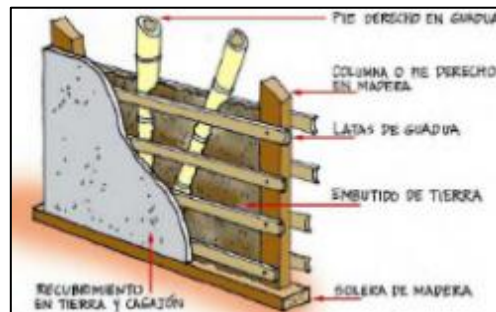
### **3.1.3. Bahareque**

El bahareque es un sistema constructivo tradicional de Colombia, caracterizado por ser una estructura en guadua, recubierta con esterilla de guadua y malla metálica, sobre la cual se aplican capas de tierra, a menudo mezclada con cagajón [21]. Este método se considera tendinoso, ya que su resistencia se basa en la estructura esquelética de guadua, lo que permite utilizar muros más delgados en comparación con la tapia, al no requerir tanta inercia para soportar las cargas de viento y sismos. Su aplicación es predominante en zonas rurales, aprovechando los recursos locales y las propiedades estructurales de la guadua [22].

De acuerdo al tipo de recubrimiento que tengan los muros cuando se emplea bahareque, existen diferentes tipos que de acuerdo al manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales son [23]:

- **Bahareque de tierra:** Consta de entramados en madera aserrada o guadua, los cuales utilizan el barro como material complementario. Hay 2 variantes de este tipo de bahareque que son el relleno y hueco.
  - **Bahareque de tierra relleno:** Además del entramado en madera o guadua, tiene un relleno de tierra que se sostiene en latas de guadua y un recubrimiento a base de cagajón de caballo, tierra y cal.

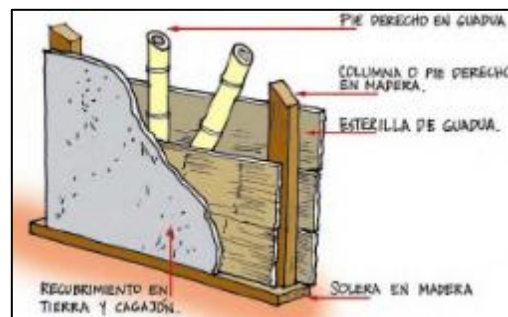
Fig. 22: Bahareque de tierra relleno.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 6.

- **Bahareque de tierra hueco:** En este se elimina el relleno de tierra y se cambian las latas de guadua del soporte por esterilla, esto debido a los malos comportamientos del relleno durante eventos sísmicos, en pisos altos. Sin embargo, el recubrimiento conserva su naturaleza (mezcla de cagajón de caballo, tierra y cal).

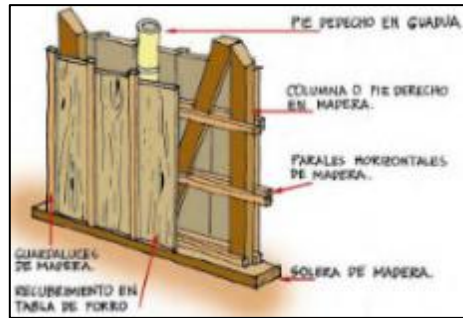
Fig. 23: Bahareque de tierra hueco.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 7.

- **Bahareque de tabla:** Conformado por entramados de madera aserrada y guadua, su recubrimiento se hace con tablas de madera dispuestas de forma vertical generalmente.

Fig. 24: Bahareque de tabla.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 7.

- **Bahareque metálico:** Conformado por entramados de madera y guadua, se caracteriza por su recubrimiento en láminas metálicas. Sin embargo, dichas láminas se utilizan en la fachada y en el interior del muro se puede usar cualquiera de los otros tipos de bahareque.

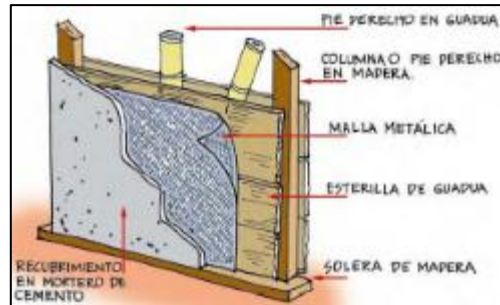
Fig. 25: Bahareque metálico.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 8.

- **Bahareque Contemporáneo:** Basado en los mismos principios del bahareque encementado tradicional, debe conformarse con base en una serie de requerimientos mínimos que garantizan un mejor sistema de cimentación y una excelente continuidad vertical y horizontal entre sus elementos, de manera que tenga una capacidad sismorresistente que permita su construcción en cualquier zona, independientemente de su grado de amenaza sísmica.

Fig. 26: Bahareque Contemporáneo.



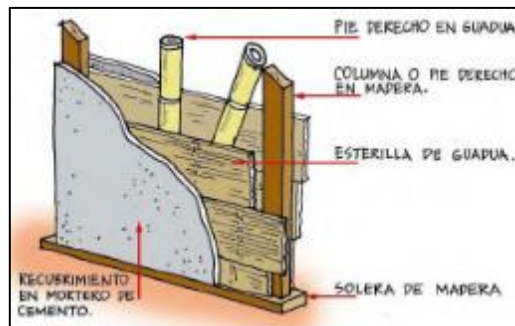
Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 9.

Dado el enfoque del proyecto, el siguiente apartado define el bahareque encementado de forma más minuciosa.

### 3.1.3.1. Bahareque Encementado

Es el sistema más avanzado dentro de la familia de los bahareques tradicionales [23]. Se trata de un sistema compuesto por un esqueleto de guadua o madera que va cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre una malla de alambre que va clavada en esterilla de guadua [15]. Esta conformación ofrece mejores respuestas como sistema constructivo [24].

Fig. 27: Bahareque encementado.



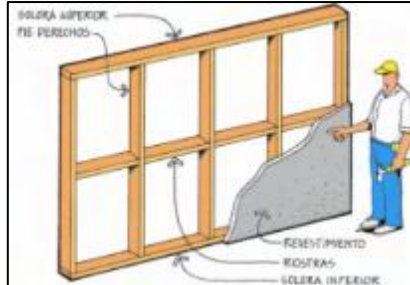
Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002. 2002, pág. 8.

El bahareque encementado se constituye por 2 partes principales: el entramado y el recubrimiento, las cuales se combinan para conformar un material compuesto:

- **Entramado:** Formado por 2 soleras (elementos horizontales, inferior y superior) y pie-derechos (elementos verticales, conectados entre sí con clavos o tornillos). El marco del entramado, es decir las soleras y el pie-derechos exteriores, pueden constituirse

con guadua o con madera aserrada. El resto del entramado se constituye con guadua. Puede tener diagonales.[15]

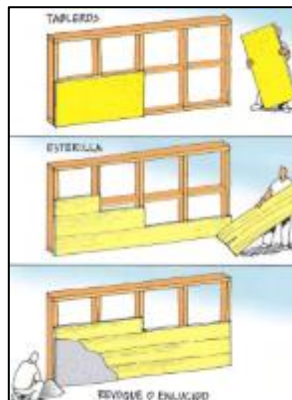
Fig. 28: Entramado bahareque encementado.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda, 2002, pág. 16.

- **Recubrimiento:** Se fabrica con mortero de cemento aplicado sobre malla de alambre, la cual debe estar clavada sobre esterilla de guadua o un entablado. La esterilla debe ir anclada a los pie-derechos mediante clavos y alambre dulce trenzado entre los clavos.[15]

Fig. 29: Recubrimiento bahareque encementado.



Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda, 2002, pág. 17.

### 3.1.3.2. Calidad de los materiales

Basado en lo que menciona la NSR-10 [15], la calidad de los materiales para el bahareque encementado debe ser:

- **Guadua:** Debe usarse en su estado maduro, contar con un contenido de humedad entre el 10 y 20%, preferiblemente el 12%. Además, debe ser inmunizada para evitar ataque de insectos y se debe tener el tratada como el menciona la protección por diseño.

- **Mortero:** La clasificación mínima corresponde al mortero tipo N (Ver tabla D.3.4-1 NSR-10), con proporción en volumen de máximo 4 partes de arena por 1 de cemento.
- **Concreto y Acero:** Para cimentación, vigas de amarre y en caso de confinamiento en mampostería, se debe regir por lo establecido en el capítulo C.3 de la NSR-10.
- **Mallas de refuerzo del revoque:** Para este sistema se pueden usar los siguientes tipos, teniendo en cuenta que no se exige el uso de esterilla de guadua o entablado de madera:
  - Malla de alambre trenzado de diámetro máximo de 1.25mm (BWG calibre 18), de abertura hexagonal no superior a 25.4mm.
  - Malla de alambre electrosoldado de diámetro máximo de 1.25mm (BWG calibre 18), de abertura cuadrada no superior a 25.4mm.
  - Malla de revoque de lámina metálica expandida, sin vena estructural.
  - Malla de revoque de lámina metálica expandida, con vena estructural.

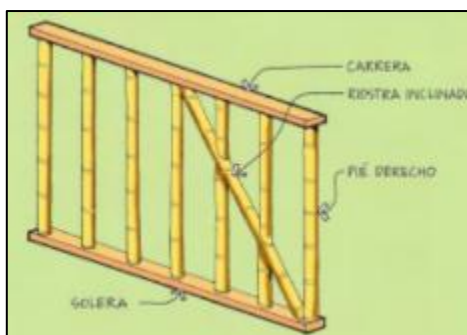
### 3.1.3.3. Muros

Los muros para el bahareque encementado se componen de un entramado de guaduas o de guaduas y madera, conformados por soleras o carrera, pie derechos y recubrimiento de mortero de cemento. Las guaduas a usar deben tener un diámetro mayor a 80mm y el espaciamiento entre pie derechos debe ser entre 300mm y 600mm [15].

Existen 3 tipos de muros, explicados por la NSR-10 [15] y el manual de construcción sismorresistente de viviendas en bahareque encementado [25]:

- **Muros estructurales con diagonales o arriostrados:** Tiene soleras o carrera inferior y superior, pie derechos y elementos inclinados. Estos muros reciben cargas verticales y resisten fuerzas horizontales de sismo o viento, se deben colocar en las esquinas de la construcción y en los extremos de cada grupo de muros estructurales y deben tener continuidad desde la cimentación.

Fig. 30: Muro con diagonales o arriostrado.

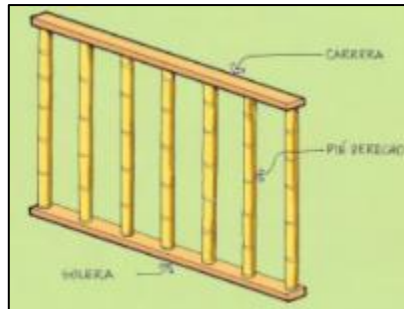


Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002, pág. 38.

- **Muros estructurales sin diagonales o no arriostrados:** Tienen solera o carrera inferior y superior y pie derechos. Estos muros solo reciben cargas verticales, se deben

usar para situar ventanas y puertas, se recomiendan en 2 direcciones y no se usan en las esquinas, además, deben tener continuidad desde la cimentación.

Fig. 31: Muro sin diagonales o no arriostrado.



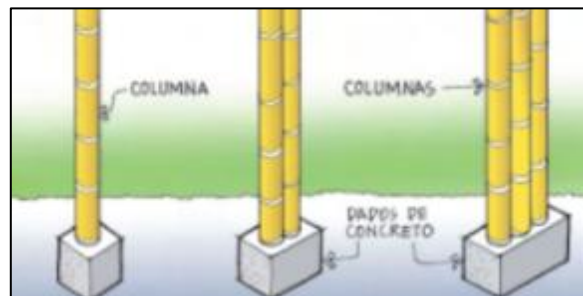
Fuente: Tomado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002, pág. 39.

- **Muros no estructurales:** Al igual que los muros no arriostrados tienen solera o carrera inferior y superior y pie derechos. Sin embargo, son muros que no soportan más que su propio peso y además solo funcionan para separar los espacios dentro de la vivienda, no necesitan ser continuos y no requieren estar conectados a la cimentación. Lo que si se debe garantizar es que su conexión con el diafragma superior evite su volcamiento y a su vez evite transmitir cortante entre la cubierta o el entrepiso.

#### 3.1.3.4. Columnas

Como en toda edificación funcionan como elemento estructural para resistir cargas verticales ya sea aisladas o combinadas con los muros estructurales. Sin embargo, no se deben considerar componentes del sistema de resistencia sísmica en las viviendas construidas en bahareque encementado. Cuando son en guadua, se debe evitar el contacto directo con el sol, el agua y el suelo. Para saber cuántas guaduas son requeridas para cada columna se debe ver la tabla E.7.10-1 de la NSR-10 [15].

Fig. 32: Columnas en bahareque encementado.



Fuente: Adaptado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002, pág. 52.

### 3.1.3.5. Uniones

Con el pasar del tiempo se han desarrollado diferentes tipos de uniones de manera empírica ya sea usando alambre galvanizado o cuerdas de cuero. Sin embargo, para poder desarrollar las uniones se debe tener claro el tipo de corte que se le hace a los culmos, por ende, los cortes más utilizados para la conformación de uniones según la NSR-10 [15] son corte recto, corte boca de pescado y corte pico de flauta, pero el manual de construcción de estructuras con bambú [9] añade los cortes bisel o diagonal, con oreja y con 2 orejas.

