



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar” Caso de estudio: Estado de Veracruz.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTOR EN ARQUITECTURA

PRESENTA:

ÁLVARO HERNÁNDEZ SANTIAGO

DIRECTOR DE TESIS

DR. AGUSTÍN HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

CIAUP FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DR. CARLOS LUÍS ARTURO GONZÁLEZ Y LOBO

CIAUP FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

DR. CARLOS DANIEL SOTO CURIEL

CIDI FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

DRA. GUADALUPE MARTHA BÁRCENAS PAZOS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

MTRO. VÍCTOR RUBÉN ORDOÑEZ CANDELARIA

INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.

Ciudad universitaria, Cd. Mx. Agosto 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

- A la Universidad Veracruzana, por el inconmensurable apoyo para formarme y desarrollarme académicamente, a la Dirección General de Desarrollo Académico e Innovación educativa quien gestionó los recursos necesarios para poder realizar el Doctorado en Arquitectura.
- A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi *alma máter*, a la Coordinación de estudios de Posgrado, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, por permitirme cursar el Doctorado en Arquitectura y abonar en mi formación como investigador y profesional de alto nivel.
- Al Dr. Agustín Hernández Hernández, director de la tesis, por todo su valioso apoyo, durante toda la trayectoria del Doctorado.
- Al Dr. Carlos Luís Arturo González y Lobo, su experiencia, acertados comentarios y aportaciones siempre fueron motivo de reflexión, con gran incidencia en esta investigación.
- Al Dr. Carlos Daniel Soto Curiel, por su asesoría, motivación y su condición humana, siempre promovieron mi entusiasmo.
- A la Dra. Guadalupe Martha Bárcenas Pazos, por su aportación muy valiosa durante el desarrollo de la investigación y en la revisión exhaustiva del documento final.
- Al Mtro. Víctor Rubén Ordóñez Candelaria, por su apoyo incondicional en la realización de los ensayos de las uniones, en el análisis estructural del prototipo y en la revisión del documento final.
- Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias INIFAP, Sitio experimental “Las Margaritas”, municipio de Hueytamalco, Puebla. Por la aportación del material necesario de *G. aculeata* para todos los ensayos realizados en este estudio, así como gran parte del material y mano de obra para la construcción del prototipo de vivienda rural.
- Al Instituto de Ecología, A.C. Laboratorio de Pruebas de Productos Maderables de la Red Ambiente y Sustentabilidad del Instituto de Ecología, A.C. por permitirme realizar una estancia de investigación y lograr parte de los objetivos de este estudio.
- Al Mtro. Pedro Hernández Zaragoza y la Ing. Maribel Álvarez Muñoz responsables del proyecto de la plantación de la *G. aculeata*, en el sitio experimental “Las Margaritas” y a los trabajadores del proyecto, por su apoyo en el corte de tallos, su experiencia y participación en la construcción del prototipo de la vivienda.
- A la M.C. Luz Nalleli Chávez Martínez responsable del Laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Veracruzana, Región Poza Rica- Tuxpan, por su valioso apoyo en la investigación.
- A la Unión de Productores de Bambú del municipio de Hueytamalco, Puebla. por su valiosa disposición en el préstamo de sus instalaciones.
- A mi hermano Carlos por su valioso acompañamiento en el corte y apoyo en la construcción del prototipo.
- A todas las personas que de una u otra manera intervinieron en el logro de esta investigación.

Reconocimiento.

Al Laboratorio de Pruebas de Productos Maderables de la Red Ambiente y Sustentabilidad del Instituto de Ecología, A.C. porque en sus instalaciones se realizaron parcialmente los ensayos de secado y el total de los ensayos con uniones con la asesoría del M. Ing. Víctor Rubén Ordóñez Candelaria y la Dra. Guadalupe M. Bárcenas Pazos, y con el apoyo técnico manual del Sr. Genaro Pérez Pérez y de los Ing. Víctor Javier Solís Lozada y Mario Abrahan Hernández Sánchez.

Dedicatorias

A Dios

Por ser mi guía...

A mi Papá+

El mejor legado...tus enseñanzas no comprendidas en su momento, fueron la llave que más tarde entendí que abrían un mejor futuro.

A mi Madre

Tu gran fortaleza, valor y perseverancia fueron mi ejemplo, me conferiste tu amor y confianza en Dios.

A Milagros

Con todo mi amor. Me motivaste todo el tiempo durante el trayecto de este estudio, comprendiste mis ausencias, tu apoyo ilimitado siempre estuvo presente.

A Mis hijos:

María Antonieta, Álvaro y Sebastián, siempre han sido el motor para lograr mis sueños, con esto; quiero inquietarlos e invitarlos a soñar.

ÍNDICE

Índice General	I
Índice de Imágenes	VII
Índice de Tablas	XVI
Índice de Gráficas	XX
Resumen	XXIII
Prefacio	XXV

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos particulares	4
1.3 Preguntas de investigación	5
1.4 Justificación	5
1.4.1 Importancia tecnológica	5
1.4.2 Relevancia económico-social	7
1.4.3 Viabilidad de la investigación:	8
1.5 Aportaciones de la investigación	8
1.6 Deficiencias en el conocimiento del problema	9
1.7 Hipótesis	10
1.8 Estrategia metodológica	11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	13
2.1 Introducción	13
2.2 Procesos de la cadena productiva del bambú	16
2.2.1 Corte selección y madurez	16
2.2.2 Sistemas de preservación	18
2.2.3 Evaluación de los niveles de preservación	20
2.2.4 Proceso de secado	22
2.3 Uniones con bambú	23
2.3.1 Tipos de uniones.	24
2.3.2 Uniones estructurales	25

2.3.3	Unión estructura-cimiento- muros	27
2.3.4	Resistencia mecánica de las uniones	28
2.3.5	Unión Clavijo-Trujillo	29
2.3.6	Unión Simón Vélez	29
2.4	Normatividad	30
2.5	La vivienda totonaca.	32
2.5.1	Vivienda prehispánica	32
2.5.2	Vivienda Totonaca	33
2.6	Prototipos de vivienda	35
2.6.1	Prototipos en México	35
2.6.2	Prototipos internacionales	37
CAPÍTULO III	ANTECEDENTES.	39
3.1	El bambú en la construcción en México	39
3.1.1	La vivienda tradicional	39
3.1.2	Uso del bambú en la vivienda.	44
3.2	<i>Guadua aculeata</i>	45
3.2.1	Morfología y anatomía	45
3.2.2	Propiedades físicas y mecánicas	49
3.3	Sistemas constructivos tradicionales con bambú en la vivienda.	50
3.3.1	Cimentación	52
3.3.2	Muros	53
3.3.3	Entrepisos y cubiertas	55
3.4	Sistema estructural	55
3.4.1	Sistemas de estructuras de vector activo	57
CAPÍTULO IV	INVESTIGACIÓN BÁSICA DE LA <i>Guadua aculeata</i>	61
4.1	Corte y selección	61
4.1.1	Metodología	62
4.1.1.1	Materiales	62
4.1.1.2	Condiciones de la toma de muestras.	63
4.1.1.3	Pruebas de laboratorio	64
4.2	Resultados	64
4.3	Conclusiones	69
4.3.1	En el periodo mayo junio de 2017	69
4.3.2	En el periodo febrero-marzo de 2018	69
4.4	Conclusiones generales	69
4.5	Proceso de preservado y evaluación de los niveles de sales de boro.	70

4.5.1	Objetivo	72
4.5.2	Metodología	72
4.5.2.1	Recolecta del material	72
4.5.2.2	Preservación	73
4.5.2.3	Determinación de la penetración	75
4.5.2.4	Determinación de la retención del preservador.	75
4.5.2.5	Determinación del contenido de humedad y la densidad básica	76
4.5.3	Equipo	76
4.5.4	Resultados	76
4.5.4.1	Contenido de humedad y densidad básica	76
4.5.4.2	Evaluación de la penetración	78
4.5.4.3	Determinación de la retención de sales de boro en kg/m ³ EAB, método cuantitativo.	86
4.5.5	Conclusiones	89
4.6	Evaluación de diferentes condiciones sobre el proceso de secado al aire libre o a la intemperie	90
4.6.1	Metodología	92
4.6.1.1	Corte, extracción y preservado de muestras	95
4.6.1.2	Procedimiento preparación de muestras	95
4.6.1.3	Determinación del contenido de humedad (CH) por gravimetría	96
4.6.1.4	Evaluación del secado al aire libre o a la intemperie	97
4.6.1.4.1	Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.	97
4.6.1.4.2	Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso	98
4.6.1.4.3	Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos	98
4.6.1.4.4	Efecto del diámetro y del espesor de pared	99
4.6.2	Resultados	99
4.6.2.1	Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.	100
4.6.2.2	Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso	105
4.6.2.3	Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos	106
4.6.2.4	Efecto del diámetro y del espesor de pared	108
4.6.3	Análisis de resultados.	109

4.6.3.1	Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.	110
4.6.3.2	Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso	113
4.6.3.3	Efecto de la colocación de los tallos vertical, horizontal e invertidos.	116
4.6.3.4	Efecto del diámetro y espesor de pared.	118
4.6.4	Conclusiones	120
4.6.4.1	Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.	120
4.6.4.2	Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso	121
4.6.4.3	Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos.	122
4.6.4.4	Efecto del diámetro y espesor de pared.	122
CAPÍTULO V DISEÑO DE LA VIVIENDA RURAL Y PROTOTIPO		123
5.1	Propuesta de la vivienda:	123
5.2	Factores comunes en la vivienda prehispánica, Totonaca y tradicional.	124
5.3	Conceptualización.	125
5.4	Parámetros de diseño	128
5.5	Modulación y crecimiento progresivo	128
5.6	Prefabricación	129
5.7	Industrialización.	130
5.8	Autoconstrucción	130
5.9	Habitabilidad	131
5.10	Organización espacial	132
5.11	Sistema estructural	136
5.11.1	Fundamentación.	137
5.11.2	Modelo geométrico	139
5.11.3	Armadura porticada.	140
5.12	Análisis estructural	144
CAPÍTULO VI ENSAYOS MECÁNICOS EN EL SISTEMA DE UNIONES		148
6.1	Ensayos mecánicos	148
6.2	Selección y extracción de muestras:	150
6.3	Procedimiento preservado y secado	151
6.4	Metodología	152

6.5	Resultados	155
6.6	Conclusiones	166
CAPÍTULO VII SISTEMA CONSTRUCTIVO		168
7.1	Introducción	168
7.2	Producción del material y acondicionamiento	169
7.2.1	Cuantificación y codificación de tallos para la vivienda	169
7.2.2	Corte y selección	170
7.2.3	Preservado	171
7.2.4	Secado	172
7.2.5	Producción de esterilla	172
7.2.6	Producción de reglilla	173
7.3	Trabajos preliminares	174
7.3.1	Preparación del terreno	174
7.3.2	Cimentación	174
7.3.3	Anclajes	176
7.4	Prefabricación de elementos estructurales	176
7.4.1	Geometría de la armadura porticada	177
7.4.2	Esfuerzos actuantes en uniones	178
7.4.3	Vigas compuestas	180
7.4.4	Construcción de armadura porticada	181
7.4.5	Elementos estructura de cubierta.	185
7.5	Construcción del prototipo de vivienda rural	185
7.5.1	Configuración del sistema estructural	186
7.5.2	Cuantificación y habilitación de materiales	187
7.5.3	Sistema estructural	188
7.5.3.1	Montaje de armaduras	188
7.5.3.2	Elementos portantes y cubierta	189
7.5.4	Sistema de uniones	191
7.5.4.1	Relleno de uniones tipo P, Q y T	193
7.5.5	Construcción de muros	194
7.5.6	Puertas y ventanas.	196
7.5.7	Acabados exteriores.	198
7.5.8	Equipo y herramienta	198
7.5.8.1	Acondicionamiento de material.	198
7.5.8.2	Herramientales	199
7.5.8.3	Cortes y acoplamientos	199
7.5.8.4	Uniones	200
7.5.8.5	Acabados	200
7.5.9	Costos de construcción del prototipo	201

7.5.10 Evaluación del sistema constructivo	203
7.5.10.1 Aspectos de la investigación básica de la aculeata	204
7.5.10.2 Aspectos estructurales	208
CONCLUSIONES FINALES	213
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.	Distribución de los géneros nativos de bambúes leñosos y especies introducidas en México. Especies utilizadas en la construcción en Veracruz. Fuente: autor.	15
Imagen 2.	Madurez del bambú. Etapa de desarrollo, madurez y vejez. Fuente: autor.	17
Imagen 3.	Tipos de amarre. Fuente: Hidalgo, 1983	24
Imagen 4.	Varillas en forma axial y transversales. Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia, (Manual de Construcción Sismoresistente de Viviendas en Bahareque Encementado, 2007)	25
Imagen 5.	Tipos de anclaje. Fuente Hidalgo, 1983	26
Imagen 6.	Uniones en extremos del bambú. Fuente Hidalgo, 1983	26
Imagen 7.	Soportes de elementos horizontales. Fuente Hidalgo, 1983	27
Imagen 8.	Uniones con soporte vertical, horizontal y diagonal y marco. Fuente: Camacho Reyes & Páez Ramos, 2002).	27
Imagen 9.	Anclaje de columnas y muros a la cimentación. Fuente: (Manual de Construcción Sismoresistente de Viviendas en Bahareque Encementado, 2007)	28
Imagen 10.	Pruebas de cerchas. Fuente: J. Jansen, 1974.	28
Imagen 11.	Conexiones con mortero y perno roscado. Fuente: (Nolivos Valiente & Yacelga Díaz, 2010)	29
Imagen 12.	Unión Clavijo-Trujillo.	29
Imagen 13.	Unión Simón Vélez	30
Imagen 14.	Concepción del hábitat totonaco. Fuente: autor	34
Imagen 15.	Conceptualización y proporción de la vivienda totonaca. Fuente: autor	35
Imagen 16.	Prototipos de vivienda en Coatepec, Carrizal, Ver., y Puebla. Fuente: http://www.bambumex.org/paginas/fotogaleria3.htm	37
Imagen 17.	Funcionamiento, estructura y cubierta prototipo de vivienda. Fuente: (Saleme, 2014).	37
Imagen 18.	Prototipo de vivienda, cubierta y estructura interior. Fuente: (Saleme, 2014).	38

Imagen 19.	Vivienda social “El hogar de cristo”, prototipo de vivienda, Arq. Simón Vélez. Fuente: https://hogardecristo.org.ec ,	38
Imagen 20.	Estructura de la cubierta con bambú y sistema de bajareque con varas y carrizo. Fuente: La vivienda campesina en México 1994.	42
Imagen 21.	Vivienda tradicional a cuatro aguas. Fuente: La vivienda campesina en México 1994. detalle de altura de estructura. Fuente: autor	42
Imagen 22.	Vivienda tradicional del Totonacapan, sistema constructivo, estructura y cubierta. Fuente: La vivienda campesina en México, 1994.	43
Imagen 23.	Transformaciones de la vivienda rural actual. Fuente: autor	45
Imagen 24.	Brote, entrenudos, hojas caulinares, rama central dominante con espinas. Fuente: autor.	46
Imagen 25.	Detalle brotes de ramas principal y secundarias, brote de espina principal. Fuente: autor.	47
Imagen 26.	Sección transversal tallo de aculeata. Fuente: autor	48
Imagen 27.	Anatomía del tallo de aculeata. Fuente: (Ángeles, 2006).	48
Imagen 28.	Alternativas de anclaje a cimentación, fuente Proyecto nacional del bambú Costa Rica, J.Janssen 1973.	52
Imagen 29.	Pared de bahareque hueco y compacto. Fuente: Oscar Hidalgo, 1983.	54
Imagen 30.	Sistema constructivo la Quincha Peruana y pared con paneles de esterilla, Pared japonesa. Fuente: Oscar Hidalgo, 1983.	54
Imagen 31.	Sistema constructivo con cerchas. Fuente: Óscar Hidalgo, 1983.	55
Imagen 32.	Vigas reticuladas de perfil triangular, Vigas reticuladas de cordones curvos, Modelo de reticulado espacial. Fuente: Saleme, 2014.	59
Imagen 33.	Esquema de estructura porticada. Fuente: Óscar Hidalgo, 1983.	59
Imagen 34.	Pórtico biarticulado, Sistema aporticado con tornapuntas. Fuente: Saleme, 2014.	60

Imagen 35.	Extracción y preparación de muestras. Fuente: autor	63
Imagen 36.	Corte y preparación de muestras para medición de contenido de humedad inicial por fase lunar, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	64
Imagen 37.	Extracción de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Preparación de muestras para la determinación de la retención y penetración de SB, CH y densidad básica. Fuente: autor.	74
Imagen 38.	Extracción preparación de tallos para muestras de 1.5 m de longitud. Fuente: autor.	74
Imagen 39.	Preservado por inmersión de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, con sales de boro SB. Fuente: autor.	75
Imagen 40.	Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 4 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	79
Imagen 41.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	80
Imagen 42.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	80
Imagen 43.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	80
Imagen 44.	Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 5 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	82
Imagen 45.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	82

Imagen 46.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	82
Imagen 47.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	83
Imagen 48.	Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 6 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	84
Imagen 49.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	84
Imagen 50.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	85
Imagen 51.	Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	85
Imagen 52.	Secado a intemperie, en la ciudad de Xalapa, Ver., exposición de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. detalle de grietas. Fuente: autor.	97
Imagen 53.	Medición del CH por el método gravimétrico y cálculo de la densidad básica DB pp/vv. Fuente: autor.	97
Imagen 54.	Secado a la intemperie en la ciudad de Papantla, Ver., tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Corte de rodajas, medición del CH por el método gravimétrico. Fuente: autor.	98
Imagen 55.	Vivienda totonaca evolucionada. Fuente: autor.	125
Imagen 56.	Esquema conceptual de la vivienda rural. Fuente: autor.	126
Imagen 57.	Propuesta conceptual de la vivienda. Fuente: autor.	126
Imagen 58.	Aspectos considerados en la conceptualización de la forma vivienda propuesta. Fuente: autor.	127

Imagen 59.	Primera propuesta 36 m ² módulo básico más servicios. Fuente: autor.	129
Imagen 60.	Segunda propuesta módulo principal y servicios. Fuente: autor	129
Imagen 61.	Aspectos considerados en la generación de la forma de la vivienda. Fuente: autor.	133
Imagen 62.	Propuesta de vivienda plantas arquitectónicas, baja y tapanco. Fuente: autor.	134
Imagen 63.	Fachada sureste y noroeste. Fuente: autor.	134
Imagen 64.	Fachada suroeste y noreste. Fuente: autor.	135
Imagen 65.	Planta de techos. Fuente: autor.	135
Imagen 66.	Corte transversal acceso y tapanco. Fuente: autor	136
Imagen 67.	Elementos del sistema estructural, armaduras porticadas, riostras longitudinales, cubierta, modulación. Fuente: autor.	137
Imagen 68.	Fundamentación del sistema estructural. Fuente: autor.	138
Imagen 69.	Conceptualización del sistema estructural de la vivienda. Fuente: autor.	138
Imagen 70.	Armadura porticada, Geometría y proporción. Fuente: autor.	139
Imagen 71.	Identificación de esfuerzos en las uniones. Fuente: autor.	141
Imagen 72.	Sistema estructural armadura porticada suroeste y noreste. Fuente: autor.	142
Imagen 73.	Corte transversal armadura porticada acceso e interior. Fuente: autor.	142
Imagen 74.	Sistema estructural armadura, cubierta y muros, noroeste y sureste. Fuente autor.	143
Imagen 75.	Estructura de la cubierta, riostras, armaduras y largueros. Fuente: autor.	143
Imagen 76.	Cargas por viento, momentos flexionantes y carga axial en armaduras noreste y suroeste. Fuente: autor.	146
Imagen 77.	Momentos flexionantes en riostras longitudinales unión de armaduras. Fuente: autor.	146

Imagen 78.	Uniones empemadas “P”, “Q” y “T”. Fuente: (MAVDT, 2010).	149
Imagen 79.	Identificación del sistema de uniones en el marco estructural: “P”, “Q” y “T”, B tensión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, C tensión paralela a la fibra y tensión perpendicular a la fibra, doble cizallamiento, D tensión paralela y perpendicular a la fibra, E tensión paralela y perpendicular a la fibra. Fuente: autor.	150
Imagen 80.	Selección, corte, transportación al cobertizo de la unión de productores de bambú, limpieza y preservación. Fuente: autor.	151
Imagen 81.	Preservado, colocación para escurrimiento, secado a la intemperie. Fuente: autor.	152
Imagen 82.	Selección de tallos para elaborar las muestras de los tipos de unión “P”, “Q” y “T”. Fuente: autor	152
Imagen 83.	Proceso de preparación de muestras ensayos “P”, perforación, colocación de varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg A-307, con tuercas hexagonales y arandelas planas, perforación espécimen con tubo de acero de 1 1/2 plg, cédula 40, colocación de tubos de acero a muestras, colocación de varillas roscadas en la muestra, en la parte inferior y superior, muestras con y sin mortero varios diámetros. Fuente: autor.	153
Imagen 84.	Proceso de construcción de muestras ensayos tipo “Q” con mortero y sin mortero, para <i>aculeata</i> y <i>angustifolia</i> , trazo, perforación, colocación de varillas roscadas de 1/2 plg y 3/8 plg, varios diámetros. Fuente: autor.	153
Imagen 85.	Ensayos tipos de unión “P”, “Q” y “T”. Fuente: autor.	154
Imagen 86.	Ensayos tipo “P” “Q” Y “T” sin y con mortero con perno de 3/8 plg, fallas presentadas, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.	156
Imagen 87.	Ensayos tipo “P” “Q” Y “T” sin y con mortero perno de 1/2 plg, <i>G. aculeata</i> y <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla, fallas presentadas. Fuente: autor.	159
Imagen 88.	Esquema del proceso constructivo del prototipo de la vivienda. Fuente: autor	169
Imagen 89.	Extracción de tallos de <i>aculeata</i> , corte y selección, medición, clasificación, transportación a la zona de limpieza y preservado. Fuente: autor.	171

Imagen 90.	Proceso de preservado con sales de boro. Fuente: autor.	171
Imagen 91.	Proceso de secado bajo sombra tallos rollizos. Fuente autor	172
Imagen 92.	Habilitado de esterilla. Fuente: autor.	173
Imagen 93.	Producción de reglilla. Fuente: autor.	173
Imagen 94.	Actividades previas a la construcción del prototipo. Fuente: autor.	174
Imagen 95.	Cimentación, armados y tipos de anclajes. Fuente: autor.	175
Imagen 96.	Proceso constructivo trabajos preliminares	175
Imagen 97.	Detalles de anclajes a cimentación estructura, muros. Fuente: autor.	176
Imagen 98.	Configuración geométrica, armadura porticada, proporciones dimensionales. Fuente: autor.	177
Imagen 99.	Esfuerzos actuantes, tipos de uniones. Fuente: autor.	178
Imagen 100.	Detalles tipos de uniones en armadura. Fuente autor.	179
Imagen 101.	Uniones tipo B cuerdas superiores y tensor, tipo D cuerdas superiores con diagonal. Fuente: autor.	179
Imagen 102.	Amarres provisionales, sujeción de elementos para su fijación con varilla roscada. Fuente: autor.	180
Imagen 103.	Proceso constructivo de armadura. Fuente autor.	181
Imagen 104.	Armadura uniones y elementos componentes. Fuente autor.	182
Imagen 105.	Tipos de corte, boca de pescado utilizados en la armadura. Fuente autor.	182
Imagen 106.	Amarres provisionales para colocar la varilla roscada en uniones cuerdas superiores- inferiores. Fuente: autor.	183
Imagen 107.	Unión entre cuerdas superiores y tensor. Fuente: autor.	184
Imagen 108.	Unión tensor-cuerdas inferiores. Fuente: autor.	184
Imagen 109.	Unión nudillo-tensor-cordón opuesto, cordón opuesto cuerdas inferiores. Fuente: autor.	185
Imagen 110.	Unión de elementos de cubierta, sistemas de sujeción. Fuente: autor.	185

Imagen 111.	Sistema estructural. Fuente: autor.	187
Imagen 112.	Proceso de montaje de armaduras. Fuente. autor	189
Imagen 113.	Colocación de postes verticales y diagonales. Fuente: autor	189
Imagen 114.	Rigidización de las armaduras, colocación de riostras longitudinales. Fuente: autor.	190
Imagen 115.	Estructura cubierta, fijación. Fuente: autor.	190
Imagen 116.	Estructura de tapanco, unión largueros tensor. Fuente: autor.	191
Imagen 117.	Instalación de acabado de cubierta. Fuente: autor.	191
Imagen 118.	Uniones poste vertical con cuerdas inferiores, riostras longitudinales y cuerdas superiores. Fuente: autor.	192
Imagen 119.	Uniones de poste diagonal con cuerdas inferiores, riostras longitudinales y cordón opuesto. Fuente: autor.	192
Imagen 120.	Unión tensor-cuerdas inferiores-postes verticales, riostra en muros, riostras longitudinales-muros, riostras en cubierta. Fuente: autor.	193
Imagen 121.	Perforación, llenado entrecruzados con mortero. Fuente: autor.	194
Imagen 122.	Estructura de muros, recubrimiento con esterilla y aplanado. Fuente: autor.	195
Imagen 123.	Acabados muros interiores y acceso. Fuente: autor.	195
Imagen 124.	Acabados muros interiores, reglilla con barniz. Fuente: autor.	195
Imagen 125.	Acabados muro cocina. Fuente: autor.	196
Imagen 126.	Esterilla en cubierta. Fuente: autor.	196
Imagen 127.	Armado ventana, fijación a cadena y acabado. Fuente: autor.	197
Imagen 128.	Construcción de puertas de interiores y exteriores, acabados y estructura. Fuente: autor.	197
Imagen 129.	Proceso constructivo de muros perimetrales. Fuente: autor.	198

Imagen 130.	Herramienta y equipo para acondicionamiento de la aculeata. Fuente: autor.	199
Imagen 131.	Herramientales para cortes, perforaciones y uniones. Fuente: autor.	199
Imagen 132.	Herramienta y equipo para cortes a boca de pescado. Fuente: autor.	200
Imagen 133.	Herramienta y equipo para los tipos de uniones entre bambúes. Fuente: autor.	200
Imagen 134.	Herramienta para engrapar esterilla, reglilla, cortes en ángulo y perforación. Fuente: autor.	201
Imagen 135.	Resultados de la evaluación niveles de penetración-presencia de SB, al 6 % de concentración durante 7 días, por inmersión-difusión en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural, con <i>G. aculeata</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla, con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.	204
Imagen 136.	Resultados, detalles de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % durante 7 días. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor	205
Imagen 137.	Aplicación de reactivos y resultados de la evaluación de los niveles de penetración-presencia de SB, al 6 % de concentración durante 7 días, por inmersión-difusión en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural, con <i>G. aculeata</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.	205
Imagen 138.	Resultados, detalles niveles de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % durante 7 días, en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.	206
Imagen 139.	Estado actual de las uniones entre cuerdas inferiores y riostra de cubierta. Fuente: autor	209
Imagen 140.	Estado actual de las uniones entre cuerdas superiores y riostra de cubierta. Fuente: autor	209
Imagen 141.	Estado actual unión de postes verticales con riostras longitudinales y postes diagonales. Fuente: autor	209

Imagen 142.	Estado actual de las uniones entre postes intermedios verticales, riostras longitudinales y postes diagonales. Fuente: autor	211
-------------	--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Producción de biomasa y captura de carbono, comparación de la especie teka, eucalipto y dos especies de bambú. Fuente: (Organization, World Bamboo,2009).	14
Tabla 2.	Valores de resistencia mecánica de la <i>Guadua aculeata</i> y <i>Guadua angustifolia</i> . Fuente: Elaboración propia.	50
Tabla 3.	Total de muestras evaluadas de CHI de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Por fase lunar, periodos 2017-2018. Fuente: elaboración propia.	63
Tabla 4.	Resultados, promedio de Chi de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodo mayo-junio 2017 (guadual 2 cerca de un arroyo) Fuente: elaboración propia.	65
Tabla 5.	Resultados promedio de CHI de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, de las partes baja, media y alta del tallo, por fase lunar periodo mayo-junio de 2017. Fuente: elaboración propia.	65
Tabla 6.	Resultados promedio de CHI de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, de las partes del tallo, baja, media y alta. Periodo mayo- junio de 2017. Fuente: elaboración propia.	66
Tabla 7.	Resultados promedio de CHI de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodo febrero-marzo de 2018. Fuente: elaboración propia.	67
Tabla 8.	Resultados promedio de CHI de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar en las partes del tallo, periodo febrero-marzo de 2018. Fuente: elaboración propia.	67
Tabla 9.	Resumen de resultados promedio de contenido de humedad inicial de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodos 2017-2018. Fuente: elaboración propia.	68
Tabla 10.	Fechas de inmersión de muestras de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, para el proceso de preservación. Fuente: elaboración propia	73

Tabla 11.	Resultados de contenido de humedad (CH, %) y densidad básica (DB pa/vv en kg/m ³) de muestras de <i>G. aculeata</i> preservadas las partes baja (B), media (M) y alta (A) del tallo con sales de boro con concentraciones al 4 %, 5 % y 6 %, con SB, durante 4,5 y 6 días. Fuente: elaboración propia.	77
Tabla 12.	Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 4 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	80
Tabla 13.	Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 5 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 14.	Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 6 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	85
Tabla 15.	Retención en las muestras de sales de boro en kg/m ³ EAB, en las partes del tallo (baja, media y alta), concentraciones de sales de boro en la solución preservadora (4 %,5 % y 6 %), y tres periodos de inmersión (4,5 y 6 días), <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	87
Tabla 16.	Experimentaciones realizadas de secado a intemperie y bajo sombra, en los años 2015, 2016 y 2017 de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, en diferentes condiciones y regiones. Fuente: elaboración propia.	91
Tabla 17.	Evaluación del secado a la intemperie de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	92
Tabla 18.	Variables evaluadas, para la determinación del proceso de secado a la intemperie en tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	93
Tabla 19.	Variación del CH durante el secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., por 125 días, en la ciudad de Xalapa, Ver., de octubre 2016-febrero 2017. Fuente: elaboración propia.	100
Tabla 20.	Resultados de densidad básica (DB) en parte baja y alta del tallo en <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue.,	

	muestras para secado en la ciudad de Xalapa, Ver. Fuente: elaboración propia.	101
Tabla 21.	Estadísticos descriptivos del secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., por 125 días en la ciudad de Xalapa, Ver., de octubre 2016 a febrero 2017. Fuente: elaboración propia.	101
Tabla 22.	Variación del CH durante el secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., por 132 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Septiembre 2016-enero 2017. Fuente: elaboración propia.	102
Tabla 23.	Estadísticos descriptivos de los valores de contenido de humedad durante el secado, de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., en la ciudad de Papantla, Ver. Septiembre 2016- enero 2017. Fuente: elaboración propia.	103
Tabla 24.	Variación del CH durante el secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., por 56 días, en la ciudad de Papantla, Ver. marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.	104
Tabla 25.	Estadísticos descriptivos del proceso de secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., en la ciudad de Papantla, Ver., entre marzo y mayo 2017. Fuente: elaboración propia.	105
Tabla 26.	Variación del peso en kg y porcentaje durante el secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., por 56 días, en la ciudad de Papantla, Ver. marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.	106
Tabla 27.	Registro de resultados de CH durante 67 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Febrero-abril 2017, muestras horizontales y verticales, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	106
Tabla 28.	Registro de resultados de CH durante 67 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Febrero-abril 2017, muestras invertidas, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	107
Tabla 29.	Correlación diámetro-contenido de humedad, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	108
Tabla 30.	Correlación espesor de pared-contenido de humedad, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	109

Tabla 31.	Ecuaciones polinómicas de las curvas de secado. Fuente: elaboración propia.	112
Tabla 32.	Resumen, determinación de CH % por reducción de peso %, al 19 % y al CHE %, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., Fuente: elaboración propia.	115
Tabla 33.	Ecuaciones matemáticas para el secado a intemperie, posición vertical. Fuente: elaboración propia.	117
Tabla 34.	Resumen de resultados CH, en diferentes periodos de tiempo: Fuente: elaboración propia.	120
Tabla 35.	Cálculo de cargas por viento. Fuente: elaboración propia.	144
Tabla 36.	Muestras para uniones “P”, “Q” y “T”, por especie, tallos de la región de Hueytamalco, Puebla. Diámetro de perno, con mortero y sin mortero. Fuente: elaboración propia.	155
Tabla 37.	Resultados densidad básica (DB)* y contenido de humedad (CH) en uniones “P”, “Q” y “T” en <i>G. aculeata</i> y <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	160
Tabla 38.	Resultados de correlación entre resistencia y diámetro; resistencia y espesor de pared, perno de 3/8 plg y 1/2 plg. <i>G. aculeata</i> y <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	164
Tabla 39.	Cálculo de coeficientes de correlación y determinación diámetro-espesor de pared-carga máxima, <i>G. aculeata</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	165
Tabla 40.	Cálculo de coeficientes de correlación y determinación, diámetro y espesor de pared- carga-máxima, <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	166
Tabla 41.	Cuantificación de tallos para construcción de prototipo. Fuente: elaboración propia.	170
Tabla 42.	Elementos de la armadura porticada. Fuente: autor.	177
Tabla 43.	Cuantificación de elementos en el sistema estructural, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, cubierta, muros, tapanco, esterilla y reglilla: fuente: elaboración propia.	187
Tabla 44.	Cuantificación de varilla roscada, tuercas y arandelas en el sistema estructural. Fuente: elaboración propia.	188

Tabla 45.	Mano de obra construcción de prototipo de vivienda rural, especie <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	202
Tabla 46.	Costos de construcción prototipo de vivienda rural, especie <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia	203
Tabla 47.	Costos por m ² de construcción, obra con <i>G. aculeata</i> y albañilería. Fuente: elaboración propia.	203
Tabla 48.	Resultados de CH en tallos de <i>G. aculeata</i> , previos a la construcción del prototipo de vivienda rural, julio 2017. Fuente: elaboración propia.	206
Tabla 49.	Resultados de CH en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	207

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Resultados de retención promedio en kg/m ³ , en las partes del tallo B, M y A, en concentraciones al 4,5 y 6%, durante 4,5 y 6 días, <i>G.aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	88
Gráfica 2.	Modelo para estimación del tiempo de secado con base en la pérdida de contenido de humedad para tallos de bambú con los resultados del ensayo de secado en la región de Xalapa, Ver., entre octubre de 2016 y febrero de 2017. Fuente: elaboración propia.	110
Gráfica 3.	Modelo para estimación del tiempo de secado con base en la pérdida de contenido de humedad para tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., con los resultados del ensayo de secado en Papantla, Ver., en dos periodos. Fuente: elaboración propia.	111
Gráfica 4.	Comparación entre los tres procesos de secado de tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue. Xalapa octubre 2016 febrero 2017 y Papantla, Ver., septiembre 2016 febrero 2017 y marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.	112
Gráfica 5.	Curva de secado, resultados medición del CH, resultados medición de peso en %. <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., periodo marzo a mayo 2017. Línea de tendencia y su ecuación polinómica. Fuente: elaboración propia.	113

Gráfica 6.	Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja de las muestras, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., posición vertical, periodo febrero a abril 2017, peso en %. Fuente: elaboración propia.	114
Gráfica 7.	Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja del tallo, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco Pue., periodo febrero a abril de 2017, posición invertida, resultados medición de peso en %. Fuente: elaboración propia.	115
Gráfica 8.	Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja del tallo, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco Pue., periodo febrero a abril de 2017, posición vertical. Fuente: elaboración propia.	116
Gráfica 9.	Curva de secado, resultados del comportamiento de secado de la parte baja y alta de las muestras, posición invertida, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	117
Gráfica 10.	Curva de secado, resultados medición del CH % y peso en %, en muestras en posición vertical e invertido, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	118
Gráfica 11.	Gráfica de dispersión, relación diámetro- contenido de humedad, tallos de <i>G. aculeata</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.	119
Gráfica 12.	Gráfica de dispersión, relación espesor de pared- contenido de humedad, tallos de <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Pue., febrero-abril 2017 Fuente: elaboración propia.	119
Gráfica 13.	Resultados uniones "P", "Q" y "T", <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla. Perno de 3/8 plg, con mortero y sin mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.	156
Gráfica 14.	Resultados uniones "P", "Q" y "T", <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 1/2 plg, con mortero y sin mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.	157
Gráfica 15.	Resultados uniones "P", "Q" y "T" en <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla, carga máxima. Fuente: elaboración propia.	158
Gráfica 16.	Resultados uniones "P", "Q" y "T", <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 3/8 plg y 1/2 plg, sin mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.	161

Gráfica 17.	Resultados uniones “P”, “Q” y “T”, <i>G. aculeata</i> de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 3/8plg y 1/2 plg, con mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.	162
Gráfica 18.	Resultados uniones “P”, “Q” y “T” <i>G. aculeata</i> y <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 1/2 plg, sin mortero, carga máxima. Fuente: elaboración propia.	163
Gráfica 19.	Resultados uniones “P”, “Q” y “T” <i>G. aculeata</i> y <i>G. angustifolia</i> , de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 1/2 plg, con mortero, carga máxima. Fuente: elaboración propia.	163

RESUMEN

La desvalorización como material de construcción, la pérdida de conocimiento sobre su potencial y la escasa información sobre el comportamiento estructural de la *Guadua aculeata*, detonan el presente estudio. A partir de la investigación básica se determinan las condiciones de corte, selección, preservación-evaluación de la retención de las sales de boro en kg/m³ EAB y secado a la intemperie, con la medición del contenido de humedad por el método gravimétrico; así como la definición a través de ensayos mecánicos, de la resistencia última a esfuerzos de tensión paralela y perpendicular a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, con mortero y sin mortero del sistema de uniones y su contrastación con los resultados de los mismos ensayos de la *Guadua angustifolia*. Condiciones óptimas que permiten el uso de la *Guadua aculeata* para la construcción de la vivienda y sistema estructural.

Se diseña la vivienda rural, fundamentada en la cultura e identidad de la vivienda totonaca, inserta en el contexto de la misma región, con parámetros de diseño originados por las necesidades del usuario y versatilidad de la aculeata.

La propuesta del prototipo integra los resultados de las experimentaciones, de la investigación básica y ensayos mecánicos del sistema de uniones, proponiendo un sistema constructivo.

Se construye el prototipo de vivienda, con un sistema mixto, la cimentación con materiales tradicionales, el sistema estructural, muros y tapanco con aculeata rollizo, aplicando los conceptos de modulación, prefabricación y autoconstrucción. El sistema constructivo a base de cortes a boca de pescado y uniones articuladas con perno roscado, incorporando los tipos de uniones ensayadas. Se evalúa el comportamiento estructural de las uniones, calidad de los tallos y hendiduras, con la finalidad de confirmar el sistema constructivo con *Guadua aculeata*.

El tipo de investigación es experimental aplicada, el marco teórico metodológico que fundamenta las experimentaciones se encuentra en los apartados de la investigación básica de la aculeata, sistema de uniones, diseño de la vivienda y construcción del prototipo. Las metodologías utilizadas en la fase del acondicionamiento del material se encuentran determinadas, en las investigaciones realizadas de la cadena productiva del bambú (*Guadua angustifolia*), en las normas sismo resistentes NSR, normas técnicas colombianas NTC, ISO, en experimentaciones internacionales sobre secado por el método gravimétrico. Las propiedades mecánicas del sistema de uniones con mortero y sin mortero, en la metodología del laboratorio de pruebas del INECOL, los

sistemas constructivos con bambú, en los prototipos construidos a nivel nacional, internacional y manuales de construcción.

Las conclusiones se derivan de las experimentaciones en la investigación básica de la aculeata, para efecto de corte los estudios no son concluyentes, sin embargo, se obtuvieron menores contenidos de humedad en la fase lunar menguante y llena en la primera parte de la experimentación, la edad de los tallos debe ser mayor a tres años. En el preservado con sales de boro por el método de inmersión difusión, al 5 % y a 6 días se encontraron retenciones mayores a la normatividad y estudios realizados. En el secado por medios naturales a la intemperie, la investigación no es concluyente para cualquier época del año, el tiempo de secado depende de la ubicación geográfica, clima, humedad relativa, velocidad del aire, sin embargo, los resultados obtenidos son una solución para ese periodo de tiempo, representan una alternativa con buenos resultados. Los ensayos mecánicos en los tipos de unión con mortero, tienen mayor resistencia que sin mortero, los tipos de unión a tensión paralela resisten más que a tensión y compresión perpendicular a la fibra. El sistema estructural propuesto cumple con los procedimientos establecidos en la Gaceta oficial de la ciudad de México, reglamento de construcciones del Distrito Federal, Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera, apartado 6, resistencia de diseño de miembros de bambú GOCDMX NTC, (2017). Sobre los criterios y acciones para el diseño estructural de la vivienda, las revisiones realizadas a diferentes esfuerzos, cumplen con los resultados de los esfuerzos últimos actuantes.

El sistema constructivo propuesto con *Guadua aculeata* involucra los aspectos de la investigación básica (acondicionamiento del material), como una de las fases más importantes para su utilización como material de construcción y estructural.

PREFACIO

Esta tesis trata acerca de la determinación del potencial estructural del bambú de la especie nativa del estado de Veracruz, *Guadua aculeata*, con la finalidad de proponer un sistema constructivo para la vivienda rural. Se investigan las condiciones del material para uso estructural, (investigación básica de la aculeata), comprende los estudios a partir de la selección y corte de tallos, preservación y evaluación para evitar la infestación y deterioro por xilófagos, secado para conferir mayor resistencia y duración. Se determina la resistencia a diferentes esfuerzos en el sistema de uniones con mortero y sin mortero y su contrastación con el mismo tipo de uniones con *Guadua angustifolia*.

La aplicación de resultados de los estudios se refleja en la construcción de un prototipo de vivienda rural, integra todas las etapas de la investigación básica de la aculeata. La propuesta se inserta en el contexto de la región totonaca del estado de Veracruz y Puebla, quien fundamenta su configuración y arreglo espacial. El sistema estructural se revisa con la normatividad vigente.

La idea surge a partir de identificar la pérdida de valor del bambú como material edificatorio, a pesar de su uso ancestral en la construcción de vivienda, la pérdida de conocimientos que se ha venido originando de generación en generación desplazados por los materiales tradicionales que proporcionan mayor “status social”

La subvaloración y credibilidad del material por sectores sociales, ante la falta de conocimiento en la construcción y las consecuencias fatales en poco tiempo. La situación de la vivienda rural en estado de precariedad, sin asistencia por programas institucionales.

Este estudio se realiza en la comunidad de “Las Margaritas” en el sitio experimental del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) del municipio de Hueytamalco, Puebla, colindante con el Estado de Veracruz.

Se agradece a la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, por los recursos económicos y materiales para la asistencia a congresos y estudios experimentales. Al INIFAP por su aportación de tallos de *Guadua aculeata* para la realización de las pruebas experimentales, parte de los recursos económicos y la mano de obra para la construcción del prototipo de vivienda rural. A la Unión de Productores de Bambú del Municipio de Hueytamalco, por su apoyo con las instalaciones para el preservado y secado. Al Instituto de Ecología, A.C. de la ciudad de Xalapa, Ver., su apoyo en el Laboratorio de Pruebas de Productos

Maderables en donde se realizó una estancia de investigación para llevar a cabo las pruebas mecánicas de los tipos de uniones propuestos, el análisis y diseño estructural, y ensayos de secado. Al laboratorio de investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Región Poza, Ver., por el apoyo mediante una tesis de licenciatura, para evaluar la retención de las sales de boro en el bambú preservado.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Introducción

En México, el uso del bambú es muy reciente, se reduce en proporciones mínimas a la arquitectura vernácula, no existe una cultura de plantación, menos de utilización como material alternativo de construcción. En los estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz programas institucionales promueven la producción. En el estado de Veracruz en el año 1996, se introducen especies de bambú de otros países, en 2004 programas institucionales incorporan programas de plantaciones de bambú subsidiados, surgen proyectos para la construcción de viviendas con bambú. Las iniciativas institucionales académicas, y profesionales confluyen en la promoción del bambú a través de eventos internacionales congregando a expertos en la cadena productiva, detonando interés en estudios, producción y usos. Sin embargo, hasta la fecha el bambú sigue siendo un material subvalorado no en los aspectos ambientales sino en los constructivos, artesanales, comestibles, medicinales y textiles. La existencia de especies nativas e introducidas aptas para la construcción es importante, no así la producción y comercialización de tallos. En la construcción rural destaca la especie nativa *Guadua aculeata*, con características mecánicas y físicas aptas para la construcción, similares a la especie colombiana *Guadua angustifolia*

Los sistemas constructivos utilizados generalmente de países a la vanguardia en el uso del bambú, establecen procedimientos constructivos, para las uniones y amarres, sin determinar las condiciones del material y esfuerzo de trabajo en el sistema estructural, muros, entresijos y cubiertas. Son una guía para la construcción con materiales mixtos, es decir, el bambú se utiliza como estructura, los muros son terminados con morteros para su protección contra el intemperismo, el uso en entresijos, con una capa de mortero para lograr estabilidad en la estructura.

El origen de esta investigación, parte de una reflexión personal sobre el estado actual que presenta la vivienda en el estado de Veracruz, la cual se encuentra en condiciones de precariedad, según el Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI) en el año 2015, había 2,251 217 viviendas, de las cuales 36,019 (1.6 %) tenían techos precarios, 108,058 (4.8 %), con paredes precarias.

En contraste con el potencial del bambú como material de construcción, con gran resistencia a diferentes esfuerzos 235 kg/cm en flexión, 210 kg/cm tensión paralela a la fibra, 170 kg/cm compresión paralela a la fibra y 30 kg/cm cortante paralelo a

la fibra, para la *G. aculeata*. 260 kg/cm en flexión, 370 kg/cm tensión paralela a la fibra, 240 kg/cm en compresión paralela a la fibra y 18 kg/cm cortante paralelo a la fibra para la *G. angustifolia* y 340 kg/cm en flexión, 590 en tensión paralela a la fibra, 205 kg/cm en compresión paralela a la fibra y 25 kg/cm en cortante paralelo a la fibra para la *Bambusa oldhamii* Gaceta oficial de la ciudad de México, reglamento de construcciones del distrito federal, Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera capítulo 6, resistencia de diseño de miembros de bambú (GOCDMX NTC, 2017).

Aunado a los servicios ambientales y económicos que posee: de fácil propagación, económico en su producción, de rápido crecimiento y aprovechamiento (4 a 6 años) comparado con otros recursos forestales, mayor captura de carbono 40 toneladas al año, contra 10 toneladas de la madera, produce mayor cantidad de oxígeno, 35 % más que la madera, excelente para la reforestación ya que en poco tiempo regenera los suelos por su capacidad de retención de la humedad (Organization, World Bamboo, 2009).

La escasa experiencia pragmática sobre el uso de *G. aculeata* en la construcción de estructuras para la vivienda, los resultados poco satisfactorios en los modelos construidos, la escasa investigación de las propiedades físicas y mecánicas, así como la carencia de un sistema constructivo tecnificado con bambú, fueron detonantes para una reflexión sobre el comportamiento del sistema de uniones como el punto neurálgico de un sistema estructural, de ahí surgió la idea de evaluar las propiedades estructurales de los sistemas de uniones con *G. Aculeata* sometidos, a solicitaciones o cargas en tensión y compresión paralelas y perpendiculares al eje longitudinal del tallo.

Lo anterior condujo a la pregunta- problema de este estudio. “Las propiedades físicas y mecánicas del bambú, *Guadua aculeata*, establecen las condiciones para utilizarse como material de construcción, se podrán hacer con mayor seguridad en los casos que se requiera de un trabajo formal de ingeniería estructural” (Ordoñez, 2012). Las experimentaciones con elementos estructurales de uniones, conexiones, y amarres con bambú, aplicados en cubiertas, entresijos y muros no han permitido establecer un sistema constructivo que facilite, estandarice y permita la autoconstrucción de vivienda con bambú, ¿En qué condiciones constructivas estructurales, procedimentales y sostenibles, un sistema constructivo con bambú, es considerado como una propuesta viable para la construcción de vivienda unifamiliar rural en el estado de Veracruz?

La presente investigación se desarrolla en dos fases la primera comprende la fase introductoria que incluye los capítulos I, Planteamiento del problema, II Marco teórico y III, Antecedentes de la investigación; la segunda fase abarca el análisis del problema de investigación que se plantea en cuatro capítulos, el IV la investigación básica de la *Guadua aculeata*, el V Diseño de la vivienda rural y prototipo, el VI, Ensayos mecánicos del sistema de uniones, y el VII Sistema constructivo. El primer capítulo describe el planteamiento del problema, los objetivos, las preguntas de investigación, la justificación, la metodología, la viabilidad, las aportaciones de la investigación, los alcances, y la definición de la hipótesis. El segundo capítulo trata sobre la fundamentación teórica metodológica, los estudios y las teorías relacionados con la cadena productiva del bambú, a partir de la selección y el corte, los sistemas de preservado natural, el uso de sustancias hidrosolubles y oleosolubles para la protección del bambú, la evaluación de los sistemas de preservado con sales de boro, los procesos de secado, naturales y artificiales, los sistemas y tipos de uniones, las uniones estructurales, los anclajes a cimentación, la resistencia mecánica de las uniones, y la normatividad existente en la cadena productiva del bambú. Se analiza la información sobre la conceptualización de la vivienda totonaca y prehispánica que fundamenta la propuesta de diseño de la vivienda en este trabajo, se analiza la información sobre prototipos de vivienda nacionales e internacionales. El tercer capítulo comprende los antecedentes sobre el uso de bambú en la construcción en México, se analiza el concepto de vivienda tradicional, sistemas constructivos, su importancia en la construcción de viviendas rurales, se revisa la información sobre la especie nativa *Guadua aculeata*, su taxonomía, anatomía, propiedades físicas y mecánicas, así como sus características, y su uso en la construcción en viviendas tradicionales, sistemas constructivos en cimentación, muros, entresijos y cubiertas, sistema estructural con bambú. El cuarto capítulo trata sobre la investigación básica de la *aculeata*, se inicia el análisis central de la investigación, describe los experimentos con cortes en diferentes fases lunares midiendo los contenidos de humedad, el sistema de preservado con sales de boro a diferentes concentraciones y tiempos de inmersión, para determinar la concentración adecuada, evaluando con métodos cualitativos y cuantitativos la retención, el secado por medios naturales a la intemperie, midiendo el contenido de humedad por el método gravimétrico, en diferentes condiciones ambientales.

El quinto capítulo integra la propuesta de la vivienda rural, el diseño del prototipo, la fundamentación, la conceptualización de la forma, los parámetros de diseño, la organización espacial con dos propuestas funcionales, prefabricación de elementos, el diseño del sistema estructural con *Guadua aculeata*, se analiza el sistema estructural a partir de las cargas de servicio real. El sexto capítulo trata

sobre los ensayos mecánicos en el sistema de uniones, se experimenta con tres tipos de uniones, sometidas a cargas de tensión y compresión paralela y perpendicular a la fibra con pernos de 3/8 plg y 1/2 plg, con relleno y sin relleno de mortero, se determina carga última o de falla de uniones fabricadas con *Guadua aculeata* y *Guadua angustifolia*, a todas las muestras se les mide, cuando es posible, la densidad básica (D.B.) y el contenido de humedad (CH) al momento de ser ensayadas. El séptimo capítulo trata sobre el sistema constructivo, en el que se aplican los resultados de las experimentaciones a partir de la investigación básica de la aculeata, desde la producción del material, hasta el secado, la prefabricación de elementos estructurales, la construcción del prototipo de la vivienda, el montaje y armado del sistema estructural, los sistema de uniones, el proceso constructivo de los muros interiores y exteriores, los entresijos y la cubierta, los anclajes a la cimentación, los acabados, y las puertas y ventanas. La evaluación del sistema constructivo en los apartados de los sistemas de uniones, torques, calidad, deformaciones, sistema estructural, ataque de xilófagos y grietas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer un sistema constructivo con bambú *Guadua aculeata*, a partir de los valores estructurales determinados en el sistema de uniones, en condiciones reales, aplicado a cubiertas, entresijos y muros en la vivienda unifamiliar rural.

1.2.2 Objetivos particulares

- Determinar la etapa de corte a través de la medición del contenido de humedad por fase lunar
- Determinar la metodología apropiada para el proceso de preservación de tallos de aculeata, mediante sales de boro
- Evaluar por el método cualitativo y cuantitativo, la penetración-presencia y retención de sales de boro en tallos preservados
- Definir el proceso de secado a intemperie en muestras de aculeata a través de la medición de contenidos de humedad por el método gravimétrico.
- Determinar resistencias a esfuerzos últimos en el sistema de uniones a compresión y tensión paralela a la fibra, compresión y tensión perpendicular a la fibra
- Diseñar una vivienda rural y construir el prototipo con *Guadua aculeata* con el sistema estructural y sistema de uniones ensayados, a partir de las condiciones de trabajo real.

- Evaluar las condiciones que presenta el prototipo en el sistema de uniones ante las cargas de servicio reales.

1.3 Preguntas de investigación

¿Cuál es la etapa adecuada por fase lunar para el corte de la aculeata?

¿Qué método de preservación es el más recomendable para los tallos de aculeata?

¿Cuáles son los métodos para evaluar los niveles de retención, penetración-presencia de sales de boro en tallos preservados?

¿En qué consiste el método de secado a intemperie, cuáles son sus ventajas?

¿Cuáles son las cargas últimas de los diferentes sistemas de uniones sometidos a solicitaciones de tensión y compresión paralelas y perpendiculares a la fibra?

¿Cuál es la configuración apropiada para la construcción de una vivienda rural con el uso del sistema estructural con *Guadua aculeata*?

¿Bajo qué condiciones de madurez, contenido de humedad, preservación y resistencia es recomendable el uso de la *Guadua aculeata* para la construcción de viviendas rurales?

1.4 Justificación

1.4.1 Importancia tecnológica

En México a pesar de la existencia de especies, nativas e introducidas aptas para la construcción, no existe una cultura de uso en las diferentes actividades del hombre, su uso se restringe a ciertas artesanías y muebles. Las instituciones públicas, privadas y académicas no han volteado la mirada hacia este excelente producto natural, que ha demostrado tener más ventajas que cualquier otro material natural como la madera. Existen pocos estudios científicos sobre el bambú relacionados con las propiedades mecánicas, la mayoría se realizan sobre cultivo, propagación y beneficios ambientales. En la construcción hay varios ejemplos de viviendas construidas, sin embargo, a lo largo del tiempo el intemperismo ha impactado de forma negativa, así como los esfuerzos reales de trabajo. Se observa los impactos negativos en la pudrición del material, cambio de color, ataque de xilófagos, rajaduras por cortante o cambios dimensionales por contenido de humedad y aplastamientos por compresión perpendicular a la fibra. La falta de

conocimiento inhibe el aprovechamiento de las cualidades del bambú en la parte constructiva y estructural, en algunos casos con consecuencias fatales en poco tiempo. Lo anterior ha menguado la credibilidad del material, en los diferentes sectores sociales. Por lo anterior los sistemas constructivos con bambú, son reducidos a manuales constructivos sin definir la especie, deduciendo que todas las especies se comportan de igual manera, las experiencias de otros países demuestran lo contrario, ya que la misma especie pero en regiones distintas del mismo país tienen resistencias distintas, de ahí la necesidad de contar con un sistema constructivo con *Guadua aculeata* con especificaciones para esta especie con datos científicos de resistencia, y de investigación básica, que comprenda desde la selección, corte hasta las resistencias en uniones.

Las instituciones públicas encargadas de promover la vivienda, no consideran al bambú como un material alternativo de construcción, no existen políticas públicas que lo promuevan, las iniciativas de ley presentadas han sido denegadas. Los sistemas constructivos tradicionales utilizan materiales que representan un porcentaje alto en la emisión de gases contaminantes por la cantidad de energía que emplean para su transformación. Los desarrolladores de vivienda en aras de continuar con la expansión de construcción reducen las dimensiones y calidad de los espacios, pudiendo buscar materiales alternativos menos contaminantes y amigables con el ambiente.

Los escasos estudios experimentales sobre resistencias a diferentes esfuerzos aun no son suficientes para que consideremos a la *Guadua aculeata* como un material de construcción y estructural, se requieren estudios profundos sobre la anatomía que definan los componentes de su estructura celular, composición de los elementos que contiene, la identificación de la madurez, comportamiento ante los agentes bióticos y abióticos, actuación del preservante en la estructura celular, transformaciones dimensionales, procesos de secado, resistencias en sistemas de uniones a diferentes esfuerzos.

La normatividad existente sobre el uso del bambú como material de construcción y estructural, es muy reciente, se encuentran en la GOCDMX NTC, (2017). La normatividad corresponde a tres especies, dos introducidas y una nativa, no haciendo diferencias entre una y otra. Los manuales de construcción con bambú fueron desarrollados, sin especificar especie alguna, tomando como ejemplos manuales de otros países, sin considerar las particularidades de la *Guadua aculeata*.

Las experimentaciones con *Guadua aculeata*, en toda la cadena productiva, demostrará la viabilidad del material constructivo-estructural, funcional y

económico que fusionado con otros materiales se puede llegar a tener un sistema constructivo mixto, reduciendo costos en la construcción de vivienda y otros usos, así como un beneficio ecológico por la disminución de energía al procesarlo.

1.4.2 Relevancia económico-social

Para que el proceso de transformación a partir del corte hasta su uso como material de construcción-estructural de la *Guadua aculeata* sea sustentable no es suficiente que sea natural y se utilice sin transformaciones, requiere involucrar tres dimensiones, ambiental, económica y social. El impacto que tenga el uso de la aculeata no sea mayor a su capacidad de recuperación, que sea rentable a largo plazo con la racionalización del uso y que el lugar donde se extraiga forme parte de sus costumbres y tradiciones. En este sentido la recuperación de los conocimientos ancestrales transmitidos de generación en generación, se utilizan para revalorizar a la aculeata dándole un valor agregado a partir de la definición de las condiciones antes de su uso en cualquier actividad.

Incentivar las zonas rurales a partir del desarrollo de procesos locales asociados al bambú como talleres y centros de producción, repercute en una nueva economía a través de la diversificación de la producción, estimula y contribuye al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de las comunidades, la creación de fuentes de empleo a través de la introducción de tecnologías alrededor de la cadena productiva de la aculeata generando impactos sociales benéficos. La existencia de materiales propios de la región para la construcción, conduce a tener alternativas para el mejoramiento de la vivienda rural, adaptada al medio ambiente, con terminaciones similares a la vivienda con materiales tradicionales. La siembra de aculeata va a garantizar la disponibilidad del material para las producciones planificadas, una vez demostradas las ventajas de las construcciones con bambú habrá una gran demanda para las nuevas casas.

El desarrollo de la cadena productiva de la aculeata desde el cultivo, hasta la transformación tiene beneficios contra los materiales tradicionales, que no se producen en el lugar, por los costos de transportación, por lo que no se crea un círculo virtuoso de aprovechamiento-beneficios en las comunidades.

Actualmente no existe una cultura de utilización, se reduce a objetos artesanales, muebles a pequeña escala y construcción de modelos de vivienda, aunque su uso desde la época prehispánica, los conocimientos se han quedado en el olvido, es necesario la promoción, divulgación y la capacitación en las comunidades para el mejor aprovechamiento de la aculeata.

Los costos de construcción de vivienda con bambú, se reducen considerablemente frente a los costos con materiales tradicionales en un 40 %, obtenido del análisis que se realizó en la construcción del prototipo. Actualmente, los costos de vivienda rural, son poco estudiados. La construcción con *aculeata* puede ser una alternativa y sustituir las construcciones con madera y otros materiales de construcción.

Por ser natural el bambú es biodegradable, después de cumplido su ciclo de aprovechamiento, vuelve a la naturaleza. Durante el proceso de acondicionamiento no se incorporan elementos que lo hagan un material tóxico.

Con la integración a un sistema constructivo, se reduce el tiempo del proceso de construcción, se disminuyen costos de producción en materiales y mano de obra especializada, se mejora la calidad del proceso constructivo y la racionalización de los materiales constructivos.

1.4.3 Viabilidad de la investigación:

La investigación realizada, representa la continuidad de estudios en institutos de investigación como el INECOL de la ciudad de Xalapa, Ver., la UNAM y otras instituciones de educación superior, apoyada en la experimentación tradicional y las aportaciones técnicas que existen en México y el mundo, la aplicación del conocimiento que se obtuvo, formula soluciones reales para el género habitacional rural. Los recursos materiales y económicos para las experimentaciones y ensayos mecánicos son cubiertos por el autor, la UNAM, y el INIFAP. La mano de obra por el autor y el INIFAP. Para llevar a cabo los ensayos mecánicos de uniones, mediciones y experimentaciones se obtuvo la colaboración del INECOL de Xalapa, Ver., a través de una estancia de investigación y el laboratorio de investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Región Poza Rica, Ver.

1.5 Aportaciones de la investigación

La importancia de la investigación radica, en las experimentaciones realizadas y resultados en la investigación básica de la *aculeata* que determina las condiciones para su uso como elemento estructural, comprende las fases de corte, selección a través de la medición del contenido de humedad en las diferentes fases lunares, los procesos de preservación y evaluación de penetración y retención de las sales de boro, por métodos cuantitativo y cualitativo, determinación del proceso de secado a intemperie mediante la medición del contenido de humedad por el método gravimétrico en los tallos preservados, la experimentación en el sistema de uniones a tensión y compresión paralela a la fibra y tensión y compresión

perpendicular a la fibra, con mortero y sin mortero. Los conocimientos generados fueron aplicados en la construcción de un prototipo de vivienda rural, los resultados obtenidos con los procedimientos constructivos empleados se consideran para integrarlos a un sistema constructivo con *Guadua aculeata*. Lo anterior se realiza por la escasez de información relacionada con el tema, existen estudios sobre las propiedades mecánicas a tensión, compresión cortante y flexión, sin embargo, a nivel estructural se carece de resultados.

1.6 Deficiencias en el conocimiento del problema

Los estudios realizados por instituciones académicas, se relacionan con las propiedades mecánicas a diferentes esfuerzos. Se desconoce las condiciones de la *aculeata* previas al uso como material de construcción. La importancia de las condiciones es relevante, no se asociaba al comportamiento en esfuerzos reales de trabajo, fallas por rajaduras y ataque de xilófagos. A la fecha no existen laboratorios que puedan certificar la concentración de los niveles de sales de boro en las soluciones preservantes, evaluar las retenciones ni determinar el contenido de humedad recomendado por las normas para que la *aculeata* pueda ser utilizado como material estructural. La investigación obtiene resultados que cubren el vacío de información relacionada con el tema.

- **Alcances**

Por el tipo de problema a investigar los estudios requirieron de la experimentación y aplicación de conocimientos generados para su comprobación, los alcances son primeramente descriptivos, posteriormente correlacionales y finalmente explicativos

La etapa descriptiva se desarrolla en la fase de investigación básica de la *aculeata*, que comprende el corte y selección de las muestras, madurez y edad, proceso de preservado, secado de muestras para la experimentación y medición de variables y los ensayos del sistema de uniones para determinar resistencia.

