



## **SISTEMAS ESTRUCTURALES APLICADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE MEDIANAS LUCES EN MADERA ROLLIZA**

### **STRUCTURAL SYSTEMS APPLIED IN THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS WITH MEDIUM DISTANCES BETWEEN SUPPORTS WITH ROUNDWOOD**

Lozano P, Jorge E <sup>(1)\*</sup>, Guerra Andrés F<sup>(2)</sup>

(1) Profesor asociado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia

(2) Ing. Civil, Mg. en Construcción. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C., Colombia

\* Contacto: jelozanop@unal.edu.co

CÓDIGO: 4477472

#### **Resumen**

El ejercicio del arquitecto en las regiones rurales es poco usual y casi ausente en las comunidades indígenas, por lo que se hace necesario tratar de establecer una metodología de diseño arquitectónico, que facilite respuestas espaciales que respeten las tradiciones, la cultura e identifiquen su cosmogonía. El acercamiento y convivencia con estas comunidades son factores predominantes para entender su entorno social, productivo y su relación con el medio ambiente. La morfología estructural de la edificación debe buscar la eficiencia en la distribución de las cargas para optimizar las secciones de cada elemento que compone la estructura y es una alternativa que tiene el arquitecto para utilizar los materiales que dispone teniendo en cuenta sus características dimensionales y las propiedades físico mecánicas. En el desarrollo del documento se describe la cultura wayúu para entender su cultura, cosmogonía, tradiciones y relaciones con el territorio y el medio ambiente, luego se muestra el proceso metodológico del diseño arquitectónico aplicando la teoría del IAP (Investigación, Acción, Participación), después se analiza el comportamiento de las entramadas construidas para optimizar los detalles de la nueva propuesta y posteriormente se plantea y desarrollo de la propuesta caracterizando previamente las propiedades físico mecánicas del trupillo.

*Palabras-clave: Morfología estructural, madera rolliza, construcción.*

#### **Abstract**

The architect's practice in rural areas is unusual and almost absent in indigenous communities, so it is necessary to try to establish an architectural design methodology that brings spatial responses that respect traditions, culture and identify their cosmogony. The approach and coexistence with these communities are predominant factors to understand their social, productive environment and their relationship with the environment. The structural morphology must seek efficiency in the distribution of loads to optimize the sections of structural elements and is an alternative that the architect has to use the available materials including their dimensional characteristics and physical-mechanical properties. In the development of the document the Wayúu culture is described to understand its culture, cosmogony, traditions and relations with the territory and the environment, then the methodological process of the architectural design is shown applying the theory of the IAP (Investigation, Action, Participation), then, the performance of the entramadas built to optimize the details of the new structure is analyzed and the proposal is presented and developed, previously researched the physical mechanical properties of the trupillo.

*Keywords: Structural morphology, wood, construction.*



## 1. INTRODUCCIÓN

El propósito de la presente investigación es optimizar el sistema estructural en la construcción de edificaciones comunitarias Wayúu con luces de ocho metros y una área de 80 metros cuadrados en madera rolliza de 2.0 metros de longitud y diámetros de 0,10 metros con trupillo (*Prosopis juliflora*) en la alta Guajira. Se inicia con la caracterización de las propiedades físico mecánicas del trupillo (*Prosopis juliflora*) para determinar su resistencia estructural luego, se determinó la resistencia de las unión propuesta para evaluar su comportamiento. Se modeló y comparó el sistema estructural planteado con dos (2) edificaciones comunitarias construidas para comparar, comprobar su comportamiento, eficiencia y respuesta estructural.

## 2. METODOLOGÍA

El Trupillo (*Prosopis juliflora*), despierta el mayor interés y expectativas por sus múltiples usos en el campo industrial por la producción de goma arábica, galactomanas, antígenos, carbón activado, etc., especie que debe ser objeto de exhaustiva investigación porque en un futuro puede contribuir a la generación de divisas para el Departamento (Veja y Fernández 2010).

Las ventajas de utilizar el trupillo como material local es el conocimiento que tiene la comunidad del material, su menor costo y la facilidad de obtenerlo. Como desventaja tiene su corta longitud y la irregularidad del tronco , en la figura 1 se observa el uso más común.



Figura 1: Utilización del trupillo

### 2.1. Caracterización Botánica

#### 2.1.1. Clasificación taxonómica

Nombre científico: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Familia: Fabaceae

Sinónimos: *Mimosa juliflora* Sw.