Fig. 33: Uniones tipo recto, boca de pescado y pico de flauta.

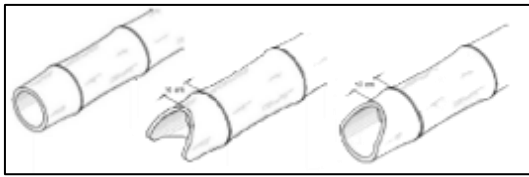


Fig. 34: Uniones tipo bisel, con oreja y con 2 orejas.

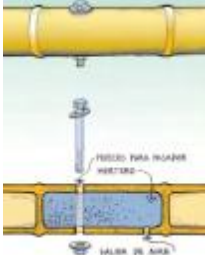
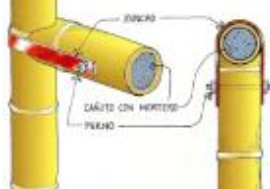


Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010, pág. 1406.

Fuente: SENCICO, Manual de construcción de estructuras con Bambú. 2014, pág. 69.

Como es evidente hay distintos tipos de cortes para poder realizar uniones en guadua, sin embargo, la NSR-10 [15] en el capítulo E.8.3 clasifica los diferentes tipos de uniones de acuerdo al material de conexión y de acuerdo con la función, así:

Tabla 10: Tipos de uniones según el material de conexión.

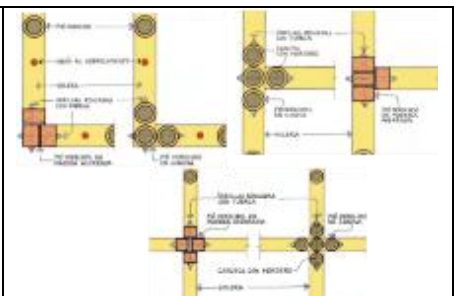
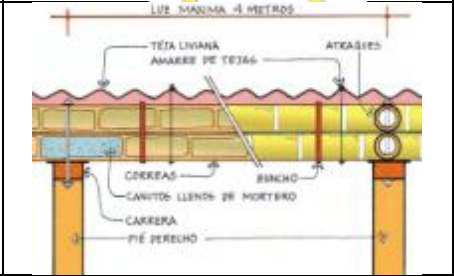
Tipos de uniones de acuerdo con el material de conexión		
Tipo de unión	Descripción	Esquema
Uniones Clavadas	Sirven para esfuerzos muy bajos entre elementos, no son recomendables para unir 2 o más elementos ya que los clavos producen fisuración. Solo se usan temporalmente en ajustes durante el armado y no se tienen en cuenta como conexión entre elementos estructurales.	
Uniones Pernadas	Se debe usar un taladro de alta velocidad, a su vez se deben rellenar con mortero de cemento todos los cañutos por donde se atraviesen los pernos.	
Uniones Zunchadas	Sirven para conexiones articuladas, conexiones que resistan tracción no superior a 10KN.	

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.

Nota Las imágenes son tomadas de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002.

Tabla 11: Tipos de uniones según su función.

<b>Tipos de uniones de acuerdo con la función</b>		
Unión Cimiento-Muro	<p>Los muros deben conectarse a la cimentación sea directamente con las vigas de cimentación o atravesando los sobrecimientos.</p> <p>En caso de haber unión con soleras de guadua, los muros se deben conectar a los cimientos fijando los pies derechos igual que las columnas, teniendo en cuenta que debe haber un separador ya sea en metal o impermeable para que no haya contacto directo con el suelo.</p>	
Unión Columna-Cimiento	<p>La guadua no debe tener contacto directo con el suelo, mampostería o concreto, por eso se debe apoyar sobre un separador de metal o cualquier material impermeable. Además, el separador debe ser resistente al corte abrazando el elemento de guadua.</p>	
Unión Columna-Cubierta	<p>Debe hacerse similar a la unión entre muros y cubierta para los pies derechos. En caso de ser una columna de más de una guadua debe conectarse a la solera superior por medio de un elemento en madera aserrada para garantizar el contacto completo entre el elemento horizontal y todas las guadas de la columna.</p>	
Unión entre Muros	<p>Cuando son muros en el mismo plano se deben unir por medio de pernos, tuercas y arandelas. Debe haber mínimo 2 conexiones por unión, el perno debe tener mínimo 9.5mm de diámetro. En caso de ser guadua, los cañutos se deben llenar con mortero.</p>	

	<p>Cuando son muros en planos perpendiculares se deben unir con pernos, tuercas y arandelas en una sola dirección, el espaciamiento también debe ser de mínimo 2 conexiones por unión.</p>	
<p>Unión Muros-Cubierta</p>	<p>La conexión de las soleras con los muros se hace con los pie derechos, por medio de pernos embebidos dentro del último cañuto completo superior que atraviesa la solera y la correa, además se debe rellenar con mortero de cemento y confinarse con zuncho para evitar fisuración longitudinal.</p>	

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.

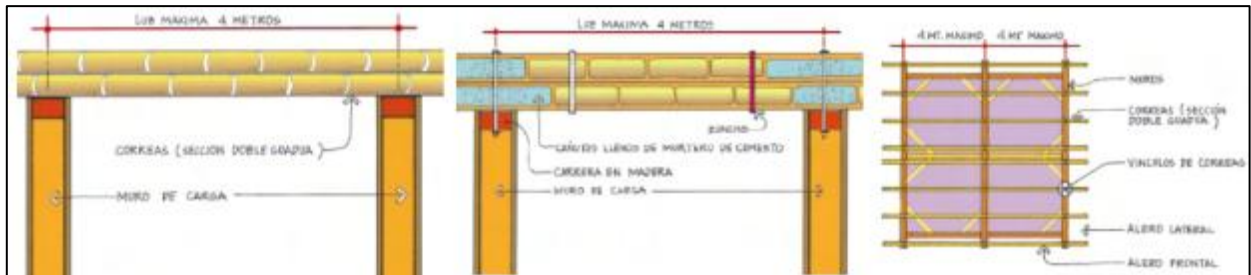
Nota Las imágenes son tomadas de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002.

### 3.1.3.6. Cubiertas

Los elementos portantes que componen las cubiertas (Correas) deben formar un conjunto estable para soportar cargas verticales y laterales, para esto tendrán anclajes y arriostramientos requeridos como se mencionan en la unión entre muros y cubierta. Cuando las correas se construyen en guadua, los cañutos que están en contacto directo con los muros, se deben rellenar con mortero de cemento, en la tabla E.9.2-1 de la NSR-10 se ven las secciones requeridas para cubiertas con correas en guadua [15].

Es de aclarar que los materiales que se vayan a usar para cerrar la cubierta garanticen la impermeabilidad suficiente para proteger de la humedad las guaduas. En caso de usar tejas de barro, debe evitarse el contacto directo con las guaduas, para evitar también la transmisión de humedad por efecto de la capilaridad [15].

Fig. 35: Cubiertas en bahareque encementado.





Fuente: Adaptado de Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado. Editorial Carrera 7a Ltda., 2002.

### 3.2. ESTADO DEL ARTE

En referencia a la información del capítulo anterior, los proyectos constructivos con *guadua angustifolia kunth* han trascendido positivamente, tanto así que a nivel internacional según la teoría presentada por Correa y González [2] en su tesis de las diferentes configuraciones estructurales en construcciones de bambú se encuentran:

Tabla 12: Edificaciones en Bambú *Guadua* a nivel internacional.






Proyecto	Descripción	Imagen
Green School	<p><b>Ubicación:</b> Kaja Bali, Indonesia.</p> <p><b>Uso:</b> Escuela</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Media, moderada.</p> <p><b>Descripción:</b> Conformada por una serie de arcos parabólicos de doble altura, los cuales sirven de apoyo para una cubierta en malla anticlásica con doble curvatura con direcciones opuestas conformando varios paraboloides hiperbólicos entre los arcos.</p>	
Sharma Spring	<p><b>Ubicación:</b> Balí, Indonesia.</p> <p><b>Uso:</b> Hotel.</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Media, moderada.</p> <p><b>Descripción:</b> Conformada por un núcleo central estructural en forma de hiperboloide. Inicia en una base de sección circular, conformada por bambúes rectos que se despliegan hacia la fachada. Las cubiertas están conformadas por bambúes inclinados que se apoyan en la estructura principal.</p>	
Hotel extensión ampliación de hotel	<p><b>Ubicación:</b> Palenque, México.</p> <p><b>Uso:</b> Hotel.</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Baja.</p> <p><b>Descripción:</b> Es una extensión de la cubierta. Consiste en una secuencia estructural de 7 cerchas de bambú en paralelo que se van adaptando a la pendiente del terreno.</p>	
Casa Sostenible en Bambú	<p><b>Ubicación:</b> Boxi, Longquan, China.</p> <p><b>Uso:</b> Vivienda.</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Baja.</p> <p><b>Descripción:</b> Conformada por un sistema de pórticos (columnas y vigas) unidos por platinas, varillas y cojines de neopreno. Funciona como empotramiento para los diferentes elementos.</p>	
Galería la Ceiba	<p><b>Ubicación:</b> México.</p> <p><b>Uso:</b> Dormitorio.</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Baja.</p> <p><b>Descripción:</b> Se clasifica como un vector activo y sección activa conformado por una cubierta de cerchas planas que funcionan como marcos rígidos inclinados, ubicados central y lateralmente, apoyados en las columnas y las vigas se juntan 2 partes.</p>	
Templo Luum	<p><b>Ubicación:</b> Tulum, México.</p> <p><b>Uso:</b> Templo de meditación.</p> <p><b>Actividad Sísmica:</b> Baja.</p> <p><b>Descripción:</b> Se conforma por una serie de arcos, que son apoyo para la malla estructural tejida en doble capa, continuo y entrelazado en direcciones opuestas.</p>	

Kim Boi Bamboo Restaurant	<b>Ubicación:</b> Vietnam. <b>Uso:</b> Restaurante. <b>Actividad Sísmica:</b> Baja. <b>Descripción:</b> Se conforma por un polígono de 12 lados, tiene su estructura principal de hormigón de columnas y vigas; de ésta se despliega una estructura secundaria que soporta cubierta cónica, conformada por 12 marcos de bambú concéntricos.	
Museo Nómada	<b>Ubicación:</b> Ciudad de México, México. <b>Uso:</b> Museo. <b>Actividad Sísmica:</b> Media. <b>Descripción:</b> La estructura de su cubierta es de cerchas a dos aguas, las cuales se apoyan en columnas de bambú y contenedores.	

Fuente: Adaptado de C. Correa y S. González, «Análisis de configuraciones estructurales en construcciones de bambú», Universidad La Gran Colombia, Bogotá, 2022.

Además, las construcciones en guadua se pueden apreciar en puentes peatonales como lo presenta Becerra [26] en su tesis acerca de la metodología para el diseño estructural de puentes peatonales en Guadua, dentro de estos se encuentran:

Tabla 13: Puentes peatonales construidos en bambú guadua a nivel internacional.

Puente/Ubicación	Imagen
Puente Guanezhoua en la reserva de la montaña Nankun, Guangong-China	
Puente en Davao-Filipinas	
Puente en Sigbang Kaja, Bali - Indonesia	
Puente en bietigheim bissingen - Alemania	
Puente en Sumatra-Indonesia	

Fuente: Adaptado de E. Becerra, «Metodología para el Diseño Estructural de Puentes Peatonales en Guadua Angustifolia Kunth», Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2020.




Ahora bien, en Colombia, se tienen datos importantes y proyectos como los siguientes:

Debido al terremoto ocurrido en el Eje cafetero en 1999, el cual derribó edificios en ladrillo y varias estructuras de concreto reforzado, el gobierno alemán desarrolló por medio de cooperación técnica (GTZ), un proyecto de reconstrucción y rehabilitación de 280 viviendas sismorresistentes, utilizando guadua como elemento estructural [26]. Esto contribuyó a su vez que en las normas de construcción colombiana se aprobara el uso de la guadua como material de construcción convirtiéndose a su vez en una posibilidad de promocionar viviendas de interés social [27].

Por otro lado, en el 2011 la UNESCO declaró el paisaje cultural cafetero patrimonio de la humanidad, incluyendo la protección y preservación de las edificaciones en sistemas constructivos tradicionales, así como la protección y preservación del paisaje [21].

En cuanto a proyectos constructivos el sitio web Archdaily [28] presenta 6 se encuentran las siguientes:

Tabla 14: Edificaciones en Bambú Guadua en Colombia.

Proyecto	Descripción	Imagen
Institución educativa La Samaria	Ubicada en Pereira, es un edificio de 3 plantas en sentido longitudinal que se comunican a través de puentes.	
Centro de desarrollo infantil El Guadual	Ubicado en Villa Rica, Cauca, cuenta con aulas de múltiples y/o espacios pensados en la metodología Reggio Emilia, donde los espacios y juegos son los educadores creando condiciones específicas enfocadas en el desarrollo de la infancia.	
Clínica Luca Bullaro	Ubicada en Medellín, la fachada cuenta con una combinación en guadua con u-glass (vitriolit) iluminados al interior, su configuración pretende generar formas naturales a partir de elementos naturales que se ensamblan para formar composiciones complejas.	
Casa ensamble Chacarrá	Ubicada en Pereira, es un espacio amplio donde predomina la guadua y la esterilla de guadua, se trata de un lugar de reunión y de cultura para personas afectadas por el conflicto armado.	
Sala de cine la Potocine	Ubicada en Bogotá, es una estructura de guadua con revestimiento interior de teja termo acústica y exterior de policarbonato alveolar. Los sillones fueron construidos prolongando la estructura de la cercha que definen el graderío.	