Los estudios correlacionales se emplean para determinar la relación de variables identificadas en la investigación básica y en la aplicación de resultados en la construcción del prototipo, contenido de humedad, espesor, diámetro, tiempo, resistencia a esfuerzos de trabajo, mortero, cargas de servicio.

Los estudios explicativos son resultado del análisis de las experimentaciones que se realizan en la investigación básica y en el sistema de uniones, se identifican las causas del alto contenido de humedad en los tallos de *aculeata*, la eficiencia de

los procesos de preservado y secado, las retenciones de las sales de boro en la preservación, las resistencias a diferentes esfuerzos de trabajo de las uniones.

El universo del estudio lo representa la especie *Guadua aculeata* que pertenece al género de las *Guaduas*, nativa del estado de Veracruz y Puebla.

Las muestras la constituyen:

- La *Guadua aculeata* que se produce en el sitio experimental “Las Margaritas” del Municipio de Hueytamalco, Puebla.
- Muestras, para la medición de variables, apoyadas en teorías existentes con la especie nativa.
- Probetas para el sistema de uniones con y sin mortero para la medición de resistencia últimas, apoyadas por el laboratorio de pruebas.
- Prototipo de vivienda, donde se aplican los conocimientos generados.

1.7 Hipótesis

La generación de las hipótesis de investigación responde al planteamiento del problema y marco teórico. Las experimentaciones en el sistema de uniones, corte, preservado, evaluación de la retención y penetración de sales de boro y determinación del contenido de humedad en tallos de aculeata, así como las técnicas y procedimientos constructivos que se emplean en el prototipo, permiten comprobar y confirmar las hipótesis.

- 1) Si los sistemas de unión a tensión y compresión paralela a la fibra y tensión y compresión perpendicular a la fibra, presentan condiciones de trabajo estructural requeridas en las cubiertas, muros y entresijos, entonces; pueden ser considerados en la construcción del prototipo de vivienda.
- 2) Si las condiciones de selección, corte, preservación y secado de la *Guadua aculeata* determinan un comportamiento de trabajo estructural requeridas en las cubiertas, muros y entresijos, entonces; pueden considerarse elementales para la preparación de los tallos para la construcción del prototipo de vivienda.
- 3) Si el espesor, diámetro temperatura del agua y densidad de la aculeata son factores que determinan la penetración y retención de las sales de boro como preservante, entonces, se deben de tomar en cuenta para evaluar los niveles de preservación de los tallos utilizados en la construcción del prototipo.

- 4) Si la aplicación de procedimientos constructivos, prefabricación y modulación, lograron facilitar la construcción, reducción de costos, tiempo y racionalización en el uso del material en la construcción del prototipo de vivienda, entonces, pueden ser considerados para la integración a un sistema constructivo con *Guadua aculeata*.

1.8 Estrategia metodológica

Para lograr los objetivos que se establecen en el estudio, se divide en tres fases que comprenden: la investigación básica de la aculeata, involucra aspectos de selección corte, preservación, evaluación y secado, la segunda fase corresponde al sistema de uniones a diferentes esfuerzos de trabajo y la tercera al diseño de la vivienda y construcción del prototipo para determinar el sistema constructivo.

Primera fase. - la investigación básica comprende las condiciones de la aculeata antes de obtener las muestras para uso como material de construcción y estructural. El corte de aculeata, se determina por la época de corte a partir de lo establecido por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2006. Norma Técnica Colombiana, 5300, cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. 9 p. Para determinar la fase lunar adecuada se mide el contenido de humedad por fase lunar aplicando la norma ASTM Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials. Para la selección por madurez se emplea la NTC 5300 (ICONTEC), 2006 y consideraciones de (Morán Ubidia, S/F). Para la preservación y evaluación de tallos para la construcción del prototipo, se aplica la metodología del (ICONTEC), 2006. Norma Técnica Colombiana, 5301, Preservado y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. 9 p. Montoya Arango, (2008); Morales Pinzón, (2006); Turner, (2008). Para la evaluación de la preservación se aplica la metodología de Posada Giraldo, (2015); Morales Pinzón, (2007); Morales Pinzón, (2006); y Erdoiza & Echenique, (1980). Para el proceso de secado la metodología de (Montoya Arango, 2006).

Segunda fase. - Los ensayos del sistema de uniones, requieren acondicionamiento de las muestras en cuanto a contenido de humedad, preservación y madurez, la metodología es la misma para la investigación básica. Para determinar las resistencias últimas de esfuerzos de trabajo en probetas con y sin mortero, se emplea la metodología del Laboratorio de pruebas del Instituto de Ecología de la ciudad de Xalapa, Ver.

Tercera fase. - El diseño de la vivienda y la construcción del prototipo, requiere la preparación de los tallos para el sistema estructural, muros, cubierta y entrepiso, así como la esterilla y reglilla, bajo las metodologías que se emplean en la

investigación básica. Las uniones a tensión y compresión paralela a la fibra y tensión y compresión perpendicular a la fibra se preparan con los resultados de los ensayos del sistema de uniones. Se requiere de procedimientos constructivos, los cuales se realizan previamente con modelos reales, desde el trazo, el armado, corte, preparación de tallos, construcción y colocación de marcos porticados, colocación de esterilla, reglilla, uso de herramienta y equipo y detalles constructivos.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

En este apartado se desarrolló la contextualización del problema mediante una postura teórica, que fundamenta la investigación de los procesos de la investigación básica, sistema de uniones, normatividad y sistema constructivo derivado de la construcción del prototipo con *Guadua aculeata*.

2.1 Introducción

El bambú pertenece a la familia de los pastos y gramíneas, originaria de la india, existen 1439 especies en 116 géneros, entre leñosos y herbáceos (*Grass Phylogeny Working Group, 2012*). Habitan en zonas tropicales y subtropicales, desde el nivel del mar hasta 4 300 m, (Judziewicz, 1999) y (Group, 2012). Son plantas usadas por el hombre desde tiempos remotos, los hay en África y en casi todos los países de américa, con excepción de Canadá, en el este de los EU, las islas del caribe, Australia cuenta con tres especies nativas, así como las islas del pacífico. Existen de menos de un metro de altura con tallos de .05 m, gigantes de 25 m, de altura y 30 cm, de diámetro (Bambumex, 2013).

En el mundo existen alrededor de 20 especies representativas para la construcción, normalmente nativas de bosques naturales, definidas por las culturas que tradicionalmente las usa en la construcción y otras aplicaciones. Corresponden a los géneros Bambusa, Chusquea, Dendrocalamus, Gigantochloa, *Guadua* y Phyllostachys Hidalgo López, (1974); Minke, (2010); y Boto de Matos Caeiro, (2010).

En América, Brasil presenta el mayor endemismo y diversidad, con 155 especies de bambúes leñosos, Colombia con 70 especies leñosas, Venezuela con 60; Ecuador con 42; Costa Rica 39, México y Perú con 36, son los de mayor interés por su gran utilidad y múltiples usos, incluyen 360 especies en 20 géneros (Londoño, 2005), y (Cortéz Rodríguez G. 2000).

El bambú representa una alternativa para mitigar el efecto del cambio climático y el desarrollo humano sostenible, siempre que tengan como principal objetivo el rescate y conservación del paisaje, el desarrollo económico y la revalorización de las culturas regionales, brindando protección natural y aprovechando su valor agregado para generar empleo.

Existen diversos estudios sobre los beneficios ambientales, en el Organization, World Bamboo, (2009) se presentaron resultados de análisis sobre 2 especies maderables, la teca y el eucalipto y dos especies de bambú, los valores identificados para el bambú superan considerablemente a las especies

maderables (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de biomasa y captura de carbono, comparación de la especie teka, eucalipto y dos especies de bambú. Fuente: (Organization, World Bamboo,2009).

Especies	Producción anual de biomasa ton/ha/año	Incrementos anuales de carbono ton/CO2/ha/año	Captura de carbono en 5 años Ton/Co2/ha	Total, de captura de carbono de la biomasa en la etapa de maduración	Captura de carbono total incluyendo productos	Citas
Teka(<i>tectona grandis</i>)	6.3	3.15	15.75	126 (40 años)	191(40años)	Boateng, 2005
Eucalipto <i>grandis</i>	16.14	8.07	40.35	S/I	S/I	Gutierrez et al 2006
Plantaciones de eucalipto	17.5	8.75	43.75	61.25 (7 años)	S/I	Plantar 2000
Plantaciones eucalipto	21	10.50	52.5	73.5 (7años)	S/I	Plantar 2000
<i>Phyllostachys pubescens</i>	17.24- 27.58	8.62- 13.79	43.12-68.95	92 (5-8 años)	159.4 (20 años)	Isage, et al 1997
Bambusa bambo	47.8	23.90	119.5	149 (6 años)	442.15 (20 años)	Shanmug-Hayel and Francis 2002

El centro nacional de investigaciones del café CENICAFE, determinó sobre la *Guadua angustifolia*, una capacidad de 54 toneladas de dióxido de carbono por hectárea en 6 años (9 ton/ha/año) (Londoño, 2001), (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, observatorio agro cadenas Colombia, 2005).

En el 2010 el INBAR a través del estudio “Bamboo and Climate Change Mitigation: a comparative analysis of carbón sequestration” compara dos especies Chinas de Bambú con dos árboles, eucalipto y una conífera, concluye que el bambú posee mayor capacidad de secuestrar el CO2.

Una larga tradición del bambú en la construcción en el mundo, sus aplicaciones a distintos géneros de la arquitectura han comprobado que el material posee características de resistencia y flexibilidad que lo hacen el material alternativo, no para desarrollar proyectos sociales de gran envergadura si no de cualquier tipo de género arquitectónico. Los ejemplos de arquitectura con bambú, dan cuenta del potencial como material constructivo-estructural, que bien aprovechado puede resolver casi cualquier espacio arquitectónico para el desarrollo de las actividades del hombre.

Destacan las obras situadas en Asia, donde legendariamente se ha utilizado, por su gran cantidad de especies dedicadas a la construcción. De los análisis históricos realizados es notorio la aplicación del bambú en la arquitectura relevante a partir de 1995, no así en la vivienda, donde es utilizado desde tiempos inmemorables, en países asiáticos, América, sobre todo en Colombia.

La *Guadua angustifolia*, sobre esta especie se concentra el mayor conocimiento científico de la cadena productiva, ha jugado un papel preponderante en la cultura de arraigo, con importantes propiedades físicas y mecánicas. En la construcción

es usada como vigas y columnas de forma rolliza, para la industrialización como esterilla y latas, en la vivienda se puede aprovechar casi todo el tallo (Saleme, 2011). Tiene dos variedades *G. angustifolia* var. bicolor y *G. angustifolia* var. negra y varias formas: “cebolla”, “macana”, “castilla”. Obtiene su altura definitiva en los primeros 6 meses de vida y su madurez entre los 3 y 6 años, carece de tejido de cambium, de allí que no tenga incremento en diámetro con el paso del tiempo.

En México, el bambú es conocido como “otate”, “tarro”, “jimba” de origen náhuatl (otatl, ojtat), usado para varias especies de bambú, se reconocen 36 especies nativas, 20 endémicas a los cuales se suman unos 30 bambúes introducidos desde los viveros de EU (Bambumex, 2013).

Los bambúes nativos tradicionalmente se han usado por la población rural, se han identificado 42 usos, sobre todo como material de construcción de viviendas, son de los géneros *Guadua*, *Otatea*, *Chusquea* y *Olmeca*. Las del género *Guadua* son las cinco especies, más grandes y frondosas de los bambúes mexicanos, (*G. aculeata*, *G. vellutina*, *G. amplexifolia*, *G. paniculata* y *G. longifolia*). En particular, la *G. aculeata*, llega a medir 25 m de altura y 25 cm de diámetro, tradicionalmente se ha usado en la construcción de viviendas, principalmente en el norte de Veracruz. Las espinas en los nudos de tallos y ramas son las características para distinguirla de las especies de los otros bambúes nativos. Crecen desde el nivel del mar y hasta los 900 m de altitud Cortéz Rodríguez G. R., (2005) y Cortéz Rodríguez G., (2000).



Imagen 1. Distribución de los géneros nativos de bambúes leñosos y especies introducidas en México. Especies utilizadas en la construcción en Veracruz. Fuente: autor.

La localización de las especies nativas y endémicas se sitúan en la parte media y sur del país. Las plantaciones de los bambúes introducidos para la construcción, *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhamii*, se encuentran localizados principalmente en Chiapas, Puebla, Veracruz y Sinaloa con impulso de instituciones gubernamentales, sin potenciar el impacto negativo en flora y fauna locales (Imagen 1).

Cortéz (2005) identifica en Veracruz 31 especies, es el estado más rico en diversidad de bambúes de México, incluye bambúes nativos, introducidos y especies herbáceas, destaca la importancia de especies endémicas de México. Es el único estado donde podemos identificar las cinco especies del género *Guadua*, las cuales han sido utilizadas desde mucho tiempo, antes de la conquista de los españoles.

En las regiones de Huatusco, Córdoba-Fortín, Orizaba, Teocelo y Coatepec lugar donde los bambúes introducidos han hecho su mejor presencia, abundan el bambú plumoso, *Bambusa oldhamii*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys bambusoides* (madake), *Guadua angustifolia* y *Bambusa textilis*.

En el centro de Veracruz crece la especie nativa, *Chusquea muelleri*, sus tallos no tienen más de 70 cm de altura y 50 mm de diámetro, en contraste con los individuos de *Dendrocalamus giganteus*, especie de la India, que llega a medir 40 m de altura y 30 cm de diámetro, las *Guaduas* se encuentran a lo largo del estado (Imagen 1).

2.2 Procesos de la cadena productiva del bambú

2.2.1 Corte selección y madurez

En México no existe información sobre cuándo y cuáles cosechar, se recurre a la experiencia de los trabajadores locales y a la literatura de países que tradicionalmente usan al bambú en diversas actividades. El conocimiento tradicional se ha venido perdiendo de generación en generación, antiguamente el bambú se utilizó en la vivienda con el sistema de bajareque, hasta la fecha se conservan dichos sistemas en las viviendas tradicionales.

Seleccionar los tallos con base en su madurez y en la fase lunar adecuada es garantía de durabilidad y resistencia al ataque de los insectos, hongos y microorganismos. El tallo “recio” “maduro” debe de cumplir con ciertas condiciones: edad mayor a 5 años, color verde blanquecino, diferente al de las *Guaduas* tiernas, con presencia abundante de manchas de líquenes y musgos entre los nudos, ausencia de hojas caulinares, sin que haya pubescencia sobre el culmo, la inexistencia de rajaduras, torceduras, perforaciones y otros daños físicos mecánicos, las bandas blancas nodales casi desaparecidas, la no presencia de perforadores o de otros insectos Morán Ubidia, (S/F); ICONTEC, (2006); NTC, 5300; Cruz Ríos, (2013).



Imagen 2. Madurez del bambú. Etapa de desarrollo, madurez y vejez. Fuente: autor.

Primera etapa de desarrollo, tiene mayor cantidad de almidón en sus células de parénquima, se desarrolla muy rápido, hasta alcanzar su máxima altura. La absorción de los nutrientes y líquidos, está en plena y máxima actividad, la savia y los líquidos ocupan los haces vasculares y conductores.

Etapa de madurez, al aumentar la edad del bambú, aumenta la densidad de los haces fibrosos inmediatos a la epidermis, incrementando la resistencia del bambú, y progresivamente, las células del parénquima se transforman, se reduce su volumen y aumenta su densidad, la actividad fisiológica decrece y los vasos conductores al transformarse en haces fibrosos, disminuyen sus funciones originales.

Etapa de la vejez. El bambú decrece, su resistencia baja, tiende a la pudrición, y está lleno de musgo, líquenes, así como perforadores e insectos, la edad del bambú es un factor de su resistencia, generalmente es después de los 6 ó 7 años (Morán Ubidia, S/F) (Imagen 2).

El corte es el primer condicionante que otorga al bambú mayor durabilidad y resistencia al ataque de insectos. El método tradicional de corte utilizado por campesinos colombianos lo realizan en el primer nudo y sin dejar cavidades, se deja en el propio lugar del corte, sobre una piedra, lo más vertical posible, apoyado o recostado sobre los bambúes vecinos con sus ramas y hojas respectivas, se mantiene en esa posición durante un lapso de 2 a 3 semanas, al cabo de ese tiempo. el bambú es colocado horizontalmente y despojado de ramas y hojas (Morán Ubidia, S/F) y (Cruz Ríos, 2013).

El corte por observación de la luna está demostrado tradicionalmente, la influencia lunar y sus efectos sobre las masas de agua. Durante luna llena los vasos conductores absorben líquidos y nutrientes del suelo, los internodos de la parte basal y media están llenos de líquidos. La fase lunar “menguante” las cavidades

internodales carecen de agua o es mínima, el tallo tiene menor cantidad de líquidos, existiendo menos riesgo de pudrición. La hora del corte de 4 a 6 de la mañana o por las noches. Esto es debido a que la luz es un factor indiscutible en los procesos de fotosíntesis que realizan todas las especies vegetales, en el bambú su actividad fisiológica es mayor durante el día que en horas de oscuridad, el hacerlo en la noche o en la madrugada, es cuando los procesos fisiológicos de la planta son menores y las condiciones de humedad son más reducidas que en el resto del día (Morán Ubidia, S/F) y (Restrepo Rivera, 2005).

El ICONTEC, 2006, NTC, 5300 establece que el manejo posterior al corte se debe evitar el deterioro de los tallos, causado por golpes o maltrato, una vez seco los golpes y rasgaduras se convierten en manchas negras, se deben clasificar los tallos de acuerdo con su longitud, diámetro y espesores de pared, para facilitar el transporte y almacenamiento. Una vez cortados se deben colocar verticalmente sin apoyarse en el suelo para evitar la humedad ascendente.

2.2.2 Sistemas de preservación

La preservación es un tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la *Guadua*. Es importante el uso final del bambú y donde se va a emplear para determinar el tipo de preservante, hidrosolubles u oleosolubles Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT (2010) Reglamento colombiano de Construcción sismo-resistente. NSR 10. Capítulo G-12 Estructuras de guadua, INCOTEC, (2006), NTC 5301. Este aspecto es muy delicado, como parte del proceso de adecuación del bambú, garantiza la calidad por mucho tiempo en cualquiera de sus usos.

Los métodos tradicionales a través de conocimientos basados en la sabiduría popular “saber tradicional” de los campesinos, requiere que se cumplan ciertas condiciones como la selección, el corte y la observación de la luna (Morán Ubidia, S/F).

La utilización de métodos tradicionales contribuye a la protección del medio ambiente y son consecuentes a las exigencias populares por un ambiente más sano y limpio, usar productos químicos pone en riesgo la salud de quienes los usan y quienes habitan las viviendas. Se han utilizado por comunidades de varias regiones de América. El preservado de manera natural llamado “curado” o “vinagrado” se realiza en el bosque, consiste después del corte dejarlo de 2 a 3 semanas de manera vertical apoyado en una piedra, para la pérdida de humedad

progresivamente, a través de ramas y hojas, disminuye las posibilidades de infestación. Los almidones contenidos en las células parenquimatosas, se reducen en azúcares y estos por fermentación se convierten en alcohol, insecticida natural que anula la proliferación de insectos y microorganismos (Morán Ubidia, S/F).

Preservación por inmersión en agua, es el más utilizado, provoca manchas en la epidermis del bambú, tiempos excesivos en el agua disminuye sus propiedades físicas y mecánicas. Preservación mediante humo, de acuerdo con arqueólogos y antropólogos, parecen ser de las más antiguas, el procedimiento consiste en una vez construida la vivienda y antes de ocuparla, se cierran todas las aberturas, se encienden troncos con maderas especiales durante 4 o 5 días se mantienen humeando, al cabo de los cuales se abren las puertas y ocupa la vivienda. Preservación mediante el calor, se calientan los tallos de bambú en fogatas especialmente construidas. Preservación mediante otros líquidos (preservación con aguardiente), (preservación con tanino). Preservación mediante recubrimiento, se utilizan hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (cal viva), el sistema denominado blanqueado con lechada de cal, se aplica a las paredes (Morán Ubidia, S/F).

La preservación por métodos químicos con sustancias hidrosolubles, por inmersión-difusión, utiliza sales de boro, bórax y ácido bórico, por ser efectivas y económicas Camero y Novoa (2001) citado en (Peña V., Burgo s., González F., & Will Valero, 2009), con proporciones según la NTC 5301, (INCOTEC, 2006) “en un volumen de 100L de solución se debe agregar ácido bórico y bórax en un rango del 6 % al 9 % de concentración y en una proporción en volumen 1:1 de ácido bórico y bórax”. disueltos en agua, el ácido bórico no presenta resistencia al momento de disolverlo con agua, sin embargo, el bórax requiere agua caliente a 60°C para disolverlo. Aumentar la temperatura favorece la difusión de los compuestos de boro (Morales Pinzón, 2010). La temperatura juega un papel clave en la difusión, la solubilidad del ácido bórico es directamente proporcional a la temperatura, lo que explica porque la difusión se duplica por cada 20°C (Turner, 2008). Existen análisis con concentraciones al 2 % de bórax y ácido bórico, sin embargo, los tallos presentan ataques por xilófagos, los cuales no prosperan por la acción del preservante. Montoya (2008) menciona que con este porcentaje de concentración de bórax y ácido bórico se observó una mortalidad del 90% de los coleópteros taladradores *D. Minutus*. En concentraciones del 6 % la mortalidad fue del 100 % (Peña V., Burgo s., González F., & Will Valero, 2009).

En la preservación con sales de boro es recomendable que los tallos se encuentren con un contenido de humedad CH, entre el 70 % y 45 % para permitir la adecuada penetración y difusión del preservante. Un CH superior a 80 % no es favorable

para la preservación con solución de bórax y ácido bórico (Turner, 2008), (Morales, 2006). El CH es el factor más importante que afecta la profundidad de la preservación, la difusión comienza en el punto de saturación de la fibra (30 % de CH), el punto de saturación se define como el punto en el que todas las células son cavidades vacías de agua, pero las paredes de las células siguen saturadas con agua ligada (Turner, 2008). El tiempo de preservación puede ser durante 4 o 5 días, cuando los tallos dejan de absorber la solución preservante y garantizar una retención mínima de 4 kg/m³ EAB (equivalente de ácido bórico) (Montoya, 2008) y (NTC 5301).

Según Turner (2008) los boratos han sido utilizados en la industria de la madera desde 1950, han demostrado su valor en la lucha contra la descomposición por hongos e insectos que destruyen la madera, tienen baja toxicidad para los mamíferos son inodoros e incoloros, no interfieren en los acabados de la madera, sin embargo, siempre surgió la duda sobre cuáles eran los niveles suficiente para la protección de la madera, en algunos países se recomienda para la preservación de la madera un requerimiento de 0.1 % EAB equivalente de ácido bórico, algunos estudios recomiendan EAB's de 0.5 % en la lucha contra las termitas y tan bajo como 0.02 % EAB para algunos tipos de hongos, en general es aceptado un 0.2 % para el control del deterioro por hongos, termitas e insectos de la madera. Este porcentaje sugerido se encuentra entre los 1.5 y 2.0 kg/m³ EAB, como nivel aceptable de preservación para el caso de la *Guadua angustifolia* (Posada, 2015).

2.2.3 Evaluación de los niveles de preservación

Los procesos de preservación con sales de boro, aplicados a los tallos de bambú, no permiten conocer el funcionamiento, se desconoce la concentración de las sales de boro, no existe certeza de los tiempos adecuados de inmersión, así como los costos. Existen variables importantes al momento de la preservación, la densidad, el contenido inicial de humedad, el tiempo de inmersión y el efecto de la temperatura (Morales, 2006).

En nuestro país no existen instrumentos o procedimientos que permitan tener el control del proceso de preservación, se hace de manera práctica, se desconoce el resultado final del proceso en cuanto a retención, penetración y calidad, existe desconfianza por los usuarios finales del bambú.

La aplicación de las recomendaciones de INCOTEC (2006), bajo los lineamientos establecidos, no determina la calidad final de los tallos, evaluar la retención y penetración de la preservación a partir de métodos cualitativos y cuantitativos, garantiza su aplicación como material constructivo-estructural.

Actualmente no existen productores que puedan garantizar la calidad de preservación del bambú. En el sector de la construcción es básico, generalmente la calidad ofrecida no satisface las necesidades de profesionales de la construcción, en este medio se requiere de materiales permanentes.

La evaluación de la presencia y penetración de las sales de boro por el método de colorimetría, aplicando reactivos y sustancias reveladoras, consiste en la aplicación del reactivo 1 que consiste en disolver 10 gr. De tintura amarilla de turmérico en 100 cc de etanol y filtrar, después de secar durante varios minutos, aplicar el reactivo 2 que consiste en una solución de ácido-alcohol de 20 partes de ácido hidrociorhídrico y 80 partes de etanol, saturarla con ácido salicílico (\pm 13-g/100 ml). Los cambios de color se observan cuidadosamente, aparecen en un intervalo de 20 min. después de la aplicación del reactivo 2, el proceso se acelera colocando la muestra en un horno a temperatura de 60°C (Erdoiza y Echenique, 1980) y (Junta del acuerdo de Cartagena, 1988).

Erdoiza & Echenique (1980) establecen un rango de colores y la cantidad aproximada de boro presente se expresa en porcentaje de ácido bórico equivalente, con base en el peso anhidro de la madera como sigue:

Rojo brillante 0.30 % o más, Café rojizo 0.25 %, Café amarillento 0.20 %, Amarillo (sin cambio) menos de 0.15 %

Los niveles con un 0.20 %, EAB es suficiente para el control del deterioro por el hongo, las termitas y los insectos de la madera (Turner, 2008). Este porcentaje sugerido expresado en kg/EAB, se encuentra entre los 1.5 y 2 kg EAB/m³, para el caso de la *Guadua angustifolia* (Posada Giraldo, 2015). El mismo autor menciona que la penetración o retención en la *Guadua angustifolia* para concentraciones de sales de boro entre 3 % y 9 %, cumplen con los mínimos valores requeridos para que actúe como preservante (1 a 4 kg EAB/m³), los mejores resultados se obtienen con concentraciones entre 6 % y 9 % con tiempos de preservación entre 3 y 5 días.

La evaluación de los niveles de retención de las sales de boro por el método cuantitativo, busca determinar el porcentaje de retención, definida como la cantidad de compuesto activo u óxidos retenidos en la madera preservada. La retención es equivalente a la absorción neta a partir de identificar la cantidad en kg/m³ de EAB. Para obtener la retención de las sales de boro, mediante la aplicación de métodos químicos cuantitativos, se emplea la espectrofotometría de absorción atómica o espectroscopia de rayos x (Landauro P., 2010).

2.2.4 Proceso de secado

Este proceso contribuye a una mayor resistencia a esfuerzos mecánicos, y al ataque de insectos y microorganismos. Se inicia al momento del corte, empieza a perder humedad contenida en sus componentes, al igual que la madera el bambú, es un material higroscópico, tomará o cederá agua a la atmósfera, puede mantener una condición de humedad en equilibrio con el vapor de agua del medio ambiente, por lo tanto, el secado es un proceso continuo hasta que el material alcanza el contenido de humedad de equilibrio CHE de acuerdo con las condiciones ambientales de su entorno. A diferencia de las maderas. Según Liese (1985) en los bambúes las contracciones se originan desde el instante de corte, es decir desde que se inicia el secado natural, la estructura anatómica del bambú, facilita las contracciones por pérdida de humedad, provocan deformaciones y rajaduras que afectan la calidad del material. Durante el secado se encuentran expuestos al ataque de hongos e insectos, provocando los primeros, manchas y los segundos lo destruyen, de ahí la importancia del secado de manera rápida eficiente y sin defectos, que se pudieran producir por causa de la pérdida de humedad o por la presencia de insectos. Como regla general las guaduas para uso estructural deben de estar secas al momento de fabricación por debajo del 18 % CH (GOCDX NTC, 2017), (MAVDT, 2010). Para el secado natural la INCOTEC (2006), NTC 5301 establece que los tallos deben permanecer en posición vertical hasta lograr un porcentaje de humedad del 35 al 45 %, posteriormente se colocan en posición horizontal, separados entre sí para facilitar la aireación, hasta lograr el porcentaje de humedad de equilibrio higroscópico de cada lugar (entre el 14 % y 20 %), en espacio ventilado y bajo sombra.

Existen diferentes tipos de secado: secado al aire libre y bajo cubierta, por medio de secadores solares, estufa o cámara de vacío.

El proceso de secado por medios naturales, una vez extraídos del guadual estarán al aire libre y bajo cubierta, en forma horizontal colocados en una cama en un sentido y la otra en otro sentido, separados para que el aire pueda circular, girando cada 15 días en el sentido longitudinal para que el secado sea uniforme, aislados del suelo para evitar la humedad y afecte al secado o produzca proliferación de hongos, dependiendo de la humedad del medio ambiente y la cantidad de radiación solar o presencia de lluvias y velocidad del aire, se estima que el tiempo de secado debe ser no menor al 2 meses (Morán Ubidia, S/F).

El proceso de secado por medios naturales a la intemperie, una vez que se extraen de la tina de preservación, se colocan verticalmente para escurrir el excedente de

preservante, posteriormente se colocan a la intemperie sobre un caballete, hasta bajar el CH al 30 %, punto de saturación de la fibra, una vez en ese porcentaje se debe continuar con el proceso bajo sombra para evitar hendiduras, hasta llegar a menos del 19 % (GOCDX NTC, 2017), (MAVDT, 2010). La medición del contenido de humedad se realiza por el método gravimétrico y la determinación de la curva de secado permite calcular de manera teórica y gráfica el contenido de humedad en un tiempo determinado (MAVDT, 2010) y (Montoya, 2006).

2.3 Uniones con bambú

Las uniones con bambú constituyen el principal problema tecnológico que se presenta en las estructuras por lo que se requiere especial atención de parte del diseñador. El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2006. Norma Técnica Colombiana 5407. Uniones de estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth. 8 p., establece los requisitos de los tallos para la construcción de estructuras, sobre todo en el sistema de uniones.

De acuerdo con la norma ISO TC 165 N-313: Bambú Estructural Design, establece que. “Las uniones deberán ser diseñadas con el propósito de lograr continuidad entre los elementos estructurales lo cual incluye una adecuada transmisión de fuerzas y deflexiones, las mismas que deben mantenerse dentro de los rangos aceptables”. Ya que el bambú es un material anisótropo, las propiedades longitudinales son mucho más resistentes que las horizontales, debemos tener en cuenta y aprovechar las ventajas del bambú y defendernos de sus desventajas. Buscar la adaptabilidad a sistemas modulares a fin de prefabricar las articulaciones e incrementar el nivel de desarrollo de la autoconstrucción.

MAVDT (2010) establecen las condiciones y procedimientos para la construcción de los sistemas de unión, tipos de cortes, uniones con varilla roscada a tensión paralela y perpendicular a la fibra y compresión perpendicular a la fibra.

Los sistemas de unión son importantes en la construcción con bambú son a menudo elementos que pueden facilitar la obra además de economizarla, las uniones en lugares sujetos a desastres naturales, deben reforzarse, y se debe buscar la durabilidad, resistencia, el costo y el fácil manejo (Saleme, 2011).

En nuestro país la investigación y experimentación de uniones con bambú no se ha desarrollado, las aplicaciones son derivadas de otros países donde la construcción con bambú tiene mayor aceptación.

2.3.1 Tipos de uniones.

A lo largo de la historia se han utilizado diversos tipos de uniones con diferentes materiales, hay tradicionales con amarres, cortes a boca de pescado, con varilla roscada y tecnificadas con la aplicación de dispositivos de rotación libre para estructuras espaciales. Los tradicionales con amarres, utilizado para estructuras temporales limitado a poca carga, constituye la forma más simple y artesanal. Hidalgo (1983) recomienda dependiendo la temporalidad de la obra, amarres cuadrados para unir piezas verticales con horizontales, en aspa se utilizan para unir piezas o riostras diagonal. Para la construcción de plumas bípodes y trípodas, emplea 4 sistemas, amarre de tijera se utiliza en la construcción de plumas sostenida con tensores para levantamiento vertical de cargas. El mismo amarre, pero con otro método se diferencia en que los extremos de la cuerda se amarran envolviendo las lazadas horizontales. Amarre para trípode, la cuerda se entreteje horizontalmente entre los bambúes y luego verticalmente. Amarre para trípode, los tres bambúes se envuelven horizontalmente con la cuerda y luego verticalmente (Imagen 3).

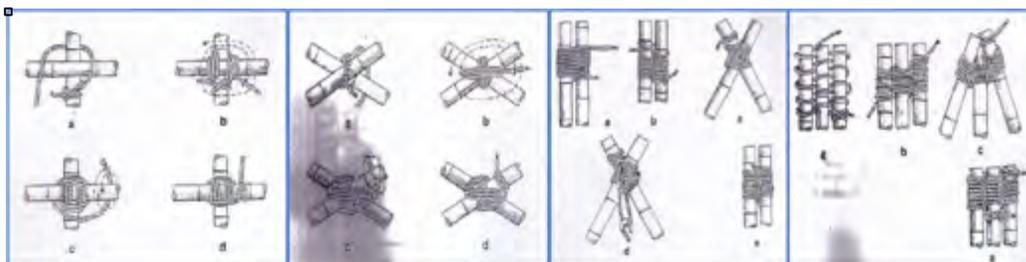


Imagen 3. Tipos de amarre. Fuente: Hidalgo, 1983

Las uniones clavadas son de uso temporal, para esfuerzos pequeños, no se recomiendan por la penetración y el impacto de los clavos ocasiona fisuras por las fuerzas que actúan de manera perpendicular a la fibra, donde la resistencia es muy baja y tiende a rajarse, nunca deben usarse como uniones resistentes entre elementos estructurales.

Uniones zunchadas, para transferir los esfuerzos de tensión a través de los elementos rollizos, en elementos estructurales perpendiculares o como unión entre dos elementos longitudinales, se utilizan soleras metálicas, fibras sintéticas de alta resistencia a la tensión, atornilladas por medio de varilla roscada, con estos materiales se pueden lograr uniones articuladas, la resistencia de la solera se debe sumar a la resistencia propia del bambú.

Uniones con varilla roscada, se utilizan como conectores entre varios bambúes, con una o varias varillas, los entrenudos donde atraviesa la varilla se recomienda

rellenarse con mortero, principalmente para evitar el aplastamiento de los tallos, para evitar que las varillas se desplacen y darle mayor resistencia ante esfuerzos de trabajo. NSR 98, Capítulo E7-24, ICONTEC, (2006), NTC, 5407 hacen referencia a este tipo de uniones, recomiendan el diámetro mínimo no debe ser menor a 10 mm, con tuerca y arandela en los extremos, la varilla debe ser galvanizada. El uso de los tornillos puede ser de forma axial, los tornillos se retienen por las tuercas que se encuentran embebidas en el mortero, en cada entrenudo que atraviesan, la función del mortero es transferir los esfuerzos de tensión a los nudos en forma de empuje (Imagen 4).

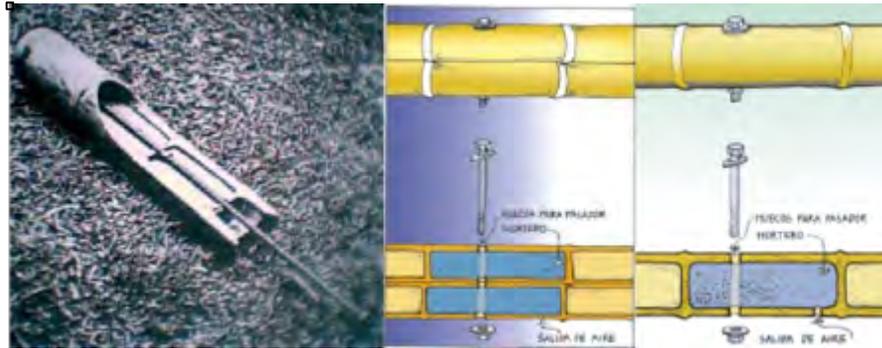


Imagen 4. Varillas en forma axial y transversales. Fuente: Arq. Jaime Med. Colombia, (Manual de construcción Sismo resistente de Viviendas en Bahareque Encementado, 2007).

Para la unión de dos tallos se colocan tornillos transversales, funcionan como pasadores, se apoyan en las paredes del bambú, es recomendable el entrenudo relleno con mortero proporción 1:3 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ACIS, 2007) y (Manual de Construcción Sismo-resistente de Viviendas en bahareque Encementado, 2007) (Imagen 4).

2.3.2 Uniones estructurales

Las uniones entre elementos verticales y horizontales son los más utilizadas en la construcción, entre columnas y vigas para transmitir la carga de las cubiertas a la cimentación, se encuentran trabajando a compresión, la más usual es el soporte con acoplamiento de boca de pescado y las uniones inclinadas entre los elementos verticales y horizontales utilizados en cubiertas y refuerzo en la cimentación.

En las uniones tradicionales, la forma cilíndrica y hueca es el primer reto para las uniones, la baja resistencia a las fuerzas de cizallamiento, especialmente en los extremos, el bambú es un material que una vez agrietado tiende a aumentar gradualmente la fisura, se deben de excluir los clavos y los tornillos ya que estos abren las fibras y provocan daños.

Este tipo de uniones, emplea pasadores y anclajes para mayor seguridad en la estabilidad de los elementos verticales y horizontales; se consideran 4 tipos de anclajes. Unión con amarre y clavija, la clavija se puede colocar en la columna ya sea paralela o perpendicular a la viga. Boca de pescado con clavija. Unión con anclaje de madera, se emplea también invertido. Unión con anclaje metálico, se emplea en diversas posiciones (Hidalgo, 1983) (Imagen 5).

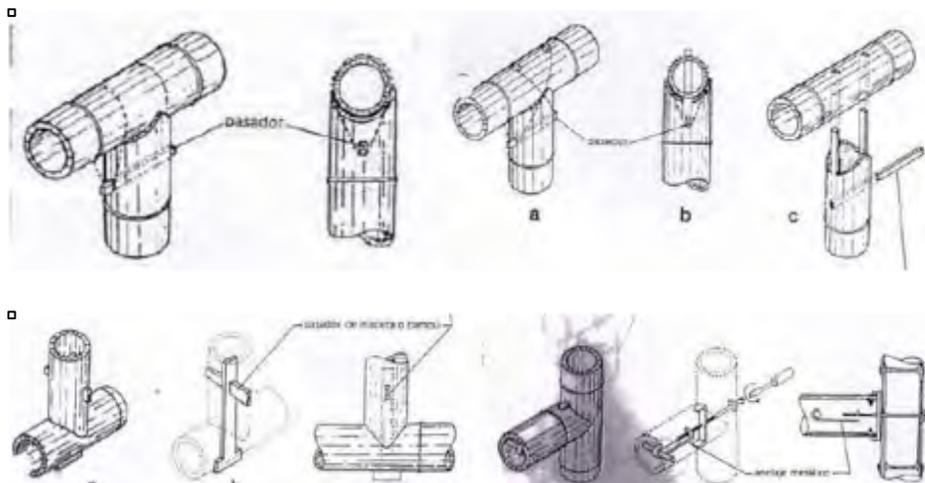


Imagen 5. Tipos de anclaje. Fuente Hidalgo, 1983

Las uniones en los extremos del bambú, utilizado como vigas en entrepiso están sujetas a grandes esfuerzos verticales que pueden romperlo, se debe evitar esa forma de colocación, en caso contrario reforzarlo con metal, madera o relleno de mortero (Imagen 6).

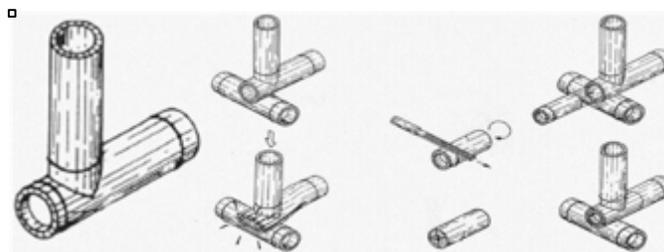


Imagen 6. Uniones en extremos del bambú. Fuente Hidalgo, 1983

Existen soportes de elementos horizontales dobles y cuádruples, la viga central tiene una gran diversidad de aplicaciones en la construcción de estructuras para puentes y de instalaciones rurales, la viga doble lateral, cada una de las vigas se amarra independientemente del soporte lateral y entre sí y las vigas dobles laterales con los mismos usos (Imagen 7).

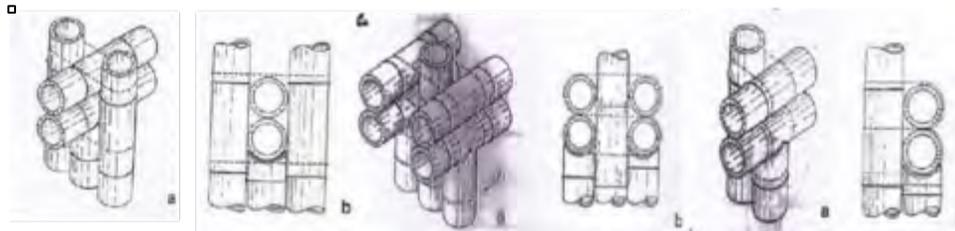


Imagen 7. Soportes de elementos horizontales. Fuente Hidalgo, 1983

Camacho y Páez (2002) experimentaron diferentes tipos de uniones con soporte vertical, horizontal, diagonal y marcos con soportes horizontales, se utiliza una columna secundaria conectada a la columna y a la viga principal para cargar la viga, la gran ventaja de este sistema radica en la unión, y no interrumpe las columnas principales, lo que permite unirse, apoyar entrepisos, cubierta y transferir los esfuerzos de manera continua a la cimentación (Imagen 8).

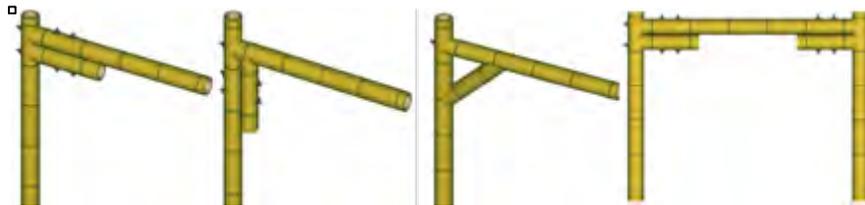


Imagen 8. Uniones con soporte vertical, horizontal, diagonal y marco. Fuente: Camacho Reyes & Páez Ramos, 2002).

Las cargas aplicadas fueron de 1.65 kN para la columna con soporte vertical, 0.97 kN para la columna con soporte horizontal, 1.22 kN para la columna con soporte diagonal y para el marco 14.4 kN, todas las uniones fueron rellenas con mortero.

2.3.3 Unión estructura-cimiento- muros

El peso de la estructura portante de bambú es muy bajo comparado con el sistema tradicional de construcción, presentan poca oposición contra las cargas horizontales por efecto del viento, de ahí su importancia de anclarse a la cimentación, con uniones con varilla roscada, con los entrenudos rellenos con mortero, los esfuerzos a los que está sometida es a tensión paralela a la fibra y al empuje lateral, la carga a la cual está sometida se transmite por esfuerzos de compresión, a lo largo del tallo hasta la cimentación.

El sistema de unión debe estar conectado efectivamente, sea directamente con los dados de la cimentación o con las cadenas del desplante del sobrecimiento. Los muros como elementos divisorios, deben estar sujetos a la estructura y anclados a la cadena de sobrecimiento a través de soleras de madera fijas a las cadenas (Imagen 9).

soportó 533 kg como carga límite elástica y 776 kg de carga última. En la armadura con relleno con mortero encontraron que resiste una carga última de 1320 kg (imagen 11).



Imagen 11. Conexiones con mortero y perno roscado. Fuente: (Nolivos Valiente & Yacelga Díaz, 2010).

2.3.5 Unión Clavijo-Trujillo

En 1998 estudiantes de la Universidad de Colombia proponen uniones de alta resistencia para estructuras reticuladas utilizando la *Guadua* como elemento primordial. Ensayaron 100 probetas de diferentes espesores y distancias internodales, diámetro etc. Hicieron dos propuestas, una con un elemento metálico externo y el llenado de los nudos con cemento y arena (Imagen 12).



Imagen 12. Unión Clavijo-Trujillo.

Los valores obtenidos fueron 96 kN para la primera propuesta, el defecto de estas uniones es que sufren grandes deformaciones antes de fallar, para la segunda propuesta se logró 60 KN a la tensión, por lo que se puede considerar al bambú una opción viable para cualquier proyecto.

2.3.6 Unión Simón Vélez

La unión se encuentra rellena de mortero en el entrenudo con una varilla embebida que no cause problemas a la pared del bambú, la intención es transmitir las cargas de la barra de acero al mortero, que funciona como diafragma, mejorando su capacidad de resistencia a la ruptura y a tensión. En la unión se busca que el bambú trabaje a la compresión el acero a flexión y el concreto a tensión.

La unión tiene resistencias de 35 kN, con el tallo lleno de mortero, se puede mejorar utilizando un anillo de metal al exterior, lo cual daría un incremento de resistencia del 30 %. Se deben de tener en cuenta en este tipo de uniones, la selección de los tallos, mayores de 4 años, tratados y secos, para prevenir el agrietamiento, las perforaciones para el vaciado del concreto no pueden ser superiores de 2.5 cm de diámetro, no se debe perforar en la parte central del tallo con un espesor superior a 1 cm, al inyectar el cemento se debe garantizar el vacío mínimo en los tallos (Imagen 13).

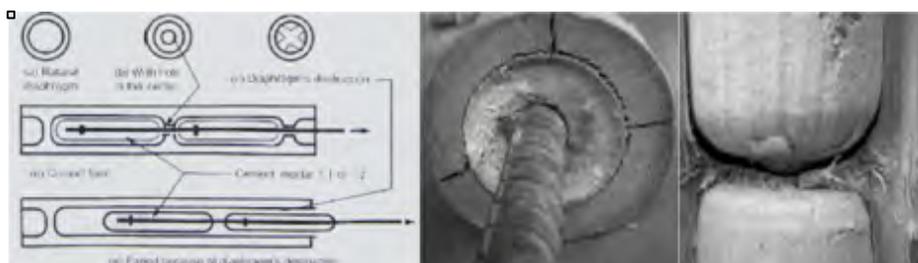


Imagen 13. Unión Simón Vélez

Con este sistema se han realizado las construcciones más grandes del mundo hechas en guadua, un ejemplo de ellos es el pabellón Zeri (Zero Emissions Research & Initiatives) realizado para la Expo-Hannover 2000 en Alemania, las pruebas realizadas determinaron una resistencia mayor a los 400 kg/m²

El sistema tiene ciertas desventajas, porque no se logra aprovechar el potencial de la *Guadua* con el tipo de unión, no se recomienda aplicar cargas de tensión superiores a 10 kN por tallo, el mortero y la *Guadua* se comportan de forma distinta con respecto a la humedad o temperatura (poseen coeficientes de expansión térmica y contracción e hinchazón por la humedad muy diferentes), generalmente ocurre que el mortero se afloja en el interior de la guadua, reduciendo la resistencia de la unión, además de que requiere gran cantidad de mano de obra, cerca del 80 % de los costos, son por mano de obra (Palacios López, 2009).

2.4 Normatividad

En México la normatividad existente sobre el uso del bambú como material estructural, se consigna en las normas técnicas complementarias para el diseño de estructuras de madera del reglamento de construcciones de la ciudad de México, se establecen las recomendaciones de tres especies para ser usadas estructuralmente, la *Guadua angustifolia*, la *Bambusa oldhamii* y la *Guadua aculeata*, las dos primeras introducidas y la última nativa. Las construcciones que se realizan en nuestro país se apoyan en la experiencia y normatividad extranjera, a la fecha son pocos los estudios realizados para la identificación de las

características físicas y mecánicas de la *Guadua aculeata*, y casi no existen en sistemas estructurales por ello, se toman las normas colombianas, quienes van a la cabeza en la reglamentación en construcciones bambú y en toda la cadena productiva desde el cultivo hasta el aprovechamiento. Sin embargo, los comportamientos del bambú son distintos, aun cuando son extraídos del mismo predio, de ahí la importancia de realizar investigaciones que conduzcan al conocimiento profundo para establecerlo en normas y reglamentos propios de nuestras especies.

La normatividad existente proviene de países donde el bambú se utiliza de manera cultural, sobre todo en la construcción.

El ICONTEC, (2006) NTC 5300 y 5301, 5405, 5407, 5525, 5227 y 5829, establecen los procedimientos de la cadena productiva de la guadua, a partir de la extracción hasta la obtención de latas y tablillas de *Guadua angustifolia* Kunth.

Para la construcción de estructuras con *Guadua* existe un reglamento colombiano de construcción sismo-resistente MAVDT (2010) donde se establecen los requisitos de diseño estructural y sismo resistente de estructuras cuyo elemento resistente principal es el bambú.

Las normas establecidas en otros países son derivadas de las normas colombianas, como la norma ecuatoriana de la construcción NEC, capítulo 17. Utilización en la construcción de la *Guadua angustifolia* del mes de enero de 2013.

En Perú, establecieron los lineamientos técnicos que se deben seguir para el diseño y construcción de edificaciones sismo- resistentes con bambú: *Guadua angustifolia* y otras especies de características físico mecánicas similares, con la norma técnica E-100- Bambú.

Para la experimentación del secado y determinación del contenido de humedad por el método gravimétrico se utilizó la norma de la ASTM Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials

Para determinar el número de muestras para los ensayos mecánicos de las uniones se consultaron Norma ISO/22157-1:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties - Part 1: Requirements.

Norma ISO/22157-2:2004 Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory manual.

2.5 La vivienda totonaca.

2.5.1 Vivienda prehispánica

La arqueología ha hecho posible el acercamiento para conocer como vivían quienes nos precedieron, como se transformó la casa prehispánica, a partir de entender el pensamiento, mitos y cosmovisión prehispánica, pues en ella está inmersa la concepción del mundo. Ha encontrado evidencias del primer tipo de habitación doméstica construida por el hombre, se ubica hacia el año 3000 A.C (INFONAVIT C.P., 1999).

Los datos arqueológicos indican que las plantas de estas casas eran fundamentalmente cuadradas o rectangulares, con pisos de barro que en ocasiones muestran toda una técnica específica para su construcción, que involucra la colocación de diversas capas de materiales para hacerlos más resistentes. Las paredes de bajareque fueron comunes. La distribución interna de la casa es importante, pues define áreas de actividad, se han detectado fogones, instrumentos de molienda y entierros, que revela la practica funeraria de colocar el cadáver debajo de los pisos o cerca de las paredes, en algunos casos se ve que el área de la cocina pudo estar fuera de la casa en un lugar techado anexo. A partir de este momento la casa tradicional no va a sufrir cambios cualitativos en su conformación y construcción, hasta el momento de la conquista y en algunos casos hasta hoy en día. El arqueólogo Eduardo Matos Moctezuma, menciona que la vivienda prehispánica antes de 1500, revela las distintas organizaciones espaciales, la diversidad de materiales y sistemas constructivos, siempre relacionados con las actividades humanas, la vivienda siempre asociada, fundida con el trabajo (artesanal o rural) y también con la muerte (INFONAVIT C.P., 1999).

Las viviendas se caracterizaban por tener diferentes tipos de patrones de construcción, debido al clima se colocaban tres muros de adobe y uno de bajareque, orientado a los vientos dominantes, los pisos eran de tierra compactada, postes gruesos en las esquinas que funcionaban como columnas, la estructura de la cubierta con armazón de madera y la cubierta de palma o zacate, los muros de madera, carrizos, varas, cañas, atados con bejucos. Los techos a 4 aguas definen a la región del Totonacapan, la orientación de las viviendas dependía de los nortes, las casas circulares eran campamentos temporales y los rectangulares de ocupación sedentaria (Manzanilla Naim, 1986).

Se concluye entonces que la vivienda prehispánica como objeto cultural con valores integrados a través del tiempo, se encuentra vinculada a una forma de vida, a las creencias religiosas, costumbres. La forma de construcción es un reflejo

de la organización social, del medio ambiente y del desarrollo tecnológico, cuya ubicación, diversidad de formas, dimensión y técnicas constructivas, denotan un grado de desarrollo e influidas por el material, así como la pertenencia a un estrato social. Su disposición en el espacio, su forma, su uso y tamaño, dependían de la organización social y política del espacio.

La vivienda prehispánica siempre relacionada con la muerte, se organiza a través de un patio central, alrededor de ella existen espacios de identidad, donde se llevan a cabo relaciones formales e informales, para participar en la política y cumplir con las tradiciones religiosas.

2.5.2 Vivienda Totonaca

Palacios (2009) define a la casa totonaca como el recinto sagrado de la familia. Al momento de edificarla se realizan rituales, pidiendo buena salud y alejando enfermedades y desgracias naturales. Dirigido a los dueños de la tierra, del agua, del aire y del fuego, a fin de obtener de su parte augurio de un buen porvenir para los futuros moradores. El espacio que ocupa la construcción tiene un carácter sagrado, la estructura reproduce el cosmos totonaco semeja la arquitectura de los poderes sobrenaturales que rigen el universo.

Su permanencia está caracterizada por tres rasgos fundamentales uno está representado por los tipos y patrones de habitar y construir e incluyen su particular menaje; el segundo se identifica con los modos de organización familiar que tradicionalmente han fluido en la conformación tanto del asentamiento como de las habitaciones dentro del solar; y el tercero alude a la presencia de la comunidad a través de la forma de colaboración llamada mano vuelta, genera ayuda a la familia que requiere de construir una nueva vivienda (Kelly, Isabel y Palerm, Ángel, 1952).

Sánchez (2005) menciona que el hábitat totonaco surge desde la cosmogonía de esta civilización, su origen se encuentra en la cultura indígena mesoamericana y en aspectos del cristianismo. El catolicismo de los indígenas totonacos combinó elementos de ambas tradiciones para crear una religiosidad propia; ésta enfatiza la existencia de seres sagrados que tienen dominio sobre aspectos y entornos particulares del mundo, es por ello que el proceso constructivo del hábitat totonaca va de la mano con ritos o ceremonias realizadas antes, durante y después de este. Sus concepciones sagradas del tiempo y del espacio están fuertemente centradas en la fertilidad de la tierra.

La creación del hábitat totonaca es muy importante, no solamente está construyendo una casa, si no el lugar donde podrá estar en contacto con sus creencias y creará un entendimiento con el medio natural al que le da mucha importancia.

Esto lleva a considerar al hábitat totonaco como foco de relaciones que podemos establecer entre dos dimensiones: casa- orgánica y casa-cósmica. La edificatoria ritualizada es una expresión que corresponde a la posición del indígena ante el cosmos; como integrante de él, establece canales de diálogos-rituales, necesarios para establecer lazos de armonía con sus lúmenes, con su hábitat y con sus congéneres. A partir de ahí, le es permitido crear su cobijo.

Sánchez (2005) sostiene, el hábitat basado en sus mitos y ceremonias es el componente fundamental de lo vernáculo, que le otorga identidad a la vivienda. Los materiales que estructuran la vivienda totonaca están asociados a tradiciones que, por su significación llevan a reconocerla como una unidad compuesta por cuatro clases de espacios míticos compuestos verticalmente:

1. “Inframundo, espacio sustentador de la vivienda.
2. Dueños y truenos, espacios construidos en la superficie terrenal donde habitan los hombres.
3. El espacio de los cielos donde proliferan las estrellas ángeles y vientos.
4. Espacio de la vivienda”.

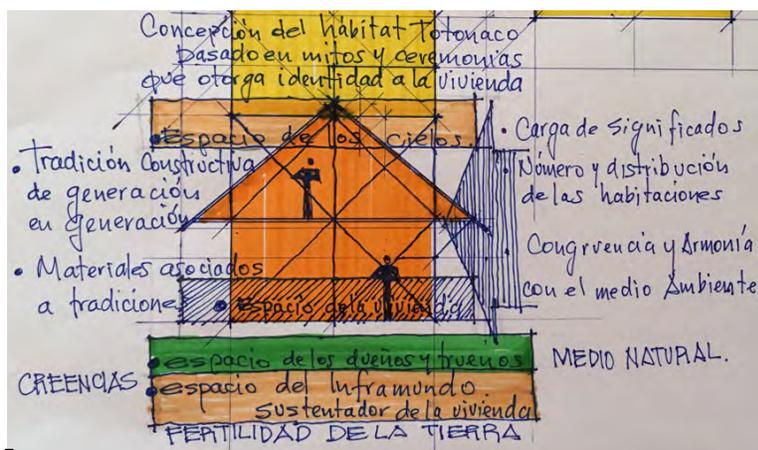


Imagen 14. Concepción del hábitat totonaco. Fuente: autor

Destacan tres aspectos importantes en la construcción del hábitat totonaca:

- a) “La carga de significados que representa la edificación totonaca.
- b) El número y distribución de las habitaciones.

- c) Su congruencia y armonía con el medio ambiente expresado en el tipo de materiales utilizados en su construcción” (Imagen 14).

Todo ello representa la tradición constructiva transmitida oralmente por las generaciones anteriores, sin lugar a dudas contienen mucho del conocimiento prehispánico.

La construcción material de alguna vivienda dentro del hábitat va de acuerdo con la temporada de sequía y al ciclo de actividades agrícolas, determinadas por los periodos de lluvias, cuando la labor en el campo le permite al indígena organizar su tiempo y planea una nueva vivienda o el arreglo de la casa familiar.

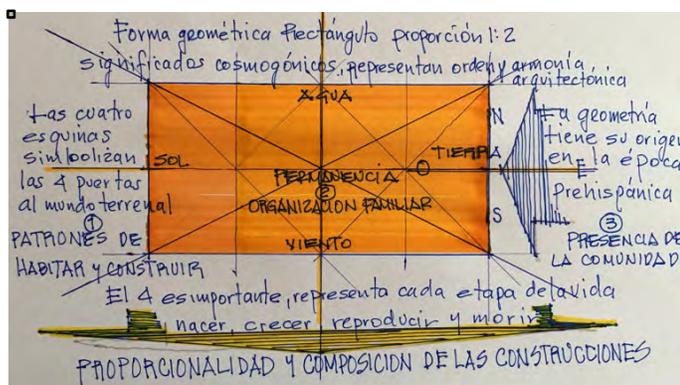


Imagen 15. Conceptualización y proporción de la vivienda totonaca. Fuente: autor

La conceptualización de la vivienda totonaca surge desde la época prehispánica y ha prevalecido hasta la época actual, para ellos la forma geométrica que rige sus construcciones es el rectángulo en proporción 1:2 una de las figuras geométricas básicas, usada desde la época prehispánica por la carga de significados cosmogónicos que esta civilización le ha adjudicado, que han utilizado para manejar la proporcionalidad y la composición de sus construcciones, además de marcar orden y armonía arquitectónica. La casa totonaca se edifica a partir de cuatro esquinas, que simbolizan las cuatro puertas de entrada al mundo terrenal, las puertas entre el mundo de los vivos y de los muertos que equivalen al Sol, Viento, Tierra, y Agua, representan los cuatros puntos cardinales, se relaciona con cada etapa de su vida, nacer, crecer, reproducirse y morir (Imagen 15).

2.6 Prototipos de vivienda

2.6.1 Prototipos en México

En México los prototipos de vivienda con bambú se han desarrollado de manera experimental, sin estudios previos del comportamiento de las uniones

estructurales, sin conocer las condiciones del bambú en cuanto a madurez, época de corte, preservado y secado, requerimientos indispensables para predecir el comportamiento futuro. En la mayoría de los casos los tallos quedan expuestos a los agentes bióticos y abióticos, encargados de impactar negativamente la superficie externa e interna del tallo, disminuyendo el tiempo de vida. La falta de estudios conduce al empleo del bambú con cierta incertidumbre, al cabo de algunos años el efecto del tiempo se manifiesta de manera contundente hasta el punto del colapso. Los ejemplos donde se protege del intemperismo se encuentran en buen estado. Los sistemas constructivos son los tradicionales con cortes a boca de pescado, no se utiliza la prefabricación. En otros géneros de la arquitectura se utilizan las uniones con varilla roscada y los entrenudos rellenos con mortero. En general los procesos constructivos son copiados del exterior, la pérdida del conocimiento prehispánico sobre el uso del bambú en la vivienda tradicional y el uso del bajareque en los muros, ha sido gradualmente derivado del mal uso que le damos y de la idea arraigada de utilización para vivienda de “los pobres”.

Los sistemas constructivos con bambú empleados en la construcción de varios prototipos de vivienda tradicional en nuestro país, son semejantes con algunas adecuaciones particulares. La cimentación corrida o aislada con materiales tradicionales, sobre ella se desplanta un muro perimetral donde asienta una cadena de concreto armado que sirve como desplante de la estructura, normalmente a 60 cm del suelo, aislándola de la humedad. La estructura es construida en sitio, compuesta con elementos estructurales que trabajan independientemente, en otros casos utilizan el sistema de par y nudillo, normalmente expuesta al intemperismo, en pocos casos se oculta y protege con aplanado con mortero. Las uniones son a boca de pescado, pico de flauta, con varilla roscada, en algunos casos las uniones son rellenas con mortero. Los entrepisos armados con estructura de bambú rollizo, descansan sobre las columnas desplantadas desde la cadena, el piso de esterilla con un firme de concreto con malla electrosoldada, en otros casos con doble esterilla, reglilla o madera como acabado. La estructura de la cubierta del mismo bambú en forma de largueros que unen las vigas transversales o par y nudillo, cubierta con lámina de zinc, palma, o teja sintética. Los muros son divisorios, normalmente se cubre el vacío que hay entre los elementos estructurales, se utiliza el sistema de bajareque, el recubrimiento es de mortero, tierra, arena-cal, etc. Al interior se utilizan la reglilla o la esterilla como acabado, en el caso de baños y cocina se aplica un mortero, con acabado.

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
Caso de estudio: Estado de Veracruz.



Imagen 16. Prototipos de vivienda en Coatepec, Carrizal, Ver., y Puebla. Fuente: <http://www.bambumex.org/paginas/fotogaleria3.htm>

El primer prototipo, fue realizados por el Arq. Luis Montiel, el segundo por el señor Pablo Hernández Cid, constructor pragmático con mucha experiencia, el tercer prototipo fue construido por el Arq. Armando Rodríguez (Imagen 16).

2.6.2 Prototipos internacionales

Los prototipos de vivienda a nivel internacional que sirvieron de referencia para esta investigación se clasificaron por el uso del material como elemento estructural, el uso de armaduras en las cubiertas, elementos prefabricados para los muros interiores y exteriores, la cimentación con materiales tradicionales, los sistemas de unión de fácil fabricación para las armaduras, anclaje de la cimentación, entresijos y cubierta.

Saleme (2011) y un grupo de investigadores de la Facultad de arquitectura y urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán, desarrollaron un prototipo de vivienda a fin de demostrar que el bambú es un material adaptable a las necesidades locales, que admite variados niveles de complejidad tecnológica, que puede ser trabajado con mano de obra no especializada, con recursos materiales y humanos existentes en la zona, permitiendo su utilización con sistemas de autoconstrucción. El prototipo tiene una superficie cubierta de 65.50 m² de forma cuadrada, con los siguientes espacios, cocina, estar-comedor, baño y dos dormitorios, se estableció un sistema estructural de cubierta independiente, del sistema de cerramientos, distinguiéndose fácilmente de la volumetría (INMeT, 2011).