Nombres comunes: Trupillo, cují, trupí, algarrobo, payandé, mesquite, romero, mancaballo argentino

#### 2.1.2. Descripción botánica

Tronco – Corteza: árbol de 6 a 15 m de altura. Tronco torcido, espinoso, corto y muy ramificado. La corteza es áspera, acanalada, de color gris o castaño.



Copa – Hojas: Copa amplia y extendida. Hojas compuestas, alternas, bipinnadas, con 1 a 3 pares de pinnas, cada una con 12 a 25 pares de folíolos oblongos.

Flores – Frutos: Inflorescencias en espigas axilares, olorosas, con flores amarillo verdosas. Fruto tipo legumbre, arqueado o recto, de color amarillento, cada uno con 10 a 20 semillas duras.

Condiciones de plantación: En el manual de árboles (Trujillo, 2003) las condiciones de plantación recomendadas son: altitud: 0 a 1500 msnm, clima: Temperatura media 27°C, pluviosidad: 0 a 200 mm. Es adecuado para zonas áridas y necesita mucha luz solar.

### 2.1.3. Propiedades organolépticas

Color: Albura de color amarillo (2.5Y 8/8), con transición abrupta al duramen de color marrón rojizo brillante (5YR 5/6)

Veteado: Líneas vasculares, ver figura 43

Olor: No distintivo

Lustre: Brillante



Figura 2: Veteado *Prosopis juliflora*

### 2.1.4. Propiedades macroscópicas

Anillos de Crecimiento: Visibles a simple vista, definidos por bandas de parénquima

Vasos: Poros visibles a simple vista; solitarios y arracimados de 2-3 poros, en proporciones similares; porosidad difusa, sin orientación; en el duramen se encuentran ocluidos por gomas oscuras. Líneas vasculares visibles a simple vista

Parénquima axial: Visible a simple vista, de tipo vasicentrico confluyente que forma bandas continuas.

Parénquima radial: Visible con aumento de 10x tanto en el plano transversal como en el tangencial. Estratificación ausente.

Otras estructuras: Ausentes

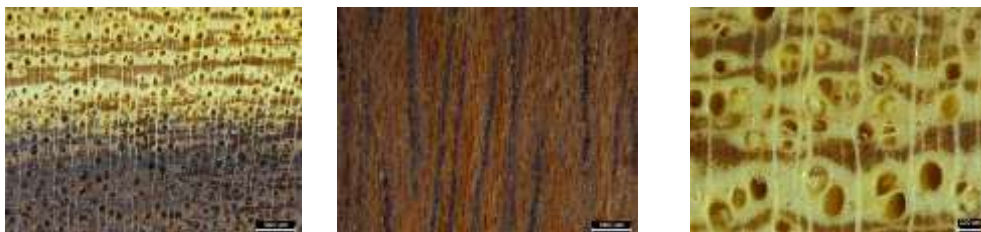


Figura 3: a) Corte transversal 10X,; b) Corte tangencial 10X, c) Corte transversal 50X

## 2.2. Propiedades físicas



### 2.2.1. Propiedades físicas según literatura

Estudios realizados por (Lastra 1982) se obtienen los siguientes datos:

Densidad básica: 0,72 g/cm<sup>3</sup>  
 Contracción Radial: 1,35%  
 Contracción Tangencial: 2,70%  
 Contracción Volumétrica: 4,20%  
 Relación CT/CR: 2,00  
 Módulo de ruptura: 1107 kg/cm<sup>2</sup>  
 Módulo de elasticidad: 109000 kg/cm<sup>2</sup>  
 Compresión Paralela: 794 kg/cm<sup>2</sup>  
 Compresión Perpendicular: 126 kg/cm<sup>2</sup>  
 Dureza en los lados: 956 kg/cm<sup>2</sup>  
 Tenacidad: 0,53 kg-m/cm<sup>2</sup>

### 2.3. Ensayos de laboratorio

#### 2.3.1. Ensayo de tracción paralela a la fibras

Se elaboraron 15 probetas para el ensayo de tracción paralela a las fibras de acuerdo a la norma NTC 3377. Las probetas T4 y T6 fallaron en zona diferente a la requerida siendo rechazadas. Con las otras 13 probetas se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la tabla:

*Tabla 1: Análisis estadístico de los resultados esfuerzo último a tracción*

Esfuerzo último promedio (MPa)	70.37
Desviación estándar S (MPa)	15.76
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=13 datos) =	2.09
Mínimo aceptable=	37.43
Máximo aceptable=	103.31
Coefficiente de variación (%) =	22.39%
Percentil 5% =	43.72
Valor característico (MPa)=	36.38