Fuente: Adaptado de: S. Alvarez, «Arquitectura en guadua: 6 obras construidas en Colombia».

Además, se han implementado procesos industrializados en guadua, como lo demuestra Martínez, Ardilla y Fernández [29] en un artículo donde mencionan 4 proyectos aplicando dichos procesos en Bucaramanga, destacando un mejor comportamiento térmico frente a construcciones convencionales de ladrillo y cemento, que son los materiales más utilizados para construcción de vivienda en Colombia.





Fig. 36: Sistema industrializado en guadua.



Fuente: Tomado de O. Martínez, C. Ardilla, y F. Fernández, «Diseño de la determinación experimental del comportamiento térmico de construcciones industrializadas de Guadua angustifolia kunth en Colombia», 2018, pp. 39-48.

En la misma línea, Becerra [26] en su tesis acerca de la metodología para el diseño estructural de puentes peatonales en Guadua también menciona algunos puentes peatonales construidos en guadua en Colombia, estos son:

Tabla 15: Puentes peatonales construidos en bambú guadua en Colombia.

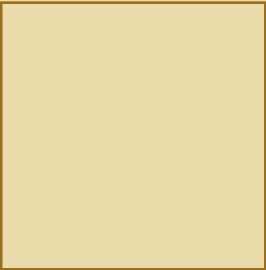
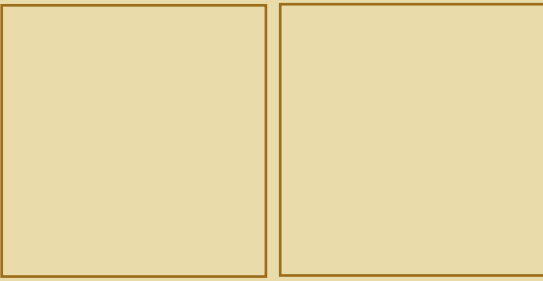
Puente/Ubicación	Imagen
Puente de los indígenas Paeces en Terradentro-Cauca.	
Puente en el Colegio Liceo Francés en Pereira-Risaralda.	
Puente en Pasto-Nariño.	
Puente en Cúcuta-Norte de Santander.	

Puente Fundeguadua sobre el río  
Cali en Cali-Valle del Cauca.



*Fuente: Adaptado de E. Becerra, «Metodología para el Diseño Estructural de Puentes Peatonales en Guadua Angustifolia Kunth», Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2020.*

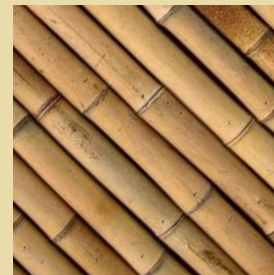
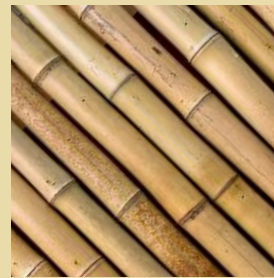
La guadua angustifolia kunth es un material versátil pues como se evidenció en las investigaciones y proyectos presentados su uso como material de construcción es seguro y armónico con los diferentes entornos, ahora la cuestión es porqué aún no se aprovechan los beneficios económicos, ambientales y sociales como debería ser, ya está demostrado que es un excelente acero natural.



# CAPITULO IV: METODOLOGÍA

*“La calidad nunca es un accidente; es siempre el resultado de un esfuerzo de la inteligencia.”*

*John Ruskin*



## **4.1. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1.1. Fase 1: Guadua como material de construcción**

Esta fase consiste en realizar una búsqueda de información acerca de la guadua angustifolia kunth para conocer sus propiedades físico-mecánicas a partir de su estructura morfológica, las ventajas que trae al utilizarla como material de construcción e identificar cómo es el proceso constructivo con este material. De este modo, se estructuró un marco teórico y un estado del arte en el cual se puede evidenciar las diferentes aplicaciones de la guadua en la industria de la construcción y establecer referentes para el desarrollo del proyecto.

Cabe resaltar que toda la información recopilada provino de documentos oficiales, como tesis, manuales, normas, libros y demás fuentes confiables, que abordan el uso de la guadua no solo desde un enfoque investigativo, sino también desde su aplicación práctica en el ámbito de la construcción.

### **4.1.2. Fase 2: Diseño del modelo de vivienda**

Con el fin de suplir las necesidades de un núcleo familiar, las áreas de los espacios que componen el diseño de la vivienda se basaron en lo que permite el documento técnico de parametrización subsidio familiar de vivienda rural [30] expedido por el ministerio de vivienda, ciudad y territorio bajo la resolución 0410 de 2021. Este documento establece los parámetros mínimos para el desarrollo de las viviendas de interés social rural a partir de los componentes de dimensiones espaciales, de confort y resistencia, entre otros.

Contando con una organización espacial del modelo de vivienda, se inició con el diseño estructural, para el cual se usaron datos ofrecidos por la NSR-10 [15] correspondientes a:

Título A.2: Zona de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño.

Título B.2: Combinaciones de carga.

Título B.4: Cargas vivas.

Título E.2: Cimentaciones.

Título E.7: Bahareque encementado.

Título G.12: Estructuras en guadua.

Con dichos datos, se sometió la estructura del modelo de vivienda en el software SAP 2000 en el cual se pudo apreciar el comportamiento del modelo sometido a las diferentes solicitaciones de cargas y fuerzas como lo indica la norma.

Por otro lado, se realizó el diseño eléctrico del modelo de vivienda el cual se establece de acuerdo al uso de los espacios establecidos en la distribución arquitectónica y del mismo modo cumpliendo con los requerimientos que pide la norma técnica colombiana NTC 2050 [30] que corresponde al código eléctrico colombiano.

Y para completar el paquete de diseños, se realizaron los diseños de sistema de abastecimiento y evacuación de aguas (hidrosanitario) el cual cumple con lo que solicita

la norma técnica colombiana NTC 1500 [31] que corresponde al código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias.

Cada uno de los diseños cuentan con las salidas gráficas, elaboradas con el software AutoCAD.

### 4.1.3. Fase 3: Cantidades y presupuesto del modelo de vivienda

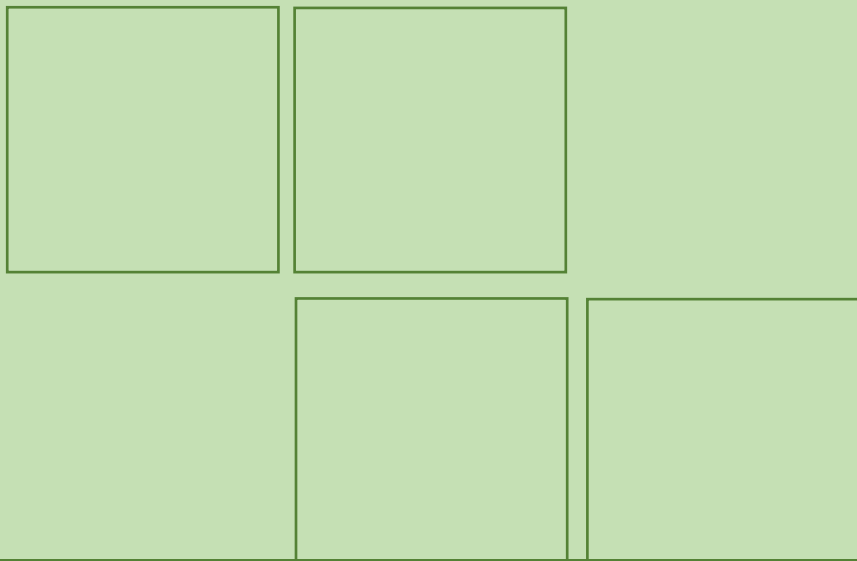
Con las salidas gráficas de cada uno de los diseños, se realizó el presupuesto soportado con memorias de cantidades, este permitió establecer el costo directo del modelo de vivienda.

Dicho presupuesto se basó en los análisis de precios unitarios ofrecidos por la gobernación de Boyacá en la resolución 044 de 2024, listado de análisis de precios unitarios por capítulo del 2023 más adenda y análisis de precios unitarios que no se encontraron dentro de la resolución.

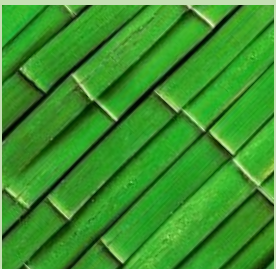
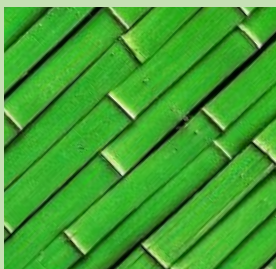
### 4.1.4. Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Diseño de Modelo de Vivienda Rural</b>																
<b>Etapa I: Gestión Documental</b>																
Gestión académica del proyecto de acuerdo al reglamento de la universidad																
<b>Etapa II: Guadua como Material de Construcción</b>																
Búsqueda de información acerca de la guadua angustifolia kunth																
Estructura de marco teórico y estado del arte de las diferentes aplicaciones de la guadua angustifolia kunth en la industria de la construcción.																
<b>Etapa III: Criterios de Diseño del Modelo de Vivienda</b>																
Análisis del proceso constructivo de viviendas hechas a partir de guadua																
Parámetros de diseño de vivienda de interés social rural.																
<b>ETAPA IV: Diseño del Modelo de Vivienda</b>																
Diseño de planos arquitectónicos, distribución de espacios																
Diseño de planos estructurales																
Diseño de planos eléctricos																

**Nota.** Además del desarrollo y cumplimiento de cada una de las fases de este proyecto, se aclara que el alcance del mismo corresponde a una primera aproximación del diseño con carácter únicamente académico, razón por la cual, el proyecto no puede ser usado para licenciamientos, tramites de construcción o construcción.

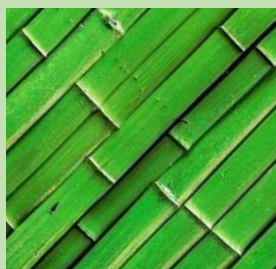


# CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN



*“Las personas con logros raramente se sientan a dejar que las cosas sucedan”*

*Leonardo Da Vinci*



## **5.1. RESULTADOS**

### **5.1.1. Fase 1: Guadua como material de construcción**

Para fortalecer la idea del diseño de una vivienda rural en guadua, fue necesario entender desde un principio la guadua *angustifolia kunth*, por lo que dentro del marco teórico presentado en el capítulo 3 de este documento, se abarcó un recuento histórico de la planta, destacando su morfología y especies similares; posteriormente se presentaron las propiedades que posee a nivel físico y mecánico y los factores que influyen en las mismas. Así mismo, partiendo del enfoque constructivo con guadua, se mostró el control de calidad necesario para su implementación como material de construcción, teniendo en cuenta los diferentes tratamientos que aumentan su resiliencia ante condiciones ambientales, resaltando las condiciones de protección y mantenimiento que se debe tener en cuenta en los diferentes diseños.

Por otro lado, se presentó información acerca del sistema constructivo del cual la guadua hace parte. Dicho sistema, es el bahareque y dentro de este se destacan sus generalidades, ya que hay diferentes tipos de bahareque. A raíz de ello, el sistema constructivo que mejor se adaptó a los intereses de este proyecto es el sistema de bahareque encementado, por lo que se especificaron las características de los materiales de construcción, de los muros, las columnas, la cubierta y los diferentes tipos de uniones según la función de la guadua en la estructura.

Para complementar la información previamente mencionada, en el Capítulo 3 apartado 3.2 se estructuró el estado del arte, allí se evidenciaron diferentes proyectos estructurales desarrollados tanto a nivel internacional como a nivel nacional (Colombia), interpretando de forma detallada las utilidades, beneficios y potencialidades del uso de la guadua como material de construcción.

### **5.1.2. Fase 2: Diseño del modelo de vivienda**

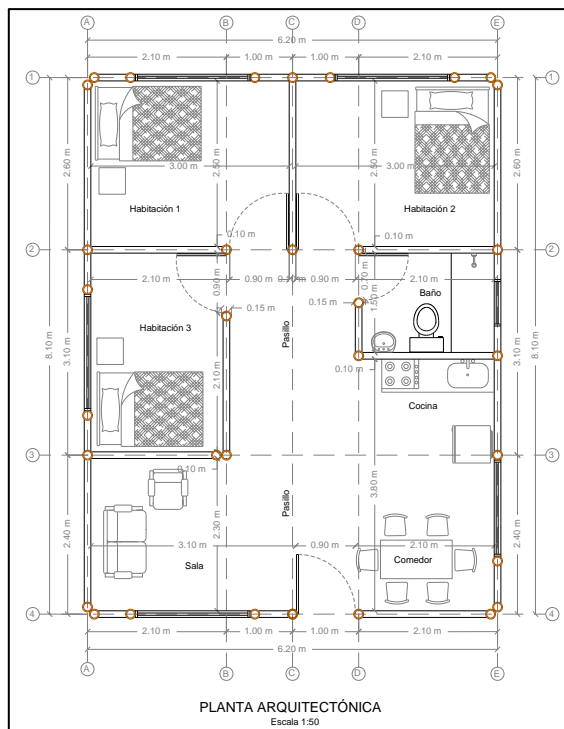
**Nota.** El alcance de cada uno de los diseños a presentar es de carácter únicamente académico, razón por la cual, no pueden ser usados para licenciamientos, tramites de construcción o construcción, a menos que un profesional, estudie y avale la propuesta.