Imagen 17. Funcionamiento, estructura y cubierta prototipo de vivienda. Fuente: (Saleme, 2014).

La vivienda se construyó con un sistema constructivo mixto, cimentación de concreto simple y un murete de tabique perimetral, para evitar el contacto del bambú con el suelo. La cubierta a cuatro aguas, construido mediante una trama estructural de reticulados planos de cordones paralelos de bambú, se apoyan sobre columnas de sección compuesta del mismo material. Los cerramientos verticales, exteriores e interiores se utilizaron paneles prefabricados construidos con parantes verticales, diagonales rigidizantes y elementos horizontales, todos de bambú, colocándose en ambas caras esterilla, terminados con dos capas de ferro cemento interior y exterior y revocados con cal (Imagen 17 y 18).

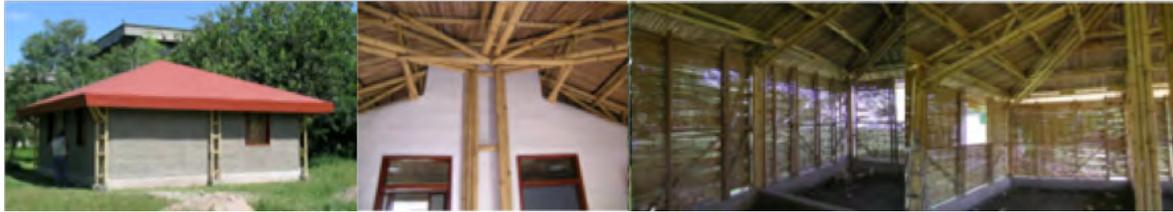


Imagen 18. Prototipo de vivienda, cubierta y estructura interior. Fuente: (Saleme, 2014).

Los tabiques exteriores tienen un aislamiento térmico de poliestireno expandido de 5 cm de espesor. El techo está compuesto por un cielorraso de esterilla, aislado térmicamente como los cerramientos verticales y una cubierta de ferrocemento, impermeabilizada con una pintura hidrófuga (Saleme, 2014).

En Guayaquil Ecuador, un sistema que ha tenido mucho éxito por el sistema constructivo e impacto social, a través de la fundación “El hogar de cristo” con módulos prefabricados, para viviendas de 24 m², aplicando un sistema de autoconstrucción, los módulos prefabricados con bastidores de madera revestidos con latas de bambú, cubierta de lámina, armados en 8 h (Imagen 19).



Imagen 19. Vivienda social “El hogar de cristo”, prototipo de vivienda, Arq. Simón Vélez.
Fuente: <https://hogardecristo.org.ec>

El Arq. Simón Vélez construyó un prototipo de vivienda en Colombia, el sistema constructivo es mixto, similar a los prototipos anteriores, la vivienda se construye en sitio, la cimentación son sobrecimiento con materiales tradicionales, donde se anclan las columnas, las uniones con varillas roscadas, los muros perimetrales construidos con una estructura de tallos rollizos, con malla metálica engrapada a la estructura, recubiertos con mortero, para garantizar la protección del bambú (Imagen 19).

CAPÍTULO III ANTECEDENTES.

3.1 El bambú en la construcción en México

El bambú se utilizaba antes de la conquista en innumerables actividades del desarrollo de la vida de los pobladores, fue calificado por los españoles como material para “los pobres”, desmotivando cualquier uso por parte de los españoles o la nueva clase social formada por los mestizos. Por parte de los indígenas se sigue usando hasta nuestros días, prueba de ello es que existen comunidades indígenas que siguen construyendo sus viviendas con bambú. La influencia de la arquitectura española sobre la indígena no tuvo cambios sustanciales mantuvo las tipologías prehispánicas de acuerdo con los modelos regionales, se conservó la tipología original y la consolidación de numerosos pueblos indígenas en sus lugares originales. La tipología de la choza indígena trascendió durante toda la época colonial hasta nuestros días (INFONAVIT L. V., 1998).

En la huasteca las formas utilizadas en la vivienda tradicional eran circulares, rectangulares con paredes con bambú (otate) en forma de bajareque, chicheve, techo cónico de palma, con madera y bejuco, en algunos muros los bambúes se dejan aparentes, sin enjarrar para que permitan la ventilación e iluminación (López morales, 1987). En Tamaulipas los techos son de palma, con estructura a base de bambú, los muros con tapial o bajareque (Cedeño Valdiviezo & Irigoyen Castillo, 2011).

En Tabasco es tradicional el uso de caña brava (una variedad de bambú) recubierta de guano. En Veracruz el otate se emplea en toda la estructura del techo, cubierta con hojas de guano, limitándose al uso en la cocina, lugar independiente al resto de la casa (Cortés, s/f).

En Oaxaca existe la casa de palma de planta rectangular, la cubierta con morillos, a dos aguas, cubierta con palma o zacate, las paredes de zarzo y argamasa (bajareque), tienen una doble protección de ramas entrelazadas a una distancia de 5 a 8 cm llenando el espacio intermedio con una mezcla de barro rosa, paja y piedras pequeñas, cubriendo toda la superficie por fuera y por dentro (López Morales, 1987). Existen regiones de los estados de Jalisco y Colima, en donde pueblos enteros utilizan otate en un sistema de bajareque.

3.1.1 La vivienda tradicional

El Consejo Internacional de Monumentos y Sitios ICOMOS (1993) define a la arquitectura vernácula como:

“aquella que comprende la vivienda (...), producto de la participación comunitaria, que mantiene sistemas constructivos resultado de sus recursos disponibles y utiliza tecnologías producto del conocimiento colectivo, tanto de su concepción como en su modo de ejecutarla, no requiera de técnicos para construirla, (...) el usuario y la comunidad misma participan activamente”.

La declaratoria de la UNESCO (2009) confirma los componentes de sostenibilidad de la vivienda tradicional producida en el ámbito rural, los conocimientos tienen sólidas raíces, deben protegerse y reactivarse, la continuidad y el cambio son principios del dinamismo del conocimiento “tradicional”. La arquitectura tradicional, es didáctica y homogénea, producto de conceptos y valores transmitidos de generación en generación, existe una fuerte relación con la sociedad, se construye con el trabajo colectivo, con los materiales a disposición, no requiere mano de obra especializada, integrada al contexto cultural y natural, es versátil y durable, incorpora innovaciones, mantiene viva y actualizada la tradición constructiva.

Ramírez Vázquez agrega que la vivienda tradicional expone sentimiento, voluntad y esencia de la naturaleza libre (Prieto, 1994). Los sistemas constructivos estarán siempre vigentes, pues corresponden al uso racional de los materiales, que los constructores tienen a su alcance. Es la solución obvia a los problemas que plantea el clima, obteniendo de manera natural resultados formales, se ve plenamente integrada al medio.

Bernard Rudofsky (1964) establece que la vivienda tradicional es una arquitectura que no evoluciona, permanece casi inmutable y sus formas se remontan a los albores de la civilización, por lo que tiene un carácter “colectivo y anónimo”.

Amos Rapoport (1972) menciona.

“La casa no es una estructura, sino una institución creada para un complejo grupo de fines, porque la construcción de una casa es un fenómeno cultural, su forma y su organización están muy influidas por el = mileu= cultural al que pertenece, (...) la “función” era mucho más que un concepto físico o utilitario”.

Ekambi-Schmidt citado en Amos Rapoport (1972) es coincidente con algunos autores, menciona que la casa en realidad es el resultado de una sutil apropiación del espacio por sus ocupantes, quienes la impregnan con su ser, su concepción de vida, con su modo de habitar; asegura que:

“La habitación es tributaria de las tradiciones y las costumbres y al ser su duración mayor que la de la vida humana, transmite al hombre la manera de vivir de sus antepasados y ayuda así a perpetuar las características comunes de una época”.

Moya (1982) utiliza el concepto de vivienda “evolucionada” para definir a la vivienda tradicional, preindustrial o híbrida.

“como un modelo más flexible, que las originales (...), pero conserva una gran parte de sus técnicas, funcionalidad y materiales, vegetales y geológicos, conserva el sistema de participación solidaria en su construcción, su topología, multifuncionalidad, escala y forma. Utiliza algunos materiales preindustriales, pero los ha incorporado a su habitabilidad cultural”.

La vivienda tradicional campesina, guarda una similitud con la vivienda prehispánica, donde la gran mayoría de la población vivía, a pesar de las influencias de los conquistadores sufridas a través del tiempo. Es el resultado de la racionalidad, economía, funcionalidad, belleza y sobriedad, construida con las costumbres ancestrales y el ingenio del hombre, su forma, ubicación y tamaño, obedecen a necesidades de tradición, cultura y geografía, refleja la manera de ser, de vivir, de pensar y de crear de las comunidades, los sistemas constructivos son vigentes, se manifiestan en el uso racional de los materiales que se encuentran a disposición. Los resultados formales, son una solución natural a las fuerzas físicas, plenamente integradas al medio.

La vivienda tradicional ha sufrido una serie de cambios por la influencia exógena del mundo globalizado, a pesar de ello mantiene viva y actualizada la tradición constructiva, pues se ha mantenido dinámica y flexible, ha incorporado las innovaciones producto de las nuevas tradiciones o componentes de ella. Este hibridismo conserva una gran parte de las técnicas, materiales y sistemas constructivos, forma, escala y la participación comunitaria.

Los sistemas constructivos de la vivienda tradicional, por ejemplo, los compuestos con postes y vigas como estructura, constituidos por troncos y morillos, los ensamblajes son sencillos, de media caña, en vez de clavos se utilizan bejucos y mecates para los amarres. El carrizo y otros materiales se usaron en techos y muros, combinados con arcilla y paja produjeron el bajareque. El barro se usaba con otros materiales en los muros de bajareque y en los techos planos e inclinados de un agua (Prieto, 1994).

La vivienda campesina, está íntimamente relacionada con los materiales y recursos determinados por la ecología de cada lugar y con las técnicas constructivas que la tradición cultural de cada región apunta. Durante siglos se han utilizado los materiales que se encuentran a la mano utilizando su propio esfuerzo, el empleo de cualquier material parte de su abundancia en la misma zona, de la facilidad de extracción y transporte y de su experiencia para utilizarlo (Imagen 20).



Imagen 20. Estructura de la cubierta con bambú y sistema de bajareque con varas y carrizo.
Fuente: La vivienda campesina en México 1994.

El modelo de casa más frecuente en el campo mexicano es la vivienda con techo a dos aguas, por su altura resulta muy fresca, son ideales para zonas lluviosas, templadas y tropicales. Generalmente la altura del techo en las zonas lluviosas es mayor que la de los muros, su inclinación, varía en relación con el material del que está hecho y/o la cantidad de lluvia que tienen que enfrentar, la paja y la palma requieren más pendiente que la teja, entre mayor es la inclinación, mayor es la altura del techo (Imagen 21).

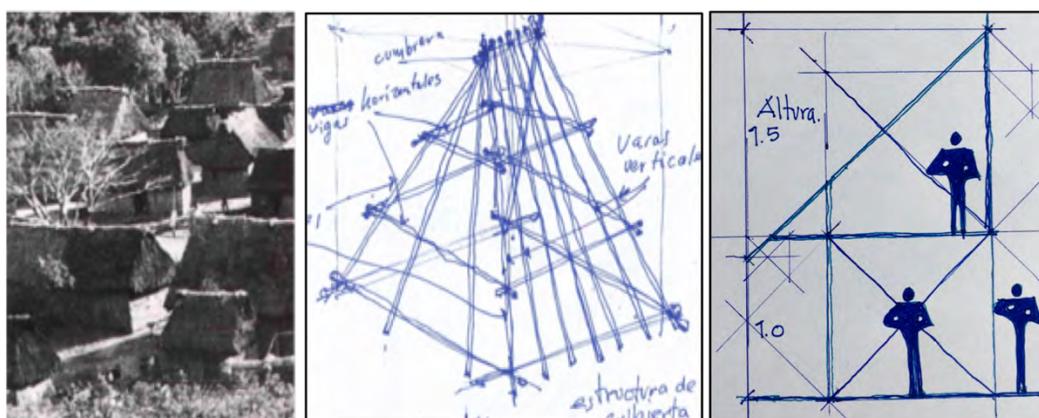


Imagen 21. Vivienda tradicional a cuatro aguas. Fuente: La vivienda campesina en México 1994. detalle de altura de estructura. Fuente: autor

La cubierta de cuatro aguas es característica de las viviendas tradicionales de la región Totonaca, la acentuada inclinación de los techos de estas casas, da como resultado una gran altura en las habitaciones, adecuadas para las zonas lluviosas, la geometría del techo de cuatro aguas no permite acumulación del agua de lluvia.

El ambiente provocado por el escaso calor radiante por los muros protegidos y la frescura de techos tan elevados, hace que esta casa sea idónea tanto para las regiones calurosas como para las zonas de clima extremadamente lluvioso (Imagen 22).

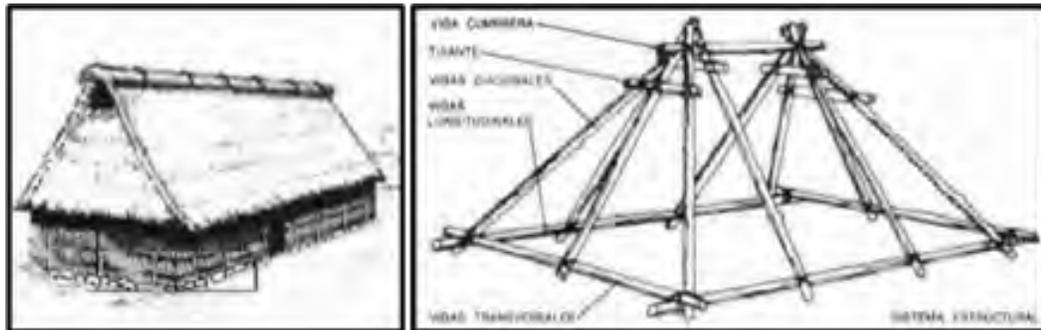


Imagen 22. Vivienda tradicional del Totonacapan, sistema constructivo, estructura y cubierta.
Fuente: La vivienda campesina en México, 1994.

La estructura de la cubierta está armada de tal manera que es independiente de los muros sobre los que descansa y que reciben la carga en forma continua a lo largo de los cuatro lados, ésta total independencia de la estructura, permite que los techos puedan cambiarse de lugar sin desarmarlos, o ser restituidos a los muros cuando los vientos los afecte, fundamentalmente resultan útiles por su gran estabilidad ante los sismos.

Se construyen con un marco horizontal del que parten una tijera cuyos hoyos se componen de dos cabrios o vigas inclinadas desde el caballete hasta el alero. El número de tijeras que deben colocarse para sostener un techo, varía según su longitud y el peso que vaya a soportar. La última tijera termina antes de llegar al extremo de los aleros laterales, para dar lugar a la colocación de los cabrios que forman estas dos aguas de la techumbre.

A manera de conclusión, la vivienda tradicional, campesina o rural, en las zonas tropicales establece una serie de parámetros en cuanto a la forma de su cubierta y su espacio, materiales, sistema constructivo y estructura, ligados de manera estrecha a los fenómenos socio-culturales, económicos, religiosos, disposición de materiales y a la tecnología vigente en ese momento.

La forma de la cubierta a cuatro o dos aguas está vinculada a la permanencia del espacio, sobre todo en la zona del Totonacapan, la organización espacial interna obedece a las actividades de descanso, alimentación y guardado de alimentos, la disposición de los muros, y la inclinación de la cubierta responden al clima, así como sus dimensiones en su altura. Los materiales son producto de la disposición, la región circundante, en el ambiente, normalmente perecederos, en los muros con el sistema de bajareque y en la estructura de la cubierta con bambú y morillos de madera, protegidos con zacate o palma, los cuales se encuentran en abundancia. La cimentación es a base de piedras y arcillas, colocados en el perímetro donde descansan los muros, ligados con argamasa de lodo o de arcilla, y los pisos compactados de arcilla. El sistema estructural es a base de tijeras armadas con morillos o bambú, amarrados con fibras naturales, con elementos que funcionan como vigas para armar la cumbrera, diagonales, longitudinales, transversales y tirantes, y, finalmente los horcones que funcionan como postes o columnas.

3.1.2 Uso del bambú en la vivienda.

El bambú como material de construcción se ha utilizado por innumerables pueblos, por la disposición natural del material y por el conocimiento ancestral de sus ventajas, facilidad de cortar, trabajar, transportar y la ligereza para su manipulación, han construido sus casas mucho antes de la conquista española. Los totonacas en Veracruz, los huastecos en Hidalgo y Tamaulipas, los aztecas y teotihuacanos en el centro de México, y los Mayas-Chontales en Tabasco, lo siguen haciendo, aun en estos días, a pesar de sus desventajas como la pudrición por el paso del tiempo y el ataque de los insectos. La *Guadua aculeata*, (tarro) en la región norte de Veracruz y Puebla, la *G. amplexifolia* (otate) en Tabasco y Campeche, para formar tableros para paredes y estructura de cubiertas, quienes tienen la práctica de cortar la *amplexifolia* con las fases lunares, su forma biológica sin espinas, hace que sea más fácil de trabajar que otras guaduas nativas. En Jalisco y Colima (*Otatea acuminata*) con el uso del sistema bajareque (se mezcla el barro y el zacate con la varilla del otate), similar al que se usa en los pueblos de Santa María Tatetla y Jalcomulco dos pueblos Veracruzanos en los que aún se acostumbra la construcción con bambú, con la misma especie de otate, se pueden observar casas con un acabado estructural impecable (Cortéz G., 2005).

Actualmente el uso del bambú en zonas rurales se ha reducido, especialmente en los climas cálidos y húmedos de los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca, a la construcción de cocinas o en el mejor de los casos a la parte estructural de las cubiertas, terminándose de cubrir con la palma que es conocida como guano (Cedeño Valdiviezo & Irigoyen Castillo, 2011).

Con relación a las transformaciones que ha sufrido la vivienda tradicional Rapoport (1972) menciona que el reemplazo de las formas antiguas se debe con frecuencia al valor prestigioso de la novedad y no a la falta de utilidad o a la reacción insatisfactoria con el modo de vida. La aceptación de las formas antiguas también puede deberse al valor prestigioso de lo antiguo y no a una validez o utilidad verdadera y continua de las formas, las soluciones propuestas como nuevas son, frecuentemente, idénticas a las utilizadas durante milenios en las culturas tradicionales (Imagen 23).



Imagen 23. Transformaciones de la vivienda rural actual. Fuente: autor

3.2 *Guadua aculeata*

La *Guadua aculeata* Rupr. ex Fournier, pertenece al Reino: *Plantae*, Phylum: *Magnoliophyta*, Clase: *Liliopsida*, Orden: *Cyperales*, Familia: *Gramineae*, Género: *Guadua*, Epíteto específico: *aculeata*, Nombre Científico: *Guadua aculeata* Rupr. ex Fournier, Autor del nombre (Instituto de Biología. “*Guadua aculeata* Rupr. Ex Fournier- IBUNAM: MEXU: PV1104941”, 2010).

3.2.1 Morfología y anatomía

Existe una diferencia entre raíz y rizoma, la raíz tiene la función principal de absorción de agua y nutrientes minerales desde el suelo a toda la planta, siempre crecen a partir del nudo, del rizoma o de los tallos, por naturaleza son geotrópicas positivas, su crecimiento se dirige hacia el suelo, el rizoma son tallos cuya función es la de sostén y almacenamiento de alimento. Tienen raíces no articuladas, no

tienen nudos ni entrenudos, el conjunto de raíces se puede nombrar como sistema radical de bambúes de tipo fibroso. El rizoma es un tallo subterráneo que se presenta en un gran número de plantas, es una característica que define a un bambú leñoso, su función es fijar al suelo con más fuerza la porción aérea de la planta misma, almacena agua y alimentos que la planta requerirá en épocas de escasez, cada segmento del rizoma tiene la capacidad de formar a otros más que se interconectan entre sí por el llamado cuello del rizoma, pueden ser leptomorfos (forma delgada), Paquimorfos (rizomas gruesos) (Aguilar Amar R., 2005).

Los tallos son articulados, lo que indica que es evidente la presencia de entrenudos separados por nudos. Cada tallo crece desde el ápice del rizoma y se reconoce que son tallos aéreos al compararlos con los tallos subterráneos

Al iniciar su desarrollo emergen como un brote desde el rizoma, cubiertos con hojas especializadas que protegen los tiernos tejidos de crecimiento, frente a los diversos factores del medio (caulinales). Son de forma cilíndrica y cónica, con entrenudos y nudos esparcidos de forma horizontal, que garantizan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia, está formado por fibras longitudinales que de acuerdo con su edad se lignifica, lo que hace que se tenga una extraordinaria resistencia. Es más agresivo para crecer que la *Guadua angustifolia*, es la más grande del género de las guaduas, llega a medir 25 m de altura, con espesor de pared de 2.5 cm, tiene espinas en los nudos de tallos y ramas, tallos erectos muy arqueados en la parte superior.

Hojas caulinales o cúlmeas de color café, coriáceas, poco comprimidas y aquilladas y más o menos estriadas. las cuales miden de 18 a 30 cm, sin aurículas persistentes en la base de los tallos las cuales cubren el tallo desde su nacimiento hasta su madurez, provistas de pelusillas como sistemas de defensa es muy irritante para la piel (Imagen 24) Proyecto Nacional de Bambú Costa Rica (1999); Nelly Belinda Falck (2003); Sánchez Domínguez, (2009); y Martínez Patricio (2012).



Imagen 24. Brote, entrenudos, hojas caulinales, rama central dominante con espinas. Fuente: autor.

Entrenudos verdes y huecos, densamente cubiertos con pelos comprimidos de color ámbar en la base, nudos más o menos engrosados, generalmente todos gemíferos, con pelos en los entrenudos de color blanco.

De los nudos del tallo se pueden formar raíces adventicias, yemas espinas y ramas y hojas caulinares, el nudo está formado por el área o región nodal, internamente el nudo siempre es sólido, y lo constituye el diafragma nodal o simplemente diafragma.

La *Guadua aculeata* cuenta con una rama central dominante, dos más pequeñas a los lados y muchas más secundarias, puede producir una gran espina o emitir nuevas ramificaciones y producir de una a cuatro espinas adicionales a la base, las cuales son divergentes o dirigidas hacia la base. Las ramas y las yemas de los bambúes siempre crecerán de manera alterna y opuesta en los nudos del tallo. Las ramas a diferencia del tallo son macizas en algunos se atrofian y son reemplazadas por una espina de 10 a 15 cm. La rama principal se desarrolla desde una yema individual en el nudo o yema nodal, el desarrollo de las ramas inferiores siempre varía.

En las ramas encontramos vainas persistentes; seudopeciolos de hasta 5 mm de largo, planos, glabros y frecuentemente con nervaduras resaltadas en ambas superficies, de color pajizo o morado pálido en el dorso (Imagen 25).

Las hojas en las ramas son alternas, una en cada nudo, son persistentes en las ramas superiores, pero carecen en las ramas inferiores, son de color verde especial, inconfundible en la distancia y en medio de otras plantaciones, son lanceoladas y lisas, aportan biomasa 4 kg/m²/año ó 693.6 kg de biomasa/ha en 7 años, con una fijación de carbono 173.79 T/Carbono/ha transfiriendo nutrientes al suelo Mejía-Saulés y Cortés (2002); Aguilar Amar R. (2005); Martínez Patricio (2012); y Cruz Ríos (2013).

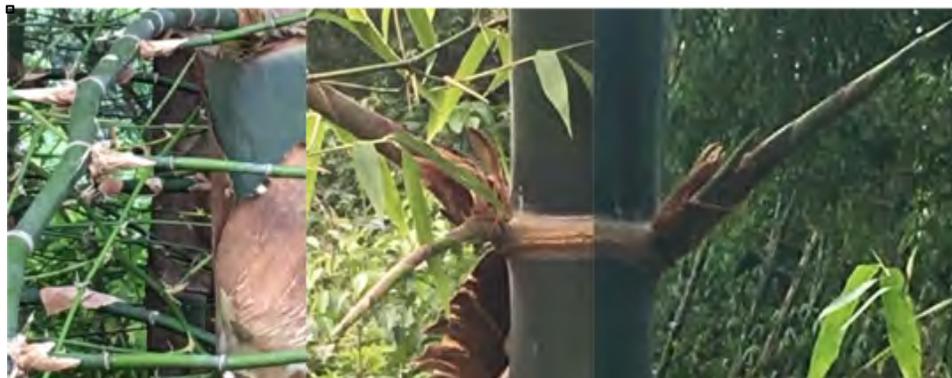


Imagen 25. Detalle brotes de ramas principal y secundarias, brote de espina principal.
Fuente: autor.

La planta del bambú lleva agua desde las raíces hasta la última hoja de una rama, las células muertas del xilema sirven como conducto para este fin, y es a través de un conjunto de células llamado haz vascular que esto sucede, los haces vasculares de los bambúes siempre son más de uno e incluyen el floema que es el tejido encargado de conducir los alimentos en toda la planta, los huecos evidentes que existen son los vasos por donde el agua se transporta y son parte del xilema, alrededor de cada vaso se encuentran una gran cantidad de fibras, estas son células muertas cuyo espacio ha sido ocupado por lignina y celulosa, los compuestos principales de la madera (Imagen 26 y 27). La función de las fibras es proporcionar dureza a la planta de bambú, los bambúes están compuestos de fibra en un 40 a 50 % Nelly Belinda Falck (2003); Aguilar Amar R. (2005); Sánchez Domínguez, (2009); Zaragoza Hernández, (2012); y Martínez Patricio, (2012).

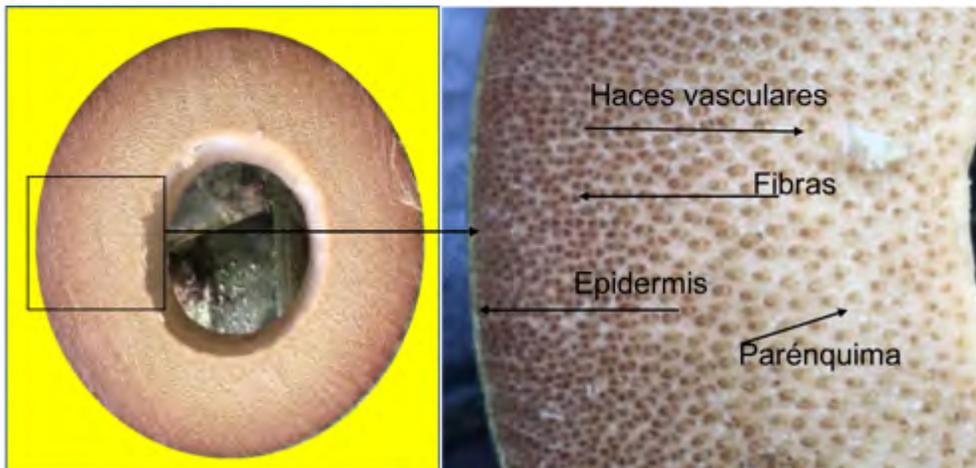
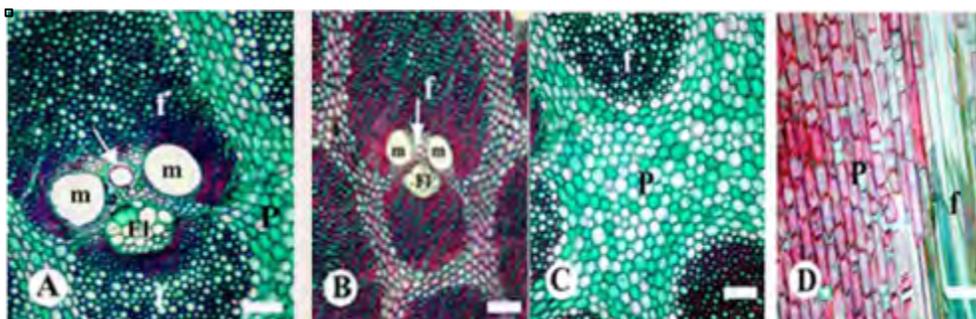


Imagen 26. Sección transversal tallo de aculeata. Fuente: autor



A Corte transversal
 P – haz vascular embebido en el parénquima
 f –haz de fibras superior, es más grande que el inferior
 m- protoxilema (flecha) entre dos vasos de metaxilema (m)
 F1- un solo haz de floema caracteriza a la especie

B Vista transversal del parénquima
 f- varios haces de fibras

C- Vista transversal del parénquima p, se aprecian varios haces de fibras f,

D- vista longitudinal del parénquima p, y fibras f.

Imagen 27. Anatomía del tallo de aculeata. Fuente: (Ángeles, 2006).

3.2.2 Propiedades físicas y mecánicas

La *G. aculeata* tiene propiedades físicas y mecánicas similares a la *Guadua angustifolia* de Colombia, los valores obtenidos en estudios realizados permiten clasificarla como material duro, propia para las sollicitaciones mecánicas que se requieren en la construcción. En estudios realizados por Zaragoza (2012) se obtuvieron las siguientes propiedades anatómicas: parénquima 51 %, Tejido conductivo 9 % y Fibra 41 %. La mayor proporción de parénquima se encuentra en la parte interna del tallo, contrario a las fibras que se concentran en la parte externa, lo que hace que la parte externa sea más dura; las paredes gruesas de la fibra, forman una estructura laminar lo que hace que sea considerada dura, el tejido conductivo tiene la función de llevar los nutrientes necesarios a toda la planta.

Los valores de densidad (pa/vv) obtenidos varían entre 0.37 y 0.92 g/cm³, se debe a las paredes gruesas de las fibras. El CH es una propiedad importante que afecta los esfuerzos máximos que se pueden registrar en compresión, tensión, flexión y cortante, los tallos con altos valores de contenido de humedad registran una menor resistencia, identificando una variación del 75 % entre la condición verde y seca. El CH juega un papel muy importante en las contracciones del espesor, diámetro y longitud de los tallos, se han identificado valores de contracciones totales de condición verde a condición anhidra de 13.9 %, 7 %, y 1 % en el mismo orden. Lo que hace importante el estado seco del tallo para usarlo en un producto terminado, los valores obtenidos fueron en función del contenido de humedad 21 % ±3 % en estado seco, en estado verde entre el 59 y 99 % de CH (Zaragoza Hernández, 2012).

Para el esfuerzo máximo en cortante se obtuvieron valores entre 80 y 107 kg/cm², en compresión paralela a la fibra el esfuerzo máximo registrado varió de 488 a 577 kg/cm² y el módulo de elasticidad varió entre 196 885 y 210 874 kg/cm², en flexión estática los valores de módulo de ruptura se registraron entre 640 y 812 kg/cm², mientras que el módulo de elasticidad fue de 211,855 a 245,955 kg/cm²; en tensión paralela a la fibra el esfuerzo máximo alcanzó valores entre 576 y 940 kg/cm², y el intervalo de valores del módulo de elasticidad estuvo entre 83,784 y 100,430 kg/cm² (Zaragoza Hernández, 2012).

Tabla 2. Valores de resistencia mecánica de la *Guadua aculeata* y *Guadua angustifolia*.
Fuente: Elaboración propia.

Especie	Cortante	Compresión paralela a la fibra		Flexión estática		Tensión paralela a la fibra	
	Esfuerzo máximo	Esfuerzo máximo	Módulo de elasticidad	Módulo de ruptura	Módulo de elasticidad	Esfuerzo máximo	Módulo de elasticidad
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
<i>Guadua aculeata</i>	80-107	488-577	196 885-210 874	640-812	211-855 245 955	576-940	83 784-100 430
<i>Guadua angustifolia</i>	75	426 y 420	181 186	1235	227 689-236 743	851 y 1946 1408 y 2246	
	Sotela, 1992; Ciro <i>et al.</i> , 2005; Bahari y Ahmad, 2009	Espiloy, 1985; Sotela, 1992; Surjokusumo y Nugroho, 1995; Takeuchi y González, 2007	Surjokusumo y Nugroho, 1995; Valero <i>et al.</i> , 2005; Osorio <i>et al.</i> , 2007; Poblete <i>et al.</i> , 2009; Nordahlia <i>et al.</i> , 2012, Sotela, 1992	Surjokusumo y Nugroho, 1995; Ciro <i>et al.</i> , 2005; Osorio <i>et al.</i> , 2007; Omobowale y Ogedengbe, 2008			

Los procedimientos utilizados para los ensayos están establecidos en la norma ISO-22157 e ISO/TR 22157-2 (ISO, 2004a; ISO, 2004b). Los ensayos en el caso de la *Guadua angustifolia* no se identificaron bajo que norma se realizaron, desconociendo las condiciones, sin embargo, los resultados son similares.

Podemos concluir que los valores identificados por Zaragoza Hernández, (2012) para *Guadua aculeata* en esfuerzos en flexión, compresión, tensión y cortante, así como los módulos de elasticidad para compresión y tensión paralelas, y flexión, comparativamente con los valores de la *Guadua angustifolia*, identificados en el periodo 1992 al 2012, son similares, excepto para dos propiedades, flexión estática con el 35 % de incremento para la *Guadua angustifolia*, y más del 100 % para el esfuerzo en tensión paralela a la fibra (Tabla 2).

3.3 Sistemas constructivos tradicionales con bambú en la vivienda.

Culturalmente la *Guadua aculeata* se ha utilizado en la construcción de viviendas rurales, como vigas, postes, alfardas, techos, en la elaboración de bajareque, cercas y muebles. Por su comportamiento mecánico similar al de la *Guadua angustifolia*, no requiere mano de obra especializada, es fácil su montaje; con preservación y mantenimiento la construcción puede durar más de 30 años, las herramientas y equipo son las tradicionales usadas en la construcción, lo que hace que el sistema constructivo sea de bajo costo Aguilar Amar R. (2005); Sánche Domínguez (2009); Martínez Patricio (2012) y Cruz Ríos (2013).

Para este estudio, el sistema constructivo con bambú se definió como un conjunto de reglas o principios (métodos técnicas y procedimientos) para la edificación de una manera ordenada. Los sistemas tradicionales utilizan el concepto de “poste y viga”, con la “técnica” de corte tipo boca de pescado, la herramienta básica es el machete y los amarres se hacen con fibras naturales como bejucos o cueros. Las técnicas que propusimos se fundamentan en las tradicionales, pero con un mejor

nivel técnico, se proponen las armaduras de diseño básico con elementos rectos, herramientas como taladro, brocas y sierra, con alto grado de conocimiento técnico, con uniones articuladas con tornillos y el entrenudo con relleno de mortero. Como “método” se utiliza la prefabricación de armaduras en el suelo, en contraste con los sistemas tradicionales de parar los postes uno por uno (Stamm, 2008).

Los sistemas constructivos tradicionales o vernáculos según la RAE, son lo nativo o doméstico de alguna región o país, por lo que debe responder a las necesidades espaciales y actividades de las totalidades sociales, establecen un diálogo con el entorno y el contexto, con base en lo anterior se realizan obras con materiales regionales, con manufacturas artesanales o preindustriales, dentro de técnicas tradicionales que permiten la autoconstrucción, esto es arquitectura sin arquitectos denominada por Bernard Rudofsky, por lo que tiene un carácter “colectivo y anónimo” (Gómez de Silva, 2010).

Stam (2008) propone categorías de sistemas constructivos con bambú para la vivienda. Los sistemas constructivos tribales, utilizan el “curado” durante el cuarto menguante, uso de bajareque, amarres con bejuco y cuero, uniones con cortes de boca de pescado, protegida por el saber tradicional “protección por diseño” con grandes aleros y aislar la estructura del piso, para impedir el humedecimiento del tallo, la ventilación permanente y la desinfección con humo.

Para una casa con bajareque, se usan postes a una distancia de un metro, se amarran horizontalmente con bambúes aplastados (esterillas), se repella con barro para impedir la entrada de los mosquitos en clima cálido, se amarran tiras rajadas (latas) en ambos lados del poste y se llena el espacio con barro, en climas templados. El bajareque es vulnerable a la acción de la lluvia y a la humedad ascendente, así que requieren un diseño de “buenas botas y gran sombrero” término colombiano para proteger al bambú del sol y de la lluvia (Stamm, 2008).

En el sistema tradicional tecnificado la preservación se realiza por inyección de sales boro o por inmersión con una solución agua/sales de boro, los sistemas de unión utilizan conectores de acero con varillas roscadas y tuercas, se rellena el entrenudo con mortero, el diseño de las viviendas es de varios pisos con cubierta del techo de teja de barro o zinc, de forma rectangular.

La construcción tradicional, tiene origen en la experiencia de la casa tribal, la cual se identifica en las zonas rurales y suburbanas. Este sistema está basado en las técnicas de “boca de pescado” y “bajareque”, con uniones atornilladas y reforzadas con mortero, se utilizan las cerchas compuestas como la “cercha rey”, se prefabrican los elementos, por su bajo peso el izado se realiza con poleas

manuales, las uniones a compresión se rellenan con mortero para evitar el aplastamiento (Stamm, 2008).

Los elementos constructivos que integran el sistema estructural, son las columnas compuestas de varios postes combinados, las vigas compuestas unidas con conectores metálicos, cruzan las columnas espaciadas fijadas con varilla roscada, poste diagonal (pie de amigo) que interceptan la columna con corte “boca de pescado” o unidas con varilla roscada, cerchas compuestas unidas con vigas de amarre, el sistema es rápido de construir, preciso, modular, liviano, alta eficiencia en cuanto a cantidad de bambú por m². Los sistemas constructivos con bambú han tenido una evolución sucesiva con diferentes conceptos, técnicas y métodos, permitiendo planificar la obra, en cuanto a tamaño, cantidad de materiales y costo (Stamm, 2008).

3.3.1 Cimentación

La cimentación constituye una de las partes más elementales en la construcción con bambú, será quien reciba todos los elementos portantes de bambú y su anclaje a la cimentación, que permita independizarse del piso para evitar la humedad, ataque de insectos y hongos o lo que pueda destruir el bambú en corto periodo de tiempo, y sobre todo transmitir las cargas al terreno. Prever una base de piedra, concreto, metal o tabique puede ser una opción adecuada.

Inicialmente el apoyo fue sobre piedras, actualmente se recurre a elementos de concreto o tabique. El proyecto nacional de bambú en Costa Rica, desarrolló una propuesta, que consiste en adaptar un tubo de plástico de 30 cm, adaptado al diámetro, el cual se rellena con mortero, con varillas ahogadas como anclaje a la cimentación. En algunos países una variante de esta técnica, en el que el elemento de la cimentación sirve para apoyar dos o más bambúes que se unen con tornillos para una fácil sustitución en caso necesario (Imagen 28).

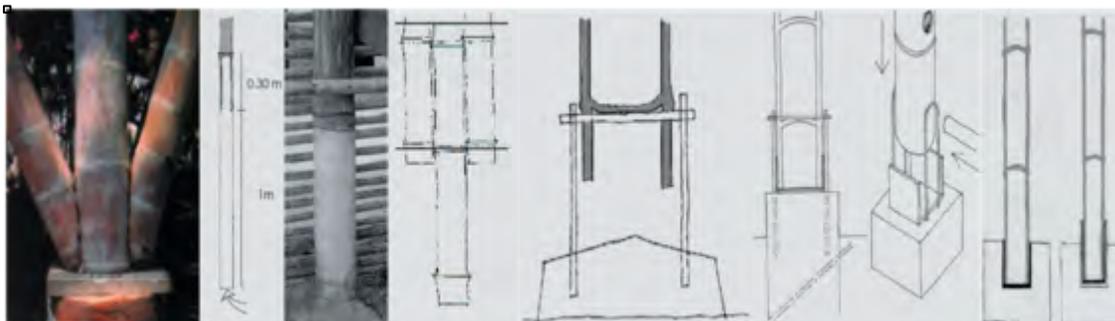


Imagen 28. Alternativas de anclaje a cimentación, fuente Proyecto nacional del bambú Costa Rica, J.Janssen 1973.

J. Janssen (1973) desarrolló un sistema con la utilización de dos piezas metálicas para la protección del bambú contra la humedad, el tallo está asegurado con un tornillo, se coloca en la parte superior para dar más fuerza a la unión, utiliza una sola pieza metálica, abarcando hasta un nudo, se asienta en la cimentación de manera uniforme y se llena con mortero hasta la mitad del segundo nudo, este sistema funciona bien a la tensión, pero no permite la flexión, aunque más compleja, puede ser aceptable, otra alternativa, se coloca una base en la cimentación y se inserta la pieza de bambú en el interior, esta pieza sobresale una pulgada para evitar la humedad, asimismo evita el cortante (Imagen 28).

3.3.2 Muros

El bahareque como sistema constructivo.

La función principal de los muros con bambú, es aislar contra la intemperie, lluvia, sol, viento y en algunos casos sirve de apoyo para la cubierta y en otros únicamente como cerramiento de los espacios, en los países con clima tropical los muros interiores no existen, utilizan paneles con bambú trenzado, para el caso de américa del sur se utiliza técnicas mixtas, como el “bahareque”.

Este tipo de técnica es usada por muchos pueblos desde la época precolombina, en el sur de América siendo y en muchas partes del mundo, en México actualmente se sigue usando por muchos pueblos de clima tropical, dadas las condiciones climáticas extremas.

Se puede dividir en dos tipos, hueco y compacto, el hueco es una estructura de columnas de bambú verticales espaciados entre 30 y 40 cm, unidos por paneles de esterilla de bambú en forma horizontal, se colocan alternadas por su forma trapezoidal debido a la forma cónica del tallo de donde se obtienen, la cual soportará el recubrimiento de tierra o mortero, dejando el interior vacío, este tipo de técnica es muy usado en Colombia por la población rural.

El bahareque compacto, con la misma estructura anterior, consiste en dejar espacios entre las latas o tablillas de bambú que permitan el paso de la tierra, y se amalgame mejor, si los muros se fabrican de manera que resulten en diafragmas mejoran el comportamiento de la estructura ante terremotos, la mezcla de esa tierra tiene paja como fibra que aglutina a la tierra (Hidalgo, 1983) (Imagen 29).

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
 Caso de estudio: Estado de Veracruz.

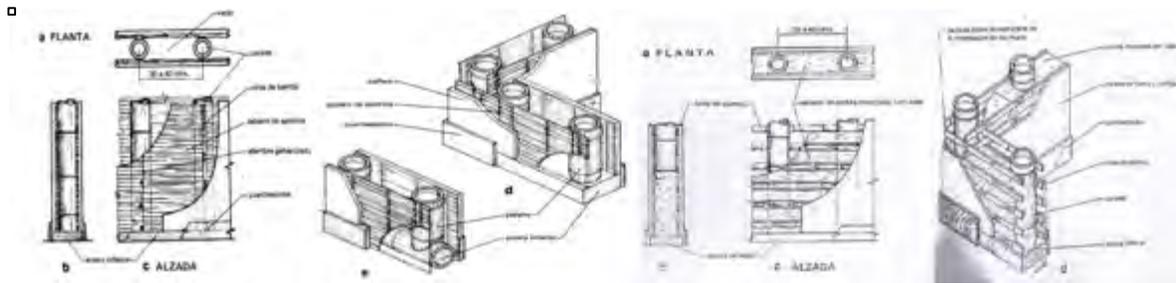


Imagen 29. Pared de bahareque hueco y compacto. Fuente: Oscar Hidalgo, 1983.

Otro sistema constructivo tradicional del Perú es la Quincha, usado desde el año 1600, por su capacidad de minimizar el efecto de los temblores, brinda mayor seguridad con el uso de madera y bambú en la estructura portante y latillas tejidas con revoque de barro en los cerramientos (Saleme, 2011).

En la construcción de vivienda este sistema de construcción permite obtener muros delgados y resistentes, así como dejar a la vista los marcos formados por columnas, vigas y soleras lo cual da un aspecto muy agradable a la vivienda, similar a lo logrado con los muros japoneses (Hidalgo, 1983) (Imagen 30).

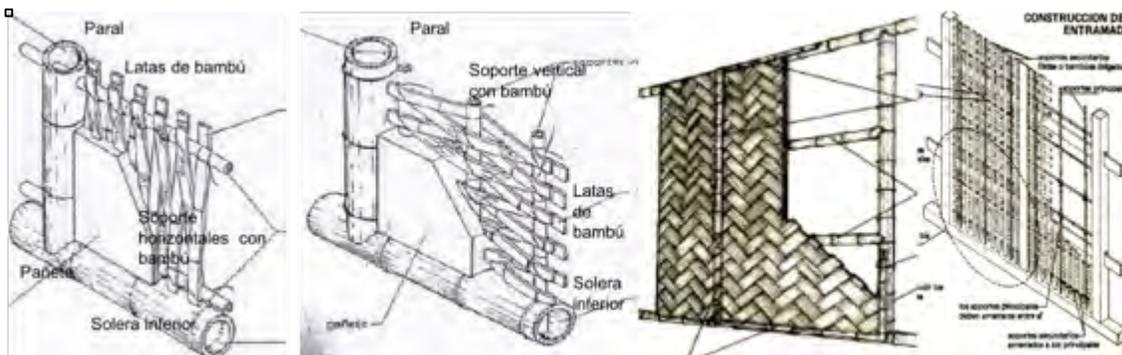


Imagen 30. Sistema constructivo la Quincha Peruana y pared con paneles de esterilla, Pared japonesa. Fuente: Oscar Hidalgo, 1983.

En los muros interiores divisorios se utiliza la pared con paneles con esterilla tejida facilita la construcción y es económico. La estructura es con tallos rollizos con cortes a “boca de pescado” de manera perimetral, los refuerzos son del mismo material, funcionan como riostras, al cual se fija el panel tejido, cuya construcción se realiza tejiendo fajas de esterilla de 5 a 20 cm de ancho, la esterilla es muy delgada y flexible (Imagen 30).

La pared japonesa, se construye con madera en toda la estructura, con soportes verticales y horizontales a cada 30 cm, los soportes secundarios amarrados a los principales, pueden ser de latas de bambú o rollizos de poco diámetro, sobre los cuales se sujeta una tela de fique o hilo de tejido abierto, finalmente las capas de mortero, con espesor máximo de 4 cm (Imagen 30).

3.3.3 Entrepisos y cubiertas

La protección por diseño, como solución para la aislar al bambú contra la humedad y los rayos del sol, es fundamental para la permanencia y durabilidad, tomando en cuenta las características del material. La forma de la cubierta debe ser resultado de las virtudes del bambú como material estructural. En la construcción tradicional la estructura de las cubiertas se puede solucionar con una simple cercha plana, que llega a cubrir los claros necesarios para la vivienda, así como cerchas con cuerdas para cargas mucho mayores derivadas de la cubierta (Imagen 31).

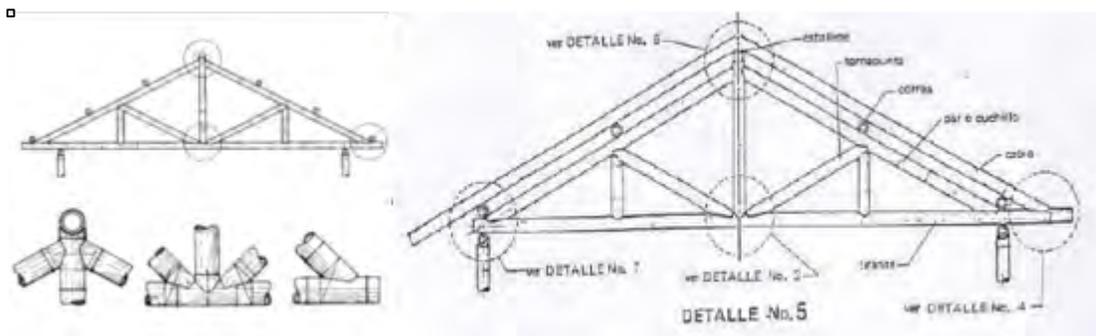


Imagen 31. Sistema constructivo con cerchas. Fuente: Óscar Hidalgo, 1983.

Para el confort adecuado, existen materiales vegetales como la palma combinados con el bambú y el mismo bambú partido a la mitad, el principal reto es la duración de 2 a 3 años, en el caso de la palma de 10 a 12 años con mantenimiento anual, así como el riesgo de incendio, que se debe prever desde el diseño, con la utilización de retardantes al fuego, otro aspecto a considerar es la inclinación, debe ser entre 30 y 45°.

Otras opciones de cubierta pueden ser láminas de zinc, asfaltadas, teja, ferrocemento o combinación de los mismos. Son estructuras más caras, pero con ventajas de mayor duración y confort. En el caso del ferrocemento se debe aplanar en ambos lados como las paredes, la diferencia gravitacional de un plano nos obliga a tener cuidado para evitar el colgado entre vigas.

3.4 Sistema estructural

Morán Ubidia citado en Camino y Sáinz (2014) define el concepto de estructura con bambú, a partir del análisis del comportamiento estructural al someterlo a diferentes solicitaciones (compresión, tensión, flexión y cortante), como un conjunto de elementos fuertes, flexibles y orgánicos que desempeñan una función específica y debe cumplir con los siguientes requisitos de uso: seguridad, funcionalidad, economía y estética. La cual debe responder a los siguientes

esfuerzos: compresión, tensión, flexión y cortante.

Saleme (2014) es coincidente al considerar al bambú como un material idóneo para el uso estructural y las construcciones sismo-resistentes, por su gran resistencia, (con un adecuado diseño estructural y una correcta solución constructiva absorbe cualquier tipo de sollicitación), flexibilidad, (disipa la energía sísmica) y ligereza (las cargas sísmicas se reducen).

Stamm (2008) considera que el bambú es un tubo con anillos de refuerzo, por su forma circular, es un excelente sistema portante, que tiene en dirección axial una resistencia aproximada de 700 kg/cm^2 . Tiene buena capacidad de flexión, aunque la literatura científica dice lo contrario. Esta propiedad es importante en el diseño de estructuras, ya que podemos elegir entre la parte gruesa y fuerte o la parte liviana y elástica. Los tallos en su base tienen pared gruesa con fibras embebidas en células de corcho (parénquima). Hacia arriba se modifica el promedio desde un tercio de fibra versus dos tercios de parénquima hacia dos tercios de fibra en medio por un tercio de parénquima. Esta composición le proporciona una elasticidad mayor, pero es menos elástica conforme se acerca al punto de falla.

La parte alta tiene fama por su mayor resistencia contra la parte baja y ha superado en varias pruebas al acero templado, pero es intolerante a las deformaciones durante el secado y tiende a rajarse, especialmente cuando se trata de un bambú viejo y muy maduro, con células llenas de sílice (Liese, 1998).

La parte basal de los tallos es relativamente pesada, por sus mayores diámetros, grosor de pared y contenido de agua, pero por su forma tubular hueca es más liviana que una madera maciza de similar diámetro.

En su forma tubular hueca, los tallos de bambú son ligeramente débiles, contra cargas puntuales perpendiculares a la fibra. Tiene una debilidad en cuanto a la deformación irreversible en vigas horizontales. Se recomienda trabajar el bambú en forma de punta (axial) también se pueden rellenar los canutos con mortero para soportar compresión lateral, con la técnica de Simón Vélez (Stamm, 2009).

Sin embargo, uno de los principales problemas tecnológicos, que se presentan en las estructuras con bambú, es la unión de piezas a tensión, el cual se puede compensar con la eficiencia de la tensión, (tensión de rotura: 3200 Kg/cm^2) para tal fin es altamente recomendable usar los tallos con toda su longitud reduciendo el número de uniones (Saleme, 2014).

Por lo anterior los sistemas estructurales con bambú representan una solución ante diversas sollicitaciones, seguridad, economía, flexibilidad y funcionalidad para su

uso como sistema constructivo para la vivienda.

La bibliografía sobre resistencia de materiales define las deformaciones de los elementos de las estructuras en: elásticas: cuando un cuerpo después de deformarse por acción de una carga recupera su estado original al dejar de actuar ésta; plásticas, cuando un cuerpo después de deformarse por acción de una carga, no recupera su estado original al dejar de actuar ésta; rigidez, es la capacidad de un cuerpo a deformarse bajo la acción de una carga, alta rigidez deformaciones pequeñas y baja rigidez representa deformaciones mayores. Para reducir estas deformaciones, las estructuras deben de ser rígidas, lo que se logra a través del principio de la triangulación. El triángulo es la figura geométrica teóricamente indeformable, sujeta solo a esfuerzos de tensión y compresión, que actúan en función de la direccionalidad de la fuerza o carga aplicada, invirtiéndose los esfuerzos, de ahí la importancia que las uniones es importante resolverlas eficientemente para que trabajen adecuadamente.

Como principios del diseño estructural con bambú se considera al espacio, como protagonista de la arquitectura, cuyo problema técnico es cubrir, lo cual significa “soportar cargas salvando luces”, cubrir implica generar momentos, que también deben ser equilibrados, la forma en que se resuelve este equilibrio determina el tipo de estructura y las solicitaciones de las cargas de servicio a las que se encuentran sometidas. Estos a su vez condicionan a los materiales que permiten realizar la estructura. El buen diseño es aquel que aprovecha al máximo las ventajas o potencialidades minimizando las desventajas o limitaciones. Las características de los tallos para aplicaciones estructurales, deben de estar derechos, con diámetros entre 5 y 25 cm, CH menor al 19%, espesores de más de un cm, entrenudos cortos, tallos maduros, sin grietas, ni defectos provocado por insectos (Saleme, 2014).

3.4.1 Sistemas de estructuras de vector activo

En este tipo de estructuras existe una división de los esfuerzos producidos por las acciones, son estructuras que trabajan principalmente por la combinación de barras en estado de compresión y tensión (Engel, 2013).

En el bambú predomina una dimensión (longitud) sobre las otras, de ahí que toda estructura que se realice parte de un elemento lineal generador, para diseñar estructuras planas, en las que las acciones, reacciones cargas y deformaciones se analizan en el mismo plano, superficiales (con dos dimensiones dominantes) o espaciales en las que el comportamiento estructural se explica en el espacio.

Como tal admite la constitución de secciones compuestas, ya sea para aumentar su resistencia o para disminuir su deformabilidad (Saleme, H. 2014); (Stam, J. 2008).

Las estructuras planas son las formas más elementales para utilizar el bambú, como directamente como se encuentra en la mata.

Como viga, es decir, trabajando a flexión tiene una resistencia adecuada pero su gran deformabilidad (flecha), debe ser evitada con secciones compuestas o con elementos estructurales auxiliares como tornapuntas, o pies de amigo (diagonales) para disminuir la luz efectiva aprovechando las ventajas de la continuidad. Es también muy apropiado para formar reticulados planos, aunque cabe destacar que en el plano perpendicular al de la estructura, se pueden presentar grandes deformaciones en el proceso de montaje. Para columnas o pies derechos el riesgo es el pandeo, lo que supone también el uso de secciones compuestas o de sistemas compuestos que eviten el mismo (Saleme, H. 2014); (Stam, J. 2008).

La triangulación es una disposición que puede mirarse como un elemento estructural más y se aplica a la formación de casi todos los tipos estructurales, sean columnas, vigas, arcos, pórticos y hasta estructuras laminares. Ante la linealidad y la flexibilidad del bambú, es especialmente apto para trabajar con sus tallos pues permite el arriostamiento que evita la flexión parcial o total de los elementos longitudinales y del conjunto, particularmente en los sectores comprimidos.

Un principio general es aprovechar el tallo en toda su longitud a fin de evitar uniones, nudos o el encuentro de elementos pues son el principal problema constructivo de toda estructura de bambú. Aprovechar al máximo la continuidad del material es una condición siempre deseable, toda vez que se pueda formar la estructura sin fraccionar sus elementos constituyentes se evitará un detalle de empalme de piezas, punto más débil de estas estructuras.

Las características geométricas naturales del bambú de sección tubular hueca, lo hacen adecuado para resistir las sollicitaciones de tensión y compresión, en cambio para las sollicitaciones de flexión, por sus dimensiones, tiene baja rigidez generándose considerables deformaciones, aumentar el momento de inercia de la viga, es uno de los caminos más inmediatos para resolver este problema. Se pueden utilizar secciones compuestas o tensionando las vigas, de esta manera se incrementa el momento resistente, ya que se aleja el material del eje neutro aumentando el brazo del momento interno. También se generan elementos eficientes diseñando armaduras con bambú (Saleme, 2014).



Imagen 32. Vigas reticuladas de perfil triangular, Vigas reticuladas de cordones curvos, Modelo de reticulado espacial. Fuente: Saleme, 2014.

Reticulados planos (armaduras), la ventaja de este sistema, es con base en triangulaciones se pueden generar configuraciones que nos permiten superar la escala del material en cuanto a luces y capacidad resistente, esta forma estructural permite tener una mayor altura de la pieza estructural, donde los cordones superior e inferior, resisten los esfuerzos de tensión y compresión y las diagonales los esfuerzos de corte. La separación entre los cordones se traduce en un incremento del brazo del momento resistente, lo que aumenta la eficiencia estructural del sistema, además permita aprovechar mejor la linealidad del material en su longitud total, dando continuidad a los cordones superior e inferior, disminuyendo así el número de conexiones (Saleme, 2014) (Imagen 32).

Pórticos: la rigidización con triangulaciones, las uniones entre vigas y columnas se pueden obtener mediante sistemas porticados que son eficientes desde el punto de vista estructural, disminuyendo las solicitaciones en el dintel del pórtico. En este sistema coplanar, los arriostramientos deben ser resueltos adecuadamente para evitar deformaciones laterales (Imagen 33).

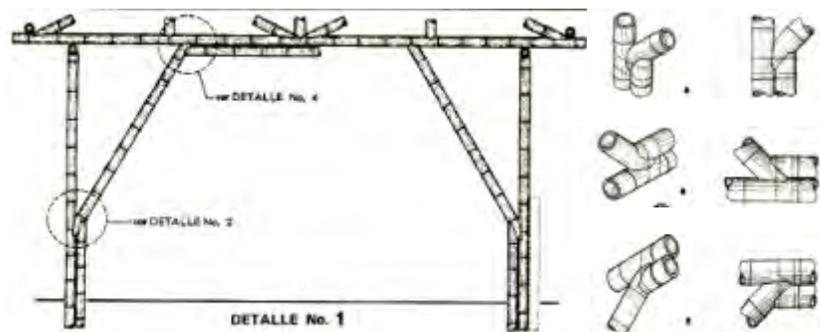


Imagen 33. Esquema de estructura porticada. Fuente: Óscar Hidalgo, 1983.



Imagen 34. Pórtico biarticulado, Sistema aporticado con tornapuntas. Fuente: Saleme, 2014.

Sistemas con tornapuntas, coplanares y espaciales: Estos sistemas son muy apropiados para el bambú, por el tipo de trabajo o sollicitación (compresión) a que se ven sometidos, es importante que el bambú trabaje comprimido por configuración natural y por la problemática de la transferencia de esfuerzos en las conexiones, éste sistema puede ser resuelto en forma coplanar o espacial, permite disminuir las luces de las barras de bambú así como su deformación, ampliando en sus zona de emplazamiento el brazo de momento resistente (Saleme, 2014) (Imagen 34)

La insistencia de Saleme (2011) sobre la ventaja de plantear en el espacio, es más apropiado para el bambú, pues se neutraliza su flexibilidad en todos los planos, así como el proceso de armado, el montaje y su trabajo en régimen de servicio. Diseñar y realizar en el espacio es menos artificioso que resolver la estática en el plano para luego analizar la estabilidad en el espacio.

CAPÍTULO IV INVESTIGACIÓN BÁSICA DE LA *Guadua aculeata*

Para este estudio definimos investigación básica de la *Guadua aculeata*, como la generación del conocimiento necesario sobre el material, la definición o identificación de las condiciones adecuadas para ser usado como material estructural. El bambú como otros materiales de construcción tiene una variabilidad en sus características y propiedades mecánicas, que responden a su manipulación y origen, desde la selección del material en sus zonas de crecimiento, la edad en que es cortado, la forma y época de corte, los métodos de preservación y su evaluación, así como el proceso de secado; variables que afectan su la resistencia, durabilidad y ataque por xilófagos. Controlar estas variables contribuyen a su buen uso estructural y confiabilidad como material de construcción.

En la investigación básica se requiere utilizar procedimientos sistemáticos: cómo para determinar la madurez de los tallos en las zonas de extracción, la época del corte afectadas las fases lunares y la medición de contenido de humedad, la determinación o identificación de los métodos de preservación más adecuados, la determinación de la cantidad de preservante retenido, con la intención que sea superior a lo determinado por la FAO (1986); Posada Giraldo (2015). En el secado la determinación del procedimiento a seguir para reducir el contenido de humedad a la intemperie, según (GOCDMX NTC, 2017) (MAVDT, 2010).

4.1 Corte y selección

Determinar la época adecuada de corte y la selección por edad, siempre ha sido con base en la experiencia que permite elegir sin el riesgo de equivocarse. Según Moran Ubidia (s/f) y experiencia de bambuseros de la localidad “Las Margaritas” del municipio de Hueytamalco, Puebla, las características confiables para seleccionarlas son: color del tallo, presencia de líquenes y musgos, ausencia de hojas caulinares e inexistencia de rajaduras.

La época de corte ha sido relacionada con las fases lunares, la luna ejerce fuerte influencia sobre la naturaleza. Desde tiempos milenarios la luna, por su cercanía a la tierra, ha sido respetada, interpretada, venerada, observada, pero nunca ignorada por los pueblos milenarios. Los aztecas y mayas medían sus tiempos de acuerdo con sus fases para la interpretación en la influencia de los ciclos de la vida (Restrepo Rivera, 2005).

Tradicionalmente los campesinos colombianos realizan el corte de madera para la

construcción, las hojas de palma para cubrir las chozas y los tallos de bambú durante la fase de la luna menguante, cuando la savia comienza a descender y se concentra en tallos y ramas, las cavidades internodales carecen de agua o ésta es mínima, al ser cortado tiene menor humedad y por tanto menor riesgo de pudrición, infestación o ataque de xilófagos y confiere resistencia a la intemperie. El corte se realiza en los tres últimos días de luna menguante hasta los tres primeros días de luna nueva cuando el flujo se concentra en la raíz (Restrepo, 2005) (Morán Ubidia, s/f).

A la fecha no existen estudios científicos que respalden que el cuarto menguante sea el periodo más adecuado para realizar el corte de la aculeata. En este estudio se evalúa el contenido de humedad al momento de ser cortados los tallos (Chi) en muestras de aculeata para encontrar si hay diferencias asociadas a la fase lunar. Las mediciones se realizaron en tallos recién cortados, en diferentes fases lunares al momento del corte de los tallos.

4.1.1 Metodología

La metodología aplicada para lograr los objetivos de esta experimentación, se inició a partir de la consulta de bibliografía existente sobre el tema y con el trabajo de campo para la extracción de muestras de tallos de aculeata, se llevó a cabo el trabajo en laboratorio para determinar los pesos iniciales y el peso anhidro de las muestras. Por cada fase lunar: cuarto menguante, luna nueva, cuarto creciente y luna llena se cortaron dos rodajas de 5 cm de altura de las partes baja, media y alta de 6 tallos extraídos, con un metro de separación de entre corte y corte, en total 36 muestras, durante dos periodos en 2017 y 2018. Se midió el CH por el método gravimétrico (la diferencia entre los pesos inicial y anhidro/ peso anhidro x 100), a cada muestra (Montoya, 2006). Se realizó la comparación para identificar como afectaron las fases lunares en el Chi de cada tallo, entre las fechas y periodos de recolecta, entre tres alturas de los tallos y entre tres sitios de recolecta.