*Figura 4: a) Ensayo tracción; b) Ensayo compresión; c) Ensayo flexión*

#### 2.3.2. Ensayo de compresión paralela a la fibras



Se elaboraron 13 probetas para el ensayo de tensión paralelo a la fibra de acuerdo a la norma NTC 3377 y la velocidad de la carga de acuerdo a la norma ASTM D198, la probeta C1 no tuvo en cuenta por falla del deformímetro eléctrico siendo rechazada. Con las otras 12 probetas se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la tabla:

*Tabla 2: Análisis estadístico de los resultados esfuerzo último a compresión*

Esfuerzo último promedio (MPa)=	30.26
Desviación estándar S (MPa)=	4.84
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=12 datos) =	2.05
Mínimo aceptable=	20.32
Máximo aceptable=	40.20
Coefficiente de variación (%) =	16.02%
Percentil 5% =	22.59
Valor característico (MPa)=	19.77

### 2.3.3. - Ensayo de flexión

Se elaboraron 11 probetas para el ensayo de tensión paralelo a la fibra de acuerdo a la norma NTC 3377 y la norma NTC 663, con las 11 probetas se obtuvieron los siguientes resultados descritos en la tabla 8:

*Tabla 3: Análisis estadístico de los resultados esfuerzo último a flexión*

Esfuerzo último promedio (MPa)=	63.94
Desviación estándar S (MPa)=	11.58
Datos atípicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=11 datos) =	2.01
Mínimo aceptable=	40.65
Máximo aceptable=	87.23
Coefficiente de variación (%) =	18.12%
Percentil 5% =	44.13
Valor característico (MPa)=	37.62

### 2.3.4. -Módulo de elasticidad NTC 3377 y NTC 663

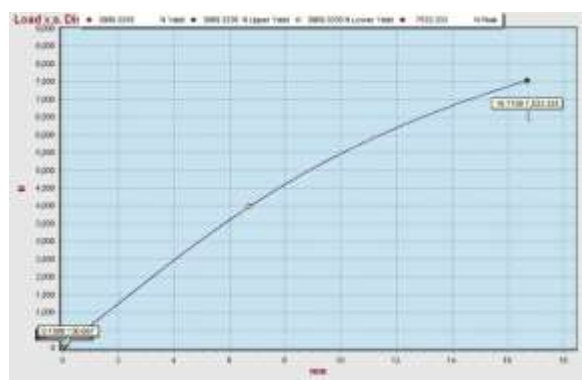






Tabla 4: Análisis estadístico de los resultados Módulo de Elasticidad

Modulo de elasticidad promedio (MPa)=	7197.73215
Desviación estandar S (MPa)=	837.579703
Datos atipicos - criterio de Chauvenet	
K (para n=11 datos) =	2.01
Minimo aceptable=	5514.19694
Maximo aceptable=	8881.26735
Coeficiente de variación (%) =	11.64%
Percentil 5% =	5990.18233
Valor caracteristico (MPa)=	5422.71883

### 2.3.5. - Diferencia de resultados

Los valores obtenidos de los ensayos de laboratorio son inferiores a los de la literatura como se puede comparar en la tabla 10.

Tabla 5. Comparacion de valores de resistencia Lastra vs. Valores de resistencia obtenidos

ENSAYO	LITERATURA	LABORATORIO	DIFERENCIA %
TRACCIÓN PARALELA		36.38 MPa	N. A.
COMPRESIÓN PARALELA	79,4 MPa	19.77 MPa	75.1
FLEXIÓN		37.62 MPa	N. A.
MÓDULO ELÁSTICO	10900 MPa	5422.72 MPa	50.25
RESISTENCIA AL PERNO		4000 Kg	N. A.

## 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 3.1.1. Modelos estructurales de las propuestas planteadas con respecto a las construidas

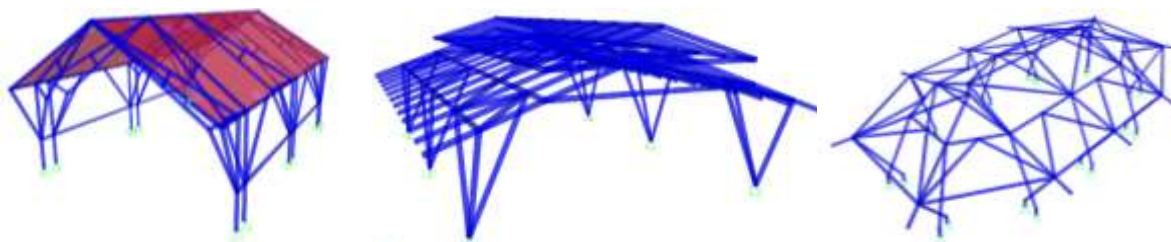


Figura 5: a) Enramada propuesta      b) Enramada Ichien      c) Enramada Jashumana

### 3.1.2. Comportamiento a la deflexión

La que presenta mayores deflexiones es la enramada de Ichien y las enramadas de Jashumana y la enramada propuesta tienen un mejor comportamiento a las deformaciones admisibles que exige la norma NSR-10, debido a que la longitud de cada elemento es menor a dos metros lineales. En las figuras 66 y 67 se observa el comportamiento.