#### **5.1.2.1. Diseño Arquitectónico**

Para garantizar confort y suplir las necesidades básicas de un núcleo familiar, el modelo de vivienda propuesto en el proyecto se compone de 3 habitaciones, 1 baño, 1 cocina, 1 sala y 1 comedor (Ver figura 37). Cada uno de los espacios cuentan con un área que cumple con lo que permite el documento de parametrización subsidio familiar de vivienda rural [32] en su capítulo 4 (Ver tabla 16).

Se aclara que las dimensiones que se tuvieron en cuenta dentro del documento referenciado corresponden a cada espacio por individual, ya que dentro del mismo se encuentran combinaciones espaciales en las cuales el área cambia.

Fig. 37: Planta arquitectónica del modelo de vivienda.



Fuente: Autor.

Tabla 16: Dimensionamiento de espacios en el modelo de vivienda.

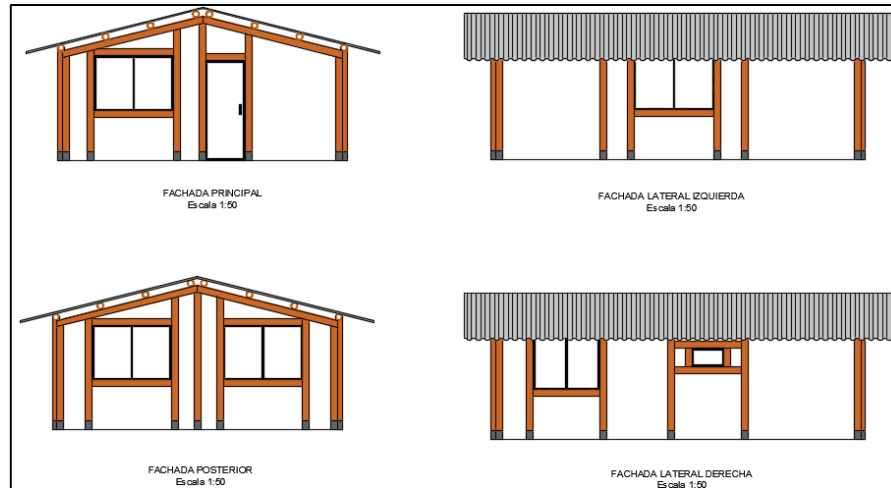
Espacios	Dimensiones Recomendada	Dimensiones Implementadas
Habitación 1	Área: 7 - 8 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.0m x 1.0m	Área: 7.50 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.73m x 1.20m
Habitación 2	Área: 7 - 8 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.0m x 1.0m	Área: 7.50 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.73m x 1.20m
Habitación 3	Área: 7 - 8 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.0m x 1.0m	Área: 6.30 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 1.75m x 1.10m
Baño	Área: 3 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Puerta: 0.9m x 2.0m Ventana: 0.40m x 0.60m	Área: 3.15 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Puerta: 0.7m x 2.0m Ventana: 0.70 x 0.40m
Sala	Área: 5 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Ventana: 1.50m x 1.20m	Área: 4.83 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Ventana: 1.73m x 1.20m
Cocina y Comedor	Área: 10 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m - 3.70m Ventana: 1.0m x 1.0m	Área: 7.98 m <sup>2</sup> Altura: 2.30m Ventana: 1.45m x 1.10m

Fuente: Autor.

De acuerdo a lo presentado anteriormente, se logra una arquitectura (Ver figuras 37 y 38) de modelo de vivienda de interés social rural de una planta con un área total

construida de 51.66 m<sup>2</sup>, la cual garantiza una excelente adaptabilidad con el entorno y confort en cada uno de sus espacios y que además parte de la idea de un menor consumo energético aprovechando en su mayoría recursos naturales con la aplicación de un proceso constructivo no convencional que consiste en pórticos de guadua angustifolia kunth de 15cm de diámetro y 1.5cm de espesor y muros en bahareque encementado que a su vez influye en una reducción de costos, aporta innovación en el área de la construcción y no tiene un impacto significativo en el medio ambiente.

Fig. 38: Arquitectura del modelo de vivienda.



Fuente: Autor.

Las especificaciones de dimensiones, acabados de piso, acabados de baño y cocina se encuentran en el Anexo1 de forma detallada.

### 5.1.2.2. Diseño Estructural

El sistema estructural empleado para el diseño del modelo de vivienda consiste en pórticos de guadua y una cercha que de acuerdo al modelo fue necesaria para rigidizar la estructura.

Para conocer la respuesta del sistema estructural del modelo de vivienda ante cargas solicitadas por la NSR-10, se empleó el software SAP2000 (Ver anexo 5) y los criterios empleados para la simulación fueron:

#### - Material

Como se ha mencionado, el material que predomina en el sistema estructural del modelo de vivienda es la guadua angustifolia kunth con un contenido de humedad del 12%, este porcentaje influye en la adaptación de la guadua a diferentes entornos, es un valor promedio.

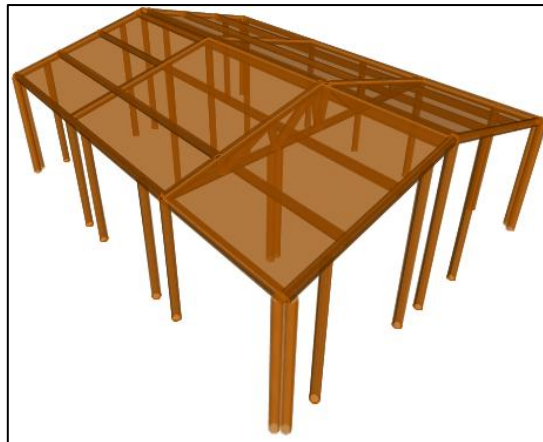
Tabla 17: Módulos de Elasticidad (MPa) de guadua CH=12% (Tabla G.12.7-2).

Módulo Promedio ( $E_{0.5}$ )	Módulo Percentil 5 ( $E_{0.05}$ )	Compresión Paralela ( $F_c$ )
9.500	7.500	4.000

Adaptado de: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.

El valor de módulo de elasticidad que se insertó en SAP2000 fue el  $E_{0.5}$ .

Fig. 39: Estructura de guadua del modelo de vivienda a someter en SAP2000.



Fuente: Autor.

### - Combinaciones de Carga

Teniendo en cuenta las fuerzas y cargas a las que se sometió la estructura, la NSR-10 en G.12.7.1 menciona que el método de diseño de estructuras en guadua debe ser el método de esfuerzos admisibles, por ello se utilizaron combinaciones de carga sin mayorar como lo indica B.2.3.1 de la NSR-10, dichas combinaciones son:

- D+L
- D+0.75L
- D+W
- D-W
- D+0.7Ex
- D-0.7Ex
- D+0.7Ey
- D-0.7Ey
- D+0.75W+0.75L
- D-0.75W+0.75L
- D+0.525Ex+0.75L
- D-0.525Ex+0.75L
- D+0.525Ey+0.75L
- D-0.525Ey+0.75L
- 0.6D+W
- 0.6D-W
- 0.6D+0.7Ex
- 0.6D-0.7Ex
- 0.6D+0.7Ey
- 0.6D-0.7Ey

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva.

W = Carga de viento.

Sx = Carga de sismo en dirección x.

Sy = Carga de sismo en dirección y.

Es importante resaltar los valores de las cargas que se aplican a la estructura, algunas como las cargas vivas fueron según la NSR-10.

Tabla 18: Carga Vivas.

Tipo de Carga	Valor (KN/m <sup>2</sup> )	Referencia
Carga viva cubierta con pendiente 15°	0.5	Tabla B.4.2.1-2

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.

Tabla 19: Cargas Muertas.

Elemento	Valor (KN/m <sup>2</sup> )
Guadua	0.50
Teja arquitectónica calibre 30 galvanizada	0.0329
Caballete	0.0167
Total, Carga Muerta	0.55

Fuente: Autor.

La carga de viento es 0.4 KN/m<sup>2</sup>, ya que en el apartado B.6.1.3.2 de la NSR-10 menciona que las presiones no pueden ser inferiores. Para conocer estos valores, se utilizó el software Corpasoft 3 (Ver Anexo 5).

### - Espectro de Diseño

Para calcular el espectro de diseño, es importante tener claro el lugar y las condiciones del mismo y es por esto que para el diseño del modelo de vivienda se eligieron los datos de la ciudad de Tunja. De este modo los datos para el espectro de diseño son:

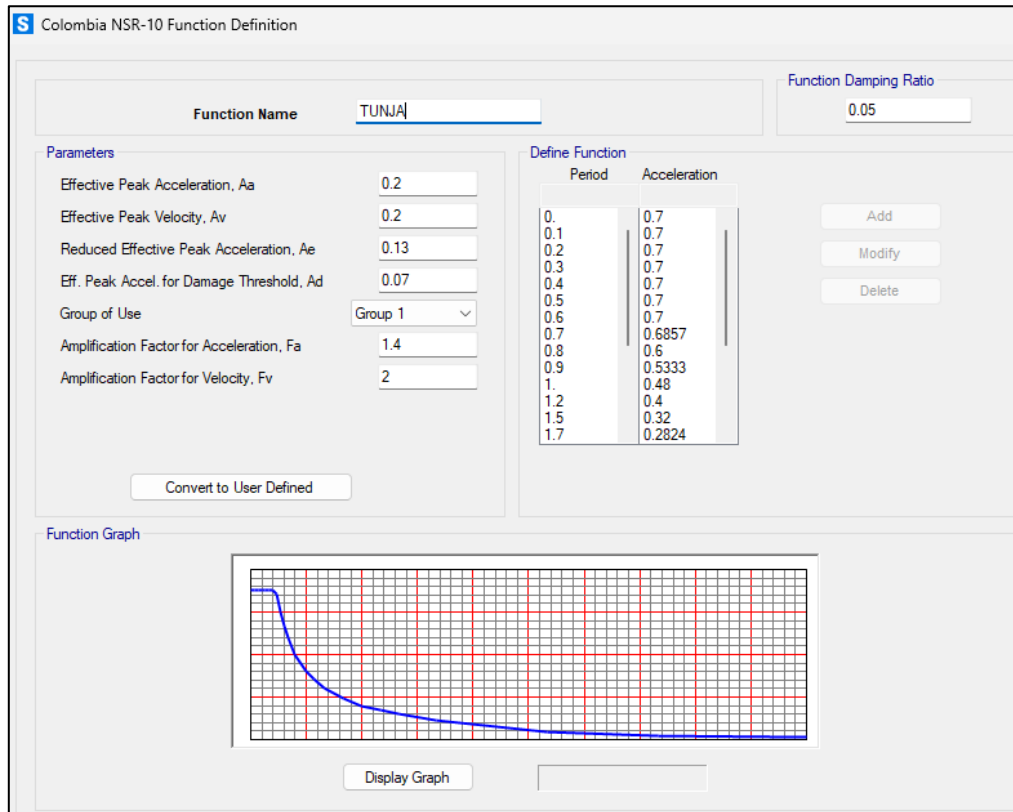
Tabla 20: Datos espectro de diseño.

Datos		Referencia NSR-10
Ciudad	Tunja	
Grupo de uso	Ocupación normal	A.2.5.1.4
Perfil de suelo	D	Tabla A.2.4-1
Zona de amenaza sísmica	INTERMEDIA	Tabla A.2.3-2
Aa	0,2	
Av	0,2	
Fa	1,4	Tabla A.2.4-3
Fv	2	Tabla A.2.4-4
Ae	0,15	Tabla A.10.3-2
Ad	0,07	Tabla A.12.2-2
Coeficiente de importancia (I)	1	Tabla A.2.5-1

Fuente: Adaptado de Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá, Colombia, 2010.

De acuerdo a los datos insertados en SAP2000, el espectro de diseño es:

Fig. 40: Espectro de diseño del modelo de vivienda.



Fuente: Autor; Nota. salida de resultados del software SAP2000.

En la estructura del modelo de vivienda el periodo de oscilación (ver imagen 40) es corto y esto se debe a que el modelo es de poca altura, por ende, es más rígido.

#### - Derivas

Para determinar las derivas máximas, SAP2000 permite extraer los desplazamientos en X y Y de los nodos de la estructura. Con estos desplazamientos se calculó manualmente las derivas máximas en los nodos de interés (Columnas), las cuales cumplen con lo establecido en Tabla A.6.4-1 NSR-10, ya que en lo que respecta al eje X se obtuvo una deriva máxima de 0.010833m y en el eje Y se obtuvo una deriva máxima de 0.020763m; ninguna se supera el 1% de la altura de piso del modelo de vivienda (Ver Anexo 5).