La selección, determinación de la edad, madurez y corte, se realizó con base en la información presentada por Morán Ubidia (s/f); Cruz Ríos (2013); y Londoño (2005).

4.1.1.1 Materiales

Se eligieron tres sitios para realizar los muestreos, todos ubicados en el Sitio Experimental del INIFAP “Las Margaritas”, del municipio de Hueytamalco, Puebla. Los guaduales en los que se recolectó el material se ubican en camino a la comunidad de Tizizapa, en Coapal Chico; en el vivero del sitio “Las “Margaritas” y camino a la comunidad de Palmatita, a 5 km del vivero. Todas las muestras fueron

identificadas de manera inequívoca, “recias” o “maduras” según criterio de observación (Morán Ubidia, s/f), (Cruz Ríos, 2013). Las condiciones de suelo fueron diferentes, dos guaduales se encontraban colindando con arroyos, ((Tizapa y Palmatita). Los tallos se cortaron en el sitio y durante cada fase lunar. Se realizaron dos cortes en dos periodos lunares: uno en época de lluvia en el mes de mayo-junio de 2017 y el otro durante la época de sequía febrero marzo de 2018 (Imagen 35).



Imagen 35. Extracción y preparación de muestras. Fuente: autor

Tabla 3. Total de muestras evaluadas de CHI de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Por fase lunar, periodos 2017-2018. Fuente: elaboración propia.

Fecha	Fecha	Fase lunar				
		Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Época de lluvias. Periodo mayo-junio 2017	15 de mayo	36				
	26 de mayo		36			
	2 de junio			36		
	9 de junio				36	
	16 de junio					36
Época de secas. Periodo febrero-marzo 2018	7 de febrero	36				
	15 de febrero		36			
	23 de febrero			36		
	2 de marzo				36	
	9 de marzo					36
Total		72	72	72	72	72

El número de muestras por fase lunar fue de 36, el total por periodo fue de 180, en total por los dos periodos sumaron 360 muestras. Con la intención de identificar la variabilidad por cada periodo durante el cuarto menguante se realizaron una recolecta de muestras, al inicio del periodo, y otra al final del mismo. Las muestras fueron de 5 cm de altura cortadas transversalmente (Tabla 3).

4.1.1.2 Condiciones de la toma de muestras.

Se recolectó material durante el periodo mayo-junio de 2017 (época de lluvias) en todas las fases lunares, entre las 10:00 y las 13:00 horas, se cortaron tallos de

más de 6 m de longitud, en dos guaduales, uno cerca de un arroyo, el otro sin abastecimiento de agua, alejado 5 km del primero. La recolecta realizada durante el periodo febrero-marzo de 2018 (época de sequía) en todas las fases lunares fue entre las 9:00 y las 14:00 h, el guadual colinda con un arroyo. El propósito fue determinar si había o no efecto de la fase lunar sobre el contenido de humedad inicial (Chi) de los tallos, así como determinar la variación entre los Chi entre los tallos de uno y otro guadual. Se cortaron tres tallos de cada guadual durante cada fase lunar iniciando en el cuarto menguante hasta concluir en la misma fase, inmediatamente después de extraídos, se cortaban las muestras, no se les aplicó ningún tratamiento, únicamente se limpiaron hasta quedar libres de tierra y polvo, se les asignó una clave de manera inequívoca, y se guardaron por separado, en una bolsa hermética para evitar la pérdida de humedad, por lotes de cada parte del tallo (baja, media y alta) para transportarlos al laboratorio, en donde se pesaron para obtener el peso inicial (PI) (Imagen 36).



Imagen 36. Corte y preparación de muestras para medición de humedad inicial por fase lunar, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

4.1.1.3 Pruebas de laboratorio

En el laboratorio se pesaron las muestras de cada tallo, recolectadas en cuatro fases lunares y en dos periodos (2017 y 2018), para obtener su peso inicial (PI). Durante 15 días se secaron a temperatura ambiente bajo sombra, posteriormente se introdujeron al horno de secado durante 48 horas a temperatura $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, obteniendo su peso anhidro, (0 % CH). Con los valores obtenidos se utilizó la fórmula (peso del agua / peso sin agua) para obtener el Chi en porcentaje, este método se conoce como gravimétrico.

4.2 Resultados

Se presentan en la tabla 4, La variación obtenida entre el mayor y menor Chi es de 17.2 %. Por los Chi identificados en ambos guaduales, se infiere que la ubicación del guadual por encontrarse cerca de una fuente de abastecimiento de agua, no es determinante en los resultados. El guadual 1 presenta mayores Chi, en promedio 4.97 %.

Tabla 4. Resultados, promedio de Chi de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodo mayo-junio 2017 (guadual 2 cerca de un arroyo)
Fuente: elaboración propia.

Guadual	Clave	Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Guadual1	4	91.8	90.5	95.3	105.8	94.6
	5	101.8	159.9	100.3	102.0	108.5
	6	78.8	121.4	110.6	102.1	109.3
Promedio		90.8	123.9	102.1	103.3	104.1
Guadual 2	1	116.5	83.9	108.2	90.6	112.9
	2	89.2	101.5	110.6	87.5	94.8
	3	103.3	92.2	97.6	93.7	115.6
Promedio		103.0	92.5	105.5	90.6	107.8

El promedio más bajo de CHI obtenido en ambos guaduales, en las partes baja, media y alta de los tallos, corresponde a la fase del cuarto menguante con 96.9 %, (con un rango entre 78.8 % y 116.5 % y una variación de 37.7 %), y a luna llena con 96.9 %, le siguen el registrado durante el corte en el cuarto creciente con 103.7 %, el registrado durante cuarto menguante (2) con 106 %, y el más alto de estos el obtenido para los tallos cortados durante la luna nueva con 108.2 %. La variación entre el menor CHI 96.9 % y el mayor, 108.2 % es de 11.2 %. Se identifica que los resultados de la fase lunar menguante y luna llena son casi iguales (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados promedio de CHI de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, de las partes baja, media y alta del tallo, por fase lunar periodo mayo-junio de 2017. Fuente: elaboración propia.

Guadual	Clave	Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Guadual 2	1	116.5	90.5	108.2	105.8	94.6
	2	89.2	159.9	110.6	102.0	108.5
	3	103.3	121.4	97.6	102.1	109.3
Guadual1	4	91.8	83.9	95.3	90.6	112.9
	5	101.8	101.5	100.3	87.5	94.8
	6	78.8	92.2	110.6	93.7	115.6
Promedio		96.9	108.2	103.8	96.9	106.0

En la tabla 6 se registraron los resultados de CHI obtenidos en las partes baja, media y alta de los tallos en el periodo mayo-junio de 2017, los menores registros de CHI se identificaron en la parte alta del tallo, en cuarto creciente presenta el menor, el mayor CHI lo registró la luna nueva, con una variación de 19 %. El promedio de CHI en las fases lunares en estudio registró 86.4 % CHI.

En la parte media del tallo los menores registros promedio de CHI se obtuvieron

en luna llena, el mayor registro de CH lo obtuvo la luna nueva, con una variación de 19.1 %. El promedio de CH en las fases lunares en estudio registró 107.6 % CH.

En la parte baja del tallo los menores registros promedio de CHi se obtuvieron en cuarto menguante, el mayor registro de CHi lo obtuvo cuarto creciente, con una variación de 21.3 %. El promedio de CHi en las fases lunares en estudio registró 112.3 % CHi.

Los mayores promedios de CHi se obtuvieron en la parte baja con 112.3 %, le sigue la parte media con 107.6 % y la parte alta con 86.4 %, la variación entre la parte baja y media del tallo es de 4.7 %, y entre la parte alta 26.5 % CHi (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados promedio de CHi de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, de las partes del tallo, baja, media y alta. Periodo mayo- junio de 2017. Fuente: elaboración propia.

Guadual	Parte del tallo	Fase lunar				
		Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Guadual 1	Baja	87.6	128.6	107.3	115.8	110.6
Guadual 2		117.9	94.5	140.8	99.5	121.4
promedio		102.7	111.5	124.1	107.6	116.0
Guadual 1	Media	100.4	141.0	119.3	105.3	107.6
Guadual 2		104.6	93.8	101.4	91.4	111.7
promedio		102.5	117.4	110.4	98.3	109.7
Guadual 1	Alta	84.4	102.5	79.5	88.8	88.0
Guadual 2		86.4	89.2	74.3	80.9	90.3
promedio		85.4	95.9	76.9	84.8	89.1
Promedio general		96.9	108.2	103.8	96.9	106.0

Los resultados obtenidos en el periodo febrero-marzo de 2018 (época de secas), el CH promedio por fase lunar se mencionan en la tabla 7. La fase lunar llena es la que menor CH obtuvo con 71.7 % (con un rango entre 55 % y 92 % y una variación de 36.9 %), le sigue cuarto creciente con 80.6 %, (con un rango entre 61.8 % y 105.8 %, con una variación de 44 %) cuarto menguante (2), con 100.3 % (con un rango entre 84 % y 144.6 % con una variación de 60.5 %), luna nueva con 115.2 %, (con un rango entre 78.1 % y 159.4 %, con una variación de 81.2 %), cuarto menguante con 143.3 %, (con un rango entre 117.2 % y 185.7 %, y una variación de 68.5 %). La variación entre el mayor y el menor CH promedio es de 71.6 %.

Tabla 7. Resultados promedio de CHI de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodo febrero-marzo de 2018. Fuente: elaboración propia.

Clave	Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
1	117.2	128.3	61.8	55.1	102.1
2	185.7	159.4	79.2	92.0	144.6
3	130.0	78.1	67.5	83.6	90.4
4	127.1	112.8	67.2	78.1	84.0
5	134.9	104.5	102.1	63.8	86.6
6	164.7	108.0	105.8	57.5	94.1
Promedio	143.3	115.2	80.6	71.7	100.3

Los resultados obtenidos de CHI promedio en las partes del tallo, baja, media y alta, son como sigue: los menores CHI promedio se obtuvieron en la parte alta, el menor en luna llena con 59.8 %, le sigue cuarto creciente con 61.3 %, cuarto menguante (2) con 82 %, luna nueva con 83.6 %, cuarto menguante con 110.8 %, la variación es de 50.9 % de CHI (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados promedio de CHI de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar en las partes del tallo, periodo febrero-marzo de 2018. Fuente: elaboración propia.

Parte del tallo	Fase lunar				
	Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Baja	192.0	157.6	115.7	94.8	128.6
Media	142.6	111.1	78.0	68.7	104.5
Alta	110.8	83.6	61.3	59.8	82.1
Promedio	148.5	117.5	85.0	74.4	105.0

En la parte media, la fase lunar que presento menor CHI fue luna llena con 68.7 %, le sigue cuarto creciente con 78 %, cuarto menguante (2) con 104.5 %, luna nueva con 111.1 %, cuarto menguante con 142.6 %, la variación entre el CHI mayor y menor fue de 73.98 %. En la parte baja del tallo se obtuvieron los menores CHI en luna llena con 94.8 %, le sigue cuarto creciente con 115.7 %, cuarto menguante (2) con 128.6 %, luna nueva con 157.6 %, cuarto menguante con 192 %, la variación de CHI entre el mayor y menor es de 97.18 %.

La variación promedio CHI entre el primer registro de cuarto menguante y el promedio de CHI en luna nueva es de 31 %, con cuarto creciente es de 63.5 %, con luna llena es de 74 % y con el segundo registro de cuarto menguante es de 43.4 %. Los mayores promedios de CHI se obtuvieron en la parte baja con 137.7 %, le sigue la parte media con 100.9 % y la parte alta con 79.5 %, la variación entre

la parte baja y media del tallo es de 36.8 %, y entre la parte alta 58.2 % CHI (Tabla 8).

Tabla 9. Resumen de resultados promedio de contenido de humedad inicial de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, por fase lunar, periodos 2017-2018. Fuente: elaboración propia.

Ubicación	Periodo	Clave	Cuarto menguante	Luna nueva	Cuarto creciente	Luna llena	Cuarto menguante
Guadual 2	Mayo-junio 2017	1	116.5	90.5	108.2	105.8	94.6
		2	89.2	159.9	110.6	102.0	108.5
		3	103.3	121.4	97.6	102.1	109.3
Guadual1		4	91.8	83.9	95.3	90.6	112.9
		5	101.8	101.5	100.3	87.5	94.8
		6	78.8	92.2	110.6	93.7	115.6
Promedio			96.9	108.2	103.8	96.9	106.0
Palmatita	Febrero-marzo 2018	1	117.2	128.3	61.8	55.1	102.1
		2	185.7	159.4	79.2	92.0	144.6
		3	130.0	78.1	67.5	83.6	90.4
		4	127.1	112.8	67.2	78.1	84.0
		5	134.9	104.5	102.1	63.8	86.6
		6	164.7	108.0	105.8	57.5	94.1
Promedio			143.3	115.2	80.6	71.7	100.3

Los resultados obtenidos de CHI promedio por fase lunar en los dos periodos 2017-2018 de lluvias y de secas fueron distintos, la diferencia entre los promedios de cuarto menguante es de 46.3 %, en luna nueva es de 6.9 %, en cuarto creciente es de 23 %, en luna llena es de 25.2 % y el segundo registro de cuarto menguantes es de 5.6 %.

En promedio, los registros de CHI en la época de lluvias y la época de secas registraron CHI de 102.3 %. El primer registro de CHI en cuarto menguante 143.3 % en el periodo febrero-marzo (época de secas) fue mayor que en el periodo mayo-junio 96.9 % (época de lluvias), con una variación de 46.4 %; en luna nueva el CHI registrado también fue mayor con 115.2 %, en la época de lluvias 108.2%, con una variación de 7.1 %; en cuarto creciente se registraron 103.8 % CHI en la época de lluvias y 80.6 % CHI en la época de secas, con una variación de 23.2 %; en luna llena registró en la época de lluvias 96.9 % CHI, en la época de secas 71.7 % CHI con una variación de 25.2 % CHI y en cuarto menguante en el segundo registro de la época de lluvias 106 % CHI, en la época de secas 100.3 % con una variación de 5.7 % CHI (Tabla 9).

Se registró la mayor variación de CHI en los dos periodos de estudio en orden descendente, al cuarto menguante en el primer registro, luna llena, cuarto creciente, luna nueva y finalmente cuarto menguante en el segundo registro.

4.3 Conclusiones

4.3.1 En el periodo mayo junio de 2017

1. Las condiciones que presentan los guaduales (cercanos o no a fuentes de abastecimiento de agua) no son determinantes en el contenido de humedad inicial de los tallos.
2. Los tallos cortados durante las fases lunares cuarto menguante y luna llena contenían los menores porcentajes de CHI en promedio.
3. Los mayores valores CHI se registraron en la parte baja de los tallos, le siguen las porciones medias y finalmente las partes altas de los tallos con diferencia de 4.72 % y 21.2 % respectivamente.
4. La variación de los valores obtenidos entre el menor CHI promedio y el valor promedio más alto, es menor al 15 %.
5. Los tallos cortados en el gradual 1, sin abastecimiento de agua, presentaron los mayores valores de CHI promedio en las fases lunares analizadas, con una diferencia de 4.97 % con respecto al gradual 2.

4.3.2 En el periodo febrero-marzo de 2018

1. El menor valor de CHI obtenido para los tallos recolectados se registró en las partes altas de los tallos, el mayor valor se registró en la parte baja de los tallos, con una variación del 81.22 %
2. Durante los periodos de luna llena y cuarto creciente se registraron los menores porcentajes de CHI promedio.
3. La variación de los valores obtenidos entre el menor CHI promedio y el valor promedio más alto, es superior al 70 %.

4.4 Conclusiones generales

1. Este estudio no es concluyente, se debe continuar con más experimentaciones a lo largo del año, para comparar resultados.
2. Los CHI obtenidos en cada fase lunar presentan una alta variabilidad
3. Existen variables como nutrientes del suelo, clima, hora de corte, edad, diámetros, espesores, que no se integraron al estudio, motivo por el cual los resultados se consideran parciales.

4. Realizar los cortes para aprovechamiento en cuarto menguante no es garantía, necesariamente, de Chi bajos a lo largo del tallo.
5. Es necesario comparar los resultados de contenido de humedad inicial al momento del corte de los tallos con otros estudios realizados en las mismas condiciones.

4.5 Proceso de preservado y evaluación de los niveles de sales de boro.

La preservación es un tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la guadua. Es importante el uso final del bambú y donde se va a emplear para determinar el tipo de preservante, hidrosolubles u oleosolubles MAVDT, (2010); ICONTEC, (2006); y NTC, (5301). Esta actividad es crítica, como parte del proceso de la cadena productiva del bambú, porque garantiza la calidad de los tallos por mucho tiempo en cualquiera de sus usos.

El preservante utilizado es una solución química hidrosoluble, a base de bórax y ácido bórico, es incolora e inodora, de baja toxicidad para los mamíferos, efectiva y económica, mientras no esté expuesta a altas humedades y se encuentre protegida por los rayos del sol (Turner, 2008) y (Peña y González, 2009).

Las proporciones corresponden a la norma técnica colombiana NTC 5301, ICONTEC, (2006), en un rango del 6 % al 9 % de concentración y en una proporción en volumen 1:1 de ácido bórico y bórax. Se han encontrado buenos resultados con esa concentración y con un tiempo de inmersión entre 3 y 5 días, si se aumenta la temperatura se favorece la difusión de los compuestos de boro (Morales Pinzon, 2006). La proporción utilizada en la experimentación fue del 4 %, 5 % y 6 %, de bórax y ácido bórico, y en tiempos de inmersión de cuatro, cinco y seis días, en porciones de las partes baja, media y alta del tallo, por separado. El ácido bórico se mezcló en agua a temperatura ambiente y el bórax se disolvió en agua caliente a 60 °C. La temperatura juega un papel clave en la difusión, la solubilidad del ácido bórico es directamente proporcional a la temperatura, lo que explica porqué la difusión se duplica por cada 20 °C, en este porcentaje la mortalidad de los coleópteros taladradores *D. minutus* es del 100 % (Turner, 2008) y (Peña y González, 2009).

El CH es el factor más importante que afecta la penetración de la solución preservadora en las paredes de los tallos del bambú, la difusión comienza en el punto de saturación de la fibra (PSF alrededor de 30 % de CH), que se define como

el punto en el que cavidades vacías de las células ya no tienen agua líquida, pero las paredes de las células siguen saturadas con agua ligada. Varios estudios han encontrado que es necesario un 40 % de CH para una correcta difusión (Turner, 2008). En muestras con 80 % de CH la penetración de las SB no fue completa (100 %), en CH inferiores al 80 % la penetración fue completa (Morales Pinzon, T., & Tistl, M. 2007).

Según Turner (2008) los boratos han sido utilizados en la industria de la madera desde 1950, sin embargo siempre surgió la duda sobre cuál es la cantidad necesaria para la protección de la madera, en algunos países se recomienda para la preservación de la madera un requerimiento de 0.1 % equivalente de ácido bórico (EAB), mientras que otros recomiendan EAB de 0.5 % contra las termitas, y tan bajo como 0.02 % de EAB contra algunos tipos de hongos, en general es aceptado que con un 0.2 % para el control efectivo contra el deterioro por hongos, las termitas y otros insectos que atacan la madera.

Este porcentaje sugerido equivale a 1.5 ó 2.0 kg EAB/m³, como nivel aceptable de preservación para el caso de la *Guadua angustifolia* (Posada Giraldo, 2015).

Hasta el momento de efectuar el proceso de preservación en este estudio, no había manera de conocer su efectividad, o de determinar la concentración de sales de boro (SB) en solución, no era posible determinar con certeza el tiempo más adecuado de inmersión, ni tampoco era posible determinar los costos del proceso de preservación. Existen variables importantes al momento de la preservación; la densidad del material, su contenido inicial de humedad, el tiempo de inmersión y el efecto de la temperatura (Morales Pinzón, 2006).

En nuestro país existen métodos que permiten tener el control del proceso de preservación de manera práctica, como el de Erdoiza & Echenique, (1980) sin embargo, no se aplican. Es necesario medir la retención de las SB con exactitud, definir los procedimientos adecuados a fin de garantizar la calidad del producto y con ello la confiabilidad de los productores por parte de constructores o usuarios del bambú.

La aplicación de las recomendaciones de la NTC 5301 (ICONTEC, 2006) a falta de una norma nacional o internacional, no es garante de la calidad final de los tallos en cuanto a su durabilidad, dado que la evaluación del proceso de preservación a partir de métodos cualitativos y cuantitativos para determinar la presencia y la retención de las sales de boro es importante para el usuario del bambú para su uso en la construcción y como material estructural.

Actualmente no existen productores que garanticen la calidad de la preservación del bambú ni los métodos aplicados. En el sector de la construcción es básico, generalmente la calidad ofrecida no satisface las necesidades de profesionales de la construcción, en este medio en el que se requiere de materiales que garanticen su permanencia.

Para asegurar esa durabilidad requerida es necesario contar con métodos y técnicas que permitan garantizar con certeza la efectividad del método de preservación, de las sustancias preservadoras, y los materiales preservados (Erdoiza y Echenique, 1980); y la FAO establece que el bambú debe contener 0.960kg/m^3 de EAB para garantizar un nivel mínimo de preservación y su durabilidad ante el ataque de agentes xilófagos.

Para lograr esta garantía es necesario tener un control adecuado durante el proceso de preservación, para valorar los niveles de preservante mediante métodos para determinar la presencia y retención de las sales de boro.

4.5.1 Objetivo

Determinar la penetración y retención de sales de boro (SB) con métodos cuantitativo y cualitativo en tallos preservados con soluciones al 6 %, 5 % y 4 %, durante 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta de los tallos.

4.5.2 Metodología

4.5.2.1 Recolecta del material

Se inició con trabajo de campo para la extracción de muestras, posteriormente se llevó a cabo el preservado y posterior secado, se realizó trabajo en el laboratorio para determinar el CH, la densidad, los pesos inicial y anhidro, la medición de la retención mediante el uso de reactivos y el espectrofotómetro, y la aplicación de reactivos, reveladores para determinar la penetración del preservador.

Los tallos para el ensayo se eligieron “recios” o “maduros”, según criterios de observación (Moran Ubidia, S/F) y (Cruz Ríos, 2013). Los guaduales donde se recolectaron están en el camino a la comunidad de Tizizapa, en Coapal Chico, dentro del Sitio Experimental “Las Margaritas” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el municipio de Hueytamalco, Puebla. Todas las muestras fueron identificadas de manera inequívoca. La recolecta se realizó entre los meses de enero y febrero de 2017, y se preservaron y secaron en el periodo de marzo a junio de 2017.

Se extrajeron 27 tallos de aculeata de 6 m de longitud, se cortaron en tres tramos, partes baja, media y alta de cada tallo, resultando 81 muestras de 1.50 m de largo. Se clasificaron e identificaron de manera inequívoca, se prepararon, limpiaron y a cada una se le perforó el diafragma para permitir el paso de la solución preservadora (Imágenes 37 y 38).

El diseño experimental fue de tres niveles de altura en el tallo (baja, media y alta); tres niveles de concentración de la solución preservadora (4 %, 5 % y 6 %); y tres periodos (4, 5, y 6 días) con tres repeticiones por nivel, en total 81 muestras.

4.5.2.2 Preservación

Para la preservación se utilizó el método de inmersión-difusión con SB (bórax y ácido bórico) (Imagen 39).

Por motivos operativos las muestras se introdujeron en las tinas de preservación en fechas distintas en función de las concentraciones de la solución preservadora, a partir del mes de enero hasta el mes de mayo de 2017 (Tabla 10)

La preservación de las 27 muestras con la solución al 6 % de concentración se introdujeron 15 días después del corte, las 27 muestras que se preservaron con solución al 5 %, se introdujeron 60 días después de ser cortadas; y las 27 muestras que se preservaron con solución al 4 %, se sumergieron 105 días después de ser cortadas. La variación del tiempo de inmersión entre las diferentes muestras se originó por el uso de una tina para la experimentación de preservado, existiendo intervalos de tiempo entre inmersiones. Se infiere que las muestras perdieron humedad a lo largo del tiempo de espera para la inmersión, lo cual influyó en la efectividad del proceso de preservación por la difusión de las SB, toda vez que el CH es uno de los factores que contribuye directamente a su difusión, además de otros factores como la temperatura, la concentración de la solución y la densidad.

Tabla 10. Fechas de inmersión de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, para el proceso de preservación. Fuente: elaboración propia

Total, de tallos	Porcentaje de sales de boro %	Tiempo de inmersión en días		
		4	5	6
9	6	28 de enero al 1 de febrero 2017	28 de enero al 2 de febrero	28 de enero al 3 de febrero
9	5	1 al 5 de abril 2017	1 al 6 de abril 2017	6 al 12 de abril 2017
9	4	13 al 17 de mayo 2017	13 al 18 de mayo 2017	18 al 24 de mayo 2017

Conforme se iban preservando, se colocaron a la intemperie para secarlas por medios naturales, hasta bajar el CH a menos del 19 %. De cada muestra se obtuvieron la densidad básica y el CH en el Laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana (LCQ-UV).

Una vez que el contenido de humedad CH disminuyó hasta que los ejemplares alcanzaron, en promedio alrededor del 19 % se dio por concluido el secado y se procedió a la evaluación del proceso de preservación.

A cada tallo preservado se le hicieron cortes transversales para obtener muestras independientes para la determinación de cada parámetro por evaluar (81 muestras para penetración, 81 muestras para retención, 81 muestras para contenido de humedad CH y 81 muestras para densidad básica), las muestras fueron en rodajas de 5 cm de altura (en total 324 muestras), se identificaron de manera inequívoca con claves que correspondían a: partes baja, media y alta del tallo, concentraciones de SB, periodos de inmersión y tipo de determinación.



Imagen 37. Extracción de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Preparación de muestras para la determinación de la retención y penetración de SB, CH y densidad básica. Fuente: autor.



Imagen 38. Extracción preparación de tallos para muestras de 1.5 m de longitud. Fuente: autor.



Imagen 39. Preservado por inmersión de muestras de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, con sales de boro SB. Fuente: autor.

4.5.2.3 Determinación de la penetración

En principio se determinó la penetración de las sales de boro (SB) por medio de la aplicación de soluciones reveladoras (Erdoiza y Echenique, 1980).

A las 81 muestras se les aplicaron reactivos definidos en la metodología para determinar la presencia de SB en la madera, los que al reaccionar presentan coloraciones distintas que sirven como indicativos de la presencia del preservador (Erdoiza & Echenique, 1980); y como indicadores también de la retención de EAB alcanzada en el material preservado: un rojo brillante puede contener ≥ 1.28 kg/m³, el rojo marrón a amarillo marrón puede contener $\cong 0.96$ kg/m³, y el amarillo $\cong 0.32$ kg/m³ (FAO, 1986).

Los reactivos para determinar la penetración y presencia de las SB fueron: tintura amarilla de turmérico, (cúrcuma), etanol, ácido hidrocliclorídrico y ácido salicílico. El reactivo 1 fue una solución de 10 g de tintura amarilla de turmérico disuelta en 100 cc de etanol, la solución se filtró; mientras que el reactivo 2 es una solución de 20 partes de ácido hidrocliclorídrico y 80 partes de etanol, saturada con ácido salicílico (± 13 g/100 ml).

A las cabezas de las muestras se les aplicó con pincel en toda la superficie de corte, sin escurrir, el reactivo 1; después de secar durante varios minutos se aplicó el reactivo 2.

Los cambios de color que aparecieron en aproximadamente de 20 min después de la aplicación del reactivo 2, se registraron para su evaluación (Erdoiza y Echenique, 1980) y (junta del acuerdo de Cartagena, 1988).

4.5.2.4 Determinación de la retención del preservador.

Para determinar la retención de las SB en kg/m³ EAB, las muestras de cada tallo

(81, tres niveles de altura por tallo; tres niveles distintos de concentración de SB y 3 periodos de inmersión cada uno con tres repeticiones) se llevaron al Laboratorio de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana-Región Poza Rica (LCQ-UV). Para la determinación de la retención de las SB por un método cuantitativo la metodología aplicada fue espectrofotométrica para boro (B) mediante la formación de un complejo coloreado con azometina H de acuerdo con lo descrito por (Pérez Cruz, 2018).

4.5.2.5 Determinación del contenido de humedad y la densidad básica

Para obtener el CH por el método gravimétrico se obtuvo el peso inicial de las 81 muestras, se secaron a temperatura ambiente durante 15 días, se metieron al horno durante 48 h a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, para obtener una masa anhidra y su peso, posteriormente con la aplicación de una fórmula se obtuvo el CH. Para obtener la densidad básica se utilizaron 81 probetas de 5 cm de altura, 27 de la parte baja, 27 de la parte media y 27 de la parte alta del tallo.

4.5.3 Equipo

Para obtener el peso inicial de las muestras se utilizó una balanza analítica Ohaus y una balanza analítica VE-2014, para el secado de las muestras un horno de secado eléctrico BINDER, la retención de las SB de las 81 muestras fue obtenida en el laboratorio de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Químicas de la UV, a través del estudio realizado por (Cruz Pérez, 2018).

4.5.4 Resultados

4.5.4.1 Contenido de humedad y densidad básica

Las muestras para la aplicación de los métodos cualitativo y cuantitativo, fueron preservadas con SB y secadas a la intemperie midiendo el CH por el método gravimétrico. Los resultados obtenidos de CH en porcentaje y densidad básica en kg/m^3 a concentraciones del 4 %, 5 % y 6 %, durante 4, 5 y 6 días en las partes del tallo baja, media y alta, se concentran en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de contenido de humedad (CH, %) y densidad básica (DB pa/vv en kg/m³) de muestras de *G. aculeata* preservadas las partes baja (B), media (M) y alta (A) del tallo con sales de boro con concentraciones al 4 %, 5 % y 6 %, con SB, durante 4,5 y 6 días. Fuente: elaboración propia.

Concentración sales de boro	Parte del tallo	Tiempo en días					
		4		5		6	
		C.H %	D.B (kg/m ³)	C.H %	D.B (kg/m ³)	C.H %	D.B (kg/m ³)
Solución al 4 %	B	13.2	562	14.9	489	12.3	501
		12.3	527	13.4	446	14.5	482
		13.7	477	15.1	536	13.6	545
	M	12.9	576	12.0	608	13.5	534
		13.4	602	12.8	581	13.0	585
		13.2	495	11.6	612	12.1	713
	A	12.5	588	11.7	686	12.4	560
		12.7	610	12.4	687	12.3	664
		12.4	582	11.7	597	12.8	544
Solución al 5 %	B	13.8	492	12.8	562	15.4	516
		13.6	562	14.8	458	15.5	483
		12.8	475	12.5	514	14.5	528
	M	12.7	581	11.4	604	12.5	517
		11.9	540	12.4	578	13.5	514
		12.4	626	11.6	673	12.4	554
	A	12.0	656	11.9	630	12.6	628
		12.3	560	11.1	683	12.0	556
		11.8	604	11.6	618	12.9	582
Solución al 6 %	B	16.4	549	15.9	562	15.4	546
		14.9	542	15.3	526	15.2	586
		15.8	545	18.9	603	17.3	499
	M	15.1	601	16.0	637	15.0	617
		14.6	616	16.5	583	14.9	533
		17.1	577	17.7	546	16.4	624
	A	14.0	729	16.0	578	14.8	614
		15.3	644	14.1	627	15.1	622
		14.7	691	14.9	625	15.7	611
Promedio		13.6	578	13.7	587	14.0	565

Los CH obtenidos en las muestras de *G. aculeata* al 4 %, presentan rangos entre 11.7 % y 17.1 %, con una variación de 5.4 %. Al 5 %, con rangos entre 11 % y 18.8 %, con una variación de 7.8 %. Al 6 %, con rangos entre 12.0 % y 17.2 %, con una variación de 5.2 %.

La densidad básica obtenida al 4 % de concentración presenta rangos entre 475 kg/m³, (parte baja) y 729 kg/m³, (parte alta) con una variación de 254 kg/m³. Al 5 %, con rangos entre 446 kg/m³ (parte baja) y 685 kg/m³ (parte alta), con una variación de 239 kg/m³. Al 6 %, con rangos entre 481 kg/m³ (parte baja) y 683 kg/m³, con una variación de 202 kg/m³. En promedio en la parte baja registra 467 kg/m³ y en la parte alta 699 kg/m³ con una variación de 232 kg/m³. Los CH promedio por concentración de SB, fueron 12.8 % al 4%, 12.7 % al 5 % y 15.6 % al 6%.

La densidad básica promedio obtenida por concentración de SB fueron 570 kg/m³ al 4 %, 566 kg/m³ al 5 % y 593 kg/m³ al 6 %.

Los CH por parte del tallo obtenidos al 4 % de concentración fueron de 14 % en la parte baja, 13.6 % en la parte media y 13.1 % en la parte alta. Al 5 % de

concentración de SB 14.8 % en la parte baja, 13.5 % en la parte media y 12.8 % en la parte alta. Al 6 % de concentración de SB 14.8 % en la parte baja, 13.7 % en la parte media y 13.4 % en la parte alta. En promedio en la parte baja registra CH de 14.4 %, en la parte media de 13.6 % y en la parte alta 13.1 %.

4.5.4.2 Evaluación de la penetración

La necesidad de utilizar la *G. aculeata* como elemento estructural en condiciones adecuadas de CH y protección química, nos obligó a realizar pruebas de preservado y secado para evaluar su efectividad y determinar la cantidad y presencia de SB que cumplan con lo descrito por la (FAO 1986) y (Posada Giraldo, 2015).

En el método cualitativo se usan productos químicos que reaccionan ante la presencia de un elemento o compuesto químico determinado, mostrando un color característico (Posada Giraldo, 2015). Con lo que se puede evidenciar la distribución del preservante en la sección transversal de las muestras. Con este método es posible identificar la presencia y estimar los niveles de SB en los tallos preservados.

En la imagen 40 se presentan los resultados de 27 muestras con la aplicación de reactivos y soluciones reveladoras, con concentraciones de SB al 4 % como solución preservante, en las partes del tallo, baja, media y alta. En general, se observa en todas las muestras que la parte interna del tallo se tornó a un color rojo brillante, lo que indica que existe una mayor concentración de sales de boro, sobre todo en las muestras de la parte baja de los tallos (B), se puede explicar porque en la parte interna de la pared de los tallos, hay una menor cantidad de fibras, esta cantidad aumenta hacia al exterior del tallo. En varias muestras se observa un color café rojizo, en otras se observa en la parte próxima a la externa un color café amarillento.

Las muestras tratadas con solución preservadora al 4 % y sumergidas 4 días presentan en la parte baja (al interior del espesor de pared) un rojo brillante, mientras que en la parte próxima al exterior se observa un color café amarillento; en las muestras de la parte media del tallo mostraron un color café rojizo en todo el espesor; y las de la parte alta tornaron a un color café rojizo en todo el espesor (Imagen 41).

Las muestras con solución preservadora al 4 % y sumergidas 5 días de la parte baja del tallo presentaron un color uniforme rojo brillante, las muestras de la parte media del tallo adquirieron al interior de la pared del tallo un color rojo brillante y

hacia al exterior un color café amarillento; las muestras de la parte alta del tallo, tornaron a un color rojo brillante al interior de la pared del tallo, y a uno café rojizo en la parte externa de la pared del tallo (Imagen 42).

Las muestras con solución preservadora al 4 % y sumergidas 6 días, de la parte baja del tallo mostraron en la parte interior un color café rojizo y en la exterior un color café amarillento, en tanto que las muestras de la parte media del tallo, en todo el espesor tornaron a un color café rojizo, al igual que las muestras de la parte alta del tallo (Imagen 43).

La tabla 12, presenta los resultados de la evaluación de la penetración alcanzada por las muestras de tres alturas a lo largo del tallo (baja, media y alta), con solución preservadora al 4 % de concentración de sales de boro, con periodos de inmersión de 4, 5 y 6 días. Del total de muestras de la parte baja del tallo se observaron tres con penetración irregular café amarillento (PTIA), cinco con penetración total irregular (PTI) y una con penetración total regular (PTR); en contraste entre las muestras de la parte media del tallo siete alcanzaron PTI y dos PTIA; en las muestras de la parte alta del tallo, ocho alcanzaron PTI y una PTR. Las veinte muestran que alcanzaron una PTI representan el 74 % del total de muestras, con un estimado de 0.25 % de EAB, las cinco con PTIA representan el 18.5 %, con un estimado de 0.20 % EAB, y las dos con PTR representan 7.5 %, con un estimado de 0.30 % EAB.



Imagen 40. Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 4 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

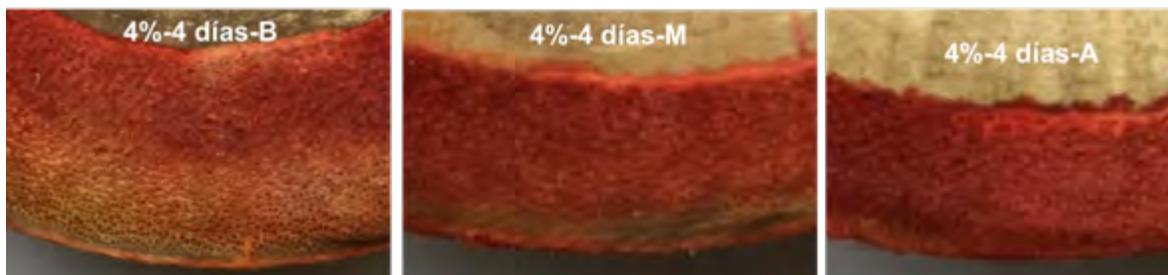


Imagen 41. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

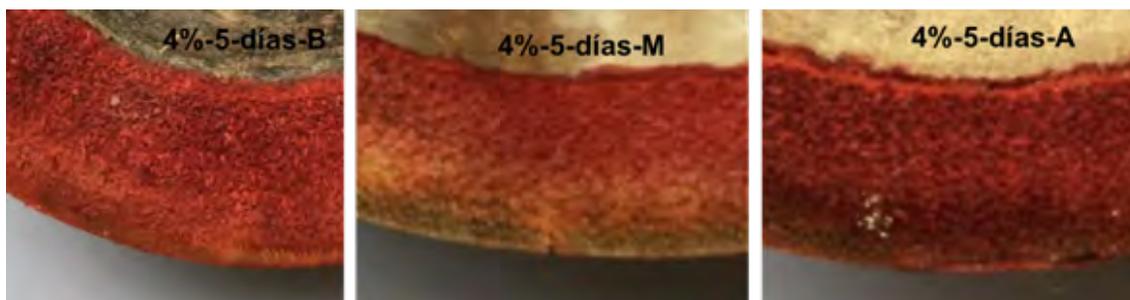


Imagen 42. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

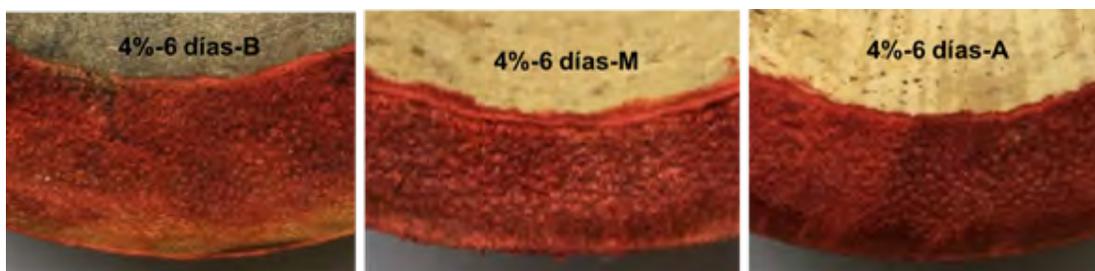


Imagen 43. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 4 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

Tabla 12. Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 4 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave muestra	Porcentaje	Parte del tallo	Tiempo en días		
			4	5	6
1	4	baja	PTIA	PTI	PTI
2			PTIA	PTI	PTI
3			PTIA	PTR	PTI
1		media	PTI	PTI	PTI
2			PTI	PTIA	PTI
3			PTI	PTIA	PTI
1		alta	PTI	PTI	PTI

Clave muestra	Porcentaje	Parte del tallo	Tiempo en días		
			4	5	6
2			PTI	PTR	PTI
3			PTI	PTI	PTI

PTR= penetración total regular PTI= penetración total irregular, PTIA penetración irregular café amarillento, PTR=rojo brillante .30 % EAB, PTI=café rojizo 0.25 % EAB, PTIA=café amarillento 0.20 % EAB.

En la imagen 44, se presentan los resultados de las muestras de tres alturas a lo largo del tallo (baja, media y alta), con solución preservadora al 5 % de concentración de sales de boro, con periodos de inmersión de 4, 5 y 6 días. En general se observa que las muestras presentaron penetraciones totales regulares (color rojo brillante), totales irregulares (café rojizo); totales irregulares (color café amarillento), varias muestras presentan en la parte interna del tallo un color rojo brillante, indica que existe mayor concentración de SB, en varias muestras se observa un color café rojizo, en otras se observa en la parte próxima a la externa un color café amarillento.

Las muestras, tratadas con la solución preservador con concentración al 5 % e inmersión de 4 días, provenientes de la parte baja del tallo, adquirieron en la parte interior de la pared del tallo un café rojizo y en la exterior un color café amarillento; mientras que las de la parte media del tallo, en todo el espesor de su pared se tornaron a un color café rojizo; en contraste las muestras de la parte alta del tallo se tornaron a un color café brillante (Imagen 45).

Las muestras al 5 % a 5 días, en la parte baja se observa en la parte interior un rojo brillante, en la exterior café amarillento, en la parte media, en todo el espesor se observa café rojizo, en la parte alta se observa café brillante en la parte interna y café rojizo en la externa (Imagen 46).

Las muestras al 5 % a 6 días, en la parte baja se observa en la parte interior un rojo brillante, en la exterior café rojizo, en la parte media, en todo el espesor se observa rojo brillante, en la parte alta se observa café rojizo en todo el espesor (Imagen 47).

La tabla 13, muestra los resultados de la evaluación de la penetración alcanzada por las muestras de tres alturas a lo largo del tallo (baja, media y alta) con solución preservadora al 5 % de concentración de SB, con periodos de inmersión de 4, 5 y 6 días. del total de muestras de la parte baja del tallo se observaron ocho con PTI y una PTR; en contraste entre las muestras de la parte media del tallo cinco alcanzaron PTI, dos PTIA y dos PTR; en las muestras de la parte alta del tallo siete

alcanzaron PTI y dos PTR. Las veinte muestras que alcanzaron PTI representan el 74 % del total de muestras, con un estimado de 0.25 % EAB, las cinco con PTR representan el 18.5 %, con un estimado de 0.20 % EAB, las dos con PTIA representan el 7.5 %, con un estimado de 0.30 %EAB.



Imagen 44. Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 5 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.



Imagen 45. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.



Imagen 46. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.



Imagen 47. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 5 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

Tabla 13. Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 5 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave muestra	Porcentaje	Parte del tallo	Tiempo en días		
			4	5	6
1	5	Baja	PTI	PTI	PTI
2			PTI	PTI	PTI
3			PTR	PTI	PTI
1		Media	PTI	PTR	PTI
2			PTIA	PTI	PTI
3			PTIA	PTR	PTI
1		Alta	PTI	PTI	PTI
2			PTR	PTR	PTI
3			PTI	PTI	PTI

PTR= penetración total regular PTI= penetración total irregular, PTIA= penetración irregular café amarillento, PTR=rojo brillante .30 %EAB, PTI=café rojizo 0.25 %EAB, PTIA=café amarillento 0.20 % EAB.

En la imagen 48, se presentan los resultados de 27 muestras con la aplicación de reactivos y soluciones reveladoras, con concentraciones de SB al 6 % como solución preservante, en las partes del tallo, baja, media y alta. En general se observan muestras con penetración total irregular café rojizo, algunas muestras penetración total regular rojo brillante, varias muestras presentan en la parte interna del tallo un color rojo brillante, indica que existe mayor concentración de sales de boro, en varias muestras se observa un color café rojizo en la parte alta del tallo, lo cual es comprensible, debido a la concentración de fibra en esa parte y un color rojo amarillento en la parte próxima a la externa por concentrar mayor cantidad de fibra con respecto a todo el espesor.

Las muestras al 6 % a 4 días, en la parte baja se observa en todo el espesor un rojo brillante, ligeramente en el exterior café rojizo, en la parte media, el color café rojizo se observa en la parte interna y el café amarillento en la parte externa, en la

parte alta se observa un café rojizo en todo el espesor (Imagen 49).

Las muestras al 6 % a 5 días, en la interna del espesor de la parte baja se observa un rojo brillante, un café amarillento en la parte externa, en la parte media un rojo brillante, en la parte alta café rojizo (Imagen 50).

Las muestras al 6 % a 6 días, en la parte baja se observa un rojo brillante en todo el espesor, en la parte media un café rojizo en todo el espesor, en la parte alta un rojo brillante (Imagen 51)

La tabla 14, muestra los resultados de la evaluación de la penetración alcanzada por las muestras de tres alturas a lo largo del tallo (baja, media y alta) con solución preservadora al 6 % de concentración de SB, con periodos de inmersión de 4, 5 y 6 días. Del total de muestras de la parte baja se observaron ocho con PTI y una PTR; en contraste entre las muestras de la parte media cinco alcanzaron PTI y cuatro PTR; en las muestras de la parte alta del tallo ocho alcanzaron PTI y una PTR. Las veintidós muestras que alcanzaron PTI representan el 81 % del total de muestras, con un estimado de 0.25 % EAB, las cinco con PTR representan el 19 %, con un estimado de 0.30 % EAB.



Imagen 48. Resultados de la evaluación penetración y presencia de SB, al 6 %, en 4,5 y 6 días en las partes baja, media y alta del tallo, preservadas con SB por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.



Imagen 49. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 4 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.



Imagen 50. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 5 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

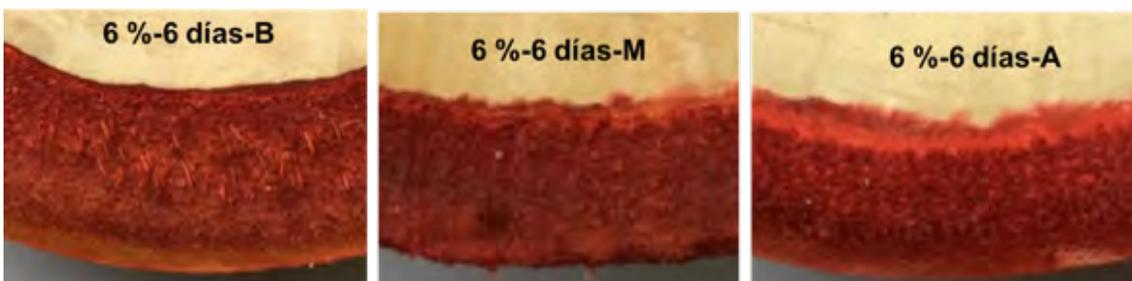


Imagen 51. Resultados, detalle de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % en 6 días, partes baja, media y alta del tallo, preservadas por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

Tabla 14. Resultados de la evaluación penetración-presencia de SB al 6 % de concentración, en 4, 5 y 6 días, de las partes baja, media y alta del tallo, preservados por inmersión-difusión. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave muestra	Porcentaje	parte del tallo	Tiempo en días		
			4	5	6
1	6	baja	PTI	PTI	PTI
2			PTI	PTI	PTI
3			PTI	PTI	PTR
1		media	PTI	PTR	PTR
2			PTI	PTI	PTR
3			PTI	PTR	PTI
1		alta	PTI	PTI	PTI
2			PTI	PTI	PTR
3			PTI	PTI	PTI

PTR= penetración total regular PTI= penetración total irregular, PTIA= penetración irregular café amarillento, PTR=rojo brillante .30 %EAB, PTI=café rojizo 0.25 %EAB, PTIA=café amarillento 0.20 % EAB.

En resumen, del total de las 81 muestras se identificaron siete muestras que representan el 9 %, que alcanzaron penetración irregular café amarillento PTIA, café amarillento con un estimado de 0.20 % EAB, las once que representan el 14 %, con penetración total regular PTR rojo brillante, con un estimado de .30 %EAB y las 63 que representan el 77 % con penetración total irregular PTI café rojizo con

un estimado de 0.25 %EAB.

En general la mayor parte de las muestras presentaron resultados similares a los encontrados por (Morales Pinzón, 2006), una presencia casi total, observando una zona con penetración o presencia alta, donde el color rojo presentó una tonalidad mayor, corresponde a la parte interna del tallo, lo anterior se explica porque en la pared interior del bambú existe una mayor porosidad y menor densidad, hacia el exterior del bambú disminuye la porosidad y aumenta la densidad, lo que hace difícil la penetración del preservante. El mismo efecto se presentó en la parte baja del tallo, donde se obtuvieron mayores penetraciones, con respecto a la media y alta, la parte baja con una baja densidad permite mayor penetración del preservante, en las muestras se identificaron mayores densidades en la media y alta respectivamente.

Los resultados permitirán al productor y usuarios contar con una herramienta práctica que garantice la calidad de los productos de *G. aculeata*.

4.5.4.3 Determinación de la retención de sales de boro en kg/m^3 EAB, método cuantitativo.

Landauro P., (2010) establece la metodología para calcular mediante métodos químicos cuantitativos la retención que se logra mediante la preservación con SB, expresado en kg/m^3 .

El desarrollo de métodos alternativos de evaluación del nivel de preservante de SB en la aculeata de forma rolliza, es fundamental para dotar de herramientas confiables al productor para el control de calidad de los tallos que produce.

La retención de las SB es equivalente a la absorción neta que se expresa en kg/m^3 . Existen estudios experimentales para determinar la retención y la cantidad necesaria para evitar el ataque de los xilófagos establecidos en (FAO, 1986) y (Posada Giraldo, 2015).

La determinación se realizó en la FCQ-UV. Los reactivos fueron proporcionados por la Universidad Nacional Autónoma de México, los recursos económicos y materiales fueron proporcionados por el autor, así como la preparación de las muestras para la aplicación de los dos métodos de evaluación de los niveles de preservación con sales de boro (Pérez Cruz, 2018).

Los resultados promedio obtenidos se presentan en la tabla 15 separados por niveles: altura del tallo, concentración de la solución preservadora y periodos de inmersión, se consideran dos resultados el primero con un g de material analizado

EAB y el segundo el mismo material escalado al volumen del material tratado con la incorporación de la (DB), EAB.

Tabla 15. Retención en las muestras de sales de boro en kg/m³ EAB, en las partes del tallo (baja, media y alta), concentraciones de sales de boro en la solución preservadora (4 %, 5 % y 6 %), y tres periodos de inmersión (4, 5 y 6 días), *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Parte del tallo	Concentración de la solución	Inmersión	EAB*	Concentración de B	B	Densidad básica (DB)	EAB**
	(% de SB)	días	kg/m ³	mg/kg	kg/kg	kg/m ³	kg/m ³
Baja	4	4	2.20	2200	0.0022	522	1.15
		5	1.00	1000	0.0010	490	0.49
		6	5.10	5105	0.0051	509	2.60
	5	4	2.03	2030	0.0020	510	1.04
		5	1.40	1400	0.0014	478	0.67
		6	1.10	1104	0.0011	509	0.56
	6	4	4.24	4241	0.0042	546	2.32
		5	3.21	3210	0.0032	564	1.81
		6	1.08	1080	0.0011	544	0.59
Media	4	4	1.31	1310	0.0013	558	0.73
		5	2.01	2010	0.0020	600	1.21
		6	2.02	2015	0.0020	611	1.23
	5	4	6.52	4410	0.0044	583	2.57
		5	4.41	3300	0.0033	618	2.04
		6	6.63	6636	0.0066	528	3.51
	6	4	1.70	1701	0.0017	598	1.02
		5	1.12	1120	0.0011	589	0.66
		6	2.21	2212	0.0022	591	1.31
Alta	4	4	2.10	2100	0.0021	594	1.25
		5	1.46	1460	0.0015	657	0.96
		6	3.15	3150	0.0032	589	1.86
	5	4	3.30	3300	0.0033	607	2.00
		5	4.56	4565	0.0046	644	2.94
		6	4.67	4670	0.0047	589	2.75
	6	4	2.28	2250	0.0023	689	1.55
		5	1.00	1005	0.0010	610	0.61
		6	1.10	1105	0.0011	616	0.68

EAB* cálculos obtenidos por (Cruz Pérez, 2018), EAB** cálculos obtenidos por el autor.

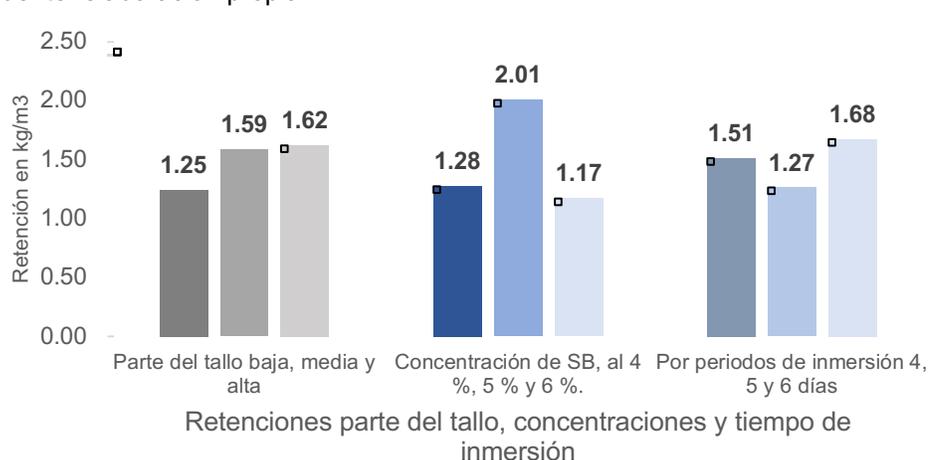
En los cálculos obtenidos por Cruz Pérez, (2018), el mayor promedio obtenido de retención de SB por altura del tallo fue en la parte media con 3.10 kg/m³, la parte alta con 2.62 kg/m³ y finalmente la parte baja con 2.37 kg/m³. Por concentración de la solución preservadora de SB, el mayor promedio obtenido de retención de

SB, fue al 5 % con 3.85 kg/m³, al 4 % con 2.26 kg/m³, y finalmente al 6 % con 1.98 kg/m³. Por periodos de inmersión el mayor promedio obtenido de retención de SB fue a los 6 días con 3.01 kg/m³, a los 4 días con 2.88 kg/m³ y finalmente a los 5 días con 2.24 kg/m³. Los resultados obtenidos son superiores a lo que establece la (FAO, 1986).

En la tabla 15 se registraron los resultados de los promedios de densidad básica (DB), de la tabla 11, se agruparon para tener los 27 valores para determinar el valor del boro en función del material tratado.

En la gráfica 1, se presentan los resultados promedio de retención de las muestras de sales de boro en kg/m³ EAB, incorporando la densidad básica, escalando un g de material analizado, al volumen del material tratado.

Gráfica 1. Resultados de retención promedio en kg/m³ EAB, en las partes del tallo B, M y A, en concentraciones al 4,5 y 6%, durante 4,5 y 6 días, *G.aculeata* de la región de Hueytlamco, Puebla. Fuente: elaboración propia.



Los resultados promedio con relación a la altura del tallo, son contrarios al supuesto de mayor densidad menor retención. A mayor concentración de SB, mayor retención y con mayor tiempo de inmersión mayor retención.

En el caso de la densidad si se cumple el supuesto de a mayor altura mayor densidad, se obtuvieron valores de DB en la parte baja de 519 kg/m³, en la parte media de 586 kg/m³ y en la parte alta de 622 kg/m³.

Los resultados promedio obtenidos de retención de SB, son superiores a los establecidos por la (FAO, 1986). Se encuentran entre los niveles aceptables de preservación 1.5 y 2.0 kg EAB/m³ y cumplen con los valores mínimos para que actúe como preservante (1 a 4 kg/m³, según (Posada Giraldo, 2015). La retención

durante 4 o 5 días son diferentes a los sugeridos por (Montoya Arango, 2008) (4 kg/m³ EAB, como retención mínima).

4.5.5 Conclusiones

Con base en los resultados del ensayo de retención podemos concluir que:

1. Los niveles de retención obtenidos en kg/m³ EAB, en las muestras preservadas con soluciones con concentraciones al 4 %, 5 % y 6 %, son superiores al 0.960 kg/m³ EAB recomendado por la FAO (1986); Turner (2008) y Posada Giraldo (2015).
2. Las retenciones promedio más altas en las concentraciones evaluadas las presentan las partes altas de los tallos y las menores las partes bajas.
3. Las retenciones más altas se obtuvieron con las soluciones con concentraciones del 5 % de sales de boro y periodos de 6 días de inmersión.
4. La concentración recomendable con base en los resultados obtenidos de retención de sales de boro promedio, es al 5 %.
5. De los tratamientos ensayados, ninguno mostró ser más eficiente para lograr la retención mínima necesaria de SB en kg/m³ EAB.
6. Las concentraciones de las soluciones preservadoras evaluadas se pueden utilizar para preservar por inmersión aculeatas rollizas
7. Con los valores obtenidos de retención, utilizar la concentración de SB al 4 %, con 4 días de inmersión es suficiente para preservar la *G. aculeata*.
8. El CH registrado al final del proceso de secado, no tiene efecto alguno sobre el tratamiento de preservación y es inferior al determinado por (GOCDMX NTC, 2017).
9. Esta investigación no es concluyente, se debe continuar investigando y correlacionar el espesor, diámetro y densidad, variables que determinan la retención

Con base en los resultados del ensayo para determinar la penetración podemos decir que:

1. El método cualitativo para evaluar la penetración de la solución de sales de boro, es recomendable como referencia, pero se recomienda para estimar la retención.
2. Más del 77 % de las muestras que preservamos obtuvo con una penetración igual a 0.25 % EAB, entre los 1.5 y 2 kg /m³, EAB.
3. Se detectó una penetración casi total de sales de boro en todo el espesor del tallo.
4. La parte interna del tallo presenta una mayor penetración de sales de boro.

5. Las mayores penetraciones se observaron en la parte baja del tallo.

4.6 Evaluación de diferentes condiciones sobre el proceso de secado al aire libre o a la intemperie

Este proceso constituye el más importante para obtener tallos en forma rolliza aptos para el uso estructural, confiere una mayor resistencia en sus propiedades físicas y mecánicas y al ataque de insectos xilófagos, inicia desde el corte, donde empieza a perder humedad, por ser un material higroscópico, pierde y gana humedad al ambiente hasta alcanzar el CHE, de acuerdo con las condiciones ambientales donde se encuentra. A diferencia de las maderas. Según Liese (1985) en los bambúes las contracciones se originan desde el instante de corte, desde que inicia el secado natural, la estructura anatómica del bambú, facilita las contracciones por pérdida de humedad, provoca deformaciones y rajaduras que afectan la calidad del material.

El secado debe realizarse rápido y de manera eficiente, por encontrarse expuesto al ataque de hongos e insectos. Es importante conocer el tiempo en que se secan los tallos dependiendo de las condiciones ambientales y determinar los contenidos de humedad (CH) críticos para que el sector productivo esté en posibilidades de planear la disponibilidad y la garantía del producto.

En este trabajo el proceso de secado se llevó a cabo por medios naturales a la intemperie, como parte de la investigación, con el objetivo de que sea aplicado en zonas rurales.

Por ser un material natural, la velocidad de secado del bambú depende de características propias como diámetro, longitud, espesor, longitud de los entrenudos, Chi, densidad, madurez y partes del tallo (baja, media y alta), también se ve afectado por condiciones externas como las épocas de corte o el lugar de extracción, que repercuten en el tiempo necesario para secar los tallos, también influyen las condiciones ambientales en que se desarrolla el proceso, por ejemplo, la época del año (lluvias o secas), la temperatura, la humedad relativa, la ventilación, la circulación del aire, la posición de los tallos entre otras.

El trabajo experimental para evaluar el comportamiento durante el secado de la *G. aculeata*, se realizó durante dos años, en diferentes estaciones y condiciones de colocación de los tallos y se definió con aproximaciones reales el tiempo necesario para disminuir el CH a menos del 19 %, porcentaje para ser usado como material estructural, o al contenido de humedad en equilibrio CHE, para Veracruz 16 % y 17 %, y Xalapa entre el 14 % y 18 % (Riba-Ramírez & Ricalde-Camacho, 1987), con

una tolerancia de $\pm 4\%$ (Bárceñas Pazos, 1985). Con el conocimiento de las variables temperatura y humedad relativa, se puede proyectar de manera estimada el tiempo que tardará el secado, actividad que también se llevó a cabo con los datos registrados durante los experimentos (Montoya, 2006).

El proceso de secado empleado fue bajo las recomendaciones y normas MAVDT (2010); ICONTEC (2006) NTC, 5301; Montoya Arango (2006); y Moran Ubidia (S/F).

Con fines prácticos se describen cuatro experimentaciones en periodos de tiempo distintos, para verificar y contrastar resultados, el propósito es determinar el menor tiempo para disminuir el CH al porcentaje recomendado para construcciones con madera y bambú en México y Colombia por la norma (GOCDMX NTC, 2017), (MAVDT, 2010).

Para determinar el proceso adecuado de secado a intemperie y bajo sombra se realizaron 8 experimentaciones durante los años 2015, 2016 y 2017, una en la ciudad de Xalapa, Ver., una en el municipio de Hueytamalco, Puebla, y seis en la ciudad de Papantla, Ver. con diferentes periodos de tiempo, número de muestras, tiempos de secado, y métodos de medición de CH, con el propósito de establecer las épocas de secado adecuadas para disminuir el CH en el menor tiempo posible (Tabla 16). En este documento sólo se presentan los resultados obtenidos en las evaluaciones de los procesos de secado realizados entre 2016 y 2017.

Tabla 16. Experimentaciones realizadas de secado a intemperie y bajo sombra, en los años 2015, 2016 y 2017 de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, en diferentes condiciones y regiones. Fuente: elaboración propia.

Ensayo	Corte	Tipo de secado	Medición de CH	Total de muestras	Lugar	Periodo	Tiempo en días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
1	Marzo de 2015	Bajo sombra	Peso	22	Hueytamalco, Pue.	Marzo-julio 2015	217			2015											
2	Abril de 2016	Bajo sombra	Xilohigrómetro, peso	10	Papantla	Abril-julio 2016	114			2016											
3	Abril de 2016	Intemperie	Peso	10	Papantla	Abril-julio 2016-peso	97			2016											
4	Agosto de 2016		Método gravimétrico	13	Papantla	Septiembre 2016-enero 2017	132	2017									2016				
5	Agosto de 2016		Xilohigrómetro, peso	21	Papantla	Septiembre-noviembre 2016	70											2016			
6	Septiembre de 2016		Método gravimétrico	13	Xalapa	Xalapa octubre 2016-	125	2017											2016		

Ensayo	Corte	Tipo de secado	Medición de CH	Total de muestras	Lugar	Periodo	Tiempo en días	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
						febrero 2017													
7	Enero de 2017		Método gravimétrico, peso	15	Papantla	Febrero-mayo 2017	67			2017									
8	Febrero de 2017		Método gravimétrico, peso	13	Papantla	Marzo-mayo-2017	56			2017									
Total				117			878												

4.6.1 Metodología

La evaluación del proceso de secado por medios naturales mediante la medición de la pérdida de CH en porcentaje utilizando el método por gravimetría, (diferencias de pesos, inicial y anhidro con relación al peso anhidro), requiere la realización de ensayos en diferentes condiciones ambientales, por las innumerables variables que surgen durante el proceso, sin embargo, hay que recalcar que los resultados no son concluyentes, solo se aproximan a la realidad. En la tabla 17 se muestra la metodología para la evaluación del secado de tallos de *G. aculeata*.