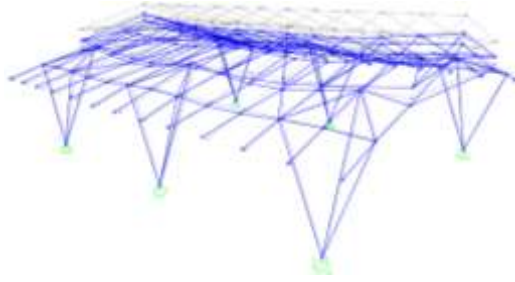
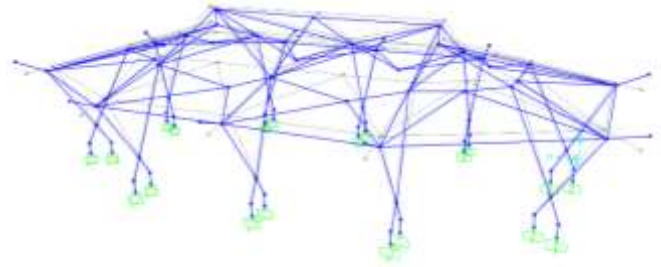
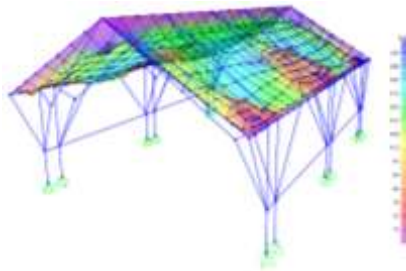


Figura 6: a) Enramada de Ichien



b) Enramada de Jashumana



c) Enramada propuesta

### 3.1.3. Comportamiento para cargas axiales

La que presenta mayores valores para cargas axiales específicamente compresión es la enramada propuesta debido a que madera de trupillo tiene una mayor densidad.

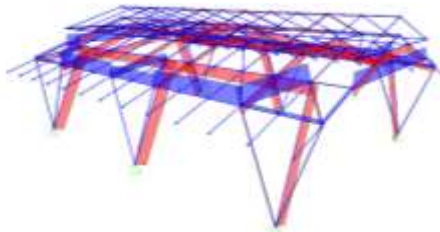
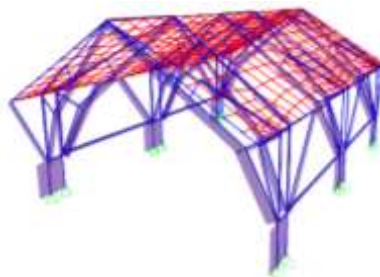


Figura 7: a) Enramada de Ichien



b) Enramada de Jashumana



c) Enramada propuesta

Tabla 6: Tabla comparativa valores cargas axiales

Carga axial	Propuesta	Ichien	Jashumana
Compresión	0,82 KN	26,56 KN	5,88 KN



Tracción	4,45 KN	27,79	8,93 KN
----------	---------	-------	---------

### 3.1.4. Comportamiento del momento flector

La enramada propuesta es la que presenta los menores valores de momento flector con respecto a las enramadas de Ichien y Jashumana.

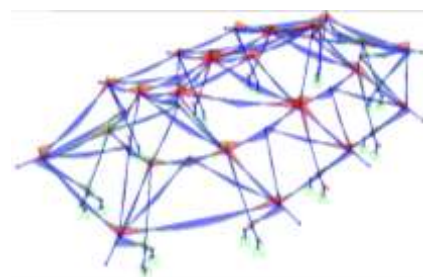
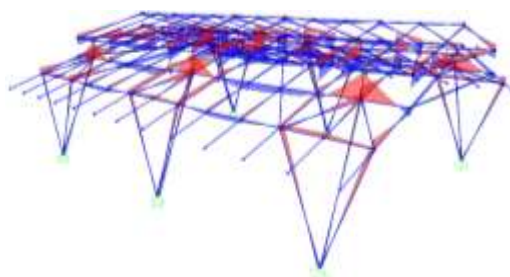
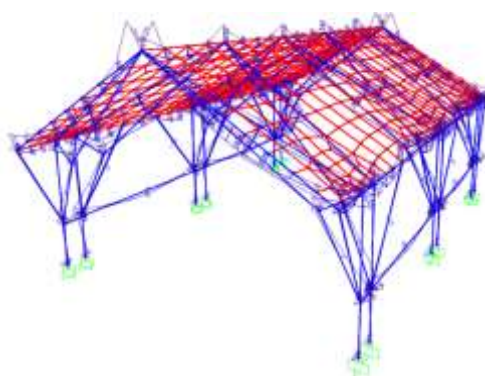