#### - Diseño de elementos

Al tener un comportamiento óptimo de la estructura en cuanto a desplazamientos y derivas, en el Anexo 5 se hizo efectivo el método de esfuerzos admisibles, del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 21: Esfuerzos Vigas - Correas.

Esfuerzos Actuantes Vigas - Correas			Esfuerzos Admisibles
Esfuerzo admisible a Flexión [ $F_b$ ]	0,00599	<	15
Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [ $F_c$ ]	2,012	<	14
Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [ $F_p$ ]	0,853	<	1,26
Esfuerzo admisible a Corte [ $F_v$ ]	1,144	<	1,2

Fuente: Autor.

Tabla 22: Esfuerzos en Columnas.

Esfuerzos Actuantes Columnas			Esfuerzos Admisibles
Esfuerzo admisible a Flexión [ $F_b$ ]	0,00473	<	15
Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [ $F_c$ ]	0,945	<	14
Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [ $F_p$ ]	0,401	<	1,26
Esfuerzo admisible a Corte [ $F_v$ ]	0,133	<	1,2

Fuente: Autor.

Tabla 23: Esfuerzos en Columnas Compuestas.

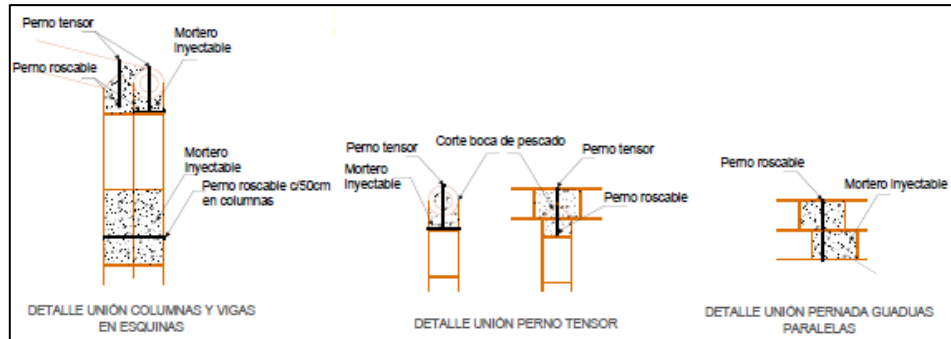
Esfuerzos Actuantes Columnas Compuestas			Esfuerzos Admisibles
Esfuerzo admisible a Flexión [ $F_b$ ]	0,01425	<	15
Esfuerzo admisible a Compresión Paralela [ $F_c$ ]	2,231	<	14
Esfuerzo admisible a Compresión perpendicular [ $F_p$ ]	0,946	<	1,26
Esfuerzo admisible a Corte [ $F_v$ ]	0,400	<	1,2

Fuente: Autor.

De los valores obtenidos en las tablas 21, 22 y 23 al cumplir todas las condiciones tanto en vigas y correas como columnas y columnas dobles, se concluye que la estructura del modelo de vivienda en guadua sometida a diferentes cargas y combinaciones de carga se encuentra en óptimas condiciones de seguridad, permitiendo afirmar que los materiales usados son de calidad y las secciones de los elementos son las adecuadas para que haya un comportamiento estructural eficiente.

En base a lo anterior, la guadua utilizada en el sistema estructural tiene medidas de 15cm de diámetro con 1.5cm de espesor (sección comercial), las uniones implementadas son uniones pernadas con cortes de boca de pescado y pico de flauta, cada una de las uniones se refuerzan con pernos roscables con tuercas y arandelas y con pernos tensores en uniones verticales en boca de pescado (NSR-10 E.8.4.2), añadiendo a su vez la inyección de mortero de cemento tipo N de relación 1:4 como lo indica la NSR-10 en la tabla D.3.4-1 y el apartado E.7.4.3.1.

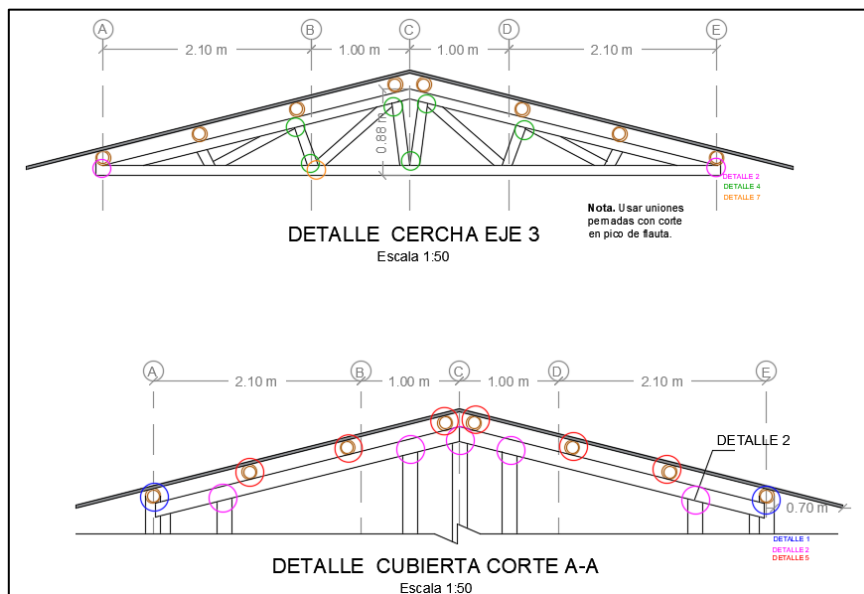
Fig. 41: Detalle de uniones.



Fuente: Autor.

Las guaduas mencionadas forman pórticos entre columnas y vigas diagonales las cuales soportan las correas para dar forma a la cubierta, además se incluyen en una cercha en la zona de cubierta de la cocina y el comedor (Eje 3) diseñada para rigidizar y distribuir mejor las cargas en la estructura y no sobrecargar la columna ubicada allí (Ver figura 42).

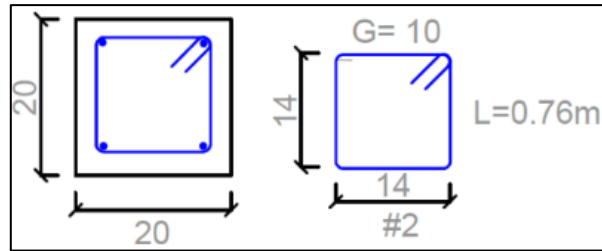
Fig. 42: Detalle de cubierta y cercha.



Fuente: Autor.

La cimentación de la estructura se determinó de acuerdo a las dimensiones ofrecidas por la NSR-10 en la tabla E.2.2-1, esto teniendo en cuenta que los muros del modelo de vivienda son en bahareque encementado.

Fig. 43: Corte transversal vigas de cimentación.



Fuente: Autor.

En el Anexo 2 se encuentran de manera detallada las siguientes salidas gráficas:

- Planta de localización de columnas.
- Planta de cimentación y despieces de vigas de cimentación.
- Planta de la cubierta y detalles de cubierta.
- Detalles de las uniones en guadua.

### 5.1.2.3. Diseño Eléctrico

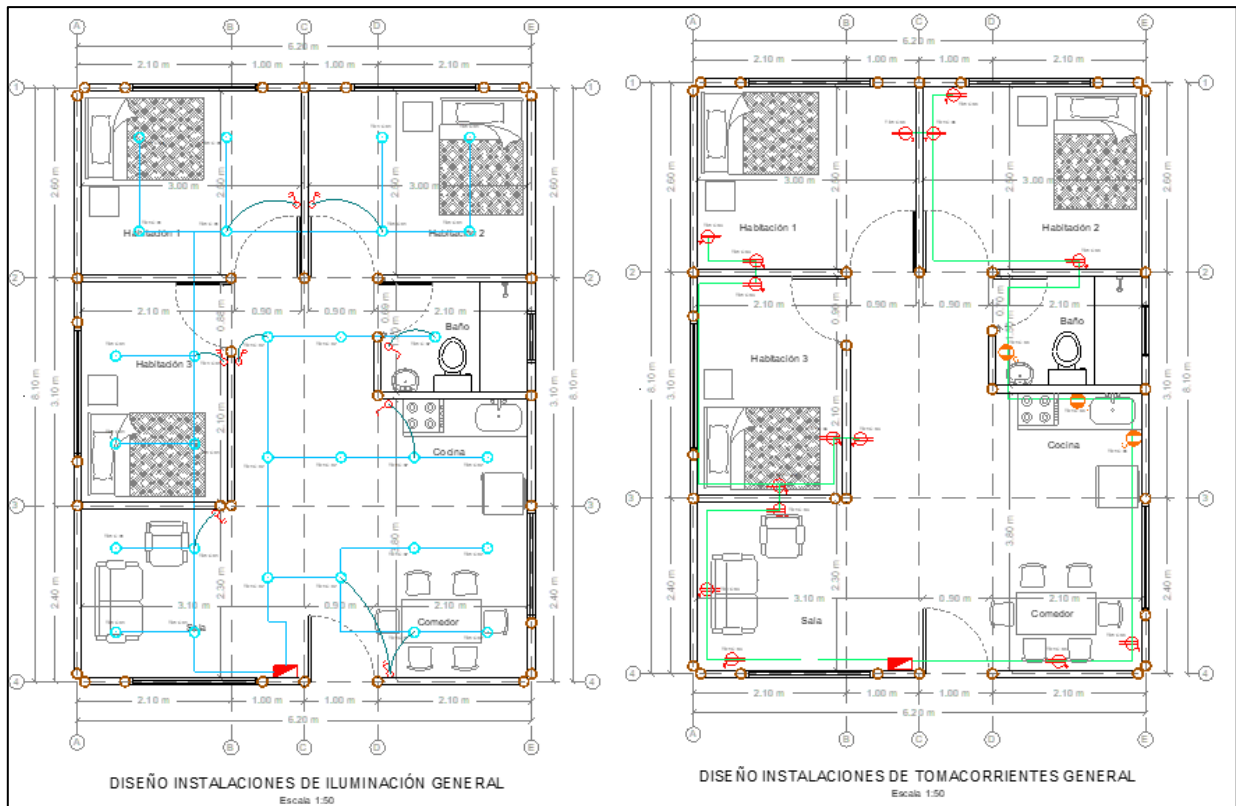
Para garantizar una buena iluminación y acceso a puntos energéticos, en el modelo de vivienda se distribuyeron 4 circuitos de los cuales 2 corresponden a iluminación y los 2 restantes a tomacorrientes (Ver figura 44).

En los circuitos de iluminación se implementaron luminarias de panel redondo de 24 vatios en todos los espacios del modelo de vivienda, ya que son ahorradores pues consumen hasta un 80% menos de electricidad comparándolo con las bombillas incandescentes y duran entre 25000 y 50000 horas más que dichas bombillas.

En los circuitos de tomacorrientes se implementaron tomas monofásicas en la mayoría de los espacios del modelo de vivienda a excepción de la cocina y el baño, en estos espacios se implementaron tomas con protección GFCI, son tomas que sirven para evitar descargas eléctricas en caso de contacto con agua.

Aunque en total se tienen 4 circuitos, el tablero de distribución utilizado corresponde a un tablero bifásico de 6 circuitos, esto con el fin de dejar 2 circuitos de reserva en caso de incluir circuitos a futuro.

Fig. 44: Sistema eléctrico del modelo de vivienda.



Fuente: Autor.

En la tabla 24 se encuentra información técnica acerca de los aparatos implementados en el diseño, el tipo de conductores, la ductería o material de protección y protección en caso de corto. Sin embargo, su explicación es la siguiente:

Los conductores implementados son cables con 2 conductores, uno calibre 12AWG para fase y neutro y el otro calibre 14AWG para la respectiva conducción a tierra. De este modo se permite la configuración para instalaciones eléctricas residenciales.

El material de la tubería de protección es acero galvanizado (EMT) de  $\frac{3}{4}$  in, el cual ofrece mejor resistencia que el PVC.

En el tablero de distribución se ubicarán interruptores o breaker monopolares los cuales protegen una línea de 15 A y cuentan con protección en caso de cortocircuito de hasta 10000 A sin fallar. Estos son típicos en tableros residenciales.

Tabla 24: Tablero de circuitos de distribución del sistema eléctrico.

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN TD-01																						
TD-01, TABLERO 6 CIRCUITOS																						
Nº Circuito								BALANCE DE FASES			CONDUCTORES Cu HFFR-LS	DUCTERIA	I nominal (A)	I protec (A)	PROTECCIÓN (AMP)	DESCRIPCIÓN						
								R	S	T												
W	40	40	24	18	150	150	7032															
1	0	0	0	16	384	0	0	0	0	384		2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	3,20	3,68	1x15 A 10 kA	Iluminación C01					
2	0	0	0	13	312	0	0	0	0	312		2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	2,60	2,99	1x15 A 10 kA	Iluminación C02					
3	0	0	0	0	0	9	1.350	0	0	1.350		2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	11,25	12,94	1x15 A 10 kA	Tomacorrientes C03					
4	0	0	0	0	0	6	900	3	450	0	1.350	2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	11,25	12,94	1x15 A 10 kA	Tomacorrientes C04					
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	0,00	0,00	1x15 A 10 kA	Reserva					
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		2xNº12+1xNº14T	3/4" EMT T/P	0,00	0,00	1x15 A 10 kA	Reserva					
Nº de salidas y Aparatos	0	0	0	0	29	696	0	0	15	2250	3	450	0	0	0	0	3xN8+1xNº8+1xNº10	1" pvc T/P	9	11	3x40 A, 25 kA	BREAKER TOTALIZADOR DRX
										3.396			I protección	10,85								
										100%	0%	0%		I conductor	11,80							
										3.396	0	0		I Neutro real	16,33							
CARGA SIN REFLECTORES NI AIRES										3.396					9,4							

Fuente: Autor.

**Nota.** Aunque en el diseño eléctrico está contemplada la acometida por medio de un poste, se debe tener en cuenta la distribución de red eléctrica externa, pues al ser un diseño en zona rural se debe hacer un estudio in situ a fin de encontrar punto de conexión o poste más cercano.

Según el manual de construcción de estructuras en bambú [9], las instalaciones eléctricas se pueden empotrar a los muros, sin embargo, si se requieren perforaciones no se pueden exceder en 1/5 del diámetro de la guadua. Además, que los ductos de la instalación eléctrica no se deben perforar o interrumpir en el momento en que se ensamblen en las guaduas.

Realizando un conteo, el sistema eléctrico diseñado para el modelo de vivienda cuenta con 29 luminarias las cuales ofrecen excelente iluminación y 18 tomacorrientes accesibles en cada espacio. Dichos aparatos, generan un consumo eléctrico total de 3396 W.

En el Anexo 3 se puede evidenciar de manera más clara los esquemas e implementación de aparatos eléctricos en el modelo de vivienda.

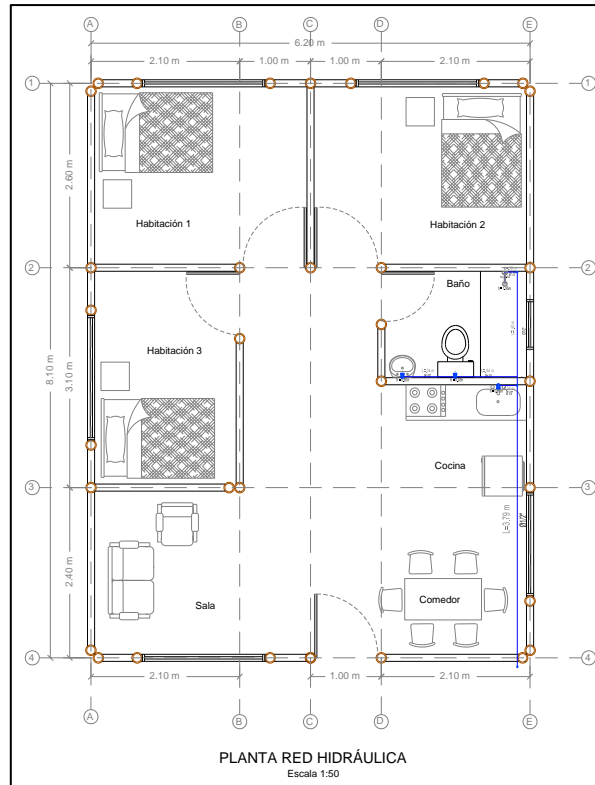
### 5.1.2.4. Diseño Hidrosanitario

Los espacios del modelo de vivienda que requieren de demanda hidrosanitaria son el baño y la cocina. Cada uno de los diseños tanto de suministro como de evacuación se basaron en las recomendaciones de la norma técnica colombiana NTC1500 donde se tuvieron en cuenta principalmente los valores mínimos que corresponden al uso y/o necesidad de los espacios ya mencionados.

Para empezar, el trazado de la red de suministro o hidráulica se tuvo en cuenta desde el punto de instalación de medidor (fachada principal), de ahí se distribuye el flujo hacia el lavaplatos en la cocina y posteriormente hacia los puntos hidráulicos del baño como lo son el sanitario, el lavamanos y la ducha (Ver figura 45). Estos aparatos cumplen con lo

que menciona la tabla 5.3.1 de la NTC1500 en cuanto al número mínimo de aparatos hidrosanitarios para un uso residencial.

Fig. 45: Planta sistema hidráulico del modelo de vivienda.



Fuente: Autor.

Con la red trazada, aunque no se tiene un estudio del entorno en cuanto al suministro de agua, de acuerdo a las tablas 7.4.3, 7.4.4, 7.4.5 y 7.5.4 de la NTC1500 se pueden conocer los criterios de diseño de cada uno de los puntos de interés del modelo de vivienda como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25: Criterios de diseño sistema hidráulico.

Aparato	Caudal mín. (L/min)	Presión de Flujo (KPa)	Caudal máx. (L/min)	Consumos (gpm)	Presión de Flujo (KPa)	Diámetros mínimos tubería (in)	Material de la Tubería
	Tabla 7.4.3		Tabla 7.4.4			Tabla 7.4.5	Tabla 7.5.4
Lavaplatos	10	55	22	5.9	276	1/2	PVC
Lavamanos	3	55	8.3	2.2	414	1/2	PVC
Ducha	9.5	55	9.5	2.5	414	1/2	PVC
Sanitario	6.0	138	6.0	6.0 Lpf	-	1/2	PVC

Fuente: Adaptado de ICONTEC, «NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1500: Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias», 25 de abril de 2023.

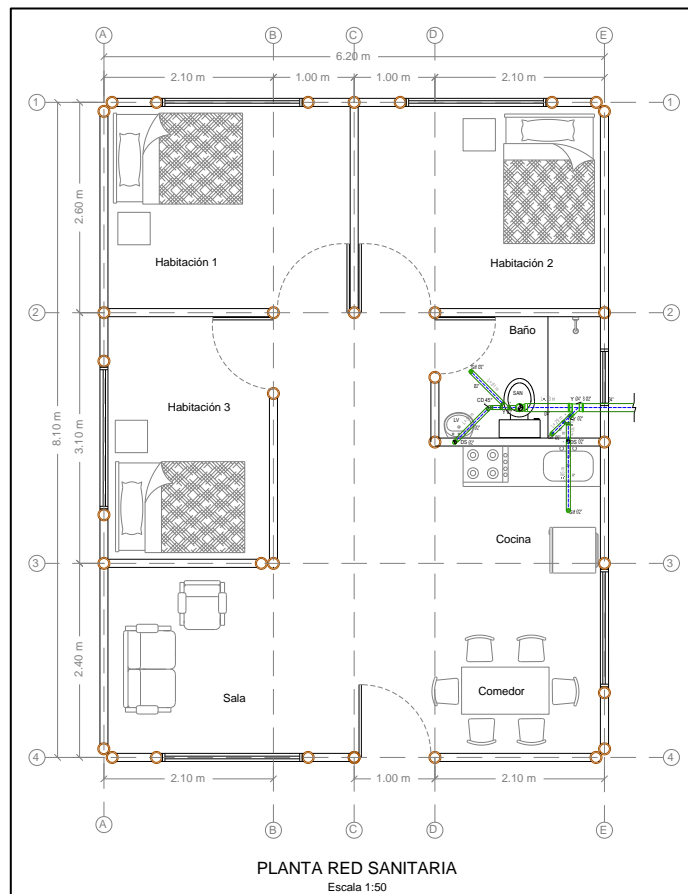
En términos generales para abastecer el modelo de vivienda se requiere un caudal mínimo de 28.5 L/min y el consumo de agua potable sería de 10.6 gpm más los 6.0 Lpf del sanitario.

Los valores mínimos ofrecidos en la tabla 25 se usaron para el trazado del sistema de suministro, además cada uno de los accesorios requeridos corresponden al mismo diámetro y material de la tubería. Los detalles y dimensiones se pueden ver de forma explícita en el Anexo 4.

**Nota.** En el diseño de suministro no está contemplada la red externa de la vivienda, pues al ser un diseño en zona rural se debe hacer un estudio en sitio para aclarar la acometida de agua potable.

Por otro lado, el sistema de evacuación o sanitario se trazó de acuerdo a los puntos de suministro de agua que requiere el modelo de vivienda y a su vez, ubicando sifones, ver figura 46.

Fig. 46: Planta sistema sanitario del modelo de vivienda.



Fuente: Autor.

Tabla 26: Diámetros de tubería de desagüe.

Punto de Desagüe	Diámetro mínimo (in)	Diámetro Implementado (in)	Material de la Tubería
	Tabla 8.9.1		Tabla 8.2.2
Lavaplatos	1 ½	2	PVC
Lavamanos	1 ¼	2	PVC
Ducha	1 ½	2	PVC
Sanitario	6.0	2	PVC
Sifones (5.13.3)	3	3	PVC
Sistema Sanitario a Caja de inspección	4	4	PVC

Fuente: Autor.

Como se aprecia en la figura 46, la tubería de desagüe está conectada con accesorios de ángulo de 45°, aunque no se especifica en la norma, en la práctica se hace de este modo ya que a este ángulo no se genera fricción y facilita el flujo adecuado de las aguas residuales.

Para las pendientes de la tubería de desagüe se tuvo en cuenta la tabla 8.4.1 de la NTC 1500, la cual establece que la pendiente mínima debe ser de 10 mm/m, la cual equivale a una pendiente del 1%.

Aunque no se encuentre especificado en el plano, la tubería de desagüe de la vivienda debe llegar a una caja de inspección antes de ser conectada ya sea al alcantarillado o a un pozo séptico, esto para facilitar temas de mantenimiento y demás.

**Nota.** En el sistema sanitario, no está contemplada la red externa de la vivienda, pues al ser un diseño en zona rural se debe hacer un estudio en sitio para aclarar el punto de disposición final de agua residual.

Los detalles y dimensiones del sistema sanitario se pueden ver de forma detallada en el Anexo 4

En general, las instalaciones hidrosanitarias se ubican en un nivel de 18cm, por debajo del nivel inferior del refuerzo de la placa de contrapiso ya que el manual de construcción de viviendas en bahareque[25] menciona que las instalaciones deben ir a una profundidad mayor de 10cm. Además, ninguna de las instalaciones debe empotrarse en las vigas de cimentación ni en ningún elemento reforzado de manera que no se altere la resistencia de los elementos.

### 5.1.3. Fase 3: Cantidades y presupuesto del modelo de vivienda

Dentro del presupuesto del diseño del modelo de vivienda de interés social rural que abarca este proyecto se tuvieron en cuenta capítulos como: Preliminares, cimentación y losa de contrapiso, estructura en guadua, cubierta, acabado de pisos, instalaciones hidrosanitarias, instalaciones eléctricas y carpintería. Estos capítulos se desglosaron en una memoria de cantidades la cual se basó en las especificaciones que tienen cada uno de los planos de arquitectura, estructura, sistemas eléctricos y sistemas hidrosanitarios (Ver anexos 6 y 7).

Con lo mencionado anteriormente, de acuerdo al presupuesto y memoria de cantidades hecho, el modelo de vivienda tiene un costo directo de \$68'179.000 que, comparado con

los valores establecidos por el gobierno nacional para este tipo de viviendas construidas en un sistema constructivo convencional refleja una reducción considerable, tanto así que de acuerdo a los valores que se ven en la tabla 27, se razona lo siguiente:

Con respecto a una vivienda de interés social rural, el modelo de vivienda en guadua reduce el costo en un 64.52% y con respecto a una vivienda de interés prioritario rural reduce el costo en un 46.78%; esto indica que, si se llegase a implementar el diseño del modelo de vivienda rural en guadua, resultaría más asequible para las personas que habitan los sectores rurales del país, además si se tiene en cuenta el área construida, la relación costo-área responde de manera eficiente ya que los espacios propuestos en la arquitectura satisfacen las condiciones de habitabilidad y confort que deben tener este tipo de viviendas.

Tabla 27: Relación Costo área vivienda de interés social rural.

Tipo de vivienda	Costo		Área Construida (m <sup>2</sup> )
	SMMLV	Equivalencia-2025	
Vivienda de interés social rural	135	\$ 192'172.500	35 - 50
Vivienda de interés prioritario rural	90	\$ 128'115.000	
Vivienda de interés social rural	47.89	\$ 68'179.000	51.66

\*SMMLV: Salarios mínimos legales vigentes.

Fuente: Metrocuadrado.com

## 5.2. DISCUSIÓN

La influencia que tiene la guadua angustifolia kunth en la industria de la construcción en gran medida ha sido positiva, pues, como se evidenció a lo largo de la teoría aporta en lo social, económico y ambiental, tanto así que para entender la influencia que tendría la construcción de viviendas en guadua se resalta:

### **A nivel ambiental**

Es indiscutible que los procesos constructivos convencionales han permitido el desarrollo de grandes ciudades gracias a la resistencia y durabilidad de sus materiales (concreto, acero, ladrillos). Sin embargo, tanto la etapa de producción de los materiales como la ejecución de los diferentes proyectos tienen un gran consumo energético el cual impacta de manera negativa al medio ambiente, como lo menciona Contreras y Vaglianti [33] en su investigación acerca del uso de la guadua como material alternativo en construcción, afirman que una vivienda en guadua tiene menores consumos energéticos en 46.482 MJ comparada con una vivienda común, esto debido al menor uso de cemento y hierro que corresponden alrededor del 95% y menores cantidades de horas-equipos, horas-hombre; no obstante lo que tiene que ver con urbanismo como movimiento de tierra, cimentación, acueducto, alcantarillado y redes domiciliarias no influyen en el estudio dado que son iguales en ambos tipos de vivienda.

Ahora bien, si se trata de la guadua y/o bambú como planta, se deben resaltar los beneficios que le aporta al medio ambiente, como se mencionan en el manual para la construcción con bambú [16]:

- Reduce la erosión del suelo provocada por lluvias e inundaciones gracias a su red de raíces las cuales amarra la tierra.
- Regula el caudal hídrico por la capacidad de retención de agua en sus culmos, la cual le ayuda en épocas de sequía; en una hectárea de bosque puede retener más de 30.000 litros de agua.
- Es una planta que crece bastante rápido y contribuye con la fijación de CO<sub>2</sub>, de hecho, capta más CO<sub>2</sub> que un árbol.
- La energía que se usa para la producción de bambú es menor que la que se usa para producir madera, según Janssen (1981), la energía que se usa para la producción de bambú es 300MJ/m<sup>3</sup> y la que se usa en madera es 600 MJ/m<sup>3</sup>.
- Reduce la temperatura, en efecto los bosques reducen la temperatura del aire por el efecto de evaporación del agua gracias a sus hojas.
- La guadua es productora de biomasa, pues una planta adulta tiene entre 14000 y 20000 hojas que se renuevan cada año y toda esa biomasa se incorpora al suelo como materia orgánica fertilizante, la cual ayuda a mejorar las propiedades físicas del suelo, de hecho, una hectárea de guadua produce de 2 a 4 toneladas de biomasa [3].

Por otro lado, un estudio realizado por la escuela agrícola panamericana en colaboración con la facultad de ingeniería de la universidad nacional autónoma de honduras, propone la guadua como un recurso natural para remediar el daño en terrenos desiertos, es decir como un recurso natural que se desarrolla muy bien en climas cálidos y húmedos, y su

rápido crecimiento favorece el ideal [27]. Además, crece en terrenos no aptos para cultivar lo que beneficia a métodos agrícolas y agroforestales variados aumentando su reserva forestal [2].

Estos datos indican que con el aumento de construcciones usando guadua, aumentaría proporcionalmente la siembra y producción de la misma, lo que trabajado de manera estratégica beneficia la calidad de vida de las comunidades y ecosistemas ya que se reducirían las emisiones de CO<sub>2</sub> y esto permite tener un ambiente sano, un mejor hábitat para las diferentes clases de animales y se conservarían especies de árboles en vía de extinción [3].

### **A nivel social y económico**

La construcción de viviendas trae consigo el desarrollo social, cultural y económico de la humanidad, por ende, se convierte en una base fundamental de la unidad más pequeña de una sociedad, la familia. Por estas razones, desde el tiempo de las cavernas hasta hoy día contar con una vivienda ha sido una de las principales necesidades y derecho fundamental del ser humano [3], en el caso colombiano el artículo 51 de la constitución política lo establece así “*Todos los colombianos tienen derecho a una vivienda digna*”

En base a la teoría consultada y lo que afirma la empresa colombiana “guadua y bambú Colombia” [34], al igual que las viviendas convencionales las viviendas en guadua ofrecen ventajas que garantizan una buena calidad de vida, ya que disponen de confort térmico y acústico, generan un ambiente saludable, garantizan seguridad y resistencia, son adaptables y contribuyen en la sostenibilidad social y cultural. Además, es una buena fuente de empleo ya que se requiere personal desde el momento en el que se cultiva la guadua, pues esta requiere de un pretratamiento antes de utilizarse.

Por otra parte, se destaca que la guadua es un material que se puede aprovechar en un 100%, pues las latas de guadua se pueden emplear para hacer formaletas y esterillas, mientras que las laminadas son empleadas para hacer vigas y columnas macizas, pisos y panales; de hecho, hasta las pequeñas partes que ya no se pueden utilizar, tienen como destino final hacer parte de materia orgánica o producir pulpa para papel [3].

En países como Colombia y Ecuador la guadua ha logrado un papel muy importante en economías locales como la del eje cafetero colombiano (declarado patrimonio de la humanidad por UNESCO EN 2011), o la de la costa pacífica ecuatoriana, lo que indica que es un material con gran potencial para el desarrollo de la industria de la construcción [9].

El manual para la construcción con bambú [16] también menciona los beneficios económicos y sociales del bambú y/o guadua como:

- Económicamente el bambú tiene más de 5000 usos documentados.
- Es un material rentable ya que a nivel mundial genera 7000 millones de dólares.
- En comparación con materiales convencionales de construcción, representa menos costos de producción de hasta un 20%.
- Para aprovechar y/o transformar el bambú, se requieren herramientas sencillas.

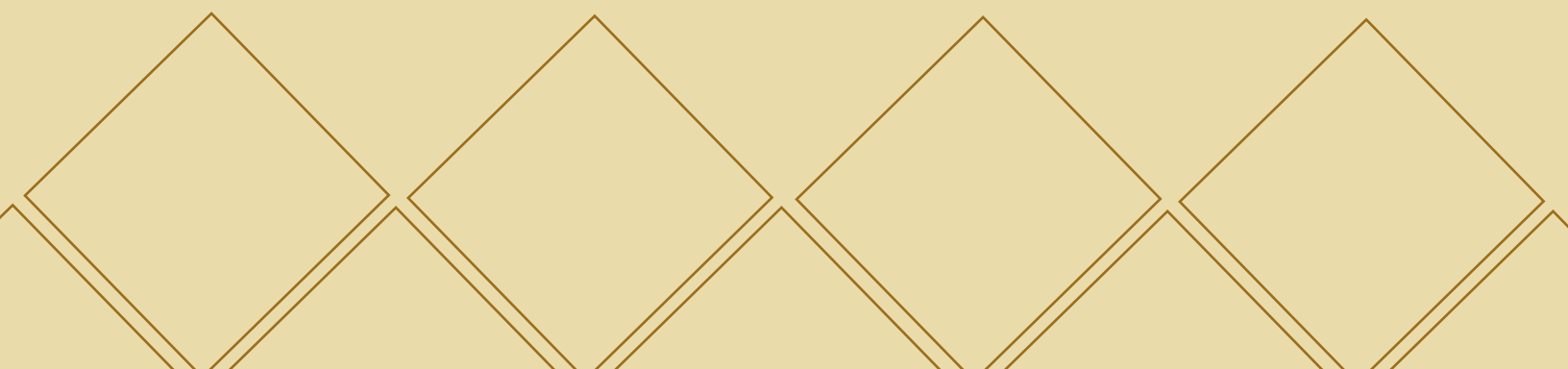
- La productividad de un bambusal está entre 1200 1350 culmos por hectárea al año; en comparación con el pino una madera muy utilizada, la maduración tarda menos pues el pino tarda entre 20 a 24 años en madurar y la guadua madura entre 4 a 6 años.
- La guadua es más liviana, tiene resistencia sísmica y es más económica que los materiales convencionales.
- Fortalece el desarrollo regional.
- Es un material sustentable en las comunidades y mejora las condiciones ambientales.
- Promueve la transferencia de tecnología.
- Contribuye al fortalecimiento de capacidades locales, especializando y generando empleo.
- Es una alternativa para disminuir el déficit de vivienda en las comunidades.



# CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

*“El cambio no es algo que debemos temer. Es algo que debemos aceptar y abrazar para crecer”*

*Marianne Williamson*



## 6.1. CONCLUSIONES

Gracias a una investigación exhaustiva se logró diseñar un modelo de vivienda de interés social rural de 51.66 m<sup>2</sup> implementando un sistema constructivo no convencional como guadua angustifolia kunth y bahareque encementado, destacando el cumplimiento de cada uno de los requisitos que solicitan las normas técnicas legales. Es un modelo de un piso estructuralmente liviano que cuenta con espacios aptos de habitabilidad, arquitectónicamente armónico y adaptable al entorno rural.

Al ser la guadua angustifolia kunth y el bahareque encementado componentes de un sistema de construcción no convencional, fue necesario modelar la estructura en el software SAP2000 para conocer su comportamiento estructural sometido a fuerzas estáticas y dinámicas de manera precisa. En este software se tuvo que tener en cuenta datos de propiedades físicas de la guadua que ofrece la NSR10 en título G.12 ya que son datos aproximados a la realidad, pero no son estandarizados, porque se debe tener en cuenta que la guadua es un material natural y los culmos no son iguales. Sin embargo, el modelo obtuvo excelentes resultados cumpliendo con derivas.

Se debe destacar que el uso de un software como SAP2000 para la implementación del método de esfuerzos admisibles, permite optimizar tiempo a la hora de conocer las secciones de cada uno de los elementos y comportamientos de los mismos, pues la NSR-10 en G.12, ofrece un procedimiento “manual”, lo cual hace que el diseño de cada uno de los elementos sea un poco extenso.

En cuanto a costos, se obtuvieron resultados positivos puesto que el costo directo del modelo de vivienda diseñado en este proyecto corresponde a 47.89 SMMLV y el costo de los modelos de vivienda propuestos por el gobierno colombiano están en los 90 y 135 SMMLV, esto marca una diferencia significativa que beneficiaría la economía de quien acceda a implementar una VISR en guadua.

Aunque el sistema de pórticos en guadua angustifolia kunth y muros de bahareque encementado representan un sistema constructivo eficiente en cuanto a resistencia, costo y tiempo de ejecución, los sistemas hidrosanitarios, eléctricos y de cimentación no reflejan una diferencia significativa con respecto a los sistemas convencionales, ya que su proceso de diseño y ejecución es completamente similar.

Una de las muchas ventajas de las viviendas en guadua es el tiempo de ejecución, por eso de acuerdo a las áreas diseñadas y rendimientos se puede estimar un tiempo de ejecución del modelo de vivienda de un mes.

La ejecución de proyectos de construcción en guadua y bahareque encementado debería implementarse más, pues son muchos los beneficios que aporta como reducción de costos, fácil acceso, generación empleo, impulsa la economía local, protege el medio ambiente y fomenta el desarrollo rural y no deberían mantenerse solo como una propuesta. Entes gubernamentales deberían apuntar a este tipo de proyectos y más cuando se trata de viviendas de interés social o prioritario porque apuntan al desarrollo de las diferentes poblaciones y a escasear la dificultad de acceder a los derechos básicos

de las mismas. El modelo de vivienda presentado en este manuscrito cumple con las características necesarias para poder lograr esto.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Aunque el alcance del presente proyecto es de carácter académico y no puede ser usado para licenciamientos, tramites de construcción o construcción. En caso de que un profesional revise, estudie y avale la propuesta se recomienda:

Los acabados presentados en el anexo 1 pueden modificarse según el criterio de quien desee implementar este proyecto.

La cimentación presentada en el anexo 2 corresponde a una propuesta inicial, dado que el modelo de vivienda es de tipo rural, se sugiere que se realice un estudio de suelos para garantizar una cimentación que se adapte de manera óptima al entorno específico donde se llegase a implementar este proyecto.

En el sistema eléctrico presentado en el anexo 3 la distribución de la tubería en planos se podrá ajustar en terreno de acuerdo a las disposiciones de la construcción del proyecto. En todo caso se debe respetar la asignación de los circuitos de todas las salidas eléctricas. Por otra parte, para la acometida se debe estudiar la zona a fin de encontrar punto de conexión o poste más cercano.

Las redes hidrosanitarias presentadas en el anexo 4 corresponden a una propuesta inicial de flujo para el abastecimiento y evacuación de agua. Dado que el modelo de vivienda es de tipo rural, se sugiere realizar un estudio detallado in situ (disponibilidad recurso hídrico, condiciones climáticas y características del suelo) para garantizar que tanto el sistema hidráulico como el sistema sanitario se adapten de manera óptima al entorno específico donde se llegase a implementar este proyecto.

Una vivienda de calidad construida en guadua y bahareque, se obtiene a partir de la calidad de los materiales que se utilicen, además es fundamental que las personas que vayan a manipular las guaduas tengan los conocimientos técnicos dado que no es un material común en construcción y que a su vez requiere de varios tratamientos previos antes de su implementación.

## GLOSARIO

**CERCHA:** Elemento estructural reticulado, recibe y trasladar las cargas de cubierta.

**COLUMNA:** Elemento vertical, su trabajo principal es a compresión.

**COMBINACIÓN DE CARGA:** Combinación de diferentes cargas que actúan en simultáneo sobre una estructura. Se define mediante factores de seguridad que representan la probabilidad de ocurrencia simultánea de cara carga.

**COMPRESIÓN:** Esfuerzo de un material cuando está sometido a fuerzas opuestas dirigidas hacia el interior de su sección transversal.

**CORREA:** Elemento horizontal componente de la estructura de la cubierta.

**CORTANTE:** Esfuerzo de un material cuando está sometido a fuerzas opuestas que actúan en planos paralelos, pero en direcciones opuestas.

**DEFICIT HABITACIONAL:** Insuficiencia de viviendas adecuadas para satisfacer la demanda de población. Se mide considerando dos aspectos, cualitativo cuando las viviendas tienen problemas estructurales y cuantitativo cuando las familias no tienen vivienda propia y viven en condiciones de hacinamiento.

**DERIVA:** Desplazamiento lateral de una estructura debido a cargas horizontales como viento y sismo.

**ESPECTRO DE DISEÑO:** Cálculo matemático del cual se obtiene una gráfica que permite conocer la respuesta máxima que tiene una estructura ante un sismo teniendo en cuenta el periodo de vibración (flexibilidad de la estructura) y la aceleración espectral (fuerza sísmica que siente la estructura).

**ESTERILLA DE GUADUA:** Estera que se forma después de realizar cortes longitudinales al culmo de guadua cuando está verde y luego se abre de forma plana.

**FLEXIÓN:** Esfuerzo de un material cuando está sometido a fuerzas perpendiculares a su eje principal, lo que genera que tienda a doblarse, es decir a presentar compresión en la parte cóncava y tracción en la parte convexa.

**METODO DE ESFUERZOS ADMISIBLES:** Método de diseño estructural que consiste en asegurar que los elementos de una estructura no se sobrecarguen. Se lleva a cabo comparando los esfuerzos que genera una carga aplicada con los esfuerzos máximos del material con el que están hechos los elementos de la estructura (esfuerzos admisibles).

**NSR-10:** Norma sismo resistente colombiana. Establece los requisitos para el diseño y construcción de las edificaciones ante cargas y sismos. Cubre materiales como concreto, acero, madera y guadua, estableciendo reglas específicas para cada uno.

**PERNO:** Pieza metálica roscada, con cabeza en un extremo que se asegura con arandela y tuerca por el otro extremo.

**PRESERVACIÓN:** Tratamiento para prevenir la acción de organismos destructores.

**REVOQUE:** Capa exterior construida por motero de cemento, agua y arena. Se aplica en la superficie de un muro.

**SAP 2000:** Software de análisis y diseño estructural, permite modelar, analizar y dimensionar estructuras sometidas a cargas estáticas y dinámicas, incluyendo cargas sísmicas y de viento.

**TRACCIÓN:** Esfuerzo de un material cuando está sometido a fuerzas opuestas dirigidas hacia el exterior de su sección transversal.

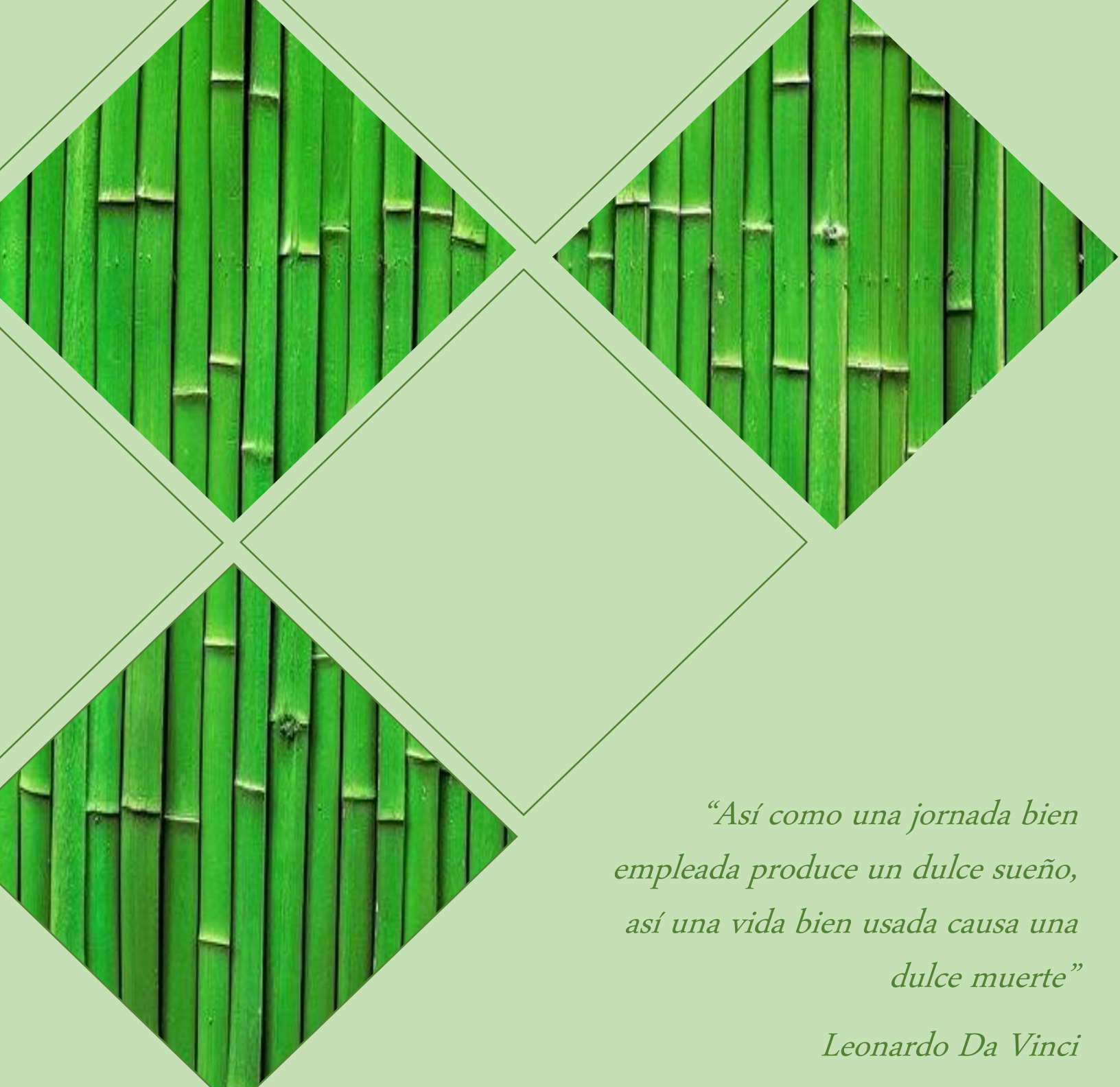
**UNIÓN EMPERNADA:** Conexión estructural el cual usa pernos para unir elementos de guadua permitiendo mayor resistencia y durabilidad.

**VIGA:** Elemento horizontal, su trabajo principal es a flexión.

**VIVIENDA DE INTERÉS PRIORITARIO (VIP):** Vivienda para familias de muy bajos ingresos, el costo en su mayoría lo regula el estado generalmente con subsidios estatales y al igual que las VIS deben cumplir con estándares de calidad, seguridad estructural y acceso a servicios básicos.

**VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL (VIS):** Vivienda para familias que no pueden acceder a una vivienda del mercado convencional. Su construcción la incentiva el gobierno por medio de subsidios y créditos y deben cumplir con estándares de calidad, seguridad estructural y acceso a servicios básicos.

**ZONA RURAL:** Área geográfica fuera de las zonas urbanas, con baja densidad de población y actividades económicas basadas en agricultura y ganadería. La infraestructura y el acceso a servicios básicos suelen ser limitados.



*“Así como una jornada bien  
empleada produce un dulce sueño,  
así una vida bien usada causa una  
dulce muerte”*

*Leonardo Da Vinci*

# **CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 7.1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Bello y C. Villacreses, «Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social», *Polo del conocimiento*, vol. 6, pp. 1987-2011, sep. 2021.
- [2] C. Correa y S. González, «Análisis de configuraciones estructurales en construcciones de bambú», Universidad La Gran Colombia, Bogotá, 2022.
- [3] L. Villada, «La Guadua una Alternativa para la Construcción de Viviendas de Interés Social», Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Puerto Boyacá, 2015.
- [4] DANE, «Encuesta nacional de calidad de vida (ECV) 2023», Bogotá, abr. 2024. Accedido: 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/ECV/bol-ECV-2023.pdf>
- [5] DANE, «Déficit habitacional: Nota Metodológica», abr. 2020.
- [6] DANE, «Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2022», Bogotá, abr. 2023. Accedido: 30 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones\\_vida/calidad\\_vida/2022/Boletin\\_Tecnico\\_ECV\\_2022.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/2022/Boletin_Tecnico_ECV_2022.pdf)
- [7] J. González y Y. Samudio, «Conexiones en estructuras de guadua: Una revisión de literatura», 2021.
- [8] J. Rodríguez y J. Pinzón, «Estado del arte de la auto-construcción sostenible en Colombia», 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3457/RodriguezRodriguezJennySofia2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] SENCICO, *Manual de construcción de estructuras con Bambú*. 2014. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/40199815/MANUAL\\_DE\\_CONSTRUCCI\\_and\\_Oacute\\_N\\_DE\\_ESTRUCTURAS\\_DE\\_BAMB\\_and\\_Uacute\\_](https://www.academia.edu/40199815/MANUAL_DE_CONSTRUCCI_and_Oacute_N_DE_ESTRUCTURAS_DE_BAMB_and_Uacute_)
- [10] J. R. Mercedes, *Guía Técnica Cultivo del Bambú*. CEDAF, 2006.
- [11] I. Navarro y T. Saenz, «Diseño de una vivienda modelo eco-amigable en el municipio de Guaduas Cundinamarca», Universidad La Gran Colombia, Bogotá, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/1659/DOCUMENTO%20TESIS.pdf?sequence=9&isAllowed=y>
- [12] J. Moreno y M. Cendales, «Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua *Angustifolia kunth* originaria de Armenia Quindío», Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2018.

- [13] S. Rodríguez, «Estudio de factibilidad para la creación de una empresa de construcción con guadua angustifolia kunth en Villavicencio», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19240>
- [14] D. Palacios, «Desarrollo de un sistema de construcción a partir de estructuras en guadua», Universidad EAFIT, Medellín, 2009.
- [15] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia, 2010.
- [16] L. Aguilar, D. Lujan, y J. Stamm, *Manual para la construcción con bambú*.
- [17] C. V. L. Moreno, «Análisis sistemático de patologías típicas en estructuras de guadua en la ciudad de Villavicencio, Meta», Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, 2022. Accedido: 18 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/45777>
- [18] O. Hidalgo, *Manual de construcción con Bambú*. 2003. [En línea]. Disponible en: <https://guaduaabambucolombia.co/wp-content/uploads/2016/02/manual-de-construccion-con-bambu.pdf>
- [19] D. Cadena, *Guía Didáctica para Diseño y Construcción de Estructuras de Guadúa (GaK) y otros Bambúes*. Quito, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/332530607>
- [20] J. Goyeneche y N. Castro, «Prevención de la degradación de la guadua angustifolia kunth en un sistema constructivo aporticado», Bogotá, jul. 2020.
- [21] C. Fuentes y J. Marcó, «Proyecto de viviendas de interés social en bahareque encementado para el municipio de Villamaría, Colombia.», 2013. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/41809189.pdf>
- [22] L. Ortiz y D. Pinto, «Construcción sismo resistente adaptada al cambio climático», Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/5b387bc2-939b-45b1-a0b9-20d008c26154/content>
- [23] Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), *Manual de evaluación, rehabilitación y refuerzo de viviendas de bahareques tradicionales construidas con anterioridad a la vigencia del decreto 052 de 2002*. 2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.asosismica.org>
- [24] Salazar Ferro, «Muros Divisorios en Bahareque Encementado», Universidad de los Andes, Bogotá, 2003.
- [25] Asociación colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*. Editorial Carrera

- 7a Ltda, 2002. [En línea]. Disponible en: [https://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrvbe/guadua\\_lared.pdf](https://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrvbe/guadua_lared.pdf)
- [26] E. Becerra, «Metodología para el Diseño Estructural de Puentes Peatonales en Guadua Angustifolia Kunth», Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2020.
- [27] V. Carmiol, «Bambú Guadua: un recurso ecológico», *Tecnología en marcha*, vol. 22, pp. 3-9, mar. 2009.
- [28] S. Alvarez, «Arquitectura en guadua: 6 obras construidas en Colombia». Accedido: 10 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.co/co/908713/arquitectura-en-guadua-6-obras-construidas-en-colombia>
- [29] O. Martinez, C. Ardilla, y F. Fernández, «Diseño de la determinación experimental del comportamiento térmico de construcciones industrializadas de Guadua angustifolia kunth en Colombia», 2018, pp. 39-48. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8981860>
- [30] ICONTEC, «NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano», nov. 1998.
- [31] ICONTEC, «NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC1500: Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias», 25 de abril de 2023.
- [32] *Documento Técnico de Parametrización: Subsidio Familiar de Vivienda Rural - SFVR Vivienda Nueva de Interés Social Rural y Mejoramientos de Vivienda*. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2021-08/anexo-c-documento-de-parametrizacion.pdf>
- [33] M. Contreras y J. Vaglianti, «Diseño del proyecto de la guadua como material alternativo para la construcción de viviendas sustentables en el Km 10 vía al Mirador Restrepo Meta», Universidad Cooperativa de Colombia, Villavicencio, 2018.
- [34] «CONSTRUCCION DE CASAS EN GUADUA». Accedido: 25 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://guaduabambucolombia.co/construccionesenguadua-2/>

## ANEXOS

- Anexo 1. Planos Arquitectónicos (PL-ARQ).
- Anexo 2. Planos Estructurales (PL-EST).
- Anexo 3. Planos Eléctricos (PL-ELEC).
- Anexo 4. Planos Hidrosanitarios (PL-HID-SAN).
- Anexo 5. Memoria de Cálculo Estructural.
- Anexo 6. Presupuesto y Memoria de cantidades.

Anexo 7. Análisis de precios unitarios no contemplados en la resolución de la gobernación de Boyacá.