Tabla 17. Evaluación del secado a la intemperie de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Secado al aire libre o a la intemperie		
Metodología		
Material	Tallos de <i>G. aculeata</i> Partes bajas y altas de los tallos	
Procedencia	Centro Experimental Las Margaritas, INIFAP Mpio. de Hueytamalco, Puebla	
Método común para la preparación de todo el material	Selección	Tallo maduros, sanos y rectos
	Corte	Partes baja y alta del tallo en diferentes épocas a lo largo de dos años
	Identificación	Inequivoca por tipo de tratamiento para evaluar
	Preservación	Por inmersión en una solución de sales de boro al 6 % de concentración y por siete días
	Determinación de CH periódico (por gravimetría)	Seguimiento periódico establecido para cada tratamiento, mediante muestras de 5 cm de longitud cortadas transversalmente, CH calculado por diferencia de pesos como porcentaje con relación al peso anhidro

Tabla 18. Variables evaluadas, para la determinación del proceso de secado a la intemperie en tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Localidades geográficas	Xalapa, Ver.	Papantla, Ver.				
Épocas del año	Lluvia	Lluvia	Seca			
Colocación de las muestras				Vertical	Invertidos	
				Horizontal		
Estimación de CH				Por pérdida de peso		
Efecto de la forma de los tallos						Efecto del diámetro y del espesor de pared en la pérdida de humedad

En la tabla 18 se establecen las variables evaluadas, para determinar el proceso adecuado para el secado a la intemperie. La medición del CH en periodos de tiempo, hasta reducir a menos del 18 % para ser usado como material estructural (GOCDMX, NTC 2017).

Siguiendo la práctica tradicional del secado de bambú, la posición vertical es la más recomendable, propiciando que el agua baje por gravedad, por lo que generalmente el CH en la parte baja de los tallos es mayor en comparación que en las zonas superiores. Con el fin de corroborar esta teoría o de encontrar la más adecuada, los tallos se colocaron en forma horizontal e invertidos.

Para obtener la mayor información sobre el material ensayado, también se cortaron dos rodajas de 5 cm de altura de las partes alta y baja del tallo, para determinar su densidad básica de acuerdo con procedimientos establecidos en (Echenique y Robles, 1993).

Para determinar la pérdida del CH, en porcentaje, de cada muestra de *aculeata* se obtuvieron muestras de 5 cm de longitud de acuerdo con lo establecido en la norma ISO 22157-1 (2004), numeral 6 y la norma DIN 52 183 (citada en Montoya Arango & Giménez Arias, 2006). Las muestras se pesaron en balanza electrónica con una precisión de 0.001 g, el secado de las muestras se realizó siguiendo los procedimientos de las mismas normas, las mediciones y el secado de las muestras hasta su condición anhidra se realizaron en el Laboratorio de pruebas de productos maderables (LPPM) del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver. y en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana (LFCQ-UV) región Poza Rica.

Para determinar la cantidad de muestras necesarias para las experimentaciones del secado se utilizó como herramienta estadística el muestreo aleatorio simple, ya que aplica para esta clase de investigación, para calcular el tamaño de la muestra sin conocer el tamaño de la población, se empleó la siguiente fórmula según el muestreo aleatorio simple:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot S^2}{E^2}$$

n = tamaño necesario de la muestra

$Z_{\alpha/2}$ = margen de confiabilidad que producirá el nivel de confianza deseado, para un intervalo de confianza del 95 %, $\alpha=0.05$ y $Z=1.96$

S = desviación estándar de la población (conocida o estimada a partir de anteriores estudios o de una prueba piloto de la variabilidad de la población), se estimó una desviación estándar de $S = 0.09$.

E = error o diferencia máxima entre la media muestral y la media de la población que se está dispuesto a aceptar con el nivel de confianza que se ha definido, 5 %

$$n = \left(\frac{(1.96)^2 (0.09)^2}{(0.05)^2} \right) = 12.44 \cong 13$$

Con el resultado obtenido de la ecuación anterior se determinó el tamaño de la muestra en 13 unidades.

Con el fin de evaluar algunos de los factores que afectan la velocidad de secado de los tallos se realizaron ensayos en dos localidades (Xalapa y Papantla Ver.); además en Papantla se evaluaron las siguientes condiciones: 1) en dos épocas (seca y de lluvias); 2) determinado el tiempo de secado registrando la pérdida de peso en kilogramos; y 3) evaluando el efecto a) de la colocación de los tallos durante el secado de tres formas (horizontales, verticales e invertidos); b) del diámetro de los tallos y c) del grosor de la pared en la tasa de secado.

Denominamos posición vertical cuando colocamos los tallos, dada su conicidad, con su diámetro mayor sobre el suelo, y como invertidos cuando los colocamos con su diámetro inferior sobre el suelo. Las evaluaciones del efecto de las diferentes épocas de año y la colocación de los tallos se realizaron en la ciudad de Papantla. En todos los casos el proceso se llevó a cabo al aire libre, es decir, a la intemperie.

4.6.1.1 Corte, extracción y preservado de muestras

Los tallos colectados para todas las experimentaciones se extrajeron del centro experimental del INIFAP “Las Margaritas” del Municipio de Hueytamalco Puebla., de un guadual de crecimiento natural, los tallos fueron de 6 m de longitud con diámetros entre 9 y 12 cm.

La selección, determinación de la edad y corte por fase lunar cuarto menguante establecidas por Morán Ubidia (s/f); y Cruz Ríos (2013); y Londoño (2005). Una vez fuera del guadual se limpiaron, quitaron los brotes de las ramas, perforaron los diafragmas para la penetración del preservante y transportaron al cobertizo de la Unión de Productores de Bambú del municipio de Hueytamalco, Pue., en donde se encuentra la pileta de preservación.

Para la preservación se usó una solución de base agua con bórax y ácido bórico, por ser efectivas y económicas (Peña V., Burgos., González F., & Will Valero, 2009). La solución se preparó con base en las proporciones indicadas en la NTC, 5301 (ICONTEC, 2006).

Los tratamientos de preservación se realizaron en el municipio de Hueytamalco, Pue., y en la ciudad de Papantla, Ver., los tallos se sumergieron en tinas de preservación durante siete días para un tratamiento de inmersión-difusión con soluciones de bórax y ácido bórico (SB) al 6 % de concentración. Con este porcentaje de concentración se espera lograr que la mortalidad de los coleópteros taladradores *D. minutus* sea del 100 % (Peña V., Burgos., González F., & Will Valero, 2009).

4.6.1.2 Procedimiento preparación de muestras

Todas las muestras para las diferentes experimentaciones se caracterizaron, midiendo y registrando sus diámetros y espesor de las paredes en las partes baja y alta de cada muestra, las distancias internodales, sus pesos en kilogramos y se registraron la apariencia y calidad de cada tallo (libres de defectos).

Para los experimentos en Xalapa y Papantla se cortaron 13 muestras de 6 m de longitud en agosto y septiembre 2016.

Para la experimentación por posición del tallo (vertical, horizontal e invertidos) en la ciudad de Papantla en el periodo febrero a abril de 2017 y de marzo a mayo de 2017, se cortaron 28 muestras de 6 m de longitud.

Para la colocación de las muestras y medición del CH se utilizó la metodología descrita por Montoya (2006), cortando rodajas de 5 cm de longitud, para registrar los cambios de CH determinados de acuerdo a periodos determinados.

4.6.1.3 Determinación del contenido de humedad (CH) por gravimetría

El concepto de gravimetría según la Real Academia de la Lengua Española, viene del latín *gravis* 'pesado' y *metría*.

Alude a tres definiciones:

1. f. Separación, por medios mecánicos, de los minerales y la ganga, basándose en sus respectivas densidades.
2. f. Fís. Estudio de la gravitación terrestre y medición de sus variaciones en los diversos lugares.
3. f. Fís. Análisis cuantitativo de una sustancia por medio de la pesada.

Gravimetría puede referirse a:

- Un método analítico cuantitativo para determinar la cantidad de una sustancia midiendo su peso (<https://es.wikipedia.org/wiki/Gravimetr%C3%ADa>).

En este sentido la gravimetría nos permite registrar los valores de los pesos (masa por gravedad), con esos valores calculamos el contenido de humedad en porcentaje con la aplicación de la fórmula $(p_i/p_a)/p_a \cdot 100$. Donde p_i = al peso inicial de la muestra, p_a = al peso anhidro de la muestra.

Con el método gravimétrico se obtuvo el contenido de humedad (CH) en los ensayos de secado en dos regiones geográficas, Papantla y Xalapa, Ver., en los ensayos para estimar el CH por pérdida de peso, en los ensayos para determinar el efecto de la colocación de los tallos en el proceso de secado, en los ensayos para determinar el efecto del diámetro y espesor de pared en la velocidad del secado. Los valores obtenidos determinan la velocidad con la que el material pierde humedad en función de las condiciones ambientales que lo rodea mientras se seca, con el registro de la pérdida de contenido de humedad hacemos la evaluación del avance del secado.

4.6.1.4 Evaluación del secado al aire libre o a la intemperie

4.6.1.4.1 Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.

El seguimiento del proceso de secado registrando la pérdida de contenido de humedad periódicamente en las instalaciones del área de secado al aire libre del LPPM del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver., tuvo como propósito determinar el CH en otras condiciones ambientales a las del sitio de donde se extrajo el material para evaluar el efecto del sitio. Las muestras se colocaron verticalmente y se rotaron cada tercer día para permitir la exposición de todas las superficies externas del tallo, cuando se estimó que habían llegado al contenido de humedad del $\pm 30\%$, punto de saturación de la fibra, se colocaron bajo sombra para continuar con el proceso de secado, pero sin riesgo de sufrir agrietamientos (Imagen 52). Las mediciones del CH se realizaron cada 21 días a partir del 1 de octubre de 2016 hasta el 9 de febrero de 2017, en un periodo de 125 días, en total seis mediciones (Imagen 53).



Imagen 52. Secado a intemperie, en la ciudad de Xalapa, Ver., exposición de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. detalle de grietas. Fuente: autor.



Imagen 53. Medición del CH por el método gravimétrico y cálculo de la densidad básica DB pp/vv. Fuente: autor.

En la ciudad de Papantla se realizaron evaluaciones en tres periodos: de septiembre de 2016 a enero de 2017, determinando el contenido de humedad cada 21 días en un periodo de 105 días, es decir 7 mediciones; de febrero a abril de

2017, se registraron cuatro mediciones de CH, en 67 días; y de marzo a mayo de 2017, cinco mediciones del CH durante 56 días (imagen 54).



Imagen 54. Secado a la intemperie en la ciudad de Papantla, Ver., tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Corte de rodajas, medición del CH por el método gravimétrico.
Fuente: autor.

Para determinar la posición adecuada de los tallos para el secado, se colocaron en forma horizontal e invertidos en las experimentaciones de febrero a abril 2017.

4.6.1.4.2 Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso

En la experimentación de secado a intemperie, se agregó la medición de la variable peso en kg de las muestras y su disminución durante el tiempo de secado. Para relacionar el CH, peso en kg en porcentaje y el tiempo en días, la experimentación se realizó durante 56 días con 13 muestras en el periodo febrero a abril 2017 y con 5 muestras durante 67 días del mes de marzo a mayo 2017. Este ensayo tiene como propósito generar una herramienta de apoyo al productor para estimar como se está secando el bambú.

4.6.1.4.3 Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos

Según recomendaciones de Montoya (2006) la forma vertical de colocarlos sobre caballetes, es la posición más adecuada, la humedad baja a la base del tallo por gravedad. La recomendación en los primeros días después del preservado es dejarlos verticales para el escurrimiento del exceso de preservante atrapado entre los nudos. Sin embargo, la manera tradicional de hacerlo hasta el momento no se ha comprobado. Esta experimentación buscó determinar la forma adecuada de colocarlos a intemperie. Después de preservados, se colocaron 5 muestras en forma vertical, 5 horizontal y 5 invertidos, se registraron los resultados durante 67 días para su comparación y comportamiento.

4.6.1.4.4 Efecto del diámetro y del espesor de pared

Con la intención de verificar si la velocidad del secado es influenciada por el diámetro y el espesor de pared de los tallos, se llevó a cabo un ensayo de secado relacionando las variables contenido de humedad, tiempo en días, con el diámetro y espesor de pared de los tallos de *G. aculeata*. Se ensayaron 10 muestras, tallos de 6 m de longitud, el diámetro y espesor de pared fueron medidos bajo los procedimientos de (MAVDT, 2010). Se infiere que, a mayor diámetro y espesor de pared, mayor es el tiempo necesario para la reducción del contenido de humedad.

4.6.2 Resultados

Las experimentaciones en época de sequía el tiempo de secado fue menor que en época de lluvias.

Los registros presentan una relación inversa, entre el CH y el tiempo en días, es decir, el contenido de humedad disminuye al paso de los días.

Los tiempos de secado desde el inicio del proceso hasta que los tallos alcanzaron el contenido de humedad en equilibrio (CHE) con las condiciones ambientales fueron:

En el periodo de octubre 2016 a febrero 2017, 126 días con CHE entre 14 % y 18 %, en Xalapa, Ver.

En el periodo de febrero-abril 2017, 84 días con CHE entre 16 % y 17 %, en Papantla, Ver.

En el periodo entre septiembre 2016 y enero 2017, 26 días con CHE entre 16 % y 17 %, en Papantla, Ver.

Las experimentaciones realizadas arrojaron el tiempo de secado para el periodo octubre 2016-febrero 2017 con un CHE entre el 14 % y 18 % requiere 125 días, febrero-abril 2017 con un CHE entre 16 y 17 % se requieren 84 días. Septiembre 2016-enero 2017 con un CHE entre 16 y 17 %, se requieren 26 días

Se presentan los resultados para la ciudad de Xalapa durante 125 días, en el periodo octubre 2016-febrero 2017, para Papantla durante 132 días, en el periodo septiembre 2016-enero 2017, análisis de resultados. Determinación del CH por reducción de peso, resultados, análisis de resultados, conclusiones. En el periodo marzo-mayo 2017, durante 56 días, resultados de secado por posición de los

tallos, comportamiento del diámetro y espesor de pared, análisis de resultados, conclusiones. Resumen de resultados del proceso de secado.

4.6.2.1 Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.

En la tabla 19, se muestran los valores de CH registrados a los 1,21,42,62,103 y 125 días, en periodos de 20 días entre el primer registro y el segundo, 21 días entre el segundo y tercero, 20 días entre el tercero y cuarto, 41 días entre el cuarto y el quinto y 22 días entre el quinto y el sexto registro, del experimento montado en Xalapa, Ver.

Las diferencias promedio en porcentaje de los resultados a partir de la primera medición son: 25.8 % CH (36 %) a los 21 días, 44 % CH (61 %) a los 42 días, 51.8 % CH (72.8 %) a los 62 días, 52 % CH (73.1 %) a los 103 días y 54.6 % CH (76.7 %) a los 125 días. a los 42 días reduce el mayor CH, 44 %, en 83 días sólo reduce el 10.6 % CH.

El coeficiente de variación indica la variabilidad del comportamiento de secado en los tallos, la máxima variación se presentó a los 42 días le sigue a 21 días y 62 días.

Tabla 19. Variación del CH durante el secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., por 125 días, en la ciudad de Xalapa, Ver., de octubre 2016-febrero 2017. Fuente: elaboración propia.

Clave de la muestra	Contenido de humedad en % en días					
	1	21	42	62	103	125
LS	71.9	48.0	26.9	19.3	19.6	16.4
BS	56.7	32.5	20.8	17.9	19.5	16.8
IS	65.3	39.4	21.9	17.6	18.0	16.5
MS	72.5	38.6	20.6	17.1	17.6	15.9
ES	76.0	47.9	23.1	17.2	18.5	15.9
KS	71.5	47.9	34.6	20.5	19.5	16.7
FS	70.9	43.4	26.0	19.1	19.2	16.3
DS	69.8	45.2	25.9	18.7	19.0	16.0
CS	76.6	52.2	33.7	22.9	19.2	17.3
GS	76.3	50.1	30.4	20.6	19.8	16.9
AS	73.8	48.5	31.1	22.2	20.4	17.0
HS	69.2	42.8	25.3	18.4	18.7	16.4
JS	73.7	52.2	31.8	20.1	18.9	16.3
Promedio	71.1 %	45.3 %	27.1 %	19.3 %	19.1 %	16.5 %
S desviación estándar (%)	5.35 %	5.79 %	4.82 %	1.83 %	0.75 %	0.43 %
% CV (coeficiente de variación) =s/promedio	7.54 %	12.79 %	17.81 %	9.51 %	3.94 %	2.26 %

La mayor desviación estándar de los valores de Ch registrados es a los 21 días y la menor a los 125 días, lo que indica que la variabilidad del CH es mayor en los primeros 42 días del proceso de secado. Posteriormente, durante 63 días el

comportamiento es similar. A los 62 días se registró un CH de 19 % que era nuestro objetivo (Tabla 21).

Tabla 20. Resultados de densidad básica (DB) en parte baja y alta del tallo en *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., muestras para secado en la ciudad de Xalapa, Ver. Fuente: elaboración propia.

Clave de la muestra	Densidad básica DB kg/m3 parte baja	Densidad básica DB kg/m3 parte alta
LS	558	612
BS	617	642
IS	594	602
MS	605	650
ES	603	617
KS	579	810
FS	666	653
DS	603	620
CS	565	597
GS	583	620
AS	584	613
HS	533	562
JS	605	617
Promedio	592	632

Se obtuvieron densidades básicas promedio en la parte baja y alta de 592 y 632 kg/m³, respectivamente. Se observaron varias hendiduras en las muestras, algunas, con rajaduras, otras con fisuras a partir del nudo en los brotes de las ramas y en los taladros provocados por los xilófagos (Tabla 20).

Tabla 21. Estadísticos descriptivos del secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., por 125 días en la ciudad de Xalapa, Ver., de octubre 2016 a febrero 2017. Fuente: elaboración propia.

Tiempo	N	Mínimo	Máximo	Media	S (desv. est.)
1	13	56.7	76.6	71.10	5.36
21	13	32.5	52.2	45.30	5.79
42	13	20.6	34.6	27.1	4.83
62	13	17.1	22.9	19.3	1.84
103	13	17.6	20.4	19.1	0.75
125	13	15.9	17.3	16.5	0.43

Al inicio del proceso de secado el 50% de las muestras presentaron CH entre el 70 % y 75 %, para una muestra se registró un valor atípico de 56 %, por lo que el valor de la desviación estándar (S), calculada para los valores de CHI fue de 5.3 %, indicativo de la variabilidad de CHI. Conforme avanzó el proceso de secado, el CH se fue homogeneizando, alcanzando un valor de 19 % a los 62 días con una S

de 1.8 %, es decir, el CH varió entre el 21 % y 17 %, posteriormente la variabilidad disminuyó hasta una S de 0.4 %.

En la tabla 22 se muestran los valores de CH resultado de 7 mediciones del experimento montado en la ciudad de Papantla, Ver. (septiembre 2016-enero 2017) por muestra, en los días 1,21,40,64,84,105 y 132, con intervalos de 20 días en la segunda y tercera medición de 24 días en la cuarta, de 20 días en la quinta, de 21 días en la sexta y de 27 días en la séptima.

Las diferencias promedio en porcentaje que presentan los resultados con respecto a la primera medición son:

Las diferencias promedio en porcentaje que presentan los resultados con respecto a la primera medición son: 36.1 % CH (48 %) a los 21 días, 61.9 % CH (82.4 %) a 40 días, 55.5 % CH (73.9 %) a 62 días, 58 % CH (77.3 %) a 84 días, 59.5 % CH (79.24 %) a 105 días y 62.9 % CH (83.7 %) a 132 días. A 40 días reduce el mayor CH, 61.91 %, en 92 días solo reduce 1.02 % CH.

La mayor desviación estándar se registró el día 21 (9.25 %), y la menor (0.45) entre los contenidos de humedad medidos el día 132 es decir cuando los tallos estaban llegando al CHE. Entre los valores de S de la primera y segunda mediciones se presentó una diferencia muy alta con respecto al resto de los resultados obtenidos en las mediciones posteriores.

Tabla 22. Variación del CH durante el secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., por 132 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Septiembre 2016-enero 2017. Fuente: elaboración propia.

Clave de la muestra	1	21	40	64	84	105	132
	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH
AP	68.6	37.7	14.6	19.5	17.3	15.7	12.4
BP	87.7	53.5	17.4	20.1	17.3	15.8	12.3
CP	93.0	49.5	13.5	20.7	16.9	16.6	13.0
DP	70.7	25.8	9.1	18.7	16.7	14.7	11.5
EP	77.4	43.3	14.3	19.8	16.4	14.4	12.3
FP	84.3	46.0	19.3	23.4	18.2	16.6	12.4
GP	71.2	48.1	13.8	19.3	17.8	17.3	12.6
HP	69.9	35.6	11.8	18.6	17.2	16.1	12.7
IP	63.3	22.2	10.5	19.0	16.7	15.0	12.2
JP	77.8	39.6	11.3	19.3	17.3	15.4	11.7
KP	74.2	36.3	10.7	18.2	16.8	15.6	12.2
LP	68.9	30.1	14.5	19.5	16.8	14.8	12.1
MP	69.9	39.5	11.2	18.5	16.9	14.8	11.5
Promedio	75.1	39.0	13.2	19.6	17.1	15.6	12.2
s	8.59	9.25	2.88	1.33	4.84	0.88	0.45
% CV	11.43 %	23.70 %	21.79 %	6.78 %	28.3 %	5.67 %	3.67 %

A los 40 días el CH calculado fue de 13.2 % con una S de 2.88, es decir, varió entre 15 % y 10.4 %. Posteriormente, en los registros del día 84 los valores no presentaron una variación notoria entre sí, en la medición del 132 el CH calculado fue de 12.2 % con una S de 0.45. En la medición del día 64 se registró un incremento en el valor del CH (19.6 %) debido a la lluvia del día anterior, posteriormente continuó disminuyendo hasta alcanzar el CHE.

El contenido de humedad inicial registrado durante la primera y la segunda mediciones, el 50 % de las muestras presentaron CH entre el 70 % y 90 % y 39 % y 53 %, con una S de 8.5 % y 9.2 % respectivamente. (Tabla 23).

Tabla 23. Estadísticos descriptivos de los valores de contenido de humedad durante el secado, de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., en la ciudad de Papantla, Ver. Septiembre 2016- enero 2017. Fuente: elaboración propia.

Tiempo	N	Mínimo	Máximo	Media	s (desv. est.)
1	13	63.3	93.0	75.1	8.59
21	13	22.2	53.5	39.0	9.25
40	13	11.2	19.3	13.2	2.88
64	13	18.2	23.4	19.6	1.33
84	13	16.4	18.2	17.0	4.85
105	13	14.4	17.3	15.6	0.88
132	13	11.5	13.0	12.2	0.45

En la tabla 24, se muestran los resultados de la variación del contenido de humedad durante el proceso de secado montado en Papantla, Ver, entre marzo y mayo de 2017. Las mediciones de CH, en las partes baja y alta del tallo de cada muestra, se registraron los días 1, 10, 21, 38 y 56, con intervalos de 10 días en la segunda y la tercera medición, de 17 días en la cuarta, y de 18 días en la quinta.

Las diferencias promedio en % de la parte baja, con respecto a la primera medición son: 41.66 % CH (52.7 %) a 10 días, 55.53 % CH (70.2 %) a 21 días, 64.82 % CH (82 %) a 38 días, 63.18 %CH (70.9 %) a 56 días.

A 21 días reduce el mayor CH, 55.5 %, en 34 días solo reduce 6.63 %CH. Los resultados a los 56 días muestran que, en promedio los valores de CH se incrementaron, en ambas partes, baja y alta, con respecto al valor registrado el día 38, debido a la lluvia del día anterior a la medición.

El coeficiente de variación indica la variabilidad de la pérdida de humedad entre los tallos y las partes del tallo, el máximo valor se registró entre las lecturas del día 21 (42 %) para los CH de las muestras de la parte baja del tallo, a los 10 días el

valor fue de 39 %, también para las muestras de la parte baja; y el menor valor se registró el día 56 (8 %) entre las muestras de la parte alta del tallo, es decir el CH ya estaba alcanzando el equilibrio con las condiciones ambientales.

La mayor desviación estándar se registró en las lecturas del día 10 (14.7 %) para las muestras de la parte baja del tallo, mientras que el valor más bajo se registró entre los valores de contenido de humedad medidos el día 56 (1.28 %). Los valores de S entre los contenidos de humedad registrados entre la primera y la segunda medición de las muestras de la parte baja del tallo, presentaron una marcada diferencia con respecto al resto de los resultados de los otros lotes.

A los 21 días se registró un CH de 24.5 % en las muestras de la parte alta del tallo con una S de 5.56 %, es decir, el CH variaba entre 19 % y 29 %. Posteriormente, durante 35 días por los registros se estimó que el comportamiento fue similar, y el CH continuó disminuyendo de manera constante hasta alcanzar el CHE (Tabla 24).

El valor más bajo calculado de S fue de 1.28 % el día 56. Como se describió previamente el día 56 se registró un incremento en CH (16.88 % en la parte baja y 15.85 % en la alta) debido a la lluvia del día anterior del pesado de las muestras.

Al inicio del proceso de secado el contenido de humedad inicial entre el 50 % de las muestras fue de entre 57 % y 110 % en la parte baja y 56 % y 97 % en la alta, mientras que en segundo registro los contenidos de humedad variaron entre 19 % y 77 % en las muestras de la parte baja y entre 19 % y 55 % en las de la parte alta, con una S de 14.29 %, 11.88 %, 14.68 % y 10.20 %, respectivamente. En una de las muestras el contenido de humedad registrado fue mayor de 100 % (Tabla 25).

Tabla 24. Variación del CH durante el secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., por 56 días, en la ciudad de Papantla, Ver. marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.

Tiempo en días	1		10		21		38		56	
	CH		CH		CH		CH		CH	
	Baja	Alta								
SI-1	64.0	65.3	33.0	42.1	21.7	26.0	13.7	15.6	16.9	16.0
SI-2	86.5	59.9	23.7	32.4	16.6	20.6	12.3	12.5	14.9	14.4
SI-3	74.4	69.6	36.0	51.0	21.4	34.7	14.7	16.4	16.8	17.0
SI-4	74.0	75.4	45.1	44.3	26.8	26.3	14.9	14.5	16.8	15.6
SI-5	86.1	66.3	38.4	45.9	25.3	24.5	15.0	11.7	16.9	16.7
SI-6	74.4	56.8	46.5	19.1	21.2	16.0	15.7	11.9	16.4	14.0
SI-7	83.9	74.5	35.7	46.3	17.6	25.5	12.9	14.0	15.3	15.4
SI-8	72.0	46.8	19.7	26.9	15.8	16.7	12.6	12.0	15.3	13.9
SI-9	57.1	60.9	33.1	45.4	23.0	25.4	14.6	17.8	17.5	17.4
SI-10	84.5	71.1	43.7	41.9	24.6	24.3	14.1	13.5	17.5	16.1

Tiempo en días	1		10		21		38		56	
Clave de la muestra	CH									
	Baja	Alta								
SI-11	95.6	66.9	32.5	40.8	20.8	22.8	13.8	15.5	16.5	16.5
SI-12	64.7	65.2	21.5	30.0	16.4	21.1	12.5	12.6	16.1	15.1
SI-13	110.4	97.6	77.2	55.3	54.5	34.3	18.1	16.7	22.5	18.1
Promedio	79.0	67.4	37.4	40.1	23.5	24.5	14.2	14.2	16.9	15.9
s	14.3	11.9	14.7	10.2	9.9	5.56	1.56	2.04	1.87	1.28
% CV	18 %	18 %	39 %	25 %	42 %	23 %	11 %	14 %	11 %	8 %

Tabla 25. Estadísticos descriptivos del proceso de secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., en la ciudad de Papantla, Ver., entre marzo y mayo 2017. Fuente: elaboración propia.

Tiempo	N	Parte del tallo	Mínimo	Máximo	Media	s (desv. Tip.)
1	13	Baja	57.1	110.4	79.0	14.3
		Alta	56.8	97.6	67.4	11.9
10	13	Baja	19.7	77.2	37.4	14.7
		Alta	19.1	55.3	40.1	10.2
21	13	Baja	15.8	54.5	23.5	9.9
		Alta	16.0	34.7	24.5	5.6
38	13	Baja	12.3	18.1	14.2	1.6
		Alta	11.7	16.7	14.2	2.0
56	13	Baja	14.9	22.5	16.9	1.9
		Alta	13.9	18.1	15.9	1.3

4.6.2.2 Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso

En la tabla 26 se muestran los resultados de la experimentación para estimar el contenido de humedad por reducción de peso, montado en la ciudad de Papantla, Ver., entre marzo y mayo de 2017, las mediciones de peso de los tallos, se registraron los días 1, 10, 21, 38 y 56, con intervalos de 10 días en la segunda y la tercera medición, de 17 días en la cuarta, y de 18 días en la quinta.

Las diferencias promedio en kg, con respecto a la primera medición son: 3.5 kg (15.9 %) a 10 días, (con una variación entre 11.6 y 22 %); 8.1 kg (36.4 %) a 21 días, (con una variación entre 30.5 % y 42.5 %); 11.6 kg (51.7 %) a 38 días (con una variación entre 44.7 y 55.6 %) y 13.5 kg (60 %) en 56 días (con una variación entre 52.9 y 64.2 %), la reducción promedio de peso en porcentaje en 46 días fue del 44 %.

Tabla 26. Variación del peso en kg y porcentaje durante el secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., por 56 días, en la ciudad de Papantla, Ver. marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.

Clave de la muestra	Reducción de peso en kg.					Reducción de peso en porcentaje			
	Tiempo en días					Tiempo en días			
	0	10	21	38	56	10	21	38	56
SI-1	25.9	22.2	16.7	12.3	9.8	14.4	35.5	52.4	62.0
SI-2	17.3	14.3	10.6	8.3	7.2	17.5	39.0	52.2	58.2
SI-3	26.8	22.7	17.6	13.0	10.4	15.2	34.2	51.6	61.1
SI-4	22.5	19.5	15.1	11.8	9.9	13.5	32.9	47.4	55.9
SI-5	22.7	18.9	14.2	10.6	8.7	16.7	37.3	53.2	61.6
SI-6	25.4	21.3	17.3	14.1	11.9	16.2	31.9	44.7	53.0
SI-7	21.5	18.5	13.3	10.1	8.3	13.8	38.3	53.1	61.6
SI-8	16.4	13.3	9.9	7.9	6.8	19.1	39.8	51.6	58.5
SI-9	29.3	25.9	20.3	15.7	12.4	11.6	30.6	46.5	57.8
SI-10	18.0	15.1	11.3	8.2	7.2	16.2	37.0	54.2	60.3
SI-11	20.1	17.0	12.1	9.0	7.2	15.7	39.7	55.4	64.3
SI-12	18.8	14.7	10.8	8.3	7.2	22.0	42.5	55.7	61.6
SI-13	27.4	23.3	18.0	12.7	10.0	15.0	34.2	53.6	63.6
Promedio	22.5	19.0	14.4	10.9	9.0	15.9	36.4	51.7	60.0

4.6.2.3 Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos

Tabla 27. Registro de resultados de CH durante 67 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Febrero-abril 2017, muestras horizontales y verticales, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Tiempo en Días	27		46		67		Tiempo en Días	1	27		46		67		
	CH		CH		CH			Clave de la muestra	CH	CH		CH		CH	
	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta			Baja	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
CHH-16	31.3	19.4	14.6	15.2	14.3	12.5	CHIV-A	78.0	41.6	26.1	13.8	15.9	13.5	13.8	
CHH-17	30.1	17.7	16.3	13.5	13.9	11.7	CHIV-B	84.7	50.2	21.7	18.9	15.1	15.5	13.0	
CHH-18	33.6	25.5	14.0	14.1	13.5	12.3	CHIV-C	84.5	40.5	20.5	14.9	13.6	13.6	12.8	
CHH-19	37.2	18.4	16.2	13.8	14.0	12.3	CHIV-D	64.6	37.9	19.0	13.4	13.8	12.8	12.6	
CHH-20	31.4	20.6	16.1	13.1	13.3	11.8	CHIV-E	47.7	21.7	18.3	13.2	13.5	13.4	12.6	
Promedio	32.7	20.3	15.4	13.9	13.8	12.1	Promedio	71.9	38.4	21.1	14.9	14.4	13.7	13.0	

La experimentación con muestras colocadas verticalmente registró CH en la parte baja y alta, con un comportamiento distinto, en el primer registro de CH se obtuvo en la parte baja, con valor promedio de 71.9 %, en el segundo registro se

encontraron diferencias de CH, la parte alta registro 21.1 %, la parte baja 38.4 % (con una variación de 17.3 %) y una diferencia entre el primer registro y el segundo de la parte baja del (33 %), en el tercer registro los CH casi son iguales, 14.9 % para la baja y 14.4 % para la alta, en el cuarto la parte baja registra 13.7 % y la alta 13 % (.79 % menos que la baja) la diferencia entre el primer registro y el último representa el 58.1 % de CH (Tabla 27).

La experimentación con muestras colocadas horizontalmente, se realizó al mismo tiempo que las verticales. Los resultados registrados no difieren mucho de las verticales. En 27 días se obtuvieron CH en la parte baja 32.7 %, en la alta 20.3 %, con una variación de 12.4 %, a 46 días en la baja 15.4 %, en la alta 13.9 %, con una variación entre la baja y alta de 1.52 %, a 67 días en la baja 13.8 %, en la alta 12.1 %, la variación entre el primer registro y el último fue de 18.9 % en 40 días. El comportamiento durante el tiempo de secado no es diferente a otras formas de colocación (Tabla 27).

Tabla 28. Registro de resultados de CH durante 67 días, en la ciudad de Papantla, Ver. Febrero-abril 2017, muestras invertidas, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Tiempo en Días	1	27		46		67	
Clave de la muestra	CH	CH		CH		CH	
	Baja	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
CHC-21	70.5	33.7	20.0	19.6	13.4	15.2	12.5
CHC-22	57.5	29.5	18.4	13.5	12.5	13.2	12.0
CHC-23	71.8	37.0	26.0	18.9	14.3	15.1	12.6
CHC-24	51.2	27.8	19.8	14.2	13.1	13.5	12.7
CHC-25	51.2	28.1	18.4	13.0	12.6	12.9	11.7
promedio	60.4	31.2	20.5	15.8	13.2	14.0	12.3

La experimentación con muestras colocadas invertidas, registró CH en las partes baja y alta de las muestras, con la intención de determinar donde existía mayor porcentaje, duró 67 día a partir del mes de febrero a abril del 2017, en el segundo registro se encontraron diferencias de CH, la parte alta registro 10.69 % menos que la baja, en el tercer registro, 2 % menos, en el cuarto la parte alta registra 1.67 % menos que la baja.

En 19 días el CH baja en promedio 11 %, entre el registro a los 46 y 67 días una diferencia en promedio de 1.5 %. Se observa que durante los 27 días existe una diferencia de CH entre la parte baja y alta, pero a los 46 días es casi igual el CH (Tabla 28).

4.6.2.4 Efecto del diámetro y del espesor de pared

La experimentación se realizó con diez muestras de *G. aculeata* para el secado a intemperie, se obtuvieron resultados diferentes de CH en cada tallo durante el tiempo de experimentación. Se identificaron diámetros entre 8.9 y 13.4 cm, en promedio 11.2 cm.

El coeficiente de variación indica la variabilidad del comportamiento de secado, la máxima variación se presentó a los 25 días (24 %), posteriormente en la primera medición (14.3 %) y a 44 días (17.5 %).

La mayor desviación estándar se identifica en la primera medición de CH, la menor a los 67 días.

Se registraron en las dos primeras mediciones (al inicio y a 25 días) la variabilidad de contenido de humedad (CH), sin importar el diámetro. En el primer registro se obtuvieron contenidos de humedad altos (84.5 %), en diámetros menores (9 cm), así como contenidos de humedad bajos (47.7 %) en diámetros mayores 10.8 cm. En la tercera y cuarta medición (44 y 67 días) se uniformizan los CH, hasta llegar al tiempo donde se suspendió el ensayo de secado (Tabla 29).

Tabla 29. Correlación diámetro-contenido de humedad, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave	Diámetro en cm	Tiempo en días			
		1	25	44	67
CHIV-A	10.8	78.0	41.6	13.8	13.5
CHIV-B	13.4	84.7	50.2	18.9	15.5
CHIV-C	9.0	84.5	40.5	14.9	13.6
CHIV-D	9.2	64.6	37.9	13.4	12.8
CHIV-E	10.8	47.7	21.7	13.2	13.4
CHC-21	13.4	70.5	33.7	19.6	15.2
CHC-22	12.3	57.5	29.5	13.5	13.2
CHC-23	12.7	71.8	37.0	18.9	15.1
CHC-24	10.5	51.2	27.8	14.2	13.5
CHC-25	10.5	51.2	28.1	13.0	12.9
Promedio	11.2	66.2	34.8	15.3	13.9
Desv estandar	1.6	13.9	8.3	2.7	1.0
Coefficiente V	14.3 %	21.0 %	24 %	17.5 %	7.2 %

El registro de CH relacionado con el espesor de pared, se realizó durante 67 días, en cuatro mediciones. Se identificaron espesores de pared entre 8 y 13 mm, en promedio 11 mm. Se observa durante las dos primeras mediciones la variabilidad de CH sin relación con el espesor de pared, se registraron contenidos de humedad

altos (84.5 %) con espesores de pared bajos (9 mm), así como contenidos de humedad bajos (64.6 %), con espesores de pared altos (13 mm).

En la primera medición se identificaron CH desde 47.6 % hasta 84.7 % con un promedio de 66.2 %, en la segunda durante 25 días se identificaron CH entre 21.6 % y 50.2 %, con un promedio de 34.8 %. En la tercera y cuarta medición (a 44 y 67 días) los CH se van uniformizando, hasta llegar al tiempo donde se concluyó el ensayo de secado.

Durante las cinco mediciones de contenido de humedad en los diferentes periodos, los registros de CH no se uniformizaron, es decir, no se obtuvieron contenidos de humedad bajos en pequeños espesores de pared.

Con los resultados obtenidos podemos inferir que los espesores de pared inciden en los registros de CH, en las primeras mediciones, conforme avanza el tiempo los CH se uniformizan hasta alcanzar todas las muestras un CHE, con una variación entre 12.8 % y 15.5 % de CH (Tabla 30).

Tabla 30. Correlación espesor de pared-contenido de humedad, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave	Espesor de pared en mm	Tiempo en días			
		1	25	44	67
Contenido de humedad CH					
CHC-24	8	51.2	27.8	14.2	13.5
CHC-25	9	51.2	28.1	13.0	12.9
CHIV-E	9	47.7	21.7	13.2	13.3
CHIV-C	9	84.5	40.5	14.9	13.6
CHC-22	11	57.5	29.5	13.5	13.2
CHIV-A	11	78.0	41.6	13.8	13.5
CHIV-B	12	84.7	50.2	18.9	15.5
CHC-23	13	71.8	37.0	18.9	15.1
CHC-D	13	64.6	37.9	13.4	12.8
CHC-21	13	70.4	33.7	19.6	15.2
Promedio	11	66.2	34.8	15.3	13.9
Desv estandar	1.9	13.9	8.3	2.7	1.0
Coefficiente v	17.5 %	21 %	24 %	17.5 %	7.1 %

4.6.3 Análisis de resultados.

Para el análisis de resultados se utilizaron diagramas de dispersión con líneas suavizadas. Se hicieron análisis de regresión, utilizando las herramientas estadísticas de MSE excel. Agregando líneas de tendencia, se sondearon las ecuaciones matemáticas posibles: lineal, exponencial, logarítmica y polinómica

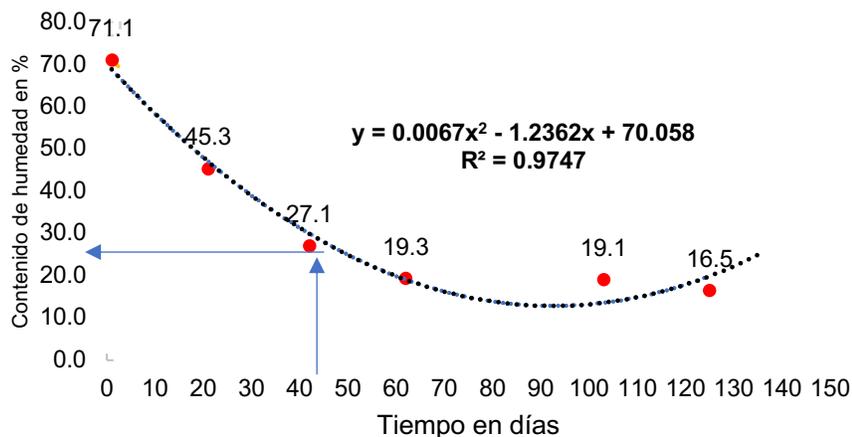
que mejor se ajustaran a los datos obtenidos en estos ensayos y proponer modelos de predicción que sirvan para estimar el tiempo de secado de los tallos de bambú con fines prácticos.

Los modelos de predicción tienen como objetivo dotar de una herramienta de apoyo a los productores, quienes en el campo no cuentan con instalaciones ni equipo para estimar como se está secando el bambú.

4.6.3.1 Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.

Las variables analizadas son tiempo en días (X) y CH en %, (Y); la gráfica 2 muestra una relación inversa entre el CH y el tiempo en días, es decir, a mayor número de días menor CH. El valor de correlación obtenido para los datos de las muestras analizadas fue alto al haber elegido la forma polinómica de la curva como línea de tendencia. Esta propuesta de estimación puede resultar útil y práctica para predecir el contenido de humedad CH, en un periodo determinado, cuando los tallos se sequen en las condiciones ambientales semejantes a las prevalecientes en cada uno de los tres experimentos descritos.

Gráfica 2. Modelo para estimación del tiempo de secado con base en la pérdida de contenido de humedad para tallos de bambú *G. aculeata*, con los resultados del ensayo de secado en la región de Xalapa, Ver., entre octubre de 2016 y febrero de 2017. Fuente: elaboración propia.



La función que mejor se ajustó fue la polinómica con coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.97 y coeficiente de correlación (R) de 0.99.

Con la ayuda de este modelo es posible estimar el tiempo en que un lote de tallos podría alcanzar el CHE que establece la (GOCDMX, 2017) para ser usado como un material de construcción. Por ejemplo, si buscamos cual es el CH en 44 días,

después de que se ha puesto a secar, aplicamos la ecuación $Y = 0.0066(x^2) - 1.2153(x) + 69.083$, donde Y es el CH y (X) es en número de días

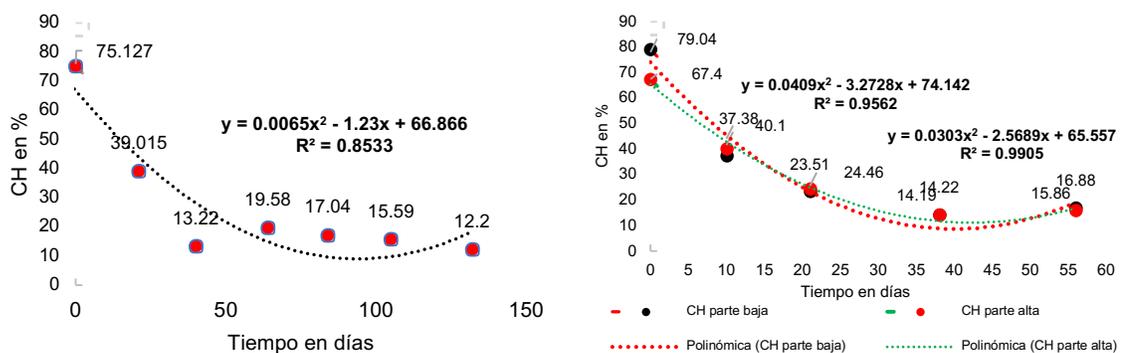
$$Y = 0.0066(44)^2 - 1.2153(44) + 69.083, \quad Y = 0.0066(1936) - 53.47 + 69.083$$

$Y = 12.77 - 53.47 + 69.083$, $Y = 28.39 \%$, es decir, el CH debe ser alrededor de 28 %, valor que se puede corroborar si buscamos el valor de CH correspondiente al número de días de nuestro interés.

La línea de tendencia originada por la curva de secado, refiere a una ecuación polinómica, para el caso de este estudio se limita al tiempo de la experimentación, continuarla origina una parábola, los valores calculados hasta encontrar el vértice de la parábola se consideran correctos, continuarlos serían contrarios a la correlación entre las variables, tiempo y contenido de humedad.

En la gráfica 3 se ilustra la disminución del CH en dos procesos de secado de tallos de acuelata en Papantla, Ver. en dos periodos: septiembre 2016-enero 2017 (izquierda) y marzo a mayo de 2017 (derecha), para proponer un modelo para estimar cómo y en cuánto tiempo se secan los tallos de bambú en las condiciones de humedad relativa y temperatura de esta región en los dos periodos, los valores registrados se ajustaron a una curva de modelo polinómico, semejante al modelo realizado para la región de Xalapa.

Gráfica 3. Modelo para estimación del tiempo de secado con base en la pérdida de contenido de humedad para tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., con los resultados del ensayo de secado en Papantla, Ver., en dos periodos. Fuente: elaboración propia.



En la gráfica 4 se muestra un resumen de las curvas de secado a la intemperie en dos regiones geográficas y tres periodos: Xalapa, Ver. (octubre 2016-febrero 2017) y Papantla, Ver. (septiembre 2016-febrero 2017 y marzo-mayo 2017). Los CH iniciales promedio para Xalapa fueron de 71 %, y para las muestras en Papantla el CH inicial promedio fue de 75 %. El comportamiento de la pérdida del CH es

distinto entre las dos regiones antes de alcanzar el CHE alrededor de 20 % en 62 días, posteriormente los cambios de CH son muy leves, en Xalapa 63 días después únicamente disminuyó 3 %; mientras que, en Papantla, en el primer periodo, 70 días más tarde sólo disminuyó 7 %.

En contraste durante el secado en el periodo de marzo a mayo en Papantla en Chi fue de 71 y en 56 días alcanzó un CHE de 16.88 %. Con estos resultados se denota claramente el efecto de la temperatura y la humedad sobre el secado al aire libre, puesto que entre septiembre y febrero es más frecuente la precipitación pluvial y más baja la temperatura, mientras que entre marzo y mayo es escasa la precipitación pluvial, con mayor número de días no nublados y empieza a elevarse la temperatura.

Gráfica 4. Comparación entre los tres procesos de secado de tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue. Xalapa octubre 2016 febrero 2017 y Papantla, Ver., septiembre 2016 febrero 2017 y marzo-mayo 2017. Fuente: elaboración propia.

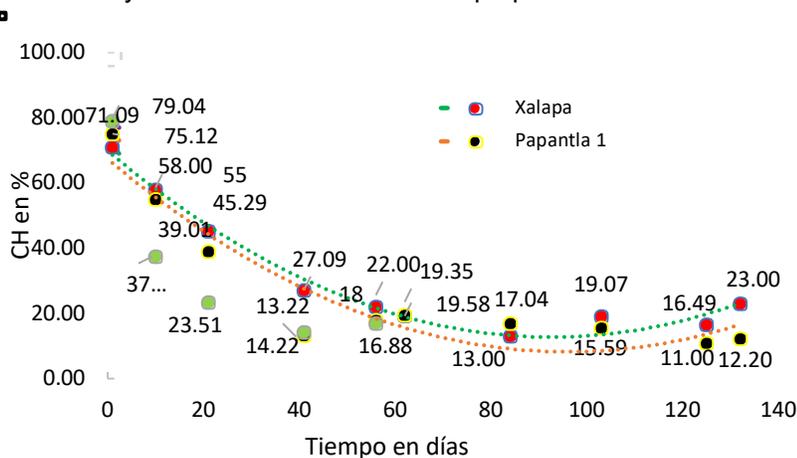


Tabla 31. Ecuaciones polinómicas de las curvas de secado. Fuente: elaboración propia.

Xalapa $Y = 0.0067x^2 - 1.2362x + 70.058$ $R^2 = 0.97$
Papantla 1 $Y = 0.0065x^2 - 1.23x + 66.866$ $R^2 = 0.856$
Papantla 2 para muestras de la parte baja del tallo $Y = 0.0409x^2 - 3.2728x + 74.142$ $R^2 = 0.96$

El cálculo del coeficiente de correlación (R) efectuado para los datos de las muestras analizadas arroja un valor de 0.98 para Xalapa, 0.92 para Papantla en el mismo periodo y 0.97 para el periodo marzo-mayo, indican que existe una

correlación muy alta entre ambas variables, en las tres experimentaciones (Tabla 31).

4.6.3.2 Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso

En la gráfica de dispersión 5, se muestra el modelo de predicción con los resultados de CH a intemperie de los promedios de las muestras y la curva de reducción de peso con los porcentajes.

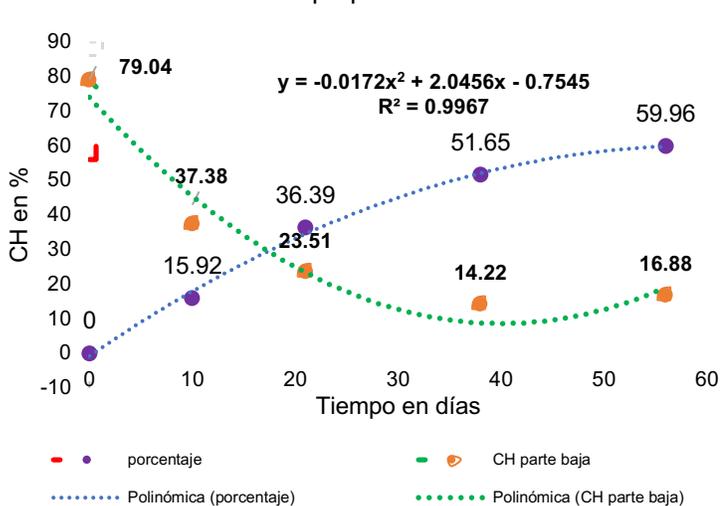
La curva registra al inicio de la experimentación 79.0 %, a 10 días 37.4 %, a 38 días 14.2 %, a 56 días 16.9 %.

La reducción del peso se registró al mismo tiempo que el CH. Se observa para llegar al 19 % de CH se requiere reducir el peso en 42 % aproximadamente y 25 días para lograrlo, para llegar al CHE (14 %), se requiere disminuir 45 % del peso y 30 días. En promedio los tallos redujeron el 60 % de peso en 56 días.

Se obtuvo que la función que mejor se ajusta para la curva de reducción de peso es la polinómica, determinada por el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.99 indica que el 99 % de la variación del peso, está relacionado con el tiempo en días.

Existe una correlación muy alta, determinada por el cálculo del coeficiente de correlación (R) 0.96, efectuado para los datos de las muestras analizadas.

Gráfica 5. Curva de secado, resultados medición del CH, resultados medición de peso en %. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., periodo marzo a mayo 2017. Línea de tendencia y su ecuación polinómica. Fuente: elaboración propia.



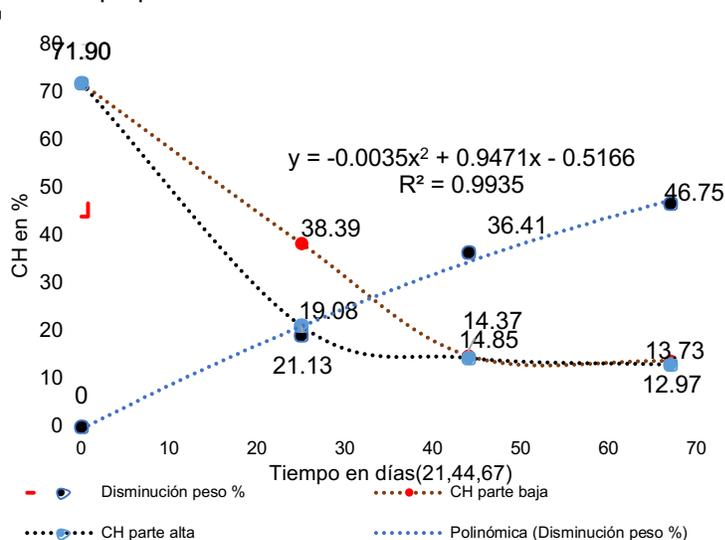
En la gráfica de dispersión 6, se muestran los resultados del secado a intemperie de CH, de los promedios de las muestras en posición vertical de la parte baja y alta, el comportamiento de la disminución del CH es distinto.

La reducción del peso se registró al mismo tiempo que el CH, 27,46 y 67 días. Se observa que para llegar al 19 % de CH en la parte baja se requiere reducir el peso en 34 % aproximadamente. En promedio se redujo el 46.75 % del peso de las muestras analizadas.

Se obtuvo que la función que mejor se ajusta para la curva de reducción de peso es la polinómica, determinada por el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.99, indica que el 99 % de la variación del peso, está relacionado con el tiempo en días.

Existe una correlación muy alta entre el tiempo y la reducción de peso y CH, a mayor tiempo, menor peso y CH, la cual es determinada por el cálculo del coeficiente de correlación (R) 0.99 efectuado para los datos de las muestras analizadas.

Gráfica 6. Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja de las muestras, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., posición vertical, periodo febrero a abril 2017, peso en %. Fuente: elaboración propia.



En la gráfica de dispersión 7 se muestran los resultados del secado a intemperie de CH de los promedios de las muestras en posición invertida de la parte baja y alta, el comportamiento de la disminución del CH es distinto.

La reducción del peso se registró al mismo tiempo que el CH. Se observa que para llegar al 19 % de CH en la parte baja se requiere reducir el peso en 42 % y 50 días

para lograrlo aproximadamente, en promedio los tallos redujeron el 48.6 % del peso en 67 días.

El análisis aplicado fue de regresión, utilizando las herramientas estadísticas de excel, se obtuvo que la función que mejor se ajusta es polinómica, determinada por el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.98, indica que el 98 % de la variación del porcentaje de peso está directamente relacionado con el tiempo en días.

Existe una correlación muy alta la cual es determinada por el cálculo del coeficiente de correlación (R) 0.99 efectuado para los datos de las muestras analizadas (Gráfica 7).

Gráfica 7. Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja del tallo, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco Pue., periodo febrero a abril de 2017, posición invertida, resultados medición de peso en %. Fuente: elaboración propia.

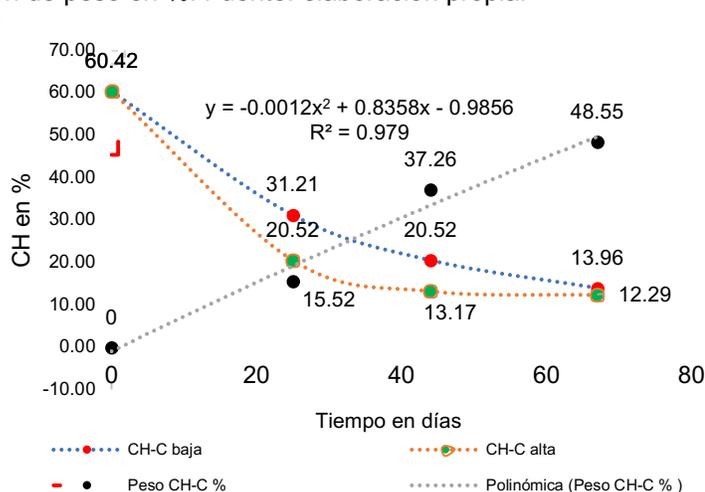


Tabla 32. Resumen, determinación de CH % por reducción de peso %, al 19 % y al CHE %, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue., Fuente: elaboración propia.

Sitio de experimentación	Periodo	Tiempo de experimentación - días	Posición de los tallos	No. De muestras	Reducción de peso en %		Reducción de peso en %	
					al 19 % parte baja	Tiempo en días	% al CHE	Tiempo en días
Papantla, Ver.	Febrero-abril 2017	67	Verticales	5	34	40	36	44
Papantla, Ver.	Febrero-abril 2017	67	Invertidos	5	42	50	45	60
Papantla, Ver.	Marzo-mayo 2017	56	Verticales	13	42	25	45	30

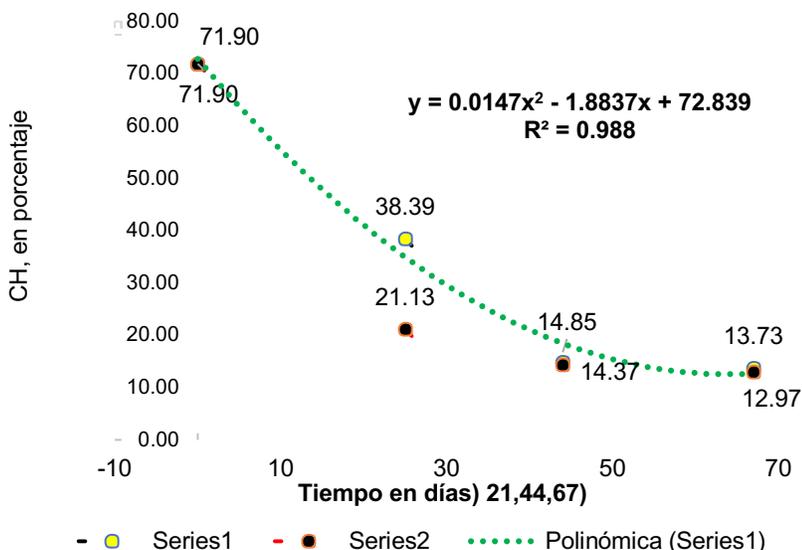
Otro sistema muy práctico de medir el secado es reduciendo el peso en porcentaje. Las experimentaciones realizadas permiten conocer el porcentaje necesario para disminuir el CH al 19 % y al CHE, fundamentales para el uso en ambientes diferentes. El mayor porcentaje de reducción de peso para CH19 % fue en el

periodo marzo-mayo 2017 con 42 % en 25 días y 45 % para el CHE con 30 días (Tabla 32).

4.6.3.3 Efecto de la colocación de los tallos vertical, horizontal e invertidos.

Los resultados fueron analizados con los mismos procedimientos que en las experimentaciones anteriores, utilizando las herramientas estadísticas de Excel.

Gráfica 8. Curva de secado, resultados medición del CH, en parte alta y baja del tallo, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco Pue., periodo febrero a abril de 2017, posición vertical. Fuente: elaboración propia.



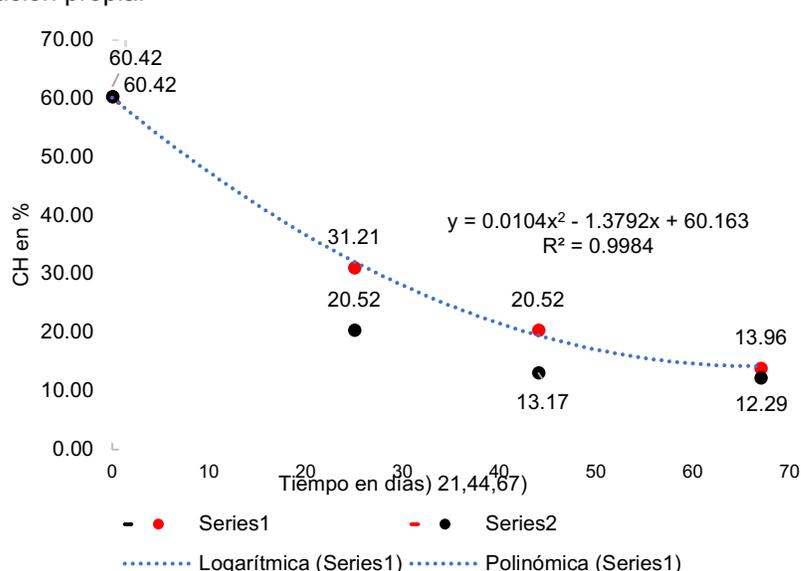
En la gráfica de dispersión 8, se muestran los resultados de secado a intemperie colocados verticalmente, parte baja y alta de las muestras. Se observa que el comportamiento de la disminución del CH es distinto, la parte baja tarda mayor tiempo para reducir el CH, a los 27 días registra 38 %, la parte alta 21.1 %, sin embargo, a los 47 días los registros de CH son casi iguales, las diferencias de CH, se debe al tiempo de secado, en la línea de tendencia se observa el tiempo estimado para disminuir el CH al 19% para la parte baja 44 días, tiempo que se puede considerar la disponibilidad del material. Se muestran las cuatro posibilidades, derivado de los resultados obtenidos, los cuales son compatibles con esas ecuaciones.

Tabla 33. Ecuaciones matemáticas para el secado a intemperie, posición vertical. Fuente: elaboración propia.

Tipo	Ecuación	R2
Exponencial	$y=67.888e^{-0.027x}$ $y=CH\%$, $x=$ días	0.91134
Lineal	$y=-0.9021x+65.393$	0.88485
Logarítmica		
Polinómica	$y=0.0147x^2-1.8837x+72.839$ $y=CH\%$, $x=$ días	0.988

Se obtuvo que la función que mejor se ajusta para ésta experimentación, es la polinómica, determinada por el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.99, la línea de tendencia, indica que el 98 % de la variación del contenido de humedad está directamente relacionado con el tiempo en días (Tabla 33).

Gráfica 9. Curva de secado, resultados del comportamiento de secado de la parte baja y alta de las muestras, posición invertida, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.



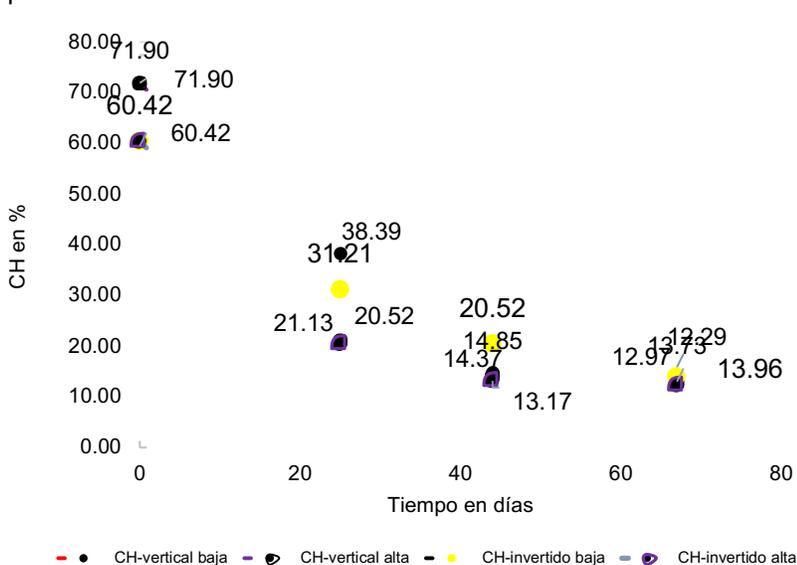
El CH disminuye al pasar el tiempo, hasta alcanzar el valor mínimo de 13.96 % en 67 días en la parte baja y 12.2 % en la parte alta. En la línea de tendencia de la parte baja se requieren 46 días para lograr el 19% de CH (Gráfica 9).

El análisis aplicado fue de regresión, utilizando las herramientas estadísticas de excel, se obtuvo que la función que mejor se ajusta es la polinómica (cuadrática), determinada por el coeficiente de determinación (R^2), cuyo valor es de 0.99 para la parte baja, indica que el 99 % de la variación del CH está directamente relacionado con el tiempo en días.

En la gráfica 10 se presenta un resumen de los resultados mostrados en curvas de secado resultado de la experimentación a intemperie, realizado en cuatro mediciones de CH, en tallos colocados vertical, e invertidos, se registran resultados promedio distintos durante el periodo de la experimentación.

Se observa que los promedios de CHi al inicio de la experimentación son diferentes. El comportamiento de los tallos colocados verticalmente registra (CH) del 19 % en la parte baja a 38 días, en la parte alta a 26 días, los tallos invertidos requieren 44 días para la parte baja y 26 días para la parte alta, comparativamente la exposición vertical e invertida reduce el CH al 19 % al mismo tiempo. Los resultados obtenidos de CH en la colocación vertical e invertida son similares, las diferencias del comportamiento del secado en las muestras se infieren que son por el diámetro y espesor de pared.

Gráfica 10. Curva de secado, resultados medición del CH % y peso en %, en muestras en posición vertical e invertido, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

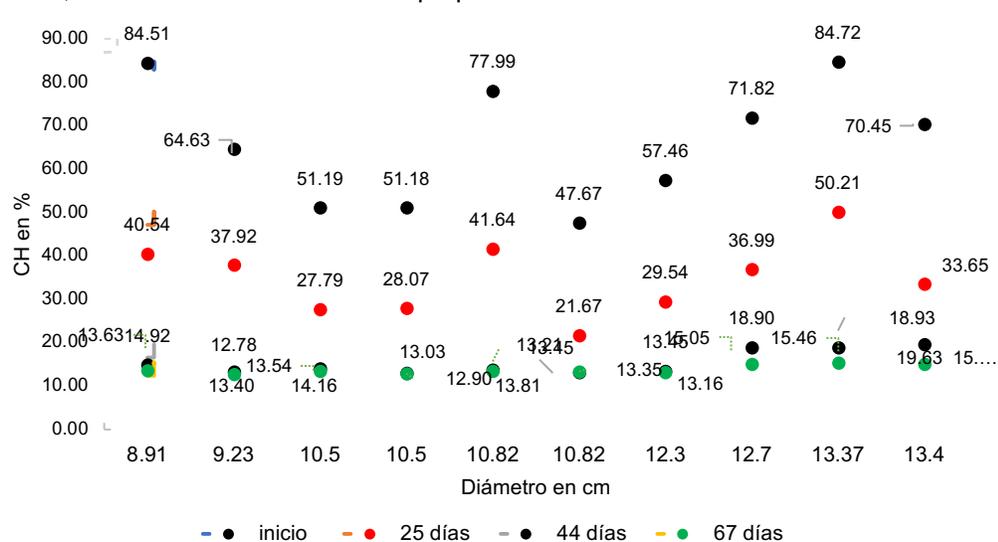


4.6.3.4 Efecto del diámetro y espesor de pared.

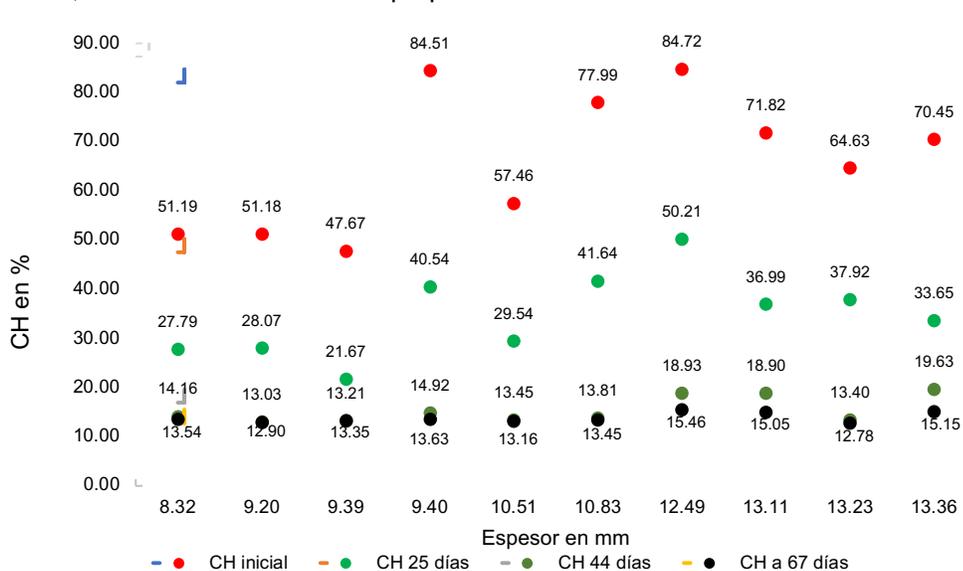
En la gráfica 11 se observa en las dos primeras mediciones (al inicio y a 25 días) la variabilidad de CH, sin importar el diámetro, se identifican diámetros menores a 10 cm, con CH altos, así como diámetros mayores a 10 cm, con CH bajos. En la tercera y cuarta medición (a 44 y 67 días) se uniformizan los CH, hasta llegar al tiempo donde se suspendió el ensayo.

Se observa que no existe relación entre el tamaño del diámetro con el tiempo para reducir el CH. El ensayo se suspendió cuando el promedio del CH de las muestras llegó al 18%, sin embargo, se obtuvieron resultados menores hasta llegar al 12 % CH, pero con diámetros diferentes.

Gráfica 11. Gráfica de dispersión, secado a la intemperie, durante 67 días, periodo febrero-abril 2017, relación diámetro- contenido de humedad, tallos de *G. aculeata*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 12. Gráfica de dispersión, secado a la intemperie, durante 67 días, periodo febrero-abril 2017, relación espesor de pared- contenido de humedad, tallos de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Pue. Fuente: elaboración propia.



En la gráfica 12 se observa el comportamiento el proceso de secado conforme avanza el tiempo, los espesores de pared son variados (entre 8.3 y 13.3 mm), los CHi no tienen relación con el espesor de pared, se registran espesores de pared altos con Chi bajos y espesores de pared bajos con CH altos.

Se observa que el comportamiento del secado al inicio del ensayo es muy variable, se uniformiza conforme avanza el tiempo y se concluye se manera uniforme para todas las muestras, obteniendo CH similares, sin importar el espesor de pared.

En la tabla 34 se muestran las experimentaciones realizadas, sitios, época, periodos de tiempo y resultados de los estudios para la reducción del CH definido por las normas y cálculo del CHE. Identificando el periodo de marzo-mayo con el menor tiempo 23 días para reducir el CH al 16 % en promedio, el mayor tiempo fue en el periodo octubre-febrero con 62 días, reduciendo a 16.5 % en promedio.

Tabla 34. Resumen de resultados CH, en diferentes periodos de tiempo: Fuente: elaboración propia.

Sitio de experimentación	Periodo	Tiempo de experimentación -días	Posición de los tallos	Tiempo reducción CH 19 %		Tiempo necesario para CHE	CH final
				parte alta	parte baja		
Xalapa, Ver	Octubre 2016-febrero 2017	125	Verticales		62	125	16.5
Papantla, Ver.	Septiembre 2016-enero 2017	132	Verticales		55	84	12.2
Papantla, Ver.	Febrero-abril 2017	67	Verticales	26	46	54	12.97
Papantla, Ver.	Febrero-abril 2017	67	Invertidos	26	50	64	12.29
Papantla, Ver.	Marzo-mayo 2017	56	Verticales	25	23	32	15.86

4.6.4 Conclusiones

4.6.4.1 Comparación del secado en dos regiones geográficas y dos épocas del año.

1. El proceso de secado a intemperie no se puede normalizar, los factores climáticos humedad relativa, temperatura y velocidad del viento influyen en el tiempo necesario de secado, el comportamiento de los tallos no es predecible, después de disminuir a menos del 20 % CH, los resultados son similares, es necesario continuar experimentando determinar rangos de tiempo, incluyendo variables como temperatura y velocidad del viento.

2. En las experimentaciones realizadas la variabilidad del comportamiento en el secado fue distinto el coeficiente de variación para Xalapa 17.8 % en 42 días, para Papantla 28.3 % en 84 días y 42 % en 21 días,
3. El tiempo mínimo para obtener el CH al 18 % fue de 28 días en Papantla en el periodo marzo-mayo 2017.
4. En la ciudad de Xalapa los factores climáticos lluvias y sol, influyen en el comportamiento del secado haciéndolo mas uniforme, sin embargo, provocan que surjan más bacterias que enmohecen los tallos y demeritan la calidad.
5. Los factores climáticos de la ciudad de Papantla influyen en la disminución del tiempo para llegar al 30 % de CH, (PSF) comparado con la ciudad de Xalapa, Ver.
6. El secado a intemperie requiere que los tallos estén expuestos al sol la mayor parte del día y rotarlos constantemente para la uniformidad del secado.
7. Para evitar rajaduras, fisuras y deterioro por exposición al sol, es necesario cambiarlas bajo sombra cuando se obtenga el 30 % de CH (PSF)
8. La exposición a lluvias y sol provoca que surjan bacterias que enmohecen los tallos percibiendo colores oscuros, demeritando la calidad.
9. Las muestras de la parte alta del tallo, registraron una densidad básica más alta (632 kg/m^3 que la parte baja (592 kg/m^3).
10. La obtención de modelos de predicción basados en los ensayos realizados, para dos regiones geográficas y tres periodos, nos permiten tener una herramienta práctica para estimar de manera aproximada el tiempo y el contenido de humedad de los tallos de aculeata, cuando se quieran secar en condiciones ambientales semejantes a las de estos experimentos y no se cuente con equipos de laboratorio.

4.6.4.2 Estimación del contenido de humedad por pérdida de peso

1. La curva de disminución de peso en porcentaje y su contrastación con la curva de secado, permiten calcular el contenido de humedad por reducción de peso.
2. La experimentación de secado a intemperie mediante la medición de la reducción del peso en periodos determinados, a través de métodos gráficos nos aporta una herramienta práctica para determinar el contenido de humedad.

4.6.4.3 Efecto de la colocación de los tallos, vertical, horizontal e invertidos.

1. La forma de colocarlos vertical, horizontal e invertidos no influyen en el proceso de secado a la intemperie.
2. Los CH obtenidos al término del periodo de secado son similares en las tres formas de colocación.
3. En este estudio, la posición invertida logra en menor tiempo obtener el 30 % de CH PSF, que la posición vertical, esta posición logra en menor tiempo obtener el 18 % que la posición invertida.

4.6.4.4 Efecto del diámetro y espesor de pared.

1. En este estudio no se identificó la influencia del diámetro y espesor de pared en el comportamiento del CH durante el tiempo de secado.

CAPÍTULO V DISEÑO DE LA VIVIENDA RURAL Y PROTOTIPO

5.1 Propuesta de la vivienda:

La propuesta es una expresión de los aspectos tradicionales, culturales e históricos de la vivienda rural, un rescate de los materiales tradicionales y la sabiduría de los sistemas constructivos ancestrales. Representa un hibridismo, por los materiales y elementos propios de la modernidad que se involucran en la construcción. En algún momento, podrían disminuir los valores propios de la tradición cultural, sin embargo, mejoran las condiciones constructivas y de vida de los habitantes.

La armadura porticada, es derivada del análisis del comportamiento estructural del material, es la forma natural de trabajo del bambú, tensión y compresión. Donde se conjugaron los aspectos estructurales, culturales y funcionamiento, la generatriz de la cubierta es la misma armadura, su inclinación responde a los requerimientos de las fuerzas físicas.

La propuesta cumple con las condiciones para una vivienda con bambú, amigable con el ambiente (como respuesta al cambio climático), confortable, económica, accesible y durable (Camino Solórzano & Sáinz Guerra, 2014) y (Boto de Matos Caeiro, J. G. 2010).

La forma de la vivienda es rectangular, definida por la carga de significados cosmogónicos, viene de la época prehispánica, su proporción 1: 1.5, la forma de vida, costumbres y tradiciones, se manifiesta en la conservación del altar en la habitación principal o casa grande “kantiyán”, el aseo corporal a través del temazcal en la parte exterior para la purificación corporal, la orientación tiene influencias religiosas, de acuerdo con los cuatro puntos cardinales, va en función de los nortes y de los vientos dominantes, por las influencias exógenas, las características de la vivienda propuesta sufrirá modificaciones con relación a la vivienda tradicional totonaca, el espacio del fogón, se convertirá en cocina, el brasero se sustituirá por una cocina ecológica, con mayor rendimiento y eficiencia energética, el molino y el metate en algunos casos se modifica, el temazcal se modifica por un baño normal, la letrina se modifica por una baño seco que no contamina, el lavado de ropa continúa de la misma manera, el área de comer modifica sus elementos, a un comedor más formal, la modificación del corral, el chiquero y los cultivos de traspatio, sufren modificaciones por las nuevas formas de organización familiar.

En conclusión, podemos definir que la forma, la organización espacial, la orientación, la funcionalidad, la habitabilidad, los materiales, el sistema constructivo, el uso espacial, el tamaño, la estructura, así como la ubicación dentro del solar, son impactados por la cultura. Para Amos Rapoport (1972) el clima no explica la diversidad de formas, es un aspecto importante que genera y tiene efectos en las formas construidas por los recursos naturales disponibles, En condiciones de una tecnología débil y de sistemas limitados de control ambiental, donde el hombre no pudiendo dominar la naturaleza, se adapta a ella.

La cultura entendida como todas (o la mayoría) de las cosas que creen, piensan, hacen o crean los hombres (Rapoport, 2003).

Por lo que la cultura como modificador de la forma de la vivienda, tiene sus fundamentos en las costumbres, formas de vida, la religión, aspectos sociales, y la tecnología.

5.2 Factores comunes en la vivienda prehispánica, Totonaca y tradicional.

Organización espacial. El orden y la ubicación de los espacios tiene un sentido religioso y cultural, (la forma de vida estaba asociada a la muerte,) en la vivienda prehispánica la arqueología ha identificado a través de los elementos líticos encontrados, la organización espacial y la tecnología utilizada, la gran mayoría de las viviendas fueron construidas con materiales perecederos. En la vivienda tradicional actual y en la totonaca se conserva el orden y la armonía espacial por tradición, cultura y por factores religiosos.

Funcionalidad: Los espacios son de uno y dos cuartos, con patio o pórtico, la cocina exterior adosada o como estructura independiente, muros y techos para secado de semillas, con un tapanco o ático que funciona como bodega o troje, cuando es de dos cuartos, uno se destinaba para la cocina y comedor, en un espacio para las necesidades múltiples, la orientación va en función de los nortes y de los vientos dominantes en verano, la cocina se coloca al sur.

Sistema constructivo. Uso racional del material, los conocimientos heredados de generación en generación, la estructura es a base de morillos, con postes y vigas, la cubierta con morillos tipo tijera, con amarres y ensambles, los muros son de bajareque.

Materiales. Madera, bambú, carrizo, palma, zacate, bajareque, materiales que se encuentran a disposición, que proporciona el medio ambiente.

Forma tamaño y geometría. Refleja la manera de ser, pensar y crear, tiene un sentido religioso, (tradicción, cultura y geografía,) resultado natural de los problemas que plantea el clima, la forma es rectangular, con cubierta a dos o cuatro aguas, la inclinación depende del material; gran altura del techo, adecuada a las zonas tropicales. es igual a los muros o mayor que ellos.

Estructura: a base de vigas y postes, en la cubierta a base de tijeras, amarradas y a media caña (Prieto, 1994).

Uso: los espacios estaban destinados al uso colectivo, a la producción artesanal, abastecimiento de productos y a sistemas de subsistencia y reposo.

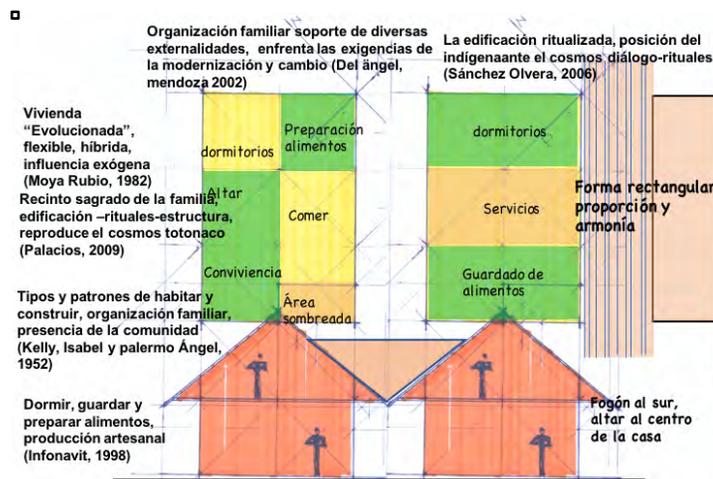


Imagen 55. Vivienda totonaca evolucionada. Fuente: autor.

Las similitudes identificadas en la vivienda prehispánica y la tradicional actual, a pesar de la influencia española y los valores de identidad en muchos de los casos han permanecido a través del tiempo, así como los sistemas constructivos y los factores que determinan la forma y la organización espacial (Prieto, 1994).

La transformación del espacio depende de la forma que los grupos sociales conjugan la modernización, las tradiciones, la cultura interna de trabajo, situación de los recursos naturales y las demandas siempre cambiantes de la economía nacional e internacional (Imagen 55) (Ángel Pérez & Mendoza Briseño, 2002).

5.3 Conceptualización.

Los aspectos que se consideraron para la generación de la propuesta se encuentran interrelacionados unos con otros, la cultura como factor determinante para la forma y la organización espacial; las fuerzas físicas como el clima y los vientos, que impactan la forma de la vivienda y la cubierta; el material, y el sistema

constructivo, piezas claves que definen la estructura, y su geometría; por otro lado, la economía, que determina el tamaño y la calidad de los materiales complementarios. La innovación tecnológica, no puede pasar de lado, se requieren aprovechar las nuevas tecnologías y materiales industriales, así como los métodos constructivos, que permitan mayor facilidad, seguridad y sencillez en la construcción (Imagen 56).

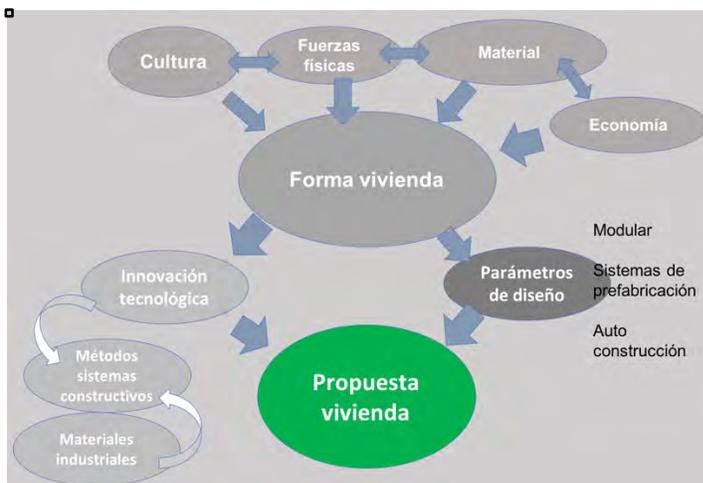


Imagen 56. Esquema conceptual de la vivienda rural. Fuente: autor.

La propuesta resume aspectos importantes de las viviendas prehispánica, campesina rural y tonaca, sistemas constructivos, sistema estructural, como el uso de la tijera en la solución de la cubierta, organización de los espacios, forma de la planta rectangular, forma generada por los materiales utilizados, y el análisis de la innovación tecnológica sobre los sistemas constructivos actuales con bambú.

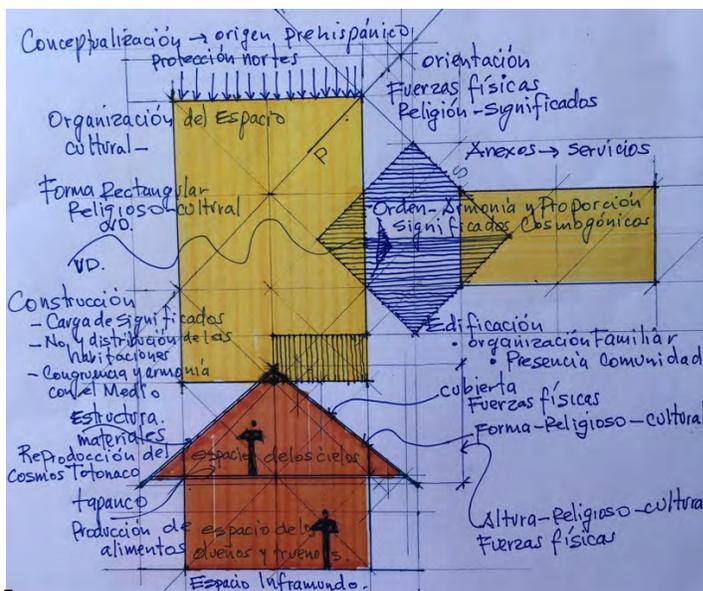


Imagen 57. Propuesta conceptual de la vivienda. Fuente: autor.

En este sentido la propuesta obedece a varios factores de índole religioso, cultural, fuerzas físicas, innovación tecnológica, y la organización social, etc.

La forma conceptualizada en planta es un rectángulo, derivada de la cosmovisión del totonaca, su proporción 1: 1.5, la ubicación de los espacios como la cocina el altar son por factores religiosos, la cubierta por factores socio-culturales y de percepción del mundo, así como por los efectos de las fuerzas físicas, la estructura, por los sistemas constructivos y el material a disposición en la naturaleza, la funcionalidad de la cocina, el baño por la innovación tecnológica, la modificación de la troje es por efectos del cambio de producción de alimentos así como el tapanco o ático, la orientación es por factores de las fuerzas físicas (Imagen 57).

La propuesta es el resultado del análisis de los sistemas constructivos tradicionales, de la organización espacial de la vivienda tradicional, del trabajo natural del bambú a tensión y compresión, en la forma triangular se identifican estos esfuerzos, resumidos en sistemas estructurales como armaduras o cerchas, de sistemas constructivos con bambú aplicados a la vivienda rural. Conjugados con el programa funcional de una vivienda tradicional rural, la influencia del medio, las tecnologías y materiales existentes en la región y las necesidades de flexibilidad, autoconstrucción, prefabricación de elementos y uso de mano de obra no especializada.

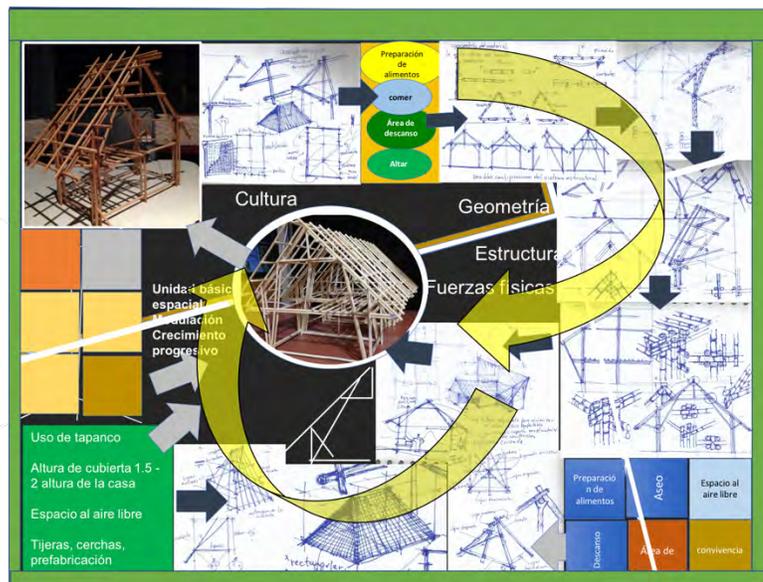


Imagen 58. Aspectos considerados en la conceptualización de la forma vivienda propuesta.
Fuente: autor.

El resultado de la propuesta es una vivienda evolucionada como la define Moya

Rubio (1982) “con sistemas constructivos mixtos, aprovechando la tecnología y disposición de materiales, integrando las nuevas necesidades de la sociedad, ante los nuevos cambios sociales y económicos” (Imagen 58).

5.4 Parámetros de diseño

El sistema constructivo propuesto permite sistemas modulares con un montaje rápido y económico, de crecimiento progresivo, incorpora módulos en función de las necesidades de espacio. La prefabricación racionaliza los procesos constructivos, disminuyendo la mano de obra en el sitio, facilita y economiza el costo final de la obra. Promueve la autoconstrucción, la facilidad y sencillez del sistema constructivo, permite un rápido aprendizaje, se requiere poca capacitación en el manejo de la herramienta, equipo y procedimientos constructivos de todo el desarrollo de la obra.

El armado de todo el sistema estructural, con cortes a boca de pescado y el sistema de uniones articuladas con varilla roscada, facilita todo el proceso de montaje, sin requerir mano de obra especializada.

La forma y sus dimensiones crean un espacio que permiten el uso de sistemas pasivos de climatización.

Los parámetros de diseño, modulación, prefabricación, autoconstrucción, crecimiento progresivo generan una propuesta dinámica de vivienda, dependiendo de las necesidades de espacio, recursos económicos y la disposición de material, se pueden aplicar cada uno de los parámetros.

5.5 Modulación y crecimiento progresivo

El concepto se plantea en una unidad básica espacial, módulos de 6 x 3 m, dimensiones que obedecen al valor de la conicidad del bambú, la diferencia de los diámetros de los tallos de *G. aculeata* de 6 m de longitud, no debe ser mayor que 0.006 (MAVDT, 2010). Principio que se cumple con los tallos de 6 m y diámetros identificados. La funcionalidad del espacio, modulación de muros y separación de la armadura porticada para la progresión del espacio. El módulo base es 18 m² más 9 m² de tapanco. Dos unidades básicas espaciales, 2 módulos de 6 x 3 m, generando 6 x 6 m, 36 m² y 18 m² de tapanco. Tres unidades básicas espaciales, 6 x 9 m, generando 54 m² de superficie útil y 27 m² de tapanco, más un patio sombreado (Imágenes 59 y 60).

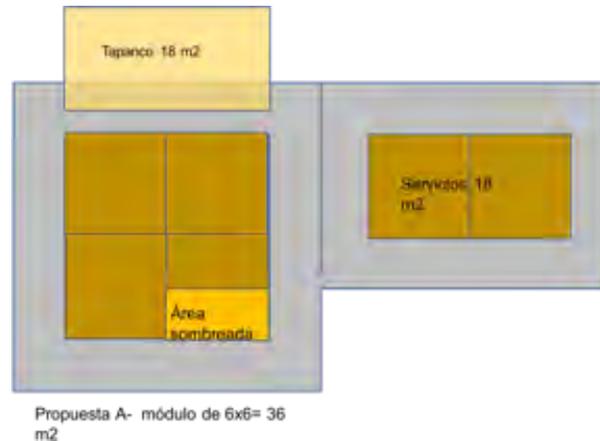


Imagen 59. Primera propuesta 36 m² módulo básico más servicios. Fuente: autor.

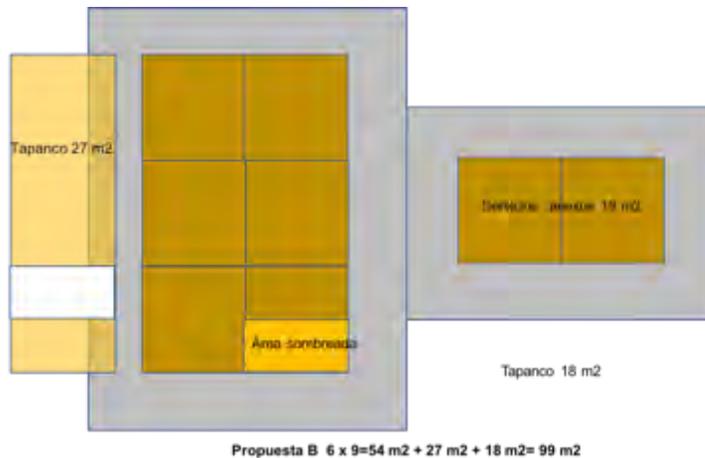


Imagen 60. Segunda propuesta módulo principal y servicios. Fuente: autor

5.6 Prefabricación

La racionalización de los procesos constructivos se logra con la prefabricación del elemento estructural que repetido en plano seriado genera el sistema estructural, disminuyendo la mano de obra en el sitio de la construcción. La prefabricación de la armadura facilita el proceso constructivo, el montaje y disminución del tiempo de construcción. La propuesta de la vivienda rural básica, se encuentra configurada con cuatro armaduras, las cuales serán prefabricadas, una vez colocadas en el sitio, apoyadas en los elementos portantes verticales y diagonales forman las armaduras porticadas, unidas por riostras longitudinales, diagonales y largueros sobre las cuerdas de las armaduras, generan todo el sistema estructural.

La prefabricación incluye el procedimiento para los cortes a boca de pescado a diferentes ángulos, uniones con varilla roscada, trabajos provisionales de sujeción para la perforación de los tallos, uso de herramienta y equipo.

La prefabricación se propuso en los elementos longitudinales que rigidizan la cubierta, se unieron dos elementos (7.20 y 4.20 m).

Las puertas y ventanas se prefabricaron, así como los materiales para su construcción (reglillas).

Los cerramientos interiores tienen la posibilidad de prefabricarse, son elementos divisorios no estructurales.

5.7 Industrialización.

Existen innumerables productos derivados del bambú, que actualmente se utilizan en la construcción, sobre todo en la vivienda, generalmente es usado de manera tradicional de forma rolliza, en la estructura y los muros, la esterilla y reglilla para refuerzo en los muros de bajareque, o como recubrimiento.

Los sistemas constructivos industrializados, parten del uso de los derivados industrializados del bambú, se han obtenido piezas de bambú laminado en forma de vigas estructurales, paneles, tablas, triplay, pisos, tejidos para muros divisorios, tejas para cubiertas, láminas estructurales para techos.

La industrialización con *G. aculeata* se propone en los muros divisorios, el sistema constructivo a base de paneles con un marco de soleras de madera o tallos rollizos, recubiertos con esterilla o reglilla en dos capas para el relleno del muro o en una sola al centro, producidos en dimensiones modulares de 1.22 x 2.44 m, puertas y ventanas con el mismo sistema constructivo, marcos de soleras de madera recubiertos con esterilla o reglilla, los cuales por su bajo peso se pueden transportar con facilidad.

Para los acabados de muros se propone industrializar las reglillas, que funcionarán como recubrimiento, los pisos con la misma reglilla, pero con dimensiones y tratamientos distintos.

La misma *G. aculeata* permite producir a nivel industrial muebles, láminas onduladas para cubiertas y madera contrachapada.

5.8 Autoconstrucción

La autoconstrucción depende en gran medida del aprendizaje de la mano de obra, la propuesta está diseñada para facilitar la comprensión, integrada por diferentes etapas en todo el sistema constructivo. La primera etapa constituye la más importante, de acondicionamiento del material, requiere la capacitación para lograr

las condiciones del material previamente al uso estructural para el cual está diseñado, el conocimiento desde el corte, preservado y secado, fundamental antes de determinar su aplicación. La segunda etapa corresponde a determinar los procedimientos de corte y acoplamiento en el tipo de unión a usar en el sistema estructural, a partir del conocimiento de su resistencia. La tercera etapa constituye los procedimientos constructivos, en el sistema constructivo de la vivienda y capacitación en el uso de herramienta y equipo. La capacitación y la intervención en todo el proceso constructivo son fundamentales para lograr la autoconstrucción.

5.9 Habitabilidad

Según la Real Academia Española, el concepto de habitabilidad se refiere a la cualidad de habitable, el término habitar deriva del latín *habitare* que significa “ocupar un lugar” o “vivir en el”, en este sentido la vivienda propuesta cumple con las necesidades funcionales, espaciales y ambientales, es decir, es habitable, permite a los usuarios realizar sus actividades de manera confortable y fluida.

La habitabilidad es una cualidad del espacio se fundamenta en conceptos variados independientes a los arquitectónicos, no se circunscribe a la vivienda, existen otras escalas como el lugar donde se inserta (contexto) y la ciudad. La calidad de vida originada por estas escalas es determinante en la habitabilidad. En este sentido la forma y geometría de la vivienda está influida de manera indisoluble con el contexto.

La forma concebida no es accesoria e insustancial, tiene soporte y se fundamenta en las fuerzas físicas (clima), la orientación definida por los vientos dominantes originó los patrones de construcción, la cubierta a dos aguas, definen la región de la vivienda totonaca. La forma rectangular alude a la ocupación sedentaria, figura geométrica básica marca orden y armonía en la construcción. La forma de construcción, su disposición en el espacio, uso y tamaño es un reflejo de la organización social, del medio ambiente y del desarrollo tecnológico.

Los aspectos simbólicos integrados a la habitabilidad de la vivienda, la consideran como un recinto sagrado de la familia, al momento de edificarla se realizan rituales pidiendo salud, alejando enfermedades y desgracias naturales, el espacio tiene un carácter sagrado, la estructura reproduce el cosmos totonaco, lo que le otorga identidad a la vivienda. La permanencia tiene tres rasgos fundamentales, patrones de habitar y construir, organización familiar (ubicación de los espacios dentro del solar) y la solidaridad al construir la vivienda.

En la construcción de la vivienda destacan tres aspectos fundamentales, una gran carga de significados en la edificación, el número, distribución de las habitaciones, congruencia y armonía con el medio ambiente.

Los espacios generados fundamentados en la cultura y costumbres, su geometría y las cualidades formales favorecen la habitabilidad, destacan por la gran carga de aspectos simbólicos, sociales y económicos.

Existen otros factores que intervienen en la habitabilidad de la vivienda, independientes a los aspectos jurídicos y de propiedad: el tamaño, la flexibilidad del espacio, el crecimiento, la transformación a necesidades no previstas, las condiciones ambientales, la seguridad, los materiales, facilidad de reposición, mantenimiento y duración. En este sentido el diseño de la vivienda por su tamaño (81 m²) cumple con el programa de una vivienda rural, permite la flexibilidad del espacio, la modulación y prefabricación estructural promueven el crecimiento y la transformación, la doble altura en los espacios de reunión y dormitorio, confieren condiciones ambientales apropiadas para el clima del contexto, la seguridad generada por los materiales en los cerramientos exteriores así como la facilidad de sustitución, duraderos y de poco mantenimiento.

5.10 Organización espacial

La ordenación del espacio del módulo de vivienda propuesto es a partir del concepto de vivienda que describe Moya Rubio (1982) como vivienda “evolucionada”, para definir a la vivienda tradicional, preindustrial o híbrida, como “un modelo más flexible, que las originales (...), pero conserva una gran parte de sus técnicas, funcionalidad y materiales, vegetales y geológicos, conserva el sistema de participación solidaria en su construcción, su topología, multifuncionalidad, escala y forma”. Se Utilizan algunos materiales preindustriales, pero se han incorporado a su habitabilidad cultural.

Las influencias exógenas que sufre la vivienda tradicional, en muchos de los casos es por la falta de la disposición de los materiales de construcción, los cuales se ven desplazados junto con las técnicas constructivas que se quedan en el olvido.

La argumentación de la forma, la estructura, sistema de uniones, las proporciones, la geometría, la organización espacial y los componentes funcionales, se pueden sintetizar en cuatro aspectos importantes: la cultura, fuerzas físicas, materiales y la economía, los cuales se analizaron en la evolución de la vivienda prehispánica, la vivienda tradicional vernácula en la época colonial y la vivienda tradicional actual, así como la cosmovisión de la cultura Totonaca actual.

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
 Caso de estudio: Estado de Veracruz.

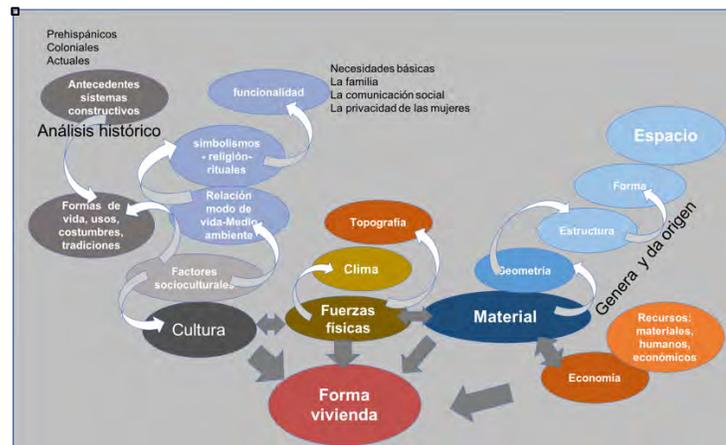


Imagen 61. Aspectos considerados en la generación de la forma de la vivienda. Fuente: autor.

Por otro lado, las influencias exógenas como la innovación tecnológica, sistemas constructivos, materiales industrializados han influido de manera importante en la forma, funcionalidad y la organización de los espacios de la vivienda tradicional, transformándola en una vivienda más evolucionada y flexible (Imagen 61).

La vivienda tradicional de la región del Totonacapan, por las influencias del mundo contemporáneo, ha modificado el fogón por una cocina ecológica, el temazcal por el baño tradicional, la troje por espacios temporales que funcionan como graneros, la letrina por el sanitario seco, los dormitorios ya se encuentran integrados a vivienda principal, el molino y el metate en muchos de los casos se han sustituido por enseres domésticos producto de la modernidad, en el caso de los materiales de la cubierta, se han sustituido el zacate y la palma por lámina galvanizada, en algunos casos por teja y losas de concreto, en los muros el bajareque se ha sustituido por madera, tabique o block, los pisos que antes eran de tierra apisonada, ahora con los programas institucionales, son de concreto.

La unidad básica propuesta está integrada por tres entre ejes de tres metros por seis m. de longitud, con aleros de 1.50 m, en la parte longitudinal y 1 m, en la transversal, los espacios generados fueron: área sombreada de acceso, vestíbulo, escalera, área de comer, cocina, área de descanso, área recreativa y altar, en la parte alta área de tapanco para uso de guardado o área de descanso. La superficie generada fue de 54 m² en la parte baja y 23.00 m², en la parte alta, con una superficie total de 77.00 m².

Los servicios, baño, área de lavado, se consideran al exterior con un módulo de 3 x 6 m, 18 m² de superficie, más volados, por la forma del sistema estructural la forma de la cubierta es a dos aguas (Imagen 62).

Con el crecimiento de las necesidades de la familia se incorporan más unidades básicas, con el mismo sistema constructivo y la misma modulación. Con dos unidades básicas los espacios se incrementan, incorporando áreas de descanso y bodega para guardado de alimentos.

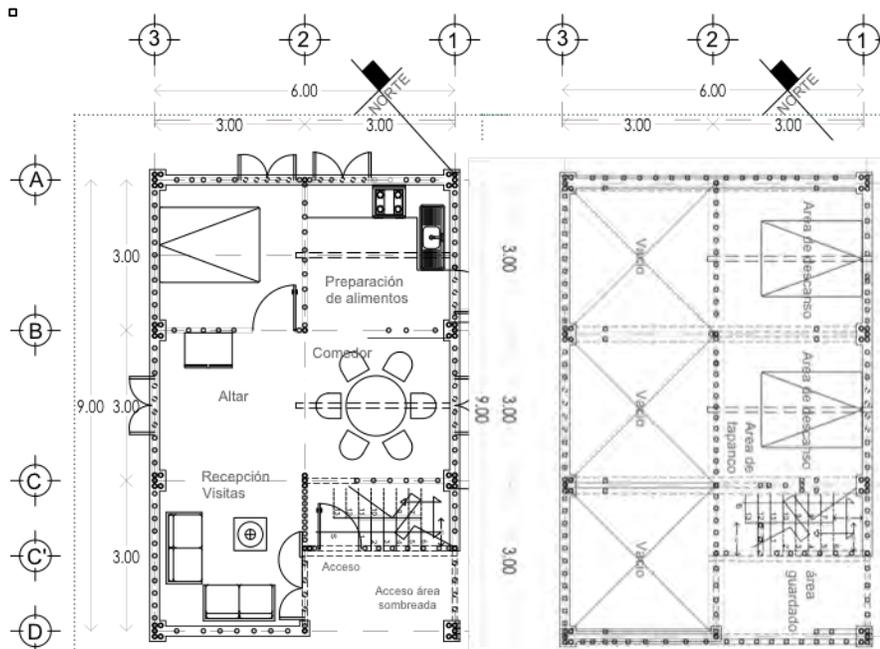


Imagen 62. Propuesta de vivienda plantas arquitectónicas, baja y tapanco. Fuente: autor.

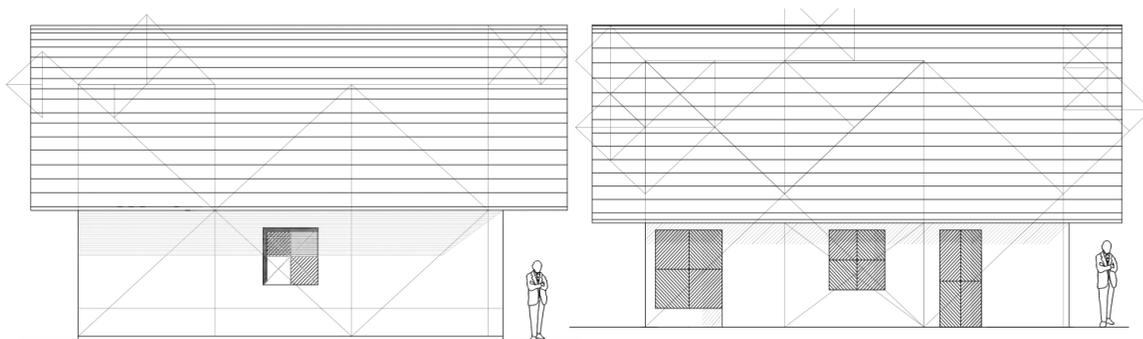


Imagen 63. Fachada sureste y noroeste. Fuente: autor.

Los acabados propuestos para los muros exteriores son con mortero, una vez colocado el sistema estructural, se fijan los tallos sobre el mismo, se coloca esterilla con grapas de 1 ½ plg, sobre la estructura de los muros, se fija malla tipo gallinero, para recibir el mortero cemento-arena proporción 1:5, finalmente se aplica cemento blanco como pintura (Imágenes 63 y 64).

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
Caso de estudio: Estado de Veracruz.

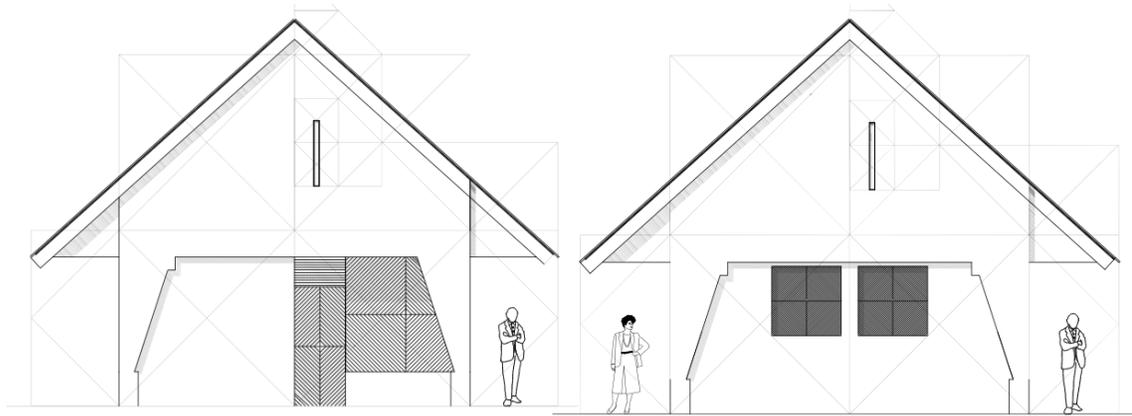


Imagen 64. Fachada suroeste y noreste. Fuente: autor.

La cubierta es de lámina de zinc R-72, calibre 32 de 6.20 m de largo x 0.75 m de ancho, el vértice de la cubierta tiene un caballete del mismo material para unir las dos pendientes. Para evitar que los largueros y el remate de la cubierta se expusieran a la lluvia y rayos solares, se propone lámina calibre 26 de 25 cm de ancho por el largo de las cuerdas superiores en ambos extremos. A fin de evitar que los insectos se introduzcan en los tallos de bambú expuestos, se fijaron capuchones de envases de plásticos se ajustaron con calor al diámetro requerido (Imagen 65).

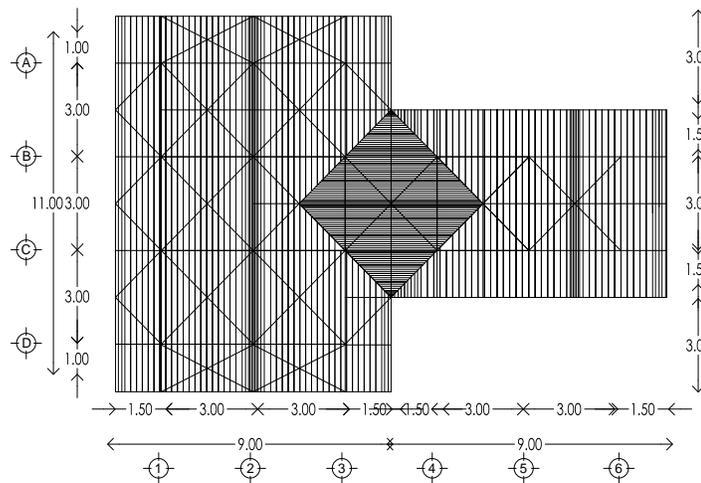


Imagen 65. Planta de techos. Fuente: autor.

La cubierta se fijó a los largueros con pijas autoroscables de 2 ½ plg, se unió el cuerpo principal con los servicios a través de una cubierta independiente del mismo material, la caída del agua es libre, el tamaño de los volados es proporcional al módulo principal, longitudinalmente tiene 1.20 m, transversalmente 1.50 m.

□

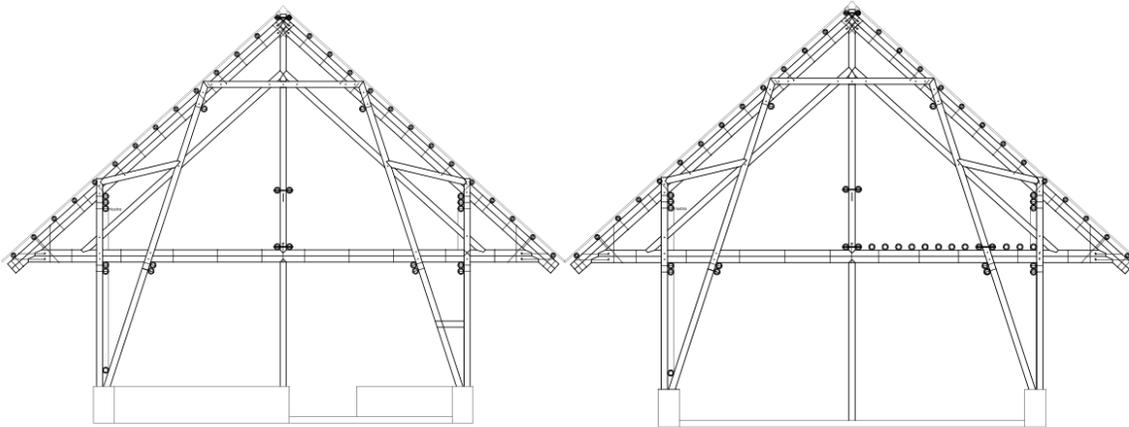


Imagen 66. Corte transversal acceso y tapanco. Fuente: autor

Las alturas interiores son proporcionales a la modulación originada de los submúltiplos del cuadrado, tapanco 3.00 m, lecho bajo de cuerdas inferiores 2.63 m, volados 2.42 m, la altura del tapanco a los nudillos es de 2.42 m (Imagen 66).

5.11 Sistema estructural

El sistema estructural está integrado por la repetición de armaduras estructurales conectadas con elementos portantes verticales y diagonales, arriostrados con elementos longitudinales compuestos, que conforman un cuerpo único entre armaduras porticadas y elementos rigidizantes, permiten la transmisión de cargas y origina la forma para un comportamiento adecuado del sistema estructural, la intención de este sistema es que garantice seguridad, funcionalidad, economía y estética a través de la forma, el material y sus dimensiones y las cargas a las que está expuesta. Los vectores activos dividen los esfuerzos producidos por las acciones, este sistema trabaja principalmente por la combinación de barras en estado de compresión y tensión dado que el bambú como elemento estructural cónico, tiene ventajas mecánicas a estos esfuerzos en el sentido paralelo a las fibras, no así a las cargas perpendiculares al eje longitudinal (aplastamiento), los esfuerzos a cortante tienen menor resistencia, a flexión gran resistencia pero con deformaciones importantes (Imagen 67).

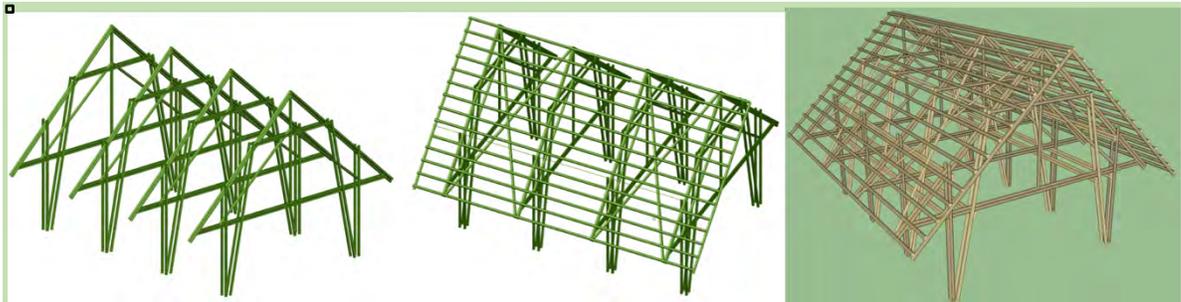


Imagen 67. Elementos del sistema estructural, armaduras porticadas, riostras longitudinales, cubierta, modulación. Fuente: autor.

5.11.1 Fundamentación.

Por el comportamiento del sistema de armaduras a esfuerzos de compresión y tensión y la integración de elementos verticales que funcionan como columnas, se genera un sistema porticado, cuya estabilidad está determinada por la capacidad de soportar cargas en sus uniones.

La configuración geométrica resultante, involucra un proceso de optimización donde la masa es minimizada mediante el uso racional de la forma resistente. La eficiencia económica de esta armadura porticada se tradujo en la minimización del largo de las barras comprimidas, de tal manera que fueran de un tramo, las cuerdas superiores e inferior se les incrementó su peralte haciendo un elemento compuesto, las barras sujetas a tensión son del mismo material.

La propuesta estructural fue pensada en la funcionalidad, economía y estética, la cual tiene una forma compuesta por varios vectores, ligados con nodos (sistema de unión a base de corte a boca de pescado y pico de flauta) y con el sistema de par y nudillo, con varilla roscada, tuercas y arandelas, la estructura será sometida a varios tipos de carga normales como, el peso propio, la carga viva, la carga muerta, etc. , así como las cargas “accidentales” por efectos del viento y las cargas horizontales originadas por sismos.

El sistema porticado sintetiza aspectos socioculturales, funcionales, estructurales, y ambientales, de materiales y sistemas constructivos, los cuales se manifiestan en la forma, la geometría y la solución de los elementos estructurales que la integran. La geometría y sus dimensiones están sustentadas en las funciones de los espacios que genera, así como en las posibilidades de uso del bambú como material estructural (Imagen 68).

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
 Caso de estudio: Estado de Veracruz.

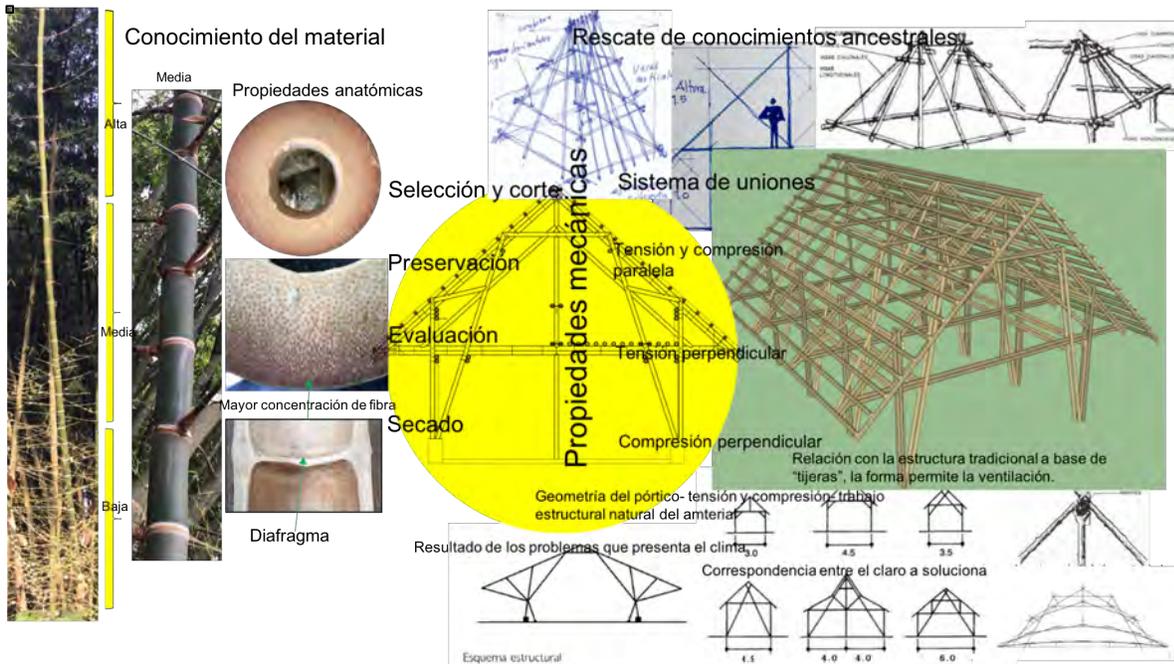


Imagen 68. Fundamentación del sistema estructural. Fuente: autor.

El origen de la armadura porticada parte del conocimiento del funcionamiento estructural natural del material, a esfuerzos de tensión y compresión, de los sistemas constructivos con bambú aplicados a la vivienda, a la cultura en el uso tradicional en las viviendas rurales, todo esto se conjuga y sintetiza en la propuesta de la armadura porticada, la cual es repetida en plano seriado formando con otros elementos estructurales el sistema estructural de la vivienda. La cual con el sistema constructivo es flexible, modular y permite la autoconstrucción (Imagen 69).

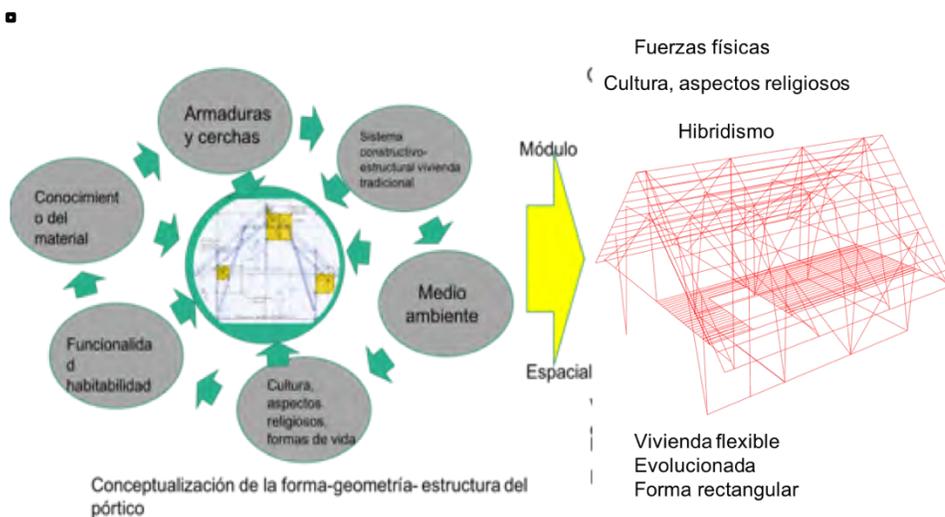


Imagen 69. Conceptualización del sistema estructural de la vivienda. Fuente: autor.

5.11.2 Modelo geométrico

La geometría se deriva a partir del cuadrado como forma básica, generando rectángulos, asociados a la forma conceptual de erección de la vivienda totonaca, de las subdivisiones y submúltiplos se determinan los elementos componentes de toda la geometría, relacionados unos con otros y con el todo.

Las dimensiones tienen su fundamento en las medidas de longitud y diámetro de los tallos de aculeata, se consideran de 6 m, por la conicidad, relación entre el diámetro mayor y menor del 30 %, es decir, hay una diferencia de 3 a 4 cm de diámetro entre la parte basal y el otro extremo. La geometría generada permite el menor número de ángulos, cortes y elementos, siempre anteponiendo su funcionamiento estructural a diferentes esfuerzos solicitados.

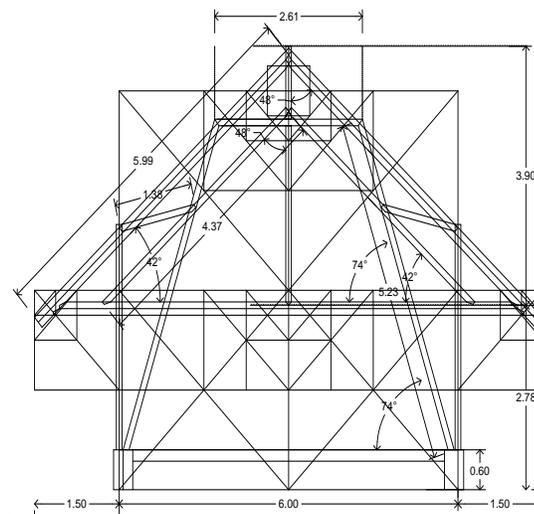


Imagen 70. Armadura porticada, Geometría y proporción. Fuente: autor.

La geometría permite la integración de pocos miembros, los cuales se repiten para formar la armadura porticada. 9 elementos de diferentes medidas, 4 se repiten 4 veces, 4 dos veces, 1 una vez, en total 25 tallos, que sumadas sus dimensiones totalizan 101.3 ml.

Las cuerdas superiores forman la pendiente de la cubierta, son elementos compuestos de 2 tallos unidos entre sí para mejor comportamiento estructural, la cuerda inferior de la misma manera uniendo a las dos superiores, se encuentra dividida por un tensor (peralte) que va del vértice de las cuerdas superiores a la parte media de la cuerda inferior, este elemento junto con la cuerda inferior se encuentran arriostrados por un elemento que los une, las cuerdas superiores junto con el tensor están unidos por el nudillo o falso tensor, que en su conjunto forman la cercha o armadura de la cubierta, a ésta se unen elementos verticales y

diagonales que funcionan como columnas, unidas por una riostra o cordón opuesto; generando la armadura porticada (Imagen 70).

5.11.3 Armadura porticada.

Por el comportamiento de la armadura, a esfuerzos de compresión y tensión y la integración de elementos verticales, que funcionan como columnas, se genera una armadura porticada, cuya estabilidad está determinada por la capacidad de soportar cargas en sus uniones.

La armadura porticada como elemento estructural compuesta de vectores ligados con nodos, con el sistema de par y nudillo, unidos con varilla roscada, tuercas y arandela, será sometida a varios tipos de carga como las “normales”, el peso propio, carga viva, carga muerta, etc., así como las cargas “accidentales” por efectos del viento y cargas horizontales originadas por sismos.

La propuesta de la armadura porticada, sintetiza aspectos socioculturales, funcionales, estructurales, ambientales, de materiales y sistemas constructivos, los cuales se manifiestan en la forma, la geometría y la solución de los elementos estructurales que la integran. La geometría y sus dimensiones están sustentadas en las funciones de los espacios que generará, así como en las posibilidades de uso del bambú como material estructural.

La armadura porticada configura la forma y pendiente de la cubierta integrada por cuerdas superiores, debe ser superior a 35°, según el CENAPRED, Centro Nacional de Prevención de Desastres, para soportar la carga de los vientos.

El tipo de cercha según R.C. Hibbeler (2012) en su libro “Análisis estructural”, es una cercha compuesta, ya que está construida por dos cerchas simples, unidas por una barra de unión y un nudo común, o tres barras adicionales o sustituyendo elementos de una estructura principal por cerchas o armaduras secundarias, cumple con los principios de una estructura isostática, $m = 2n - 3$, donde m es el número de barras, n : número de nodos.

El sistema de uniones para la armadura porticada propuesta, se clasificaron de dos tipos, los cortes a boca de pescado y las articulaciones con tornillos, la determinación del sistema obedece al diseño de la estructura, sencilla, de fácil armado y montaje sin previa experiencia. Los tipos de uniones se clasificaron por su comportamiento en la armadura.

La unión entre cuerdas superiores con tensor, se identifican esfuerzos a tensión y compresión con ángulo de incidencia, las uniones entre cuerdas superiores e inferiores a compresión y tensión, las cuerdas superiores con ángulo de incidencia, en la unión entre nudillos, tensor y cordón opuesto, se identifican esfuerzos a tensión perpendicular con ángulo de incidencia y tensión paralela a la fibra, en la unión entre postes verticales y cuerdas inferiores esfuerzos a tensión paralela y perpendicular a la fibra, en la unión entre postes diagonales y cuerdas inferiores, esfuerzos de tensión perpendicular a la fibra con ángulo de incidencia. En la unión de postes verticales y diagonales con la cimentación, esfuerzos de tensión y compresión paralela a la fibra (Imagen 71).

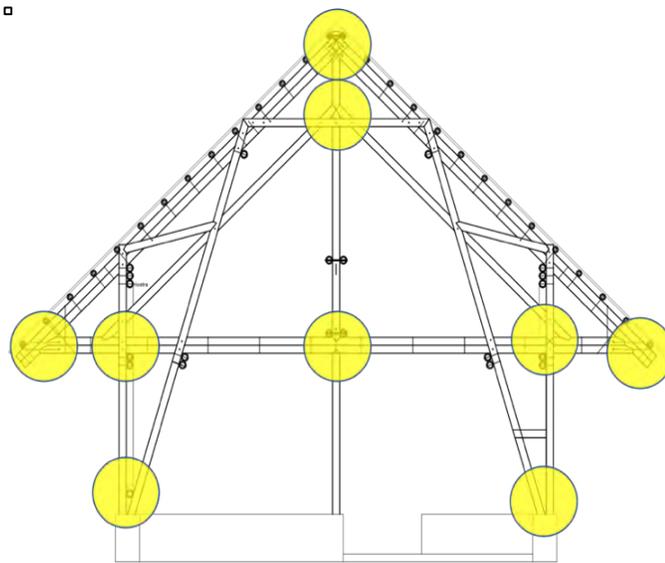


Imagen 71. Identificación de esfuerzos en las uniones. Fuente: autor.

Las cuatro armaduras porticadas son similares entre sí, la variación radica en su ubicación, en los extremos se incorporan la estructura de los muros donde se fija la esterilla y la malla gallinero para recibir el mortero, toda la estructura de los muros va fija a las armaduras con varilla roscada tuercas y arandelas.

Las armaduras interiores reciben la estructura de los muros, donde se fijan con corte a boca de pescado y varilla roscada (Imagen 72).

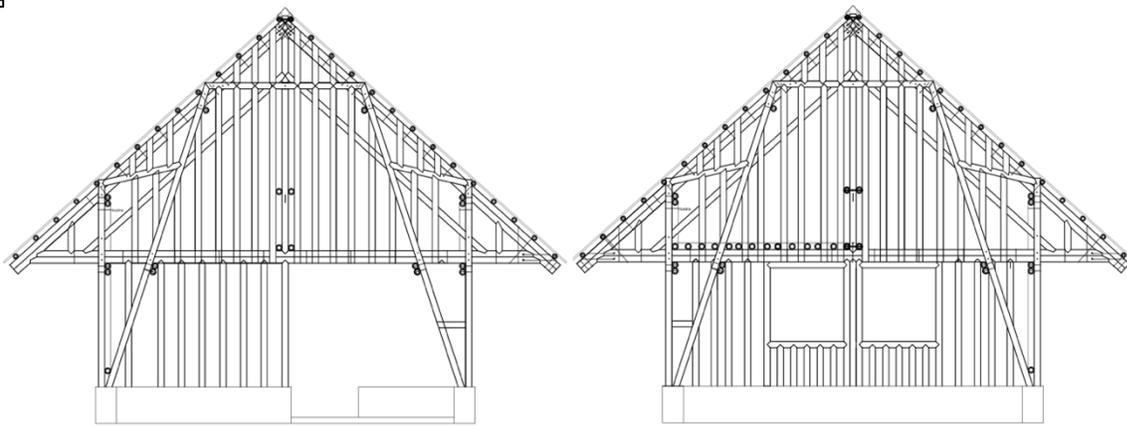


Imagen 72. Sistema estructural armadura porticada suroeste y noreste. Fuente: autor.

Las uniones identificadas en las cuatro armaduras porticadas se clasifican por los esfuerzos de servicio al que se encuentran sometidos, tensión paralela a la fibra, tensión perpendicular a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, en algunos casos con ángulo de incidencia. Las uniones articuladas se resolvieron con varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg, los cortes fueron a boca de pescado en ángulos de 42° en las uniones de cuerdas inferiores con superiores y 48° en las uniones entre cuerdas superiores y tensor, con ello se simplifica la construcción de todo el sistema estructural (Imagen 73).

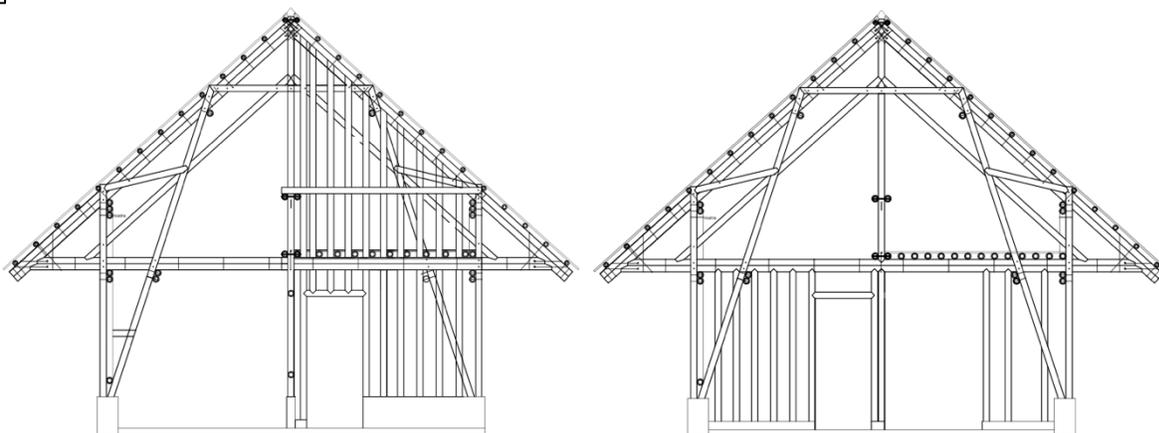


Imagen 73. Corte transversal armadura porticada acceso e interior. Fuente: autor.

La armadura porticada como un elemento estructural prefabricado, permite la racionalización del sistema constructivo, una vez construidas, se llevan al sitio para su montaje, la colocación en plano seriado, con obra provisional permitió su anclaje a la cimentación con varilla corrugada como elemento de unión, una vez estabilizadas se rellenaban a un metro de altura con mortero para su rigidez. Los postes verticales son tres por punto de apoyo, uno intermedio donde descansa la armadura y dos tangentes a las cuerdas inferiores y superiores donde se articulan

con varilla roscada, los postes diagonales son dos por apoyo se articulan con las cuerdas inferiores, el cordón opuesto, las cuerdas superiores y el nudillo o falso tensor. Los tres postes verticales y dos diagonales por apoyo, se rellenan con mortero y anclan a la cimentación.

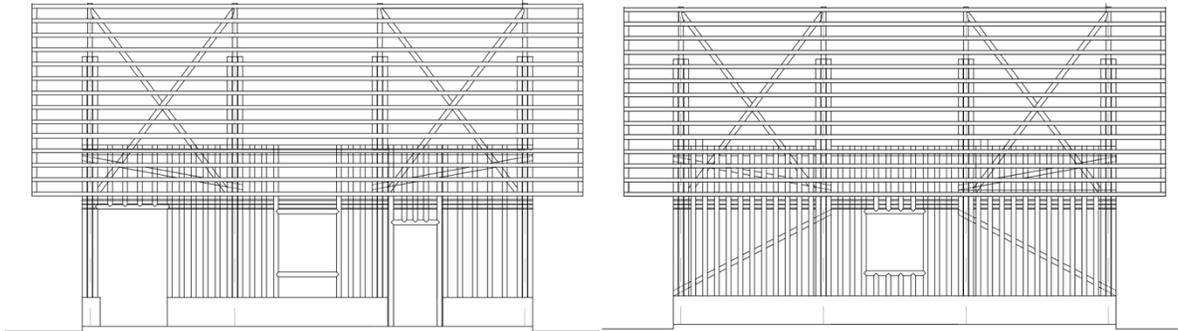


Imagen 74. Sistema estructural armadura, cubierta y muros, noroeste y sureste. Fuente autor.

Colocadas las armaduras porticadas se estabilizan con las riostras longitudinales horizontales (vigas compuestas) que unen las cuatro armaduras, a la altura del tapanco, en el vértice de los postes verticales con cuerdas superiores y en el vértice de los postes diagonales con cuerdas superiores (Imagen 74).

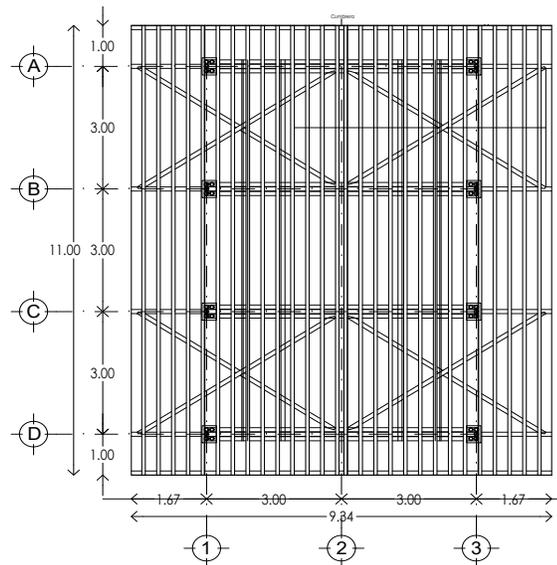


Imagen 75. Estructura de la cubierta, riostras, armaduras y largueros. Fuente: autor.

La cubierta está conformada por cuatro armaduras, riostras longitudinales y largueros que descansan sobre las cuerdas superiores, la pendiente es originada por la forma de las armaduras, se fijan con un elemento estructural donde llegan los largueros, para su estabilidad se colocaron riostras diagonales en los cuatro extremos de la estructura, unidas a las cuerdas superiores de las armaduras (Imagen 75).

5.12 Análisis estructural

La revisión del análisis estructural tomó como base las consideraciones generales establecidas en (GOCDX NTC, 2017). Las acciones para el diseño estructural, por su duración, en acciones permanentes (carga muerta), acciones variables (carga viva), acciones accidentales (sismo, efectos del viento), etc.

En las acciones por viento se revisaron las fuerzas que generaron las presiones (empujes y succiones), sobre las superficies de la construcción, que fueron transmitidas al sistema estructural. Las cargas vivas establecidas para la cubierta y el entrepiso fueron: 40 kg/m², y 170 kg/m², respectivamente.

Para efecto de revisión de los elementos estructurales, se tomaron los valores de resistencia consignados en las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción con madera, en el apartado para el bambú. La *Guadua aculeata*. Flexión (f_{fu}) 235 kg/cm, tensión paralela a la fibra (f_{tu}) 210 kg/cm, compresión paralela a la fibra (f_{cu}) 170 kg/cm, Cortante paralelo a la fibra (f_{vu}) 30kg/cm, módulo de elasticidad E_{0.50} 185,000 kg/cm.

Análisis de cargas.

En la cubierta se consideraron las siguientes cargas muertas, lámina de zinc TR72 4.64 kg/m², largueros 15 kg/m², esterilla 15 kg/m², total de carga muerta 34.64 kg/m², la carga viva 40 kg/m², total CV+CM= 74.64 kg/m² en cubierta (GOCDX NTC, 2017). Para el tapanco piso esterilla y estructura 20 kg/m², otros 30 kg/m² (por imprevistos) = 50 kg/m² de carga muerta (CM) + carga viva (CV) 170 kg/m² total 220kg/m².

Las cargas por viento se calcularon con los procedimientos del manual de diseño de obras civiles, diseño por viento Comisión Federal de Electricidad, 2008 (CFE, 2008). Se consideró la velocidad básica de diseño VD =139.5 km/h, determinada por la velocidad regional, mapa de isotacas retorno a 50 años. La presión dinámica, (qz) presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie perpendicular a él, se obtuvo un valor de 91.54 kg/m² (Tabla 35).

Tabla 35. Cálculo de cargas por viento. Fuente: elaboración propia.

Presión exterior Pe						Presión interior Pi						Fuerza estática Fe=Pz Az, Pz presión de diseño	
Localización	Cpe	KA	KI	qz	Pe	Cpi	qz	Pi	Pe-Pi	Pz=(Pe- Pi)	Az área	Fe, Kg	
Muro de barlovento	0.8	0.9	1.25	91.54	82.39	-0.3	91.54	27.462	54.92	54.924	30.45	1672.44	
Muro de sotavento	-0.5	0.9	1.25	91.5	-51.47	0.3	91.54	27.462	-24.01	24	30.45	730.80	

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
Caso de estudio: Estado de Veracruz.

Presión exterior Pe						Presión interior Pi					Fuerza estática Fe=Pz Az, Pz presión de diseño	
Muro lateral .39 h	-0.65	0.9	1.5	91.5	-80.29	0.3	91.54	27.462	-52.83	52.83	5.7	301.13
.78 h	-0.5	0.9	1.5	91.5	-61.76	0.3	91.54	27.462	-34.30	34.3	5.7	195.51
h	-0.3	0.9	1.5	91.5	-37.06	0.3	91.54	27.462	-9.60	9.59	5.7	54.66
d-h	-0.2	0.9	1.5	91.5	-24.71	0.3	91.54	27.462	2.76	-2.76	5.7	-15.73
Cubierta de barlovento	0.53	0.9	1.5	91.5	65.47	-0.3	91.54	27.462	38.01	38.01	51.6	1961.12
Cubierta de sotavento	-0.5	0.9	1.5	91.5	-61.76	0.3	91.54	27.462	-34.30	34.3	51.6	1769.88
CT.44 h	-0.7	0.9	1.5	91.5	-86.47	0.3	91.54	27.462	-59.01	59	12.9	761.10
CT.88h	-0.7	0.9	1.5	91.5	-86.47	0.3	91.54	27.462	-59.01	59	12.9	761.10
CT 1.33 h	-0.7	0.9	1.5	91.5	-86.47	0.3	91.54	27.462	-59.01	59	12.9	761.10
CT d-h	-0.7	0.9	1.5	91.5	-86.47	0.3	91.54	27.462	-59.01	59	12.9	761.10

Cpe= el coeficiente de presión exterior, adimensional, Cpi= el coeficiente de presión interior, adimensional, qz la presión dinámica de base, en Pa, Pe= presión exterior, Pi= presión interior, Fe= fuerza estática, Az= área de la estructura , Pz= presión de diseño.

Se revisaron los elementos estructurales con dos tipos de acciones de diseño CM+CV x 1.4 (factor de carga para combinación de cargas muertas más cargas vivas), se analizó la estructura completa en 3D con un programa denominado RAM advance, utilizando las diferentes combinaciones de carga.

En el caso de los largueros de la azotea se encuentran separados a 50 cm, la sección del elemento es de 9 cm de diámetro y 9 mm de espesor, por flexión y cortante, pasó, el momento resistente es mayor al momento último actuante, las deformaciones fueron menores a las permisibles.

Los largueros en entrepiso el momento último actuante fue mayor que el momento resistente, para resolverlo, el claro se acortó a 1.50 m. Las cuerdas superiores se revisaron a flexión y cortante, con dos tallos se equilibra el momento resistente con el actuante, para efecto de la flexocompresión se requirió aumentar el diámetro a 10 cm y 9.5 mm de espesor.

Para el análisis por vientos, los datos de cargas por viento se ingresaron en el programa RAM advance, los resultados se graficaron para su revisión y análisis. Se presentan los diagramas de momentos flexionantes y cortantes, así como la carga axial de los elementos estructurales con los elementos mecánicos en los marcos críticos (los que presentaron valores mayores de momento flexionante, carga axial y cortante).

26,907 (kg*cm) y 26,907 (kg*cm), respectivamente. Para disminuir los momentos y como parte de la solución para los muros se colocaron postes verticales que unen las riostras longitudinales a la altura del tapanco y las que unen los vértices de los postes verticales de las armaduras, posteriormente se cubrieron de esterilla con mortero, funcionando como un muro diafragma, lo que disminuyó considerablemente el momento (Imagen 77).

CAPÍTULO VI ENSAYOS MECÁNICOS EN EL SISTEMA DE UNIONES.

La propuesta de configuración del marco porticado, además de la carga cultural inmersa y respuesta a las fuerzas físicas, obedece a la forma de trabajo natural del bambú, como material anisótropo, sus propiedades mecánicas (longitudinales) paralelas a la fibra tienen valores más altos, no así los perpendiculares a la fibra (al eje longitudinal), las acciones que se manifiestan en los componentes estructurales son flexión, cargas axiales (compresión y tensión) y cortantes, la manera de transmitir estas cargas será la continuidad entre los elementos estructurales, las uniones con bambú constituyen el enlace entre un elemento y otro que permita la continuidad, sin embargo, es el principal problema tecnológico que se presenta en la construcción con bambú en general, de ahí el especial interés en resolverlos de manera adecuada.

Las uniones se diseñaron tomando en cuenta las recomendaciones de la norma ISO TC 165 N-313 (proyecto de trabajo 2001): Bambú Estructural Design, indica que “Las uniones deberán ser diseñadas con el propósito de lograr continuidad entre los elementos estructurales lo cual incluye una adecuada transmisión de fuerzas y deflexiones, las mismas que deben mantenerse dentro de los rangos aceptables”. Además de facilitar la obra, económica, durabilidad, resistencia y fácil manejo (Saleme, 2011).

Los sistemas de unión propuestos buscan adaptabilidad a sistemas modulares, que permitan prefabricarlas y promover el desarrollo de la autoconstrucción.

Las uniones deben contar con suficiente capacidad de carga (resistencia) para mantener la geometría y la posición de los nodos, además que sus deformaciones de trabajo sean pequeñas y no excesivas que modifiquen sustancialmente la geometría de la estructura original, modificaciones en la geometría de la estructura pueden cambiar sustancialmente el comportamiento de la misma.

6.1 Ensayos mecánicos

Los tipos de unión ensayados forman parte del prototipo del marco estructural propuesto y del sistema estructural del módulo de vivienda, se encuentran definidos en (MAVDT, 2010). Reglamento colombiano de Construcción sismo-resistente. NSR 10. Capítulo G-12 Estructuras de guadua. Tipo “P” tensión paralela a la fibra, “Q” tensión perpendicular a la fibra y “T” compresión perpendicular a la fibra.

En el apartado G.12.11.3 (2010) “UNIONES EMPERNADAS aplicables a uniones empernadas de dos o más elementos de *Guadua* o a uniones de elementos de *Guadua* con platinas metálicas o para la fijación de *Guadua* a elementos de concreto por medio de platinas y anclas. Las uniones empernadas se utilizan generalmente cuando las sollicitudes sobre una conexión son relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero” (p.125).

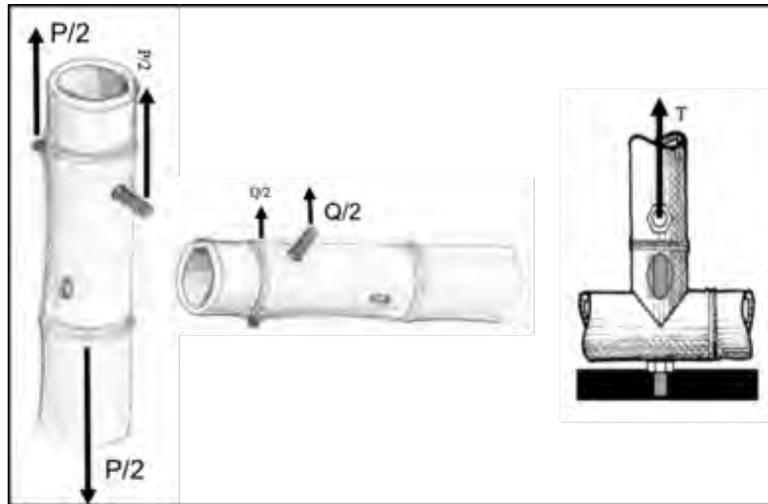


Imagen 78. Uniones empernadas “P”, “Q” y “T”. Fuente: (MAVDT, 2010).

“Los valores de **P** indicados serán utilizados cuando la fuerza en la unión sea paralela a las fibras, tanto del elemento central como de los elementos laterales si los hubiese. Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela a las fibras del elemento central pero perpendicular a las fibras de los elementos laterales, o viceversa, se indican como **Q**, siempre y cuando el elemento central y los elementos laterales se encuentren en planos paralelos. Las cargas admisibles cuando la fuerza es perpendicular a las fibras de uno de los elementos y paralela a las fibras en el otro se indican como **T**, siempre y cuando los elementos de *Guadua* estén en el mismo plano. Las cargas admisibles **P** y **Q** corresponden a elementos paralelos entre sí (**P** con $\theta = 0^\circ$) y **Q** a elementos perpendiculares entre sí (**Q** con $\theta = 90^\circ$). En una configuración intermedia $0 < \theta < 90^\circ$ en el arreglo de los elementos, la carga admisible se determinará mediante la ecuación de Hankison” (p.126-127) (Imagen 78).

El sistema estructural propuesto se conforma con armaduras porticadas seriadas en diferentes planos, el sistema de uniones es compatible con los tipos de unión establecidos en (MAVDT, 2010). La experimentación con la *Guadua aculeata*, con mortero y sin mortero, en ensayos similares aportó resultados que definieron su uso y se contrastaron con la *Guadua angustifolia* colombiana para su determinación estructural. Los tipos de unión “P”, tensión paralela a la

fibra, “Q” tensión perpendicular a la fibra y “T” compresión perpendicular a la fibra, se identificaron en el marco estructural propuesto, determinando la importancia de realizar los ensayos mecánicos con la especie *Guadua Aculeata* (Imagen 79).

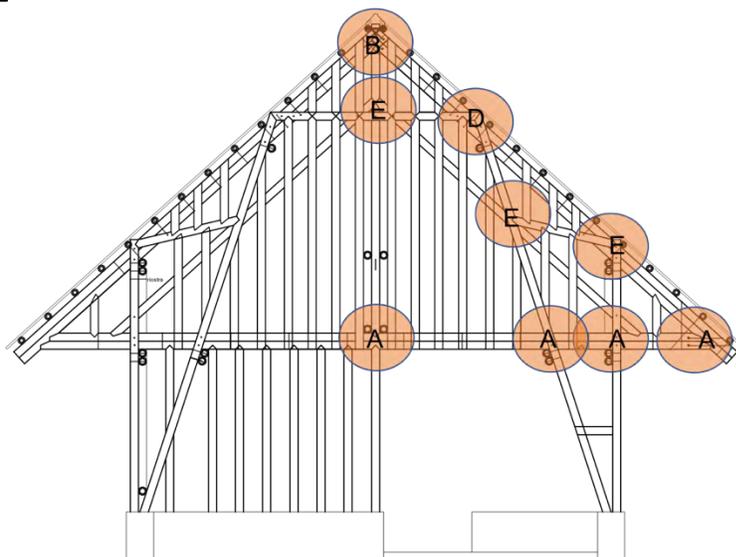


Imagen 79. Identificación del sistema de uniones en el marco estructural: “P”, “Q” y “T”, B tensión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, C tensión paralela a la fibra y tensión perpendicular a la fibra, doble cizallamiento, D tensión paralela y perpendicular a la fibra, E tensión paralela y perpendicular a la fibra. Fuente: autor.

6.2 Selección y extracción de muestras:

La selección, determinación de la edad, madurez y corte, establecidas por (Morán Ubidia, S/F) y (Cruz Ríos, (2013). Los tallos colectados fueron de guaduales de crecimiento natural, en diferentes sitios, marzo de 2015, abril y agosto de 2016.

Una vez fuera del guadual se limpiaron, quitaron los brotes de las ramas, para la transportación al cobertizo de la Unión de productores de bambú.

Dos lotes fueron cortados en fase lunar menguante, la antigüedad de los guaduales es de más de 10 años (información de los trabajadores del centro experimental). Los tallos seleccionados fueron de 6 m de longitud con diámetros entre 9 y 12 cm de *Guadua aculeata* del centro experimental “Las Margaritas”, del Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias INIFAP, del Municipio de Hueytamalco, Puebla. En su mayoría estaban libres de defectos, excepto de taladros en el nudo provocados por insectos perforadores, se respetó que no estuvieran arqueados más del 1% del eje central longitudinal, así como la conicidad, establecido en la norma colombiana (MAVDT, 2010). Se perforaron del

diafragma para el paso del preservante, caracterizaron, definiendo diámetro en la parte baja y alta, espesor de pared en la parte baja y alta, distancia intermodal, peso en kg, apariencia y calidad del tallo (libre de defectos), se colocó una clave para el seguimiento de CH y peso, registrando la información en formatos específicos (Imagen 80).



Imagen 80. Selección, corte, transportación al cobertizo de la unión de productores de bambú, limpieza y preservación. Fuente: autor.

6.3 Procedimiento preservado y secado

Le preservación es un tratamiento que consiste en aplicar sustancias capaces de prevenir o contrarrestar la acción de alguno o varios tipos de organismos que destruyen o afectan la integridad de la guadua (MAVDT, 2010) y (Posada Giraldo, 2015).

El preservante utilizado es una solución química hidrosoluble, a base de bórax y ácido bórico, por ser efectivas y económicas (Peña, 2009). Las proporciones y procedimiento corresponden a (ICONTEC, 2006, NTC 5301). La solución de bórax y ácido bórico usada para la preservación fue con una concentración del 6 %. Los tallos preservados fueron identificados de manera inequívoca para el seguimiento del tiempo de secado.

El secado bajo sombra y a la intemperie se realizó una vez que fueron extraídos de la pileta de preservación, previa selección y registro de la información.

Los tallos bajo sombra fueron colocados verticalmente, para el escurrimiento del exceso de preservante, se rotaban cada 8 días, se pesaban y media el CH en periodos de tiempo establecidos.

Los tallos a la intemperie, se colocaban en un caballete para exponerlos al sol, en la orientación que recibían la mayor cantidad de sol, se rotaban cada 3 días, una vez que llegaban al 30 % de CH, PSF se colocaban bajo sombra para continuar con el secado hasta el 19 % de CH, para ser usado estructuralmente. En periodos establecidos en la experimentación, se medía el peso y CH, registrando los valores hasta el CH deseado (Imagen 81).

Para el proceso de secado se siguieron los lineamientos establecidos de (Montoya, 2006).

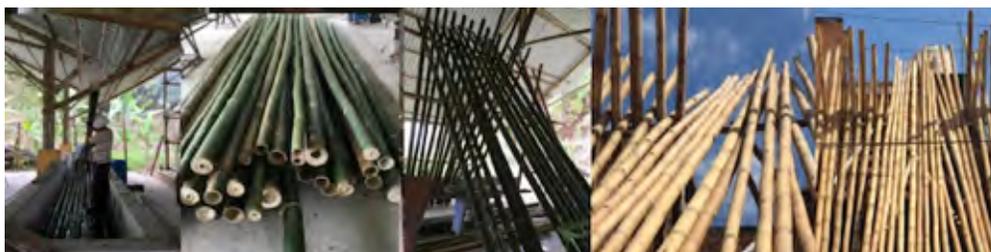


Imagen 81. Preservado, colocación para escurrimiento, secado a la intemperie. Fuente: autor.

6.4 Metodología

Las muestras seleccionadas, se extrajeron en tres lotes de guaduales distintos, seleccionados por diámetro, espesor, de la parte baja, media y alta del tallo, sin deformaciones del eje central longitudinal más del 1 %, calidad, apariencia, sin hendiduras (rajaduras, fisuras) preservadas y secas con CH menores al 19 % (Imagen 82).



Imagen 82. Selección de tallos para elaborar las muestras de los tipos de unión “P”, “Q” y “T”.
Fuente: autor

Las muestras fueron de dos especies, *Guadua aculeata* y la *Guadua angustifolia*, para la contrastación y verificación de resultados de carga máxima. Se prepararon 144 muestras para las uniones, 108 de aculeata y 36 de angustifolia, con varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg, con mortero y sin mortero (Imagen 83).



Imagen 83. Proceso de preparación de muestras ensayos “P”, perforación, colocación de varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg A-307, con tuercas hexagonales y arandelas planas, perforación espécimen con tubo de acero de 1 1/2 plg, cédula 40, colocación de tubos de acero a muestras, colocación de varillas roscadas en la muestra, en la parte inferior y superior, muestras con y sin mortero varios diámetros. Fuente: autor.

Para el tipo “P” “Q” y “T” con varilla de 3/8 plg y de 1/2 plg A-307, con mortero y sin mortero, se prepararon 48 muestras, 36 de *G. aculeata* y 12 de *G. angustifolia*. 12 con mortero con varilla roscada de 3/8 plg, 12 sin mortero con la misma varilla, 6 con varilla roscada de 1/2 plg con mortero y 6 con la misma varilla sin mortero, 6 de *angustifolia* con mortero y 6 sin mortero con varilla roscada de 1/2 plg, con tuercas hexagonales y arandelas planas, para las tipo “T” con arandelas cóncavas de 2 plg x 2 plg por 3/16 plg para mayor distribución de la carga en el diámetro de la muestra. La longitud de las muestras fue de un entrenudo más 20 cm, en cada extremo después del nudo, la dimensión variaba por la distancia del entrenudo desde 26 hasta 60 cm (Imagen 84).



Imagen 84. Proceso de construcción de muestras ensayos tipo “Q” con mortero y sin mortero, para *aculeata* y *angustifolia*, trazo, perforación, colocación de varillas roscadas de 1/2 plg y 3/8 plg, varios diámetros. Fuente: autor.

La perforación perpendicular 7/16 plg al eje central longitudinal en el extremo donde se aplica la carga, se realizó a 50 mm del nudo en la parte del entrenudo, para varilla roscada de 3/8 plg A-307 y de 9/16 plg para varilla roscada de 1/2 plg

A-307. En el otro extremo de la muestra se hicieron 2 perforaciones para los ensayos sin mortero y 3 perforaciones para los ensayos con mortero, para varillas roscadas de 3/8 plg A-307 las perforaciones fueron de 7/16 plg, para varillas de 1/2 plg A-307 fueron de 9/16 plg, las perforaciones para los pernos contemplan una holgura de 1/16 plg mayor al diámetro del perno, establecido en (MAVDT, 2010). Las perforaciones realizadas permiten sujetar un tubo de acero colocado al interior del bambú conectado con el eje de la máquina con un perno que lo cruza transversalmente. Para las muestras con mortero, se utilizó la proporción 1:2.25, cemento-arena, con acelerante.

Los ensayos se realizaron con un procedimiento propio del Laboratorio del INECOL: distancia al nudo 50 mm, distancias mínimas del perno al extremo; y dimensiones de arandelas de 5 mm de espesor y dimensiones equivalentes a un círculo de 50 mm de diámetro. Complementándose con la norma ASTM D1761, básicamente en la velocidad de la carga: la distancia entre las reacciones es 300 mm, superando los tres diámetros en la mayoría de los ensayos. Velocidad de carga (0,9 mm/min), en una máquina universal de pruebas, en el laboratorio de pruebas de productos maderables de la Red Ambiente y Sustentabilidad del Instituto de Ecología, A.C, de la ciudad de Xalapa, Ver. En la imagen 85, se presenta un esquema de cada una de las uniones ensayadas montadas en la máquina universal.

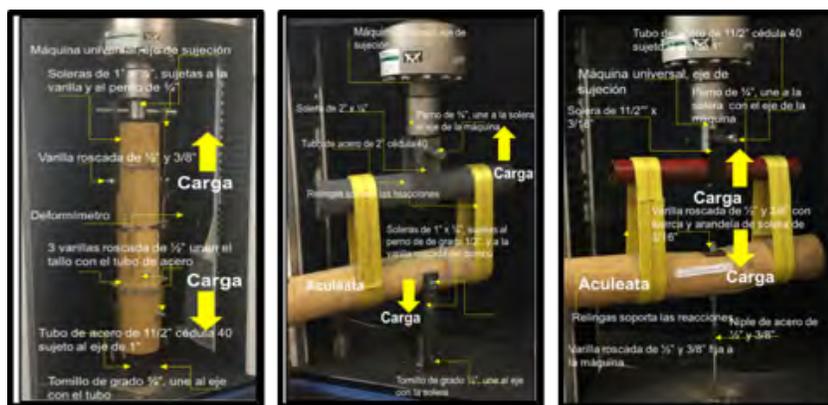


Imagen 85. Ensayos tipos de unión “P”, “Q” y “T”. Fuente: autor.

Se registró la carga máxima resistente para todos los ensayos. Las gráficas de carga-deformación se obtuvieron solamente para las uniones tipo “P”. El CH y densidad básica (DB) (pa/vv) fueron determinadas para cada muestra. Se realizaron 144 ensayos. 108 con *Guadua aculeata* y 36 con *Guadua angustifolia*. Tensión paralela a la fibra “P”, tensión perpendicular a la fibra “Q” y compresión perpendicular a la fibra “T”. 72 tipo “P” “Q” y “T” con mortero y sin mortero con *G. aculeata* con perno de 3/8 plg, colocadas a 5 cm del nudo, 18 con mortero con

perno de ½ plg, 18 sin mortero con perno de ½ plg. 36 con *G. angustifolia* tipo “P” “Q” y “T” con y sin mortero con perno de ½ plg colocadas a 5 cm del nudo.

Tabla 36. Muestras para uniones “P”, “Q” y “T”, por especie, tallos de *G. aculeata* y *G. angustifolia* de la región de Hueytamalco, Puebla. Diámetro de perno, con mortero y sin mortero. Fuente: elaboración propia.

Tipo de unión	Relleno	Diámetro del perno	<i>Guadua aculeata</i>	<i>Guadua angustifolia</i>
Unión P	Con mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
	Sin mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
Unión Q	Con mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
	Sin mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
Unión T	Con mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
	Sin mortero	3/8 plg	12	
		½ plg	6	6
Total			108	36

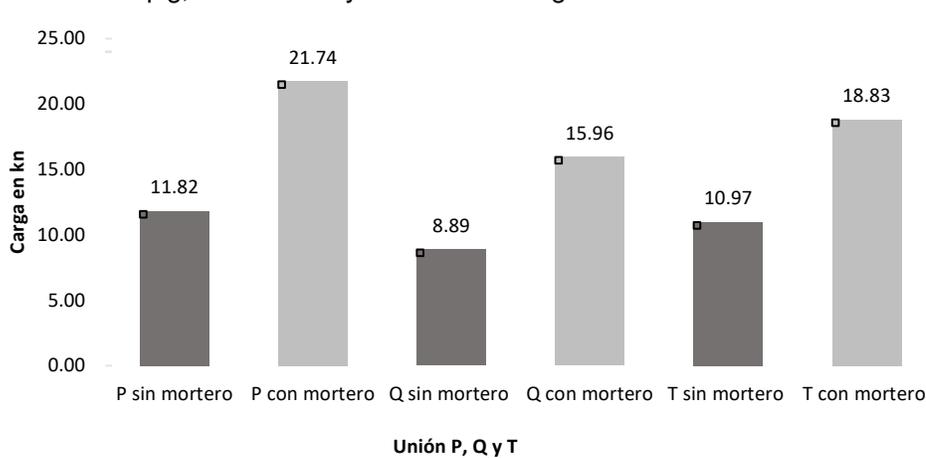
La tabla 36, muestra los ensayos realizados por cada configuración de las uniones. El mortero utilizado en proporción 1:2.25 cemento- arena.

Se analizan los resultados de los ensayos con la aplicación de diagramas de dispersión para determinar la homogeneidad de las variables y su posible correlación. La relación entre las variables se determina a través de una función matemática que mejor se ajuste a la tendencia de los datos, la cual estima proyecciones de las variables de estudio.

6.5 Resultados

Se registraron las cargas máximas en las uniones con *G. aculeata* con y sin mortero y perno de 3/8 plg, la unión “P” tensión paralela sin mortero, resiste más carga máxima que la “Q” tensión perpendicular y la “T” compresión perpendicular en 33 % y 7.7 % respectivamente. Con mortero la “P” tensión paralela resiste más carga que la “Q” tensión perpendicular y la “T” compresión perpendicular a la fibra en 36 % y 15.4 % respectivamente (Gráfica 13).

Gráfica 13. Resultados uniones “P”, “Q” y “T”, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Perno de 3/8 plg, con mortero y sin mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.



Las uniones con *G. Aculeata* con mortero y perno de 3/8 plg tipo “P” tensión paralela a la fibra, presentan un incremento en la resistencia con respecto a las uniones sin mortero, sin considerar el diámetro y espesor de pared, en 9.92 kN (84 %), la tipo “Q” tensión perpendicular a la fibra en 7.07 kN (44.2 %) la tipo “T”, incrementa su resistencia en 7.86 kN (80 %). Se observan incrementos de resistencia cuando se rellena el entrenudo más del 40 % para los diferentes tipos de unión (Gráfica 13).



Imagen 86. Ensayos tipo “P” “Q” Y “T” sin y con mortero con perno de 3/8 plg, fallas presentadas, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor.

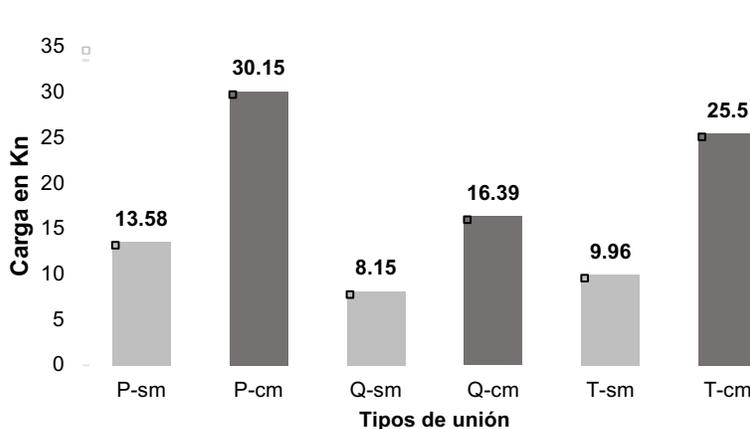
Las fallas presentadas en los ensayos tipo “P” sin mortero fueron por aplastamiento de la pared del tallo, por carga paralela a la fibra con un desplazamiento de 20 mm, se observaron que los pernos utilizados en la unión y en la base de las reacciones se flexionaron, sin llegar a romperse. Con mortero las fallas presentadas fueron en un perno de reacción provocando la caída de la carga en el perno de la unión. En 10 pernos fue por cortante, los pernos de reacción se flexionaron sin llegar a romperse, el mortero se encontraba casi intacto. Se

presentó aplastamiento en las paredes, pero falló por cortante el perno. En la parte de las reacciones se presentaron fallas por cortante en la aculeata.

Las fallas presentadas en los tipo “Q” sin mortero, fueron por ruptura y aplastamiento de la pared por tensión perpendicular, los pernos de la unión se flexionaron. Con mortero las fallas presentadas en 5 muestras fue por cortante del perno, en otros por falla del mortero y las paredes de la aculeata por tensión perpendicular, todos los pernos se flexionaron a la aplicación de la carga máxima. Cuando los pernos fallaron por cortante el mortero se mantuvo sin fracturas.

Las fallas en los ensayos tipo “T” sin mortero, se presentaron al borde de la arandela cóncava, deformación y ruptura de la pared, sobre la arandela, falla de la pared por aplastamiento, prolongándose hasta el extremo de la muestra con rajaduras longitudinales por compresión perpendicular a la fibra, también se presentaron rajaduras longitudinales adyacentes a la arandela. Con mortero las fallas presentadas fueron por varias causas, falla del perno por cortante de la pared del tallo en el lado contrario a la aplicación de la carga ($f_t = 4800 \text{ kg/cm}^2$), de la rosca (barrida) por la tuerca, falla de la unión y ruptura de la varilla (23 kN), falla del mortero al deslizarse la varilla roscada por las paredes del tallo, rajaduras longitudinales adyacentes a la varilla roscada hasta el extremo del tallo, aplastamiento de la pared por compresión perpendicular a la fibra (Imagen 86).

Gráfica 14. Resultados uniones “P”, “Q” y “T”, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de ½ plg a 5 cm, con mortero y sin mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.



Se registraron las cargas máximas en las uniones con *G. aculeata* con y sin mortero y perno de ½ plg, la unión “P” tensión paralela a la fibra sin mortero resiste más carga máxima que la “Q” tensión perpendicular y la “T” compresión perpendicular en 69 % (5.43 kN), y 36 % (3.62 kN) respectivamente. Con mortero la “P” tensión paralela resiste más carga que la “Q” tensión perpendicular y la “T”

compresión perpendicular a la fibra en 84 % (13.76 kN), y 18 % (4.65 kN) respectivamente.

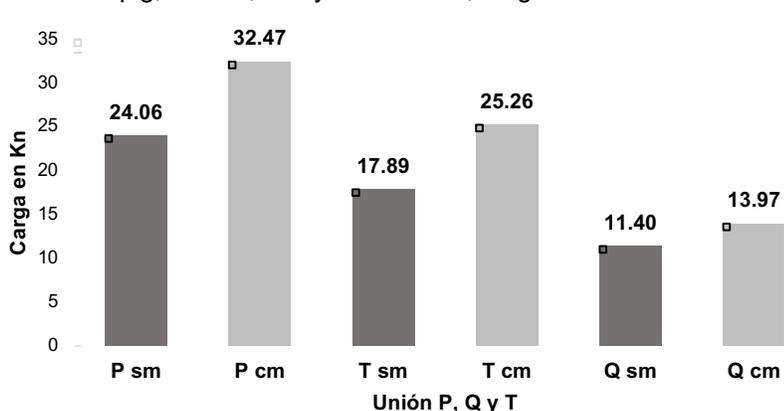
Con mortero y perno de ½ plg, el valor promedio obtenido de “P” tensión paralela a la fibra es de 222 % mayor que sin mortero, el incremento es de 16.57 kN (122 %), para “Q” tensión perpendicular a la fibra, con mortero es 200 % mayor que sin mortero, el incremento es de 8.24 kN (100 %), para “T”, tensión perpendicular a la fibra, con mortero es 256 % mayor que sin mortero, el incremento es de 15.54 kN (156 %) (Gráfica 14).

Usar perno de ½ plg, en los tipos “P” y “Q” de uniones con mortero duplica su resistencia ante cargas máximas. Para el caso tipo “T” casi lo triplica. Se observa que la unión con mayor resistencia es la tipo “P” con mortero y sin mortero, le sigue la tipo “T” con mortero y sin mortero y finalmente la tipo “Q” con mortero y sin mortero.

En la gráfica 15 se registran los resultados de las uniones con *G. angustifolia* con y sin mortero y perno de ½ plg, la unión “P” tensión paralela a la fibra sin mortero resiste más carga máxima que la “Q” tensión perpendicular y la “T” compresión perpendicular en 111 % (12.6 kN), y 34 % (6.2 kN) respectivamente. Con mortero la “P” tensión paralela resiste más carga que la “Q” tensión perpendicular y la “T” compresión perpendicular a la fibra en 132 % (18.5 kN), y 28.5 % (7.2 kN) respectivamente.

Se registraron mayores cargas máximas respecto a la *G. aculeata*, en los tipos de unión “P” con y sin mortero en la “Q” sin mortero y en la “T” sin mortero. En las uniones tipo “Q” y “T” con mortero la aculeata presentó mayor resistencia.

Gráfica 15. Resultados uniones “P”, “Q” y “T” en *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla, con perno de ½ plg, a 5 cm, con y sin mortero, carga máxima. Fuente: elaboración propia.



Con mortero y perno de ½ plg, el valor promedio obtenido de “P” tensión paralela a la fibra es 35 % mayor que sin mortero, el incremento es de 8.41 kN, para “T” compresión perpendicular a la fibra, con mortero es 41 % mayor que sin mortero, el incremento es de 7.37 kN, para “Q”, tensión perpendicular a la fibra, con mortero es 22.5 % mayor que sin mortero, el incremento es de 2.57 kN (Gráfica 15).



Imagen 87. Ensayos tipo “P” “Q” Y “T” sin y con mortero perno de ½ plg, *G. aculeata* y *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla, fallas presentadas. Fuente: autor.

Las fallas presentadas en los ensayos tipo “P” sin mortero y perno de ½ plg de *G. aculeata* fueron por compresión paralela, aplastamiento de la pared. Con mortero presenta fallas en el nudo y paredes por carga lateral, efecto cuña del mortero.

Las fallas presentadas en los ensayos tipo “Q” sin mortero fue por tensión perpendicular a la fibra, con mortero presenta la misma falla, el cortante se desplaza por la línea del perno.

Las fallas presentadas en los ensayos tipo “T” sin mortero, la falla es por aplastamiento de la pared del tallo. Con mortero las fallas fueron por barrido del perno antes de la falla, aplastamiento de la pared y falla del mortero, falla en la parte inferior de la pared (Imagen 87).

Las fallas presentadas en los ensayos con *G. angustifolia* en las uniones tipo “P” sin mortero, no fueron evidentes excepto en un ensayo se presentó una rajadura en sentido longitudinal en la línea del perno, con mortero se presentaron rupturas del nudo y rajadura longitudinal en la línea del perno, efecto de cuña del mortero. En las tipo “Q” sin mortero, las fallas fueron por tensión perpendicular a la fibra, con mortero las fallas fueron por el mismo esfuerzo, rajaduras en la línea del perno. En las tipo “T” sin mortero las fallas fueron por aplastamiento de las paredes de la muestra en contacto con la rondana cóncava, con mortero las fallas fueron por aplastamiento de la pared y ruptura del mortero (Imagen 87).

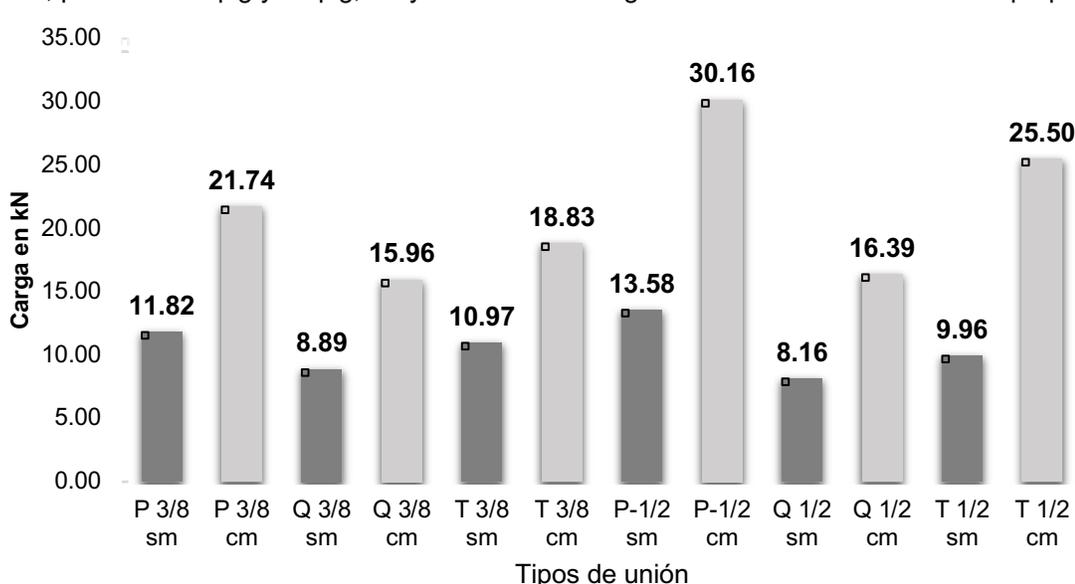
Tabla 37. Resultados densidad básica (DB)* y contenido de humedad (CH) en uniones “P”, “Q” y “T” en *G. aculeata* y *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Especie			<i>Guadua aculeata</i>		<i>Guadua angustifolia</i>	
Tipo de unión	Relleno	Diám. de perno	(CH), %	Densidad básica (DB) (kg/m ³)	(CH), %	Densidad básica (DB) (kg/m ³)
Unión P	Con mortero	3/8 plg	20,7	596		
		½ plg	18,1	553	17,5	590
	Sin mortero	3/8 plg	14,9	549		
		½ plg	16,0	566	15,5	592
Unión Q	Con mortero	3/8 plg	24,1	597		
		½ plg	16,4	658	20,1	600
	Sin mortero	3/8 plg	15,3	539		
		½ plg	15,8	604	16,8	537
Unión T	Con mortero	3/8 plg	20,4	557		
		½ plg	16,3	625	19,9	553
	Sin mortero	3/8 plg	16,0	541		
		½ plg	15,5	551	16,2	583
Promedio			17,5	578	17,7	576
(S) desviación estándar %			2.83	37.71	1.93	25.01
Coeficiente de variación CV			15.52 %	6.25 %	9.95 %	3.96 %

*La (DB) densidad básica se obtiene (pa/vv) las unidades son en kg/m³

Para todos los ensayos se determinó el contenido de humedad (CH) en % y la densidad básica (DB). Para las uniones con *G. Aculeata* la densidad básica registrada en un rango de 539 kg/m³ a 658 kg/m³ con un promedio de 578 kg/m³ y una desviación estándar (s) de 37.7 %, se identificaron (DB) promedio en la parte baja 551 kg/m³, media 585 kg/m³ y alta 574 kg/m³. El contenido de humedad (CH) varió de 14.9 a 24.1 %, con un promedio de 17.5 %. Para la *G. angustifolia* la (DB) registró valores entre 537 kg/m³ y 600 kg/m³ con un promedio de 576 kg/m³ y una variación estándar de 25.01 % y contenido de humedad (CH) entre 15.5 y 20.2 % con un promedio de 17.7 %. Ambas especies registraron casi los mismos valores en (DB) y contenido de humedad (Tabla 37).

Gráfica 16. Resultados uniones “P”, “Q” y “T”, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de 3/8 plg y 1/2 plg, sin y con mortero- carga máxima. Fuente: elaboración propia.



Se observa una comparación entre las uniones con varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg con mortero y sin mortero de la especie estudiada.

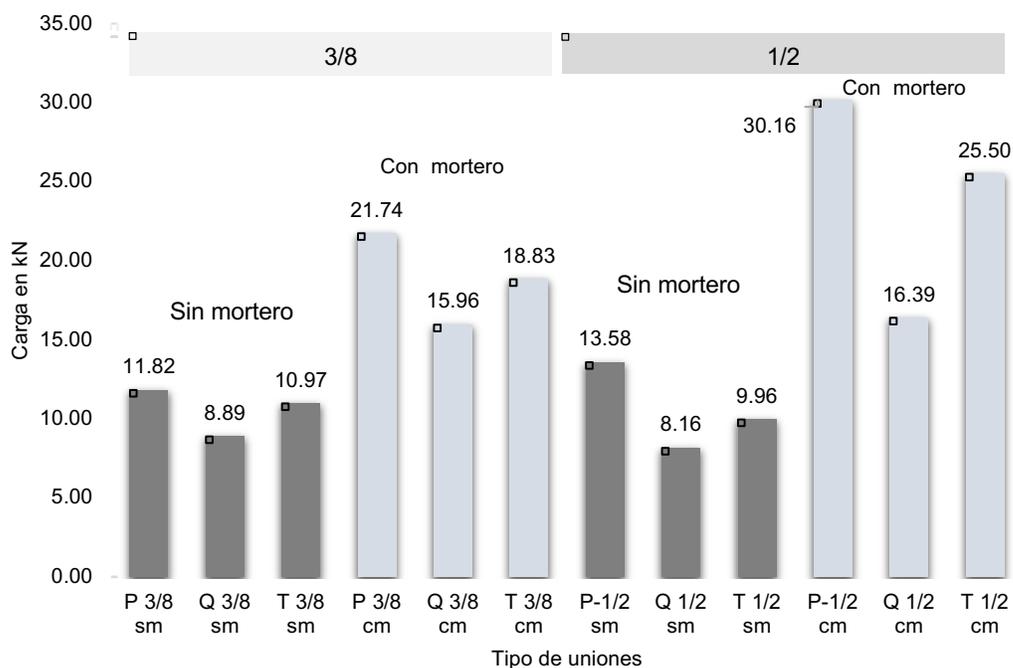
Las uniones con *G. aculeata* con mortero y perno de 3/8 plg tipo “P” tensión paralela a la fibra, “Q” tensión perpendicular a la fibra y “T” compresión perpendicular a la fibra, presentan un incremento en la carga máxima del 84 %, 80 % y 72 % con respecto a las de sin mortero, respectivamente.

Las uniones con mortero con perno de 1/2 plg, tipo “P” tensión paralela a la fibra, “Q” tensión perpendicular a la fibra y “T” compresión perpendicular a la fibra, presentan un incremento de la carga máxima del 122 %, 100 % y 156 % con respecto a las de sin mortero, respectivamente.

Las uniones con *G. aculeata* sin mortero con perno de 1/2 plg tipo “P” tensión paralela a la fibra, presentan un incremento con respecto a la de 3/8 plg, 1.76 kN (15 %), en las uniones “Q” sucede lo contrario, con varilla de 3/8 plg resiste más 0.73 kN (7 %), en las uniones “T” compresión perpendicular a la fibra sucede lo mismo con varilla de 3/8 plg resiste más 1kN (10 %) (Gráfica 16).

Las uniones con mortero, con perno de 1/2 plg, presentaron un incremento con respecto a 3/8 plg, para la unión “P” tensión paralela a la fibra 8.46 kN (39 %), en las uniones “Q” tensión perpendicular a la fibra el incremento fue mínimo de .43 kN,(3 %), en las uniones tipo “T” compresión perpendicular a la fibra, el incremento fue de 6.67 kN (35 %) (Gráfica 16).

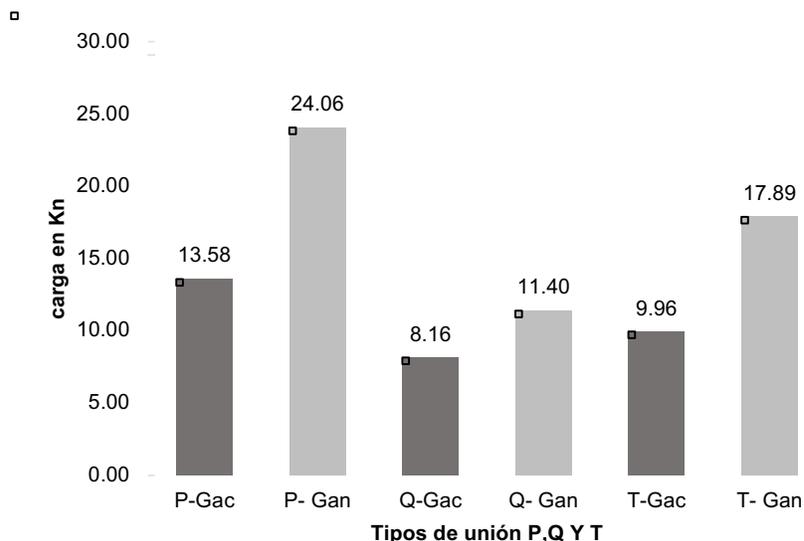
Gráfica 17. Resultados comparativa, carga máxima, perno de 3/8plg y 1/2 plg, con y sin mortero uniones “P”, “Q” y “T”, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.



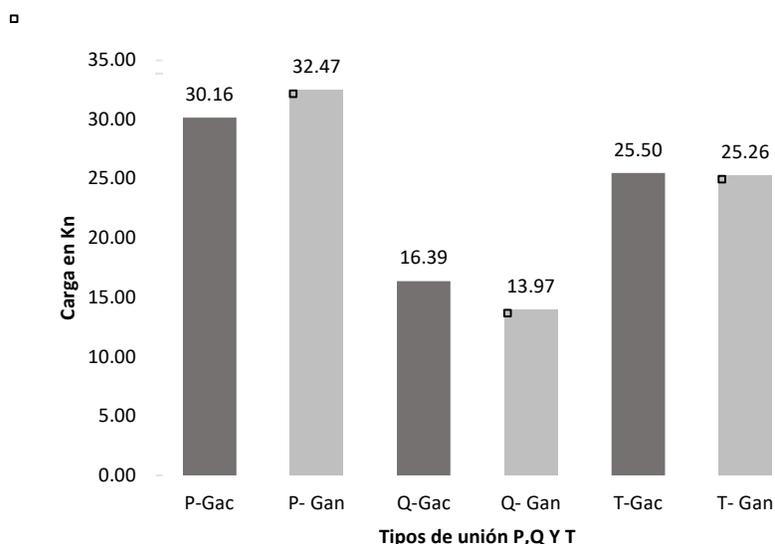
Usar mortero en los tres tipos de uniones, incrementa considerablemente su resistencia. Para el caso de la *G. aculeata* con perno de 3/8 plg, el promedio obtenido fue de 18.84 kN, sin mortero se obtuvo para los tres tipos de uniones 10.56 kN, el incremento fue de 78 %. Con perno de 1/2 plg, para los tres tipos de uniones con mortero el promedio obtenido fue de 24 kN, sin mortero se obtuvo para los tres tipos de uniones 10.6 kN, el incremento fue de 126 % (Gráfica 17).

Usar perno de 1/2 plg en las uniones “P”, “Q” y “T” sin mortero presenta, mejores resultados con respecto a la de 3/8 plg, sin embargo, no duplica la resistencia, los incrementos fueron del 15 % para “P” tensión paralela a la fibra, en la “Q” tensión perpendicular a la fibra y en la “T” compresión perpendicular a la fibra no hubo incrementos. Para el caso de las uniones con mortero con perno de 1/2 plg, con respecto a las uniones con mortero de 3/8 plg, el incremento fue de 39 % para “P”, el 3 % para “Q” y el 35 % para “T” (Gráfica 17).

Gráfica 18. Resultados uniones “P”, “Q” y “T” *G. aculeata* y *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de ½ plg, a 5 cm, sin mortero, carga máxima. Fuente: elaboración propia.



Gráfica 19. Resultados uniones “P”, “Q” y “T” *G. aculeata* y *angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla, perno de ½ plg, a 5 cm, con mortero, carga máxima. Fuente: elaboración propia.



En las gráficas 18 y 19.- se observa una comparación entre las uniones con las dos especies estudiadas tanto para uniones sin relleno y con relleno de mortero.

Las uniones con *G. angustifolia* sin mortero y perno de ½ plg tipo “P” tensión paralela a la fibra, presentan un incremento en la resistencia con respecto a las uniones con *G. aculeata* en las mismas condiciones, sin considerar el diámetro y

espesor de pared. La *G. angustifolia* supera a la *G. aculeata* en 10.48 kN (77 %). En tensión perpendicular a la fibra tipo “Q” la supera en 3.24 kN (40 %), en compresión perpendicular a la fibra tipo “T” la supera en 7.89 kN (79 %).

Con mortero y perno de ½ plg el incremento para tensión paralela a la fibra (P) es de 2.31 kN (7.6 %). En compresión perpendicular (T) la *G. aculeata* y la *G. angustifolia* tienen la misma resistencia con diferencia de 0.39 kN mayor para la *G. aculeata*. En tensión perpendicular (Q) las uniones con *G. aculeata* superan a las con *G. angustifolia* en 2.52 kN (10%). Se observan los valores de resistencia de ambas especies son prácticamente iguales cuando se rellena el entretendido con mortero, con una ligera ventaja para la *G. aculeata*, si se considera el diámetro y espesor de pared, la aculeata presenta valores menores en ambas características.

Se infiere que el incremento en las cargas máximas registradas para las uniones “P”, “Q” y “T” sin mortero y perno de ½ plg, en *G. angustifolia*, respecto a las de *G. Aculeata*, son provocadas por el aumento en el diámetro y espesor de pared de las uniones en *G. angustifolia*. El diámetro promedio identificado en las muestras de *G. aculeata* fue de 105 mm, en *G. angustifolia* 109 mm, superior en 4 mm (39.7 %), en espesor de pared 9.3 mm para la *G. aculeata* y 13.1 mm para la *G. angustifolia*, superior en 3.8 mm (29 %) (Tabla 38).

Tabla 38. Resultados de correlación entre resistencia y diámetro; resistencia y espesor de pared, perno de 3/8 plg y ½ plg. *G. aculeata* y *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Especie			<i>Guadua aculeata</i>			<i>Guadua angustifolia</i>		
Tipo de unión-diámetro de perno			Diámetro mm	Espesor mm	Carga máxima, kN	Diámetro mm	Espesor mm	Carga máxima, kN
Unión P	Con mortero	3/8 plg	107	10,3	21,74			
		½ plg	102	9,0	30,16	106	12,6	32,47
	Sin mortero	3/8 plg	106	9,2	11,82			
		½ plg	105	9,9	13,58	116	15,7	24,06
Unión Q	Con mortero	3/8 plg	108	10,1	15,96			
		½ plg	103	9,1	16,39	105	10,3	13,97
	Sin mortero	3/8 plg	107	9,2	8,89			
		½ plg	103	8,7	8,16	113	13,1	11,4
Unión T	Con mortero	3/8 plg	104	9,0	18,83			
		½ plg	101	8,6	25,5	97	12,3	25,26
	Sin mortero	3/8 plg	105	9,3	10,97			
		½ plg	104	9,2	9,96	117	14,9	17,89
Promedio			105	9.30		109	13.1	

El análisis de correlación aplicada registró valores para el coeficiente de determinación (R^2) y de correlación (R) en los tipos de unión “P”, “Q” y “T”, con mortero y sin mortero para las dos especies. Se analizaron las dos variables, diámetro y espesor de pared para las uniones sin mortero.

La unión con *G. aculeata* a tensión perpendicular a la fibra “Q” sin mortero y perno de 3/8 plg, registró una correlación alta entre el diámetro y la carga máxima con un

valor del coeficiente de correlación (R)= 0.92 y un valor del coeficiente de determinación (R²) de 0.86, lo que indica que el 86 % de la variabilidad de la carga es debido al diámetro y existe una correlación alta entre el diámetro y la carga máxima. En la unión a compresión perpendicular a la fibra "T" sin mortero y perno de ½ plg, se registró un valor del coeficiente de correlación (R) = 0.75, (correlación moderada), y un valor del coeficiente de determinación de (R²) de 0.57, lo que indica que el 57 % de la variabilidad de la carga es debida al diámetro.

La correlación entre el espesor de pared y la carga máxima se registró en la unión a compresión perpendicular a la fibra "T" sin mortero y perno de ½ plg, con un valor del coeficiente de correlación (R) =0.94 y un valor del coeficiente de determinación (R²) = 0.89, lo que indica que el 89 % de la variabilidad de la carga es debido al espesor de pared (Tabla 39).

Tabla 39. Cálculo de coeficientes de correlación y determinación diámetro-espesor de pared-carga máxima, *G. aculeata*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Especie			<i>Guadua aculeata</i>						
Tipo de unión-diámetro de perno			Diámetro mm	R	R ²	Espesor mm	R	R ²	Carga máxima kN
Unión P	Con mortero	3/8 plg	107	-0,195	0,038	10,3	0,278	0,077	21,74
		½ plg	102	1,000	1,000	9,0	0,588	0,346	30,16
	Sin mortero	3/8 plg	106	0,287	0,082	9,2	0,581	0,338	11,82
		½ plg	105	0,466	0,217	9,9	0,562	0,316	13,58
Unión Q	Con mortero	3/8 plg	108	0,730	0,533	10,1	0,702	0,493	15,96
		½ plg	103	0,948	0,899	9,1	0,638	0,407	16,39
	Sin mortero	3/8 plg	107	0,928	0,861	9,2	0,555	0,308	8,89
		½ plg	103	0,503	0,253	8,7	0,606	0,367	8,16
Unión T	Con mortero	3/8 plg	104	0,490	0,240	9,0	0,724	0,524	18,83
		½ plg	101	0,881	0,776	8,6	0,805	0,648	25,5
	Sin mortero	3/8 plg	105	0,462	0,213	9,3	0,509	0,259	10,97
		½ plg	104	0,758	0,575	9,2	0,948	0,899	9,96
R-coeficiente de correlación; R2- coeficiente de determinación									

La unión con *G. angustifolia* a tensión paralela a la fibra "P" sin mortero y perno de ½ plg, registró una correlación alta entre el espesor de pared y la carga máxima, con un valor del coeficiente de correlación (R) =0.98 y un valor del coeficiente de determinación 97 %, lo que indica que la variabilidad de la carga máxima es debida al espesor de pared. En la unión a tensión perpendicular a la fibra "Q" sin mortero y perno de ½ plg, registró un coeficiente de correlación de 0.929 (correlación alta) y un coeficiente de determinación (R²) = 0.86, lo que indica que el 86 % de la variabilidad de la carga es debido al espesor de pared (Tabla 40).

Las uniones “P”, “Q” y “T” con mortero y perno de ½ plg registraron comportamientos distintos, en *G. aculeata* registró coeficientes de correlación altos, entre diámetro y carga máxima, no así con el espesor de pared. Con *G. angustifolia* las uniones “T” con mortero y perno de ½ plg, registró coeficientes de correlación altos entre el diámetro y el espesor de pared con la carga máxima.

Tabla 40. Cálculo de coeficientes de correlación y determinación, diámetro y espesor de pared- carga-máxima, *G. angustifolia*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Especie			<i>Guadua angustifolia</i>						
Tipo de unión-diámetro de perno			Diámetro mm	R	R ²	Espesor mm	R	R ²	Carga máxima kN
Unión P	Con mortero	½ plg	107	0,277	0,077	12,6	0,080	0,006	32,47
	Sin mortero		116	0,878	0,771	15,7	0,986	0,972	24,06
Unión Q	Con mortero	½ plg	105	0,896	0,803	10,3	0,798	0,637	13,97
	Sin mortero		113	0,077	0,006	13,1	0,929	0,863	11,40
Unión T	Con mortero	½ plg	97	0,957	0,916	12,3	0,964	0,929	25,26
	Sin mortero		117	0,684	0,468	14,9	0,600	0,360	17,89

R-coeficiente de correlación; R2- coeficiente de determinación

6.6 Conclusiones

1. Las uniones con pernos en ambas especies rellenas con mortero o sin relleno presentan alternativas de uso para esfuerzos mecánicos importantes.
2. Las uniones con pernos en ambas especies rellenas con mortero o sin relleno presentan alternativas de uso para esfuerzos mecánicos importantes.
3. En ambas especies el tipo de unión con y sin mortero que resiste más carga máxima es la “P” tensión paralela a la fibra, le sigue la “T” compresión perpendicular a la fibra y finalmente la “Q” tensión perpendicular a la fibra. El uso de relleno con mortero en todos los tipos de uniones y especies estudiadas incrementa sustancialmente su resistencia por lo que es altamente recomendable el uso de relleno.
4. El tipo de unión “P” tensión paralela a la fibra con perno de ½ plg con mortero, registra una resistencia mayor en 28 % respecto a la de 3/8 plg en *G. aculeata*.
5. El uso de pernos de ½ plg presenta mejores resistencias que el de 3/8 plg, esto se debe a que con mayor área de apoyo y predominando la resistencia a la compresión de las guaduas el valor de resistencia se incrementa, sin embargo, la resistencia no se duplica.

6. La densidad básica (DB) obtenida en los ensayos con *G. aculeata* y *G. angustifolia* son similares.
7. En la *G. aculeata* rellenar los entrenudos con mortero casi duplica la resistencia a diferentes esfuerzos mecánicos (75 % en promedio).
8. En ambas especies las uniones a tensión paralela con y sin mortero presentan cargas mayores que a tensión y compresión perpendicular.
9. En las uniones con *G. aculeata* a tensión perpendicular a la fibra “Q” y compresión perpendicular a la fibra “T” sin mortero y perno de 3/8 plg existe una correlación alta y moderada entre el diámetro y la carga máxima. En compresión perpendicular a la fibra “T” sin mortero y perno de 1/2 plg existe una correlación alta entre el espesor de pared y la carga máxima.
10. En las uniones con *G. angustifolia* a tensión paralela a la fibra “P” y tensión perpendicular a la fibra “Q” sin mortero y perno de 1/2 plg, existe una correlación alta entre el espesor de pared y la carga máxima.
11. El espesor de pared influye de manera importante en los esfuerzos de tensión y compresión paralela a la fibra y tensión y compresión perpendicular a la fibra.
12. Las propiedades mecánicas del sistema de uniones en ambas especies presentan excelentes condiciones para ser utilizados en el sistema estructural propuesto para la vivienda rural.
13. Los sistemas de unión propuestos garantizan la estabilidad estructural ante las cargas de servicio y accidentales, del sistema estructural porticado.
14. La *Guadua angustifolia* con varilla de 1/2 plg registra cargas máximas más altas que la *Guadua aculeata* con varilla de 3/8 plg con mortero y sin mortero, en todos los tipos de unión, excepto en la tensión perpendicular a la fibra con mortero.
15. El sistema de uniones con *Guadua aculeata* con mortero presenta propiedades mecánicas similares a la *Guadua angustifolia*.

CAPÍTULO VII SISTEMA CONSTRUCTIVO

7.1 Introducción

La real academia española define de dos maneras el concepto de sistema 1.- como un conjunto de reglas o principios sobre una materia racionalmente enlazadas entre sí, 2.- conjunto de cosas que relacionadas entre si ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

Para este estudio el concepto de sistema constructivo se estableció como un conjunto de elementos de la vivienda que integrados dan orden y sentido funcional, tiene como objetivo la construcción con bambú en la vivienda, de la especie *Guadua aculeata*.

Las experiencias en la construcción del prototipo de la vivienda rural permitieron establecer los procedimientos constructivos (técnicas) en todas sus etapas, contrastar el cumplimiento de las necesidades funcionales del sistema, las cualidades de los materiales, su producción y vulnerabilidad y la eficiencia del diseño del proceso constructivo.

La prefabricación del sistema estructural, diseñado con elementos que atendieron a exigencias funcionales estructurales, con una geometría racional y modulados, redujo el tiempo de los procesos constructivos por facilidad del montaje y reducción de mano de obra especializada.

La producción de materiales para la construcción del prototipo es producto de las experimentaciones del proceso de acondicionamiento de la *Guadua aculeata* para uso estructural.

La construcción del prototipo de la vivienda representa la etapa final de la investigación realizada, concentra los resultados de la experimentación con aculeata para determinar las condiciones previas al uso como material estructural, desde la selección, corte, preservación, secado y resistencia en el sistema de uniones.

Los resultados del proceso constructivo del prototipo en sus diferentes etapas formulan procedimientos y técnicas constructivas para integrarlas al sistema constructivo.

Los elementos que integran el sistema constructivo inician desde la producción del material; es decir, la aculeata debe tener condiciones adecuadas a su uso, trabajos preliminares; corresponden al sitio donde se construyó el prototipo, prefabricación

de elementos estructurales; armaduras, vigas compuestas, cuerdas inferiores y superiores de la armadura, construcción del prototipo; armado de elementos prefabricados, construcción de cubierta, entrepiso y muros; y evaluación del proceso constructivo; en cuanto a la calidad del material, estado de las uniones, torques, etc (Imagen 88).

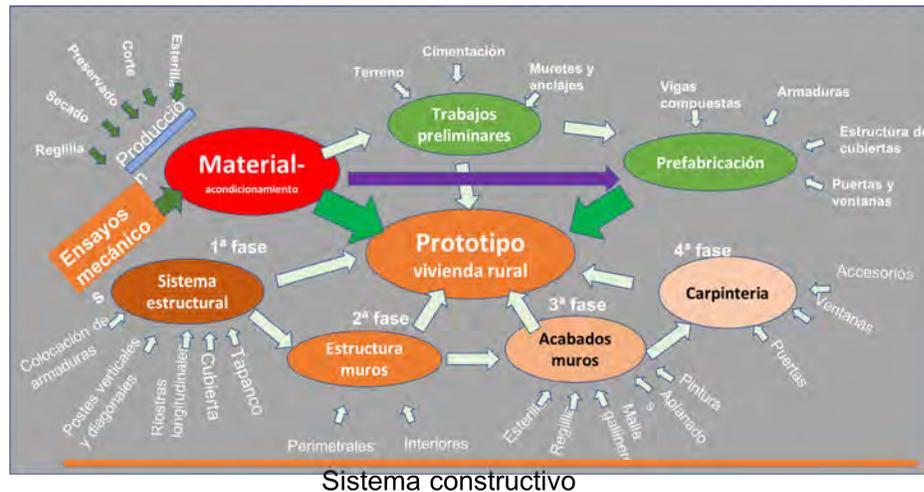


Imagen 88. Esquema del proceso constructivo del prototipo de la vivienda. Fuente: autor

7.2 Producción del material y acondicionamiento

La *Guadua aculeata* por ser un material natural tiene una gran variabilidad, su uso sin las condiciones adecuadas no garantiza durabilidad y resistencia, su acondicionamiento para lograr las mejores propiedades físicas y mecánicas requiere la aplicación de procesos a partir de la selección por su madurez, hasta la determinación de la resistencia a diferentes esfuerzos.

7.2.1 Cuantificación y codificación de tallos para la vivienda

La cantidad de tallos necesarios para la construcción del prototipo fue determinada por el diseño de la vivienda, del sistema estructural, de los muros exteriores e interiores y acabados.

La cuantificación para el sistema estructural está determinado por el sistema de prefabricación de las armaduras, vigas compuestas, postes verticales y diagonales, dimensiones, diámetros, clasificación, cantidad de tallos y colocación dentro de la estructura, el total de tallos para la estructura es de 188, para la esterilla del entrepiso y la cubierta es de 250, 2.40 m y 3.60 m de longitud, la reglilla de 1.40 m de longitud, con diferentes diámetros.

La armadura porticada prefabricada está compuesta de cuerdas superiores (4tallos de 6 m) la cuerda inferior (4 tallos de 8.50 m), tensor (1 de 4 m), cordón opuesto (2 de 4.5 m), nudillos o falso tensor (2 de 3.2 m), barras (2 de 1.60 m). el total de tallos para las 4 armaduras fue de 60 tallos, para los postes verticales y diagonales 40 tallos, para las riostras longitudinales 28 tallos, riostras en muros, 8 tallos, 56 riostras longitudinales para la estructura de la cubierta, riostras en cubierta 8 tallos, tapanco 27 tallos, barandal 4 tallos (Tabla 41).

Tabla 41. Cuantificación de tallos para construcción del prototipo de la vivienda rural. Fuente: elaboración propia.

Descripción	Clave	Longitud en m	Diámetro en cm	Cantidad por marco	No de marcos	Total	Más 15 %	Total ml	Total tallos
Cuerda inferior horizontal	CI-H	8.5	10 a 11	3	4	12	13.80	117.3	14
Poste diagonal	PD	5.5	10 a 12	4	4	16	18.40	101.2	73
Cuerda superior en diagonal derecha e izquierda	CSD-D	6.0	9 a 11	4	4	16	18.40	110.4	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre postes verticales)	VCUM	6.2	10 a 11	2	2	4	4.60	28.5	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre poste diagonal o tornapunta)	VCUP	6.2	9 a 10	6	2	12	1	85.6	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre vértices de los postes)	VCUV P								
Vigas de unión (riostras longitudinales, entre vértices de los postes diagonales o tornapuntas)	VCUV D								
Largueros para entrepiso	LE	6.2	9 a 10	15		15	17.25	107.0	48
Riostra o cordón opuesto, derecho e izquierdo	RCO	4.4	8 a 9	2	4	8	9.20	40.5	
Poste derecho e izquierdo y tensor	T y P	4.0	10 a 12	5	4	20	23.00	92.0	
Largueros derechos e izquierdos en cubierta	LDI	4.2	7 a 8	14		14	16.10	67.6	97
Nudillo o falso tensor y barra derecha e izquierda	NT y BDI	3.0	8 a 10	4	4	16	18.40	55.2	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre postes verticales)	VCUM	3.2	10 a 11	2	2	4	4.60	14.7	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre poste diagonal o tornapunta)	VCUP	3.2	9 a 10	2	2	4	4.60	14.7	
Vigas compuestas (riostras longitudinales, entre vértices de los postes)	VCUV P	3.2	9 a 10	2	2	4	4.60	14.7	
Vigas de unión (riostras longitudinales, entre vértices de los postes diagonales o tornapuntas)	VCUV D	3.2	9 a 10	2	2	4	4.60	14.7	
Riostra entre poste vertical y diagonal del marco y cuerda inferior	RPCI	3.0	10	2	4	8	9.20	27.6	
Poste central en muro lateral (continuación del tensor)	PC	3.0	10 a 11	1	2	2	2.30	6.9	
Largueros para entrepiso	LE	3.2	9 a 10	15		15	17.25	55.2	
Esterilla para entrepiso	EE	3.2	9 a 10	27		27	31.05	99.4	
Riostras en muros	RM	4.8	7 a 8	4	3	12	13.8	66.2	28
Riostras en muros laterales	RML	4.7	9 a 10	4	2	12	13.8	64.9	
Largueros derechos e izquierdos en cubierta	LDI	7.2	7 a 8	14		14	16.1	115.9	30
Riostras en cubierta	RC	6.7	7 a 8	4	3	12	13.8	92.5	
Esterilla para la cubierta	EC	3.6	10 a 12			64	73.6	265.0	74
		2.4	10 a 12			64	73.6	176.6	74
							total		438

7.2.2 Corte y selección

Los tallos previamente seleccionados por su madurez y calidad se cortaron y extrajeron del centro experimental del INIFAP, “Las Margaritas”, del municipio de Hueytamalco, Puebla., de guaduales de crecimiento natural, libre de defectos. Se cortaron 449 tallos de medidas diversas, de los cuales 200 fueron para la estructura y 250 para la esterilla del entrepiso y cubierta, de dimensiones establecidas para el sistema estructural, muros, cubierta y tapanco (Imagen 89).



Imagen 89. Extracción de tallos de *G. aculeata*, corte y selección, medición, clasificación, transportación a la zona de limpieza y preservado. Fuente: autor.

Después del corte se transportaron al cobertizo de la Unión de productores de bambú de Hueytamalco, Puebla., donde continuó con el proceso de limpieza, perforación de diafragmas, corte de ramas y brotes.

7.2.3 Preservado

El preservante utilizado es una solución química hidrosoluble, a base de bórax y ácido bórico, bajo los procedimientos y proporciones establecidas (ICONTEC, 2006, NTC 5301) y (Peña, 2009).

Los tallos preservados fueron identificados de manera inequívoca para el seguimiento del tiempo de secado.

Por el volumen de tallos la preservación se realizó en varias tandas, el tanque permitía 40 tallos. El proceso inició el 10 de marzo y concluyó el 19 de mayo de 2017 con la inmersión de la esterilla y reglilla (Imagen 90).

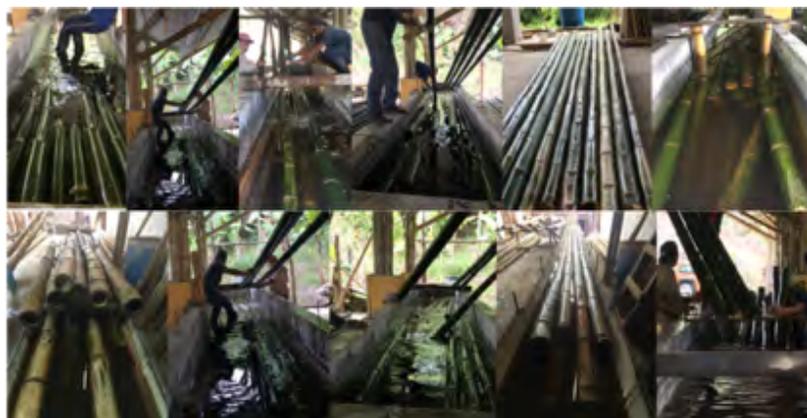


Imagen 90. Proceso de preservado con sales de boro. Fuente: autor.

7.2.4 Secado

El secado bajo sombra y a la intemperie se realizó una vez que fueron extraídos de la pileta de preservación, previa selección y registro de la información.

Los tallos bajo sombra fueron colocados verticalmente, para el escurrimiento del exceso de preservante, se rotaban cada 8 días, se pesaban y media el CH en periodos de tiempo establecidos.

Para el proceso de secado se siguieron los lineamientos establecidos en la metodología de (Montoya, 2006).

Por necesidades de la experimentación el secado fue bajo sombra por altas temperaturas y humedad relativa presentadas en el sitio, el proceso de secado requiere un control y medición del contenido de humedad CH, bajo sombra el proceso es lento, evita las contracciones y hendiduras, logrando buenos resultados en la calidad de los tallos, se realizó en 90 días.

Con el fin de determinar el CH, se tomaron mediciones a algunas muestras durante el proceso de secado de manera aleatoria, bajo los procedimientos de la metodología empleada por (Montoya, 2006) (Imagen 91).



Imagen 91. Proceso de secado bajo sombra tallos rollizos. Fuente autor

7.2.5 Producción de esterilla

La esterilla o bambú planchado, (alfombrilla, tapiz) es un derivado del tallo del bambú, mediante un proceso artesanal, herramientas manuales (hacha y pala plana), se cortan todos los nudos al azar cuando están recién extraídos del guadual, se abre hasta lograr una superficie plana y lisa, se cortan los diafragmas

para lograr que la superficie este limpia, posteriormente se sumerge a la tina de preservado y se coloca a la intemperie para su secado. Para su habilitación se utiliza la parte media del tallo, por tener el espesor más uniforme, es más recto, por facilidad del proceso de hechura, la madurez debe ser menor a tres años.

La esterilla se utilizó como recubrimiento de la superficie de la estructura de muros, generar un diafragma, que trabajara como un elemento. Se produjeron diferentes tamaños 3.60, 3.20 y 2.40 m para la cubierta y tapanco a doble capa (Imagen 92).



Imagen 92. Habilitado de esterilla. Fuente: autor.

7.2.6 Producción de reglilla

Son derivados de los tallos de bambú de la parte media, para habilitar la reglilla después de hacer el corte de los tallos de deja secar a intemperie, cuando el CH llegue a 30 % PSF, para evitar que surjan rajaduras y facilitar el corte de la reglilla. Los cortes son paralelos a la fibra, con sierra con discos paralelos, al ancho mínimo que casi desaparezca la curvatura del diámetro, evitando el trabajo excesivo de la máquina de cepillado. Posteriormente se metieron a la tina de preservación durante cinco días, se extraen y colocan a intemperie para el secado hasta CH menores al 19 %. Las reglillas secas se utilizaron como recubrimiento en muros, con disposiciones variadas según diseño elegido, generalmente el ancho es menor a 3.5 cm (Imagen 93).



Imagen 93. Producción de reglilla. Fuente: autor.

7.3 Trabajos preliminares

Previo al inicio de los trabajos de construcción del prototipo, se capacitó al personal asignado (4 personas) sobre la etapa de la cimentación, lectura de planos, trazo y nivelación

Los trabajos preliminares realizados previos a la construcción del prototipo, consistieron en la selección del terreno, la orientación, el trazo, cimentación y anclajes

7.3.1 Preparación del terreno

El terreno elegido para el desplante del prototipo es de topografía plana, con pendiente del 6 % de sur a norte, el subsuelo es arenoso, la orientación es poniente, la orientación del prototipo es noroeste-sureste. Se realizó limpieza y despalme para el trazo y nivelación. La excavación de las zapatas aisladas se realizó manualmente, con un metro de profundidad, ancho y largo (Imagen 94).



Imagen 94. Actividades previas a la construcción del prototipo. Fuente: autor.

7.3.2 Cimentación

El sistema constructivo es similar a la vivienda tradicional, los materiales son materiales tradicionales, la diferencia radica en los anclajes y el murete perimetral que evita la humedad a la parte estructural con bambú y su deterioro.

Por el peso de la estructura y diseño de elementos aislados, se construyó con zapatas aisladas, la forma es rectangular de 6 m x 9 m, con entre ejes a cada 3 m de claro, las dimensiones son derivadas del análisis y cálculo estructural.

Todo el sistema estructural de la vivienda, tiene un peso muy bajo comparativamente con los materiales tradicionales, su densidad es comparable con la madera 600 kg/m^3 . La cimentación se requiere contra los efectos del viento, no así por la transmisión del peso de la vivienda al terreno, los anclajes evitan que las fuerzas del viento levanten la construcción, aunado a lo anterior, las normas

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
 Caso de estudio: Estado de Veracruz.

establecen las condiciones de carga a las cuales deben de ser calculadas, lo que se traduce en una cimentación para una construcción tradicional. Como resultado del análisis y cálculo estructural se construyeron 8 zapatas aisladas de concreto armado de 15 cm de espesor, armadas con varilla de 3/8 plg, a cada 20 cm en ambos sentidos, a cada 3 m en el sentido longitudinal y a cada 6 m en el sentido transversal, dados de 20 cm por lado, con 4 varillas de 3/8 plg y estribos a cada 20 cm, la unión de zapatas fue con trabe de liga de concreto armado, desde donde se desplantó el murete y se anclaron las varillas que van al interior de los bambúes estructurales. El peso de la construcción con aculeata es de 5 toneladas, con la aplicación de (GOCDMX NTC, 2017), el peso se elevó a 56 toneladas, divididas en 8 zapatas, cada una soporta 7 toneladas (Imagen 95).

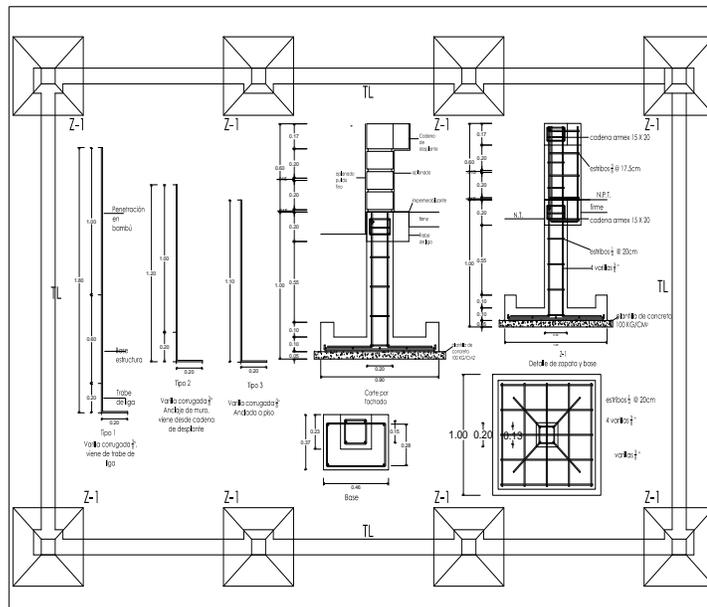


Imagen 95. Cimentación, armados y tipos de anclajes. Fuente: autor.



Imagen 96. Proceso constructivo trabajos preliminares

Las zapatas se unieron con una trabe de liga de concreto armado de 20 x 20 cm, con armex-cadena, del nivel del suelo hacia abajo. Para independizar al bambú de la humedad del suelo y evitar deterioro por pudrimiento se construyó sobre la trabe de liga un murete en todo el perímetro de la construcción, a 60 cm de altura, con

block de 20 x 12 x 40 cm, juntado con mortero cemento-arena 1:5, terminado con una cadena de cerramiento del ancho del muro y 20 cm de altura (Imagen 96).

El clima de la comunidad “Las Margaritas” es muy húmedo durante casi todo el año, en época de lluvias de mayo a febrero la lluvia es casi todos los días, el subsuelo, aunque drena bien por su composición de arena, permanece húmedo, para evitarla se colocó un polietileno en el suelo, malla electrosoldada, 6-6,10-10 y se vació el concreto, con un espesor de 10 cm, acabado rústico.

7.3.3 Anclajes

Los anclajes son los elementos que conectan el sistema estructural a la cimentación, su función es mantener estable la estructura ante cargas horizontales y de succión provocada por los vientos y otras cargas accidentales. Por su bajo peso el sistema estructural (1.8 kg/m) de aculeata tiene que estar anclado a la cimentación, funciona a la inversa que el sistema tradicional de construcción. El procedimiento consistió en anclar varillas corrugadas de 3/8 plg a la cimentación y elementos estructurales de concreto armado, e introducirlas a los postes diagonales, verticales, para su posterior relleno con mortero. Para los muros divisorios se anclaron a la trabe de liga, a la cadena de desplante y al piso, según los desempeños de cada elemento (Imagen 97).

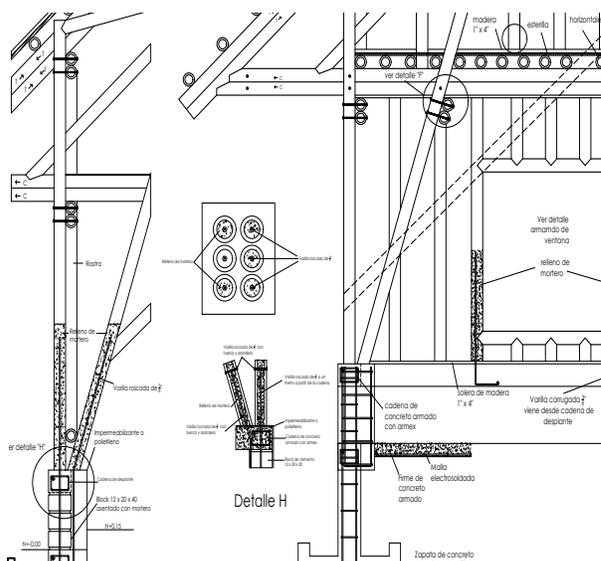


Imagen 97. Detalles de anclajes a cimentación estructural, muros. Fuente: autor.

7.4 Prefabricación de elementos estructurales

La racionalización de los procesos constructivos con aculeata considera la propuesta de Monjo Carrio (2005) desde la racionalización del proyecto, habiendo

cumplido los requisitos funcionales y de composición, conlleva a una eficiencia de la ejecución.

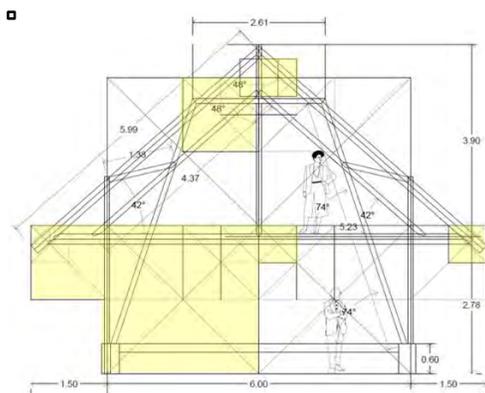
Para cumplir con lo anterior se prefabricaron los elementos estructurales principales, partiendo de una modulación originada por las dimensiones de los materiales y la carga cultural del proyecto, facilitando la racionalización geométrica de la armadura porticada, lo que facilita el montaje, reduciendo la mano de obra en el sitio, asegurando la calidad final de la vivienda.

7.4.1 Geometría de la armadura porticada

La configuración del sistema estructural está compuesta por armaduras porticadas moduladas colocadas en plano seriado, facilitan la coordinación de los elementos estructurales como postes y vigas y la modulación de elementos de cerramiento, muros perimetrales e interiores y acabados.

Las dimensiones de los elementos estructurales, se originan de las proporciones de múltiplos y submúltiplos del cuadrado como forma original, facilitando la definición del tamaño de cada elemento. Las proporciones determinan el tamaño de los aleros, las alturas y originan los espacios funcionales de la vivienda. El trazo a tamaño original fue el modelo para la selección de los tallos, diámetros y dimensiones. La facilidad del trazo obedece a la generatriz de la forma producto de dos rectángulos, forma sagrada entre la cultura totonaca, con subdivisiones se localizaron todos los elementos estructurales componentes de la forma, lo que facilitó la definición de las dimensiones (Imagen 98).

Tabla 42. Elementos de la armadura porticada.
 Fuente: autor.



No.	Elemento	Cantidad	Longitud	Total
1	Cuerda superior	4	5.83	23.32
2	Cuerda inferior	2	8.25	16.5
3	Tensor	1	3.8	3.8
4	Cordón opuesto	2	4.75	9.5
5	Barra	4	1.31	5.24
6	Nudillo	2	2.62	5.24
7	Poste vertical	4	3.33	13.32
8	Poste diagonal	4	5.06	20.24
9	Poste intermedio	2	2.07	4.14
Total		25		101.3

Imagen 98. Configuración geométrica, armadura porticada, proporciones dimensionales.
 Fuente: autor.

La configuración modulada simplificó el tamaño de los elementos, reduciendo a 9 elementos de diferentes dimensiones, 4 se repiten 4 veces, 4 dos veces, 1 una vez, en total 25 tallos, que sumadas sus dimensiones totalizan 101.3 m. Los ángulos originados para los cortes se simplificaron a 42° y 48° (Tabla 42).

La disposición de los elementos en la armadura, son identificados por cuerdas superiores, inferiores, tensor, nudillos, cordón opuesto y barras, a éstos se unen los postes verticales, intermedios y diagonales que funcionan como columnas, generando la armadura porticada.

7.4.2 Esfuerzos actuantes en uniones

El análisis estructural resultante, derivado de la aplicación de esfuerzos a los que será sometido el sistema estructural, generó un diagrama del trabajo estructural que desempeña cada elemento de la armadura porticada.

A partir del análisis se proponen los tipos de unión ensayados.

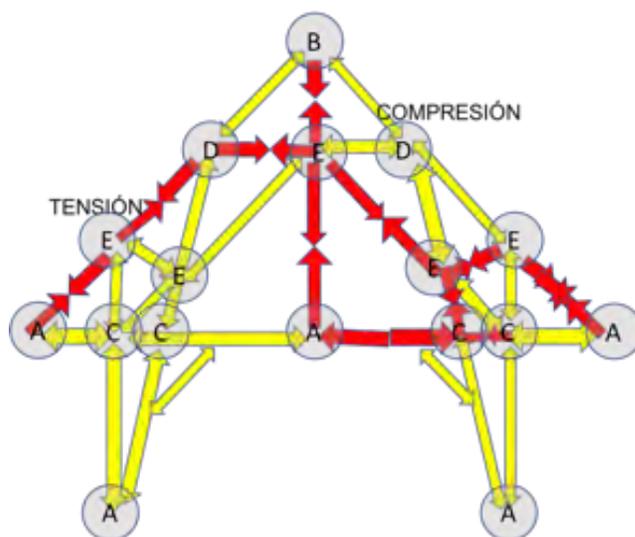


Imagen 99. Esfuerzos actuantes, tipos de uniones. Fuente: autor.

Las uniones tipo A, trabajan a tensión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, son rígidas, con cortes tipo boca de pescado o pico de flauta a 42°, se unen con varilla roscada A-307 de 1/2 plg y 3/8 plg, tuercas hexagonales y arandelas planas y cóncavas, las que van a la cimentación se encuentran ancladas y trabajan a tensión o compresión según sea el caso (Imagen 99).

La unión tipo B, trabaja a compresión y tensión paralela a la fibra, es rígida con cortes a boca de pescado a 45°, los tallos se unen con varilla roscada A-307 de

3/8 plg, tuercas hexagonales y arandelas planas y cóncavas (Imagen 99).

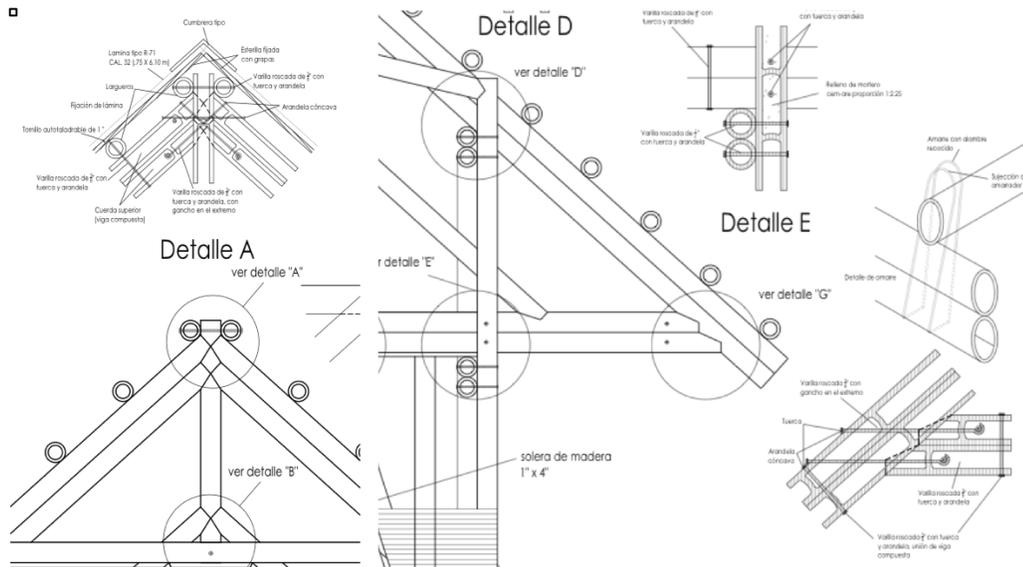


Imagen 100. Detalles tipos de uniones en armadura. Fuente autor.

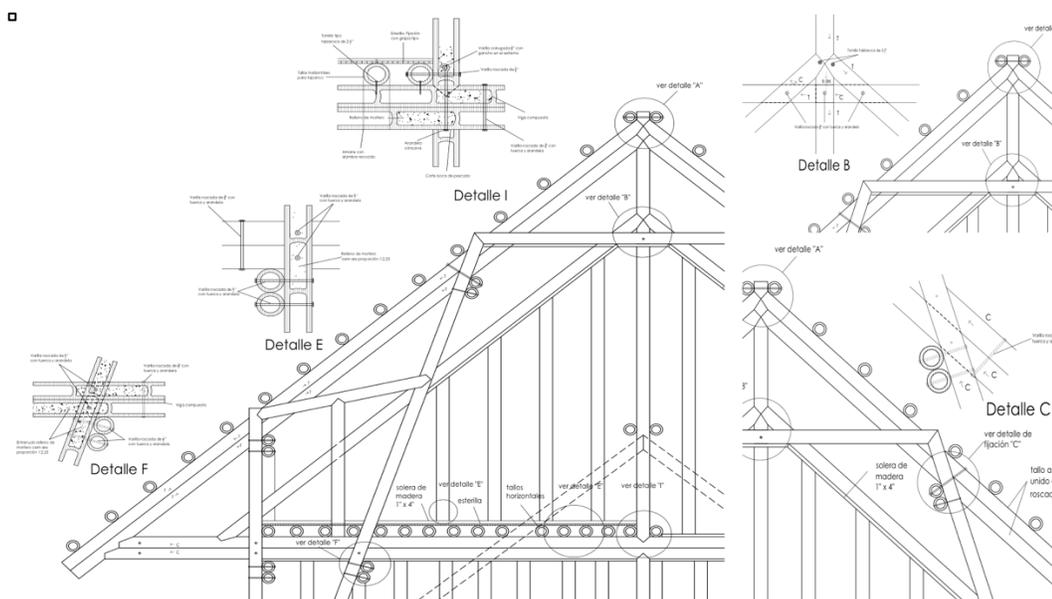


Imagen 101. Uniones tipo B cuerdas superiores y tensor, tipo D cuerdas superiores con diagonal. Fuente: autor.

Para las uniones E y C reciben esfuerzos a tensión paralela y perpendicular a la fibra, doble cizallamiento, el procedimiento es similar a las anteriores, con varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg, tuercas y arandelas planas, los tallos cortados a medida con corte al ángulo definido, se colocan directamente sobre la cercha se perforan con broca de 7/16 plg x 14 plg, para las varilla de 3/8 plg, con broca de 9/16 plg x 14 plg para varillas de 1/2 plg, que crucen los tres tallos en forma perpendicular, con el uso de un porta taladro angular que perfora perpendicular al tallo (Imagen 100).

Las uniones entre cuerdas inferiores con tensor se encuentran trabajando a compresión perpendicular a la fibra y tensión paralela a la fibra, respectivamente. La fijación del tensor utilizó un gancho roscado interior que atravesó las cuerdas inferiores para su fijación con tuercas y arandelas cóncavas, se rellenaron con mortero para incrementar la resistencia a los esfuerzos de trabajo. Sobre las cuerdas se apoyaron y fijaron largueros que estructuran el tapanco y esterilla que realiza la función del piso. Las riostras en la cubierta trabajan a tensión paralela a la fibra, las cuerdas a compresión perpendicular con ángulo, la fijación fue con varilla roscada de 3/8 plg, con tuercas y arandelas. Los muros perimetrales se estructuraron con elementos verticales fijos a las riostras longitudinales, con varilla roscada de 3/8 plg, con tuercas y arandelas (Imagen 101).

7.4.3 Vigas compuestas

El análisis estructural determinó que las cuerdas superiores e inferiores, las riostras longitudinales entre marcos porticados y las vigas del tapanco fueran compuestas por dos tallos, el procedimiento constructivo se realizó partiendo de la técnica para la selección del material, sin deformaciones del eje central longitudinal, diámetro, conicidad, (diferencia entre un diámetro y otro de 3 cm), calidad, (sin defectos de rajaduras y fisuras o torceduras, picaduras, plagas, apariencia). Las uniones se realizaron con varilla roscada de 3/8 plg con tuercas y arandelas apegadas a la norma colombiana (MAVDT, 2010). La colocación de la varilla para la unión fue de 3/8 plg la perforación se realizó cerca del nudo. Por las deformaciones presentadas se utilizaron amarres provisionales para la colocación de las varillas roscadas (Imagen 102).



Imagen 102. Amarres provisionales, sujeción de elementos para su fijación con varilla roscada.
Fuente: autor.

Previo al armado de las vigas compuestas se realizaron trabajos preliminares, dependiendo de la ubicación y trabajo estructural del elemento en la armadura, el análisis estructural determinó el diámetro y su conicidad, la diferencia entre el

diámetro de los extremos no debe ser superior a 3.5 cm, pues modifica el peralte de la viga, por consiguiente no trabaja a esfuerzos calculados, habilitando la parte media del tallo, donde los diámetros son uniformes, o la parte baja con las mismas características. Las deformaciones del eje longitudinal centroidal, no debe ser superior al .33 % de la longitud, modifican la forma geométrica del elemento. Las armaduras construidas presentaron valores superiores, en algunos casos se sometieron logrando disminuir la deformación del eje longitudinal. Otro aspecto importante para determinar la calidad del tallo fueron los ataques de xilófagos, la mayoría presentaban ataques por perforadores, a nivel del nudo.

Una vez seleccionados se determina el lado más derecho, con base en la ubicación del elemento estructural, que se perciba recto una vez colocado. Este criterio se utiliza para el armado de las vigas compuestas. La dirección de la viga determina la posición del corte boca de pescado, factor importante al momento del armado de los elementos estructurales, una mala decisión se refleja en alineamientos y nivelación del sistema estructural, consecuentemente en el resto de los elementos y materiales.

7.4.4 Construcción de armadura porticada

El procedimiento constructivo para la construcción de la armadura porticada se inicia con la técnica para la selección del material. Las cuerdas inferior y superior fueron construidas bajo el procedimiento de las vigas compuestas, La construcción requirió amarres provisionales de sujeción, se realizaron con alambre recocado en algunos casos por ser más efectivo que los amarres con reata, los cortes a boca de pescado y pico de flauta, posteriormente se perforó para introducir la varilla roscada (Imagen 103).



Imagen 103. Proceso constructivo de armadura. Fuente autor.



Imagen 104. Armadura, uniones y elementos componentes. Fuente autor.

La configuración y dimensiones de la armadura tienen su origen en las subdivisiones del cuadrado, la uniformidad de ángulos en las uniones (48° y 42°), en las cuerdas superiores con tensor, en las cuerdas inferiores con cuerdas superiores, y cuerdas inferiores con cordón opuesto. Con dos cortes tipo boca de pescado, en las cuerdas superiores con tensor y en las cuerdas superiores con cuerdas inferiores. Para la construcción se emplearon tres tipos de uniones, la tipo “B” con cortes a boca de pescado con ángulo de 48° , las cuerdas trabajan a compresión y el tensor a tensión. La unión tipo “A” con los mismos tipos de cortes, con ángulos a 42° , las cuerdas superiores trabajan a tensión y las inferiores a compresión. La unión tipo “A” en el tensor y las cuerdas inferiores, el corte es a boca de pescado a 90° , el tensor trabaja a tensión y las cuerdas a tensión y compresión. La simplicidad de los cortes y dimensiones facilitó la construcción (Imagen 104).



Imagen 105. Tipos de corte, boca de pescado utilizados en la armadura. Fuente autor.

El número de cortes por la forma geométrica de la armadura, se redujo a dos tipos, a fin de evitar mano de obra para su acoplamiento, por la variabilidad dimensional del material.

Se clasificaron con boca de pescado y articulaciones con tornillos, determinado por el diseño, de fácil armado y montaje. Los utilizados se pueden realizar de manera manual y con equipo, seis cortes a 42° seis a 48° y uno a 90°, de manera manual se trazan plantillas que se colocan en los tallos y se marcan, los cortes son con herramienta manual y mecánica, como formones, gurbias, caladora, etc (Imagen 105).

Los acoplamientos por diferencias y deformaciones de los diámetros requieren mucha práctica y equipo manual, como desbastado con tornos de lija, herramientas angulares de sujeción, porta taladro angular que permita perforar perpendicularmente al tallo, sin el auxilio de otra persona y experiencia, etc. Es una de las actividades más delicadas, que de ello depende la rigidez de la unión. La realización de los cortes y su acoplamiento requirió construir herramientas y modificaciones de equipo y herramientas para facilitar el trabajo, pues no existe en el mercado herramienta y equipo manual o mecánico para trabajar el bambú.

La unión entre cuerdas superiores e inferiores con ángulo se armaron con varillas roscadas de 3/8 plg con tuercas, arandelas planas y cóncavas. El procedimiento constructivo se realizó de la manera siguiente, una vez que se realizó el corte a boca de pescado con ángulo a 42°, en los dos extremos de las cuerdas, se acopló cada una de las cuerdas superiores, se amarró provisionalmente con reatas y alambre recocido, se fijó con pijas tipo tabla roca de 2 1/2 plg. Para colocar la varilla roscada, se perforó la cuerda inferior a 5 cm del nudo del lado contrario a la tensión ejercida, se introduce el gancho se sujeta de la misma varilla que atraviesa las cuerdas superiores, una vez colocada correctamente se ponen las tuercas y arandelas, con torques hasta no dañar la pared de la aculeata, posteriormente, se coloca la otra cuerda inferior con el mismo procedimiento (Imagen 106).



Imagen 106. Amarres provisionales para colocar la varilla roscada en uniones cuerdas superiores- inferiores. Fuente: autor.

En la unión entre cuerdas superiores y tensor los cortes se realizaron con el mismo procedimiento que la anterior, las cuerdas trabajan a compresión y el tensor a tensión, las cuerdas se fijaron al tensor con varilla roscada de 3/8 plg con tuercas y arandelas cóncavas y planas, introducida perpendicularmente a las cuerdas y diagonal al tensor, una varilla roscada para cada lado (Imagen 107).



Imagen 107. Unión entre cuerdas superiores y tensor. Fuente: autor.

La unión entre el tensor y cuerdas inferiores se realizó con el procedimiento siguiente; un corte a boca de pescado a 90° al tensor, se colocó una varilla roscada de 1/2 plg a 5 cm del nudo del lado contrario a la tensión perpendicular a la fibra, con tuercas y arandelas. Con el mismo procedimiento a las cuerdas inferiores, pasando una varilla de 3/8 plg con gancho, sujeta a la varilla de 1/2 plg, se ajustó sobre las cuerdas inferiores con arandelas cóncavas, por estar trabajando a compresión perpendicular. Este tipo de unión por estar sometida a esfuerzos importantes, se rellena con mortero, una vez que se encuentre en servicio (Imagen 108).



Imagen 108. Unión tensor-cuerdas inferiores. Fuente: autor.

Las uniones de nudillos con tensor y cordón opuesto, se encuentran articuladas con una varilla roscada de 3/8 plg con tuercas y arandelas, perforadas perpendicular a la fibra, la unión de tensor con cordones opuestos, es con corte boca de pescado con ángulo de 48° en los cordones, se fija con pijas tipo tabla roca al tensor, de la misma manera se une con las cuerdas inferiores (Imagen 109).



Imagen 109. Imagen unión nudillo-tensor-cordón opuesto, cordón opuesto cuerdas inferiores.
Fuente: autor.

7.4.5 Elementos estructura de cubierta.

Los elementos prefabricados de la cubierta fueron los largueros que unen las armaduras porticadas, tallos de 7.2 m y 4.20 m de longitud, unidos con varilla roscada de 3/8 plg, los diámetros fueron entre 7 y 8 cm. El procedimiento constructivo para la selección del material es la misma técnica empleada en los procesos anteriores.

Una vez seleccionados, se colocan en un dispositivo de unión para la fijación con varilla roscada, en los dos extremos de los tallos (Imagen 110).



Imagen 110. Unión de elementos de cubierta, sistemas de sujeción. Fuente: autor.

7.5 Construcción del prototipo de vivienda rural

La construcción del prototipo se realiza en cuatro fases, la primera contempló la construcción del sistema estructural incluye: colocación de las armaduras porticadas, postes verticales, diagonales, barras, riostras longitudinales de unión entre armaduras y muros, largueros de cubierta que unen las armaduras, cubierta y estructura del tapanco con la fijación de esterilla como piso a dos capas y el relleno de entrenudos con mortero en uniones ensayadas. La segunda contempló el armado de muros, incluye: los muros perimetrales del prototipo, los muros interiores derivados del funcionamiento y llenado de entrenudos con mortero. La tercera fase contempló acabados en muros, incluye: habilitado de regilla,

colocación de esterilla en los muros perimetrales, malla gallinero, aplanados con mortero y aplicación de pintura, en el caso de los muros interiores, colocación de esterilla en el área de cocina, malla gallinero y aplanados con mortero y colocación de esterilla en la parte baja de la estructura de la cubierta. La cuarta fase contempló la carpintería, incluye: la construcción de puertas y ventanas, colocación de reglilla y accesorios, como chapas, pasadores, topes y construcción de escalera.

La construcción del prototipo es la etapa final de la investigación, se aplican los resultados de las experimentaciones realizadas; acondicionamiento del material (selección, preservado, secado, resistencia de uniones), el análisis estructural y el cálculo del sistema estructural apegado a (GOCDMX NTC, 2017), y los procedimientos constructivos ensayados en prototipos previos.

7.5.1 Configuración del sistema estructural

El sistema estructural fue configurado por la suma de cuatro armaduras porticadas colocadas en plano de repetición, sobre cuatro ejes perpendiculares al eje longitudinal, separadas 3 m entre cada una de ellas, la sencillez se define por su simetría en ambos sentidos, el conjunto forma un rectángulo en proporción 1:1.5, de 6 x 9 m, los aleros forman parte del mismo sistema estructural, representa la mitad del módulo inicial de proporción, 1.50 m a lo largo del lado mayor del rectángulo.

Los elementos que proporcionaron estabilidad al sistema estructural fueron las riostras longitudinales unidas con cada armadura porticada, la modulación de los elementos de la cubierta y el tapanco se distribuyeron definidos por el análisis estructural coincidiendo con las proporciones del tamaño de la estructura (Imagen 111).

El conjunto de elementos estructurales integrados, configuran la unidad del sistema estructural, aunado a los muros perimetrales que funcionan como un diafragma, confieren mayor rigidez y seguridad al sistema. Los tallos longitudinales sobre las armaduras funcionan como riostras, estabilizando las cuatro armaduras, conformando la pendiente de la cubierta, las riostras diagonales en cada extremo de la cubierta en ambas pendientes la rigidizan y trabajan como una unidad ante esfuerzos de servicio (Imagen 111).

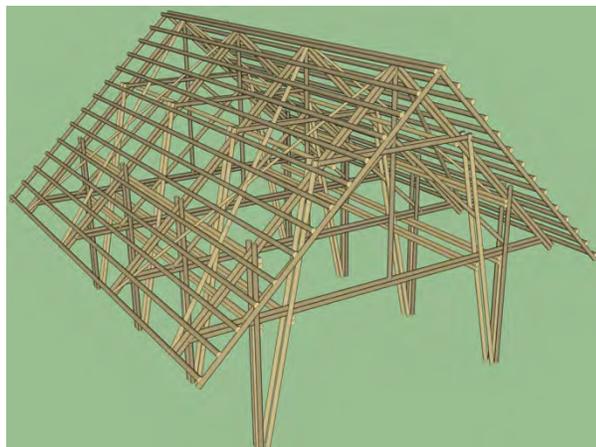


Imagen 111. Sistema estructural. Fuente: autor.

7.5.2 Cuantificación y habilitación de materiales

El sistema estructural esta conformado por armaduras porticadas, tapanco, cubierta y riostras longitudinales en cubierta y muros. 18 tipos de tallos de diferentes tamaños repetidos en todo el sistema estructural. Cada armadura está integrada por 9 elementos, cubierta por 2 elementos, tapanco por 2 elementos y las riostras longitudinales por 5 elementos. El total de tallos utilizados en el sistema estructural fue de 232 con diferentes diámetros, la longitud máxima fue para las cuerdas inferiores 8 tallos de 8.4 m, la longitud mínima fue de 1.50 m, para las barras de la armadura. El total de m, utilizados fue de 1123.40.

Tabla 43. Cuantificación de elementos en el sistema estructural, *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, cubierta, muros, tapanco, esterilla y reglilla: fuente: elaboración propia.

Tipo	Elemento	Componentes	Total de tallos	Longitud total en m.
9	Armadura porticada	24	100	431.2
5	Riostras	18	42	209.2
2	Tapanco	30	30	141
2	Cubierta	30	60	342
4	Muros		97	367.8
3	Esterilla		235	726.4
1	Reglilla		500	700
Total			1064	2917.6

Los cerramientos exteriores e interiores fueron armados con tallos de diferentes diámetros y longitudes, se utilizaron en la construcción 97 tallos, con un total de 367.8 m. Para el habilitado de esterilla se eligieron 235 tallos con una longitud de 726 m., tallos entre dos y tres años de edad, de la parte media por facilidad de corte y habilitado en estado verde, con longitudes de 3.60 m, 3.20 m y 2.40 m y diámetros superiores a 10 cm. Para la reglilla se usaron 500 tallos de 1.40 m, con

un total de 700 m, de la parte media y alta del tallo en estado seco y dos años de edad, por la uniformidad de espesor y facilidad de corte (Tabla 43).

La unión articulada de dos y tres tallos se realizó con varilla roscada de 3/8 plg y 1/2 plg, con tuercas y arandelas planas y cóncavas dependiendo del tipo de esfuerzo de trabajo, todo el sistema estructural fue armado mediante ese procedimiento. El total de varillas utilizadas fue de 113.04 piezas de 3/8 plg, 87.84 piezas de 1 m de longitud, de 1/2 plg 25.16 piezas, con 208 tuercas y arandelas de 1/2 plg y 560 de 3/8 plg.

Para la fijación de la estructura de la cubierta se utilizaron 184 tramos de varillas de 3/8 plg, 55.12 m, 366 tuercas y arandelas, para la fijación de los muros, puertas y ventanas se utilizaron 254 tramos de distintas dimensiones, total 70 m, de varilla de 3/8 plg, 502 tuercas y arandelas, para el tapanco se utilizaron 130 tramos, con un total de 40 m, de varilla de 3/8 plg, 260 tuercas y arandelas (Tabla 44).

Tabla 44. Cuantificación de varilla roscada, tuercas y arandelas en el sistema estructural.
 Fuente: elaboración propia.

Tipo de conexión	No de piezas	Total de tuercas	Total, de arandelas	Total, de varilla roscada
Sistema estructural	384	768	768	113.04
Cubierta	184	368	368	55.12
Muros, puertas y ventanas	254	502	502	70
Tapanco	140	260	260	40.2
Total	962	1898	1898	278.36

7.5.3 Sistema estructural

7.5.3.1 Montaje de armaduras

El proceso de izado se realizó utilizando equipo sencillo fácil de adquirir y manejar, dos poleas, un malacate, andamios metálicos, reatas para su estabilidad y colocación en el lugar exacto. Por su peso menos de 200 kg no presentó dificultades para su transportación e izado, con 4 personas se logró todo el proceso para su ubicación en el lugar proyectado. Fue necesario obra provisional para nivelación y estabilidad, con el mismo bambú para las cuatro armaduras, se alinearon cuidando los niveles, escuadras, fijación a la obra provisional para estabilizar, evitar movimientos y colocar los postes verticales y diagonales.

Las cuatro armaduras se colocaron en los ejes proyectados a cada tres metros de claro, la longitud es de 9 m, los apoyos se encuentran a 6 m, quedando volado 1.50 m de cada lado, como alero para protección de la lluvia (Imagen 112).



Imagen 112. Proceso de montaje de armaduras. Fuente. autor

7.5.3.2 Elementos portantes y cubierta

Una vez estabilizada la armadura, se colocaron sobre la cimentación los postes intermedios en cada eje bajo la armadura, coincidiendo con los anclajes para ese propósito, paralelamente los postes verticales que hacen la función de columnas, que sostienen la armadura fijos con varilla roscada, cada armadura se apoya en cuatro postes verticales, y cuatro diagonales, cuatro por extremo, anclados a la cimentación. La nivelación de las cuatro armaduras con las columnas se realiza con obra provisional (Imagen 113).



Imagen 113. Colocación de postes verticales y diagonales. Fuente: autor

Para la rigidización de las armaduras porticadas fue muy importante la obra provisional antes de fijar con varilla roscada se presentaron con amarres con alambre recocado, reatas y torniquetes para que cediera la viga y llegara a los postes, una vez presentados se perforaron con los postes diagonales y verticales y unieron con varilla roscada de 3/8 plg, con tuercas y arandelas.

La colocación de las riostras longitudinales (vigas compuestas de dos elementos) fue entre postes verticales y diagonales, se colocaron en la intersección de las cuerdas inferiores con los postes verticales y diagonales, en el vértice de los postes verticales con las cuerdas superiores y en el vértice de los postes diagonales con

las cuerdas superiores. El movimiento horizontal en los elementos verticales se eliminó con la colocación de riostras entre postes verticales (Imagen 114).



Imagen 114. Rigidización de las armaduras, colocación de riostras longitudinales. Fuente: autor.

La forma triangular de las armaduras genera la forma de la cubierta, la rigidez se logró con la colocación de elementos longitudinales de 11.00m de longitud, (7.00 y 4.00 m), rematados en la arista del alero, unidos previamente con varilla de 3/8 plg con tuercas y arandelas. Dichos elementos unen las cuerdas superiores de cada armadura, se colocaron a cada 50 cm entre una y otra. La fijación de los tres elementos fue con varilla roscada de 3/8 plg, con tuercas y arandelas, el movimiento horizontal se equilibró con la colocación de riostras diagonales que unen las cuerdas superiores, en la estructura de la cubierta (Imagen 115).



Imagen 115. Estructura cubierta, fijación. Fuente: autor.

La estructura del tapanco se conformó por las cuerdas inferiores y riostras longitudinales uniendo los postes verticales y diagonales de cada armadura, para la rigidización se colocaron elementos longitudinales entre el tensor de las armaduras y la riostra longitudinal que une los postes verticales, a cada 20 cm, la colocación de elementos longitudinales uniendo tensores de las armaduras, logró mayor rigidez en el sistema estructural, aunado a la colocación de vigas compuestas entre armaduras unidas con los elementos longitudinales. Posteriormente se fijó doble esterilla en todo el piso del tapanco generando un diafragma, convirtiéndolo en una sola pieza, logrando mayor rigidez (Imagen 116).



Imagen 116. Estructura de tapanco, unión largueros tensor. Fuente: autor.

La colocación de la lámina de zinc calibre 32, de 72 cm de ancho por 6.20 m, de longitud sobre la estructura de la cubierta, fue con pijas autoroscables de 2 ½ plg, a cada metro en ambos sentidos, una vez instalada, el comportamiento de la cubierta es de una sola pieza, trabaja como un diafragma ante las cargas de servicio, la alineación de la lámina parte de la cumbre, si se encuentra alineada y nivelada, la colocación es relativamente sencilla (Imagen 117).



Imagen 117. Instalación de cubierta, con lámina de zinc. Fuente: autor.

7.5.4 Sistema de uniones

Las uniones empleadas en todo el sistema estructural son producto del sistema de uniones ensayados, determinados por el diseño de la estructura, tipo de estructura, el material y el análisis estructural. Son tres tipos de unión los utilizados en la construcción del prototipo, “P” Tensión paralela a la fibra, “Q” tensión perpendicular a la fibra y “T” compresión perpendicular a la fibra.

Todos los tipos utilizaron varilla roscada de 3/8 plg y ½ plg, algunos se rellenaron con mortero, según la ubicación de la unión, y esfuerzo de trabajo al que están sometidos. La unión entre elementos estructurales se realizó con corte a boca de pescado a diferentes ángulos, para asentar las armaduras sobre los postes verticales intermedios se usaron bocas de pescado a 90°, la unión entre riostras diagonales y cuerdas superiores en la cubierta, con boca de pescado a 60°.



Imagen 118. Uniones poste vertical con cuerdas inferiores, riostras longitudinales y cuerdas superiores. Fuente: autor.

Las uniones de postes verticales con las cuerdas inferiores (vigas compuestas 2 tallos) es con varilla roscada de $\frac{1}{2}$ plg, tuercas y arandelas, las fuerzas actuantes en el poste en todas las uniones es compresión paralela a la fibra en la posición de la varilla roscada la cual se encuentra 5 cm arriba del nudo, la fuerza actuante es en dirección del nudo, en el caso de las cuerdas inferiores la fuerza actuante es tensión perpendicular a la fibra, la varilla se encuentra a la misma distancia que en el poste vertical. El poste intermedio se encuentra a compresión paralela a la fibra, las riostras longitudinales donde se apoyan las cuerdas inferiores y superiores se encuentran a tensión perpendicular a la fibra, las uniones fueron rellenas con mortero proporción 1:2.25 (Imagen 118).



Imagen 119. Uniones de poste diagonal con cuerdas inferiores, riostras longitudinales y cordón opuesto. Fuente: autor.

Las uniones de los postes diagonales con las cuerdas inferiores tienen el mismo principio que los postes verticales, pero con un ángulo de incidencia de las fuerzas actuantes, los postes reciben esfuerzos a compresión paralela a la fibra y las cuerdas inferiores tensiones perpendiculares a la fibra, las riostras longitudinales trabajan a tensión perpendicular a la fibra. Las uniones con el cordón opuesto son a tensión perpendicular a la fibra con ángulo. Las uniones son con varilla roscada de $\frac{1}{2}$ plg, con tuercas y arandelas (Imagen 119).

En los nudillos o falso tensor con cuerdas superiores las uniones son con varilla roscada de $\frac{3}{8}$ plg, el cordón opuesto con tensor y cuerdas inferiores son con el mismo procedimiento.



Imagen 120. Unión tensor-cuerdas inferiores-postes verticales, riostra en muros, riostras longitudinales-muros, riostras en cubierta. Fuente: autor.

La unión entre tensor y cuerdas inferiores, el tensor trabaja a tensión paralela, se coloca una varilla roscada $\frac{1}{2}$ plg perpendicular a la fibra a 5 cm del nudo, donde se ancla un gancho que atraviesa las cuerdas inferiores desde donde se jala hasta que el corte acople correctamente, las cuerdas inferiores trabajan a compresión perpendicular, para evitar la penetración de la arandela, se coloca una arandela cóncava y se rellena el entrenudo con mortero, el tipo de unión resiste menos que el tipo “P”. Todas las uniones de los postes verticales con las riostras longitudinales fueron con varilla de $\frac{1}{2}$ plg, las riostras en muros fueron entre postes verticales, la estructura de los muros se fijó a las riostras longitudinales y a la cadena de desplante, las riostras diagonales en cubierta se unieron con las cuerdas superiores con corte a boca de pescado y varilla roscada de $\frac{3}{8}$ plg con tuercas y arandelas. (Imagen 120).

Todas las perforaciones para las uniones fueron de $\frac{7}{16}$ plg para la varilla de $\frac{3}{8}$ plg y $\frac{9}{16}$ plg para $\frac{1}{2}$ plg. Todas las uniones entre postes verticales y diagonales con cuerdas inferiores, se rellenan con mortero, así como la parte inferior de postes verticales y diagonales para anclaje con la cadena de desplante.

7.5.4.1 Relleno de uniones tipo P, Q y T

Por análisis estructural, se determinaron las uniones a rellenar con mortero de cemento-arena en proporción 1: 2.25, las cuales están sometidas a una carga de servicio importantes. El llenado fue en los entrenudos donde se hizo la perforación para la colocación de varilla roscada de $\frac{1}{2}$ plg y $\frac{3}{8}$ plg, el proceso para el llenado se realizó una vez que estuvieran las uniones y la estructura de los muros, así como el recubrimiento con esterilla o reglilla, en ese momento se podía rellenar, una vez rellenas las uniones, la grapa para fijar los acabados no penetraba por la dureza del mortero.



Imagen 121. Perforación, llenado entrenudos con mortero. Fuente: autor.

La estabilización de la estructura se logró cuando todos los postes verticales, diagonales, los marcos de las puertas y ventanas, así como las uniones estuvieron rellenos y el concreto fraguado. Para el llenado se perforó el tallo con broca de barril de 1 plg, posteriormente se colocó una tapa del mismo material, el mortero fue con arena de río cernida, casi líquida para que fluyera por gravedad y facilitara el procedimiento. Las herramientas fueron hechizas, un embudo con manguera del mismo diámetro que la perforación y un recipiente para el vaciado (Imagen 121).

7.5.5 Construcción de muros

La construcción del sistema estructural con base en elementos portantes independientes, permite utilizar sistemas mixtos prefabricados para los cerramientos.

El material a disposición, el equipo, y la mano de obra fueron determinantes para definir el tipo de cerramientos a construir.

La estructura de los muros exteriores se fijó al sistema estructural, los tallos se colocaron entre 30 y 40 cm a ejes de forma vertical, el criterio para seleccionar las características de los tallos, fue siempre el mismo utilizado en toda la estructura.

La estructura de los muros exteriores no fue prefabricada, se utilizaron dos sistemas de muros los exteriores y los interiores, los exteriores por estar expuestos a agentes bióticos y abióticos, se terminaron con aplanado con mortero y pintura de cemento blanco, previamente se colocó la estructura, con varillas roscadas de 3/8 plg, con tuercas y arandelas, sobre ella se fijó esterilla (bambú tapiz), con grapas de 1 ½ plg con engrapadora neumática, posteriormente malla de gallinero con el mismo sistema, para recibir el mortero (Imagen 122).

“Potencial estructural del bambú *Guadua aculeata* y su integración a un sistema constructivo para la vivienda unifamiliar rural”
Caso de estudio: Estado de Veracruz.



Imagen 122. Estructura de muros, recubrimiento con esterilla y aplanado. Fuente: autor.

Los muros interiores divisorios se construyeron con tallos a cada 30 y 40 cm de separación, de forma vertical, fijos a las cuerdas inferiores con corte a boca de pescado, ahogados en un zoclo de concreto, la parte ahogada fue protegida con polietileno para evita la pudrición por humedad. Posteriormente terminados con reglilla (tablillas o latas) previamente habilitadas, secas y preservadas (Imagen 123).



Imagen 123. Acabados muros interiores y acceso. Fuente: autor.

Se construyó otro tipo de muro divisorio, la variación respecto al anterior radica en la forma de colocar y la altura de los tallos, por la necesidad de un barandal en el tapanco, se prolongaron hasta esa altura, funcionando como estructura del mismo, el acabado es similar con diseño distinto (Imagen 124).



Imagen 124. Acabados muros interiores, reglilla con barniz. Fuente: autor.

Los muros en la cocina, por el uso y exposición a la humedad, se aplanaron con mortero cemento- arena-cal y pintaron, previamente el mismo procedimiento que los exteriores. Del lado interior de los muros exteriores se fijó reglilla a todos los muros con diseño diferentes (Imagen 125).



Imagen 125. Acabados muro cocina. Fuente: autor.

En la cubierta en la parte interior se colocó esterilla como plafón para disminuir la temperatura provocada por la lámina de zinc. En la parte del segundo nivel los tallos quedaron expuestos, con el recubrimiento exterior (Imagen