Figura 8: a) Enramada Ichien

b) Enramada Jashumana



c) Enramada propuesta

Tabla 7: Tabla comparativa valores momento

Momento	Propuesta	Ichien	Jashumana
Positivo	0,1367 KNm	2,02 KNm	1,69 KNm
Negativo	0,2437 KNm	3,27 KNm	1,82 KNm

### 3.1.5. Comportamiento ante corte

La enramada que presenta mayores valores de corte es la enramada de Ichien, la enramada de Jashumana tiene valores mayores de corte a la enramada propuesta.

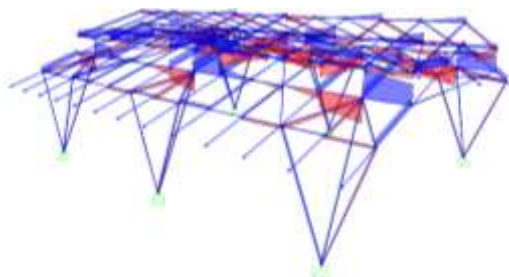
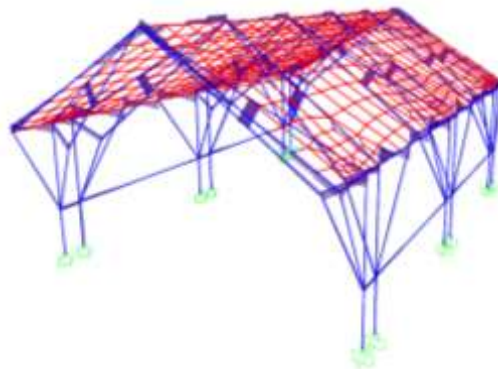


Figura 9: a) Enramada de Ichien

b) Enramada de Jashumana





c) Enramada propuesta

Tabla 8: Tabla comparativa valores cortante

Cortante	Propuesta	Ichien	Jashumana
Corte	0,91 KN	6,48 KN	3,014 KN

#### 4. CONCLUSIONES

Aunque la enramada propuesta no se ha construido se puede verificar que, con la utilización de los modelos digitales es viable la construcción de una enramada con una luz de ocho metros con madera de la región.

La morfología estructural independientemente del material determina que las cargas se distribuyan de forma eficiente logrando que los diferentes elementos que componen la estructura tengan menores secciones y en consecuencia menor peso propio.

La utilización de materiales regionales con características geométricas particulares de su entorno natural como diámetro, longitud no son impedimento para realizar estructuras en madera de medianas luces.

##### 4.1. AGRADECIMIENTOS

A todos los miembros integrantes del Grupo de Investigación Madera y Guadua de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá D. C., Colombia.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials (2015). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. ASTM D198. Pensilvania, USA

Lastra Rivera, J. A. (1982). Compilación de las propiedades físico-mecánicas y usos posibles de 172 maderas de Colombia.

Lozano, J.(2017). Optimización de sistemas estructurales aplicados en la construcción de edificaciones de medianas luces en madera rolliza trupillo (*Prosopis juliflora*) en la alta Guajira Colombia. Magíster. Disertación. Concepción, Universidad del BioBio, Chile.

Norma Técnica Colombiana (1973). Maderas. Determinación de la resistencia a flexion. NTC 663. Bogotá D. C.



4º CONGRESO  
LATINOAMERICANO  
DE ESTRUCTURAS  
DE MADERAS

Norma Técnica Colombiana (1992). Maderas. Ensayos con probetas pequeñas. NTC 3377. Bogotá D. C.

Trujillo, E. (2010). Manual de Árboles. Investigaciones Forestales. Bogotá, Colombia.

Veja, J. R. R., & Fernández, M. I. M. (2010). Farmacopea guajira: el uso de las plantas medicinales xerofíticas por la etnia wayuu. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41, 1–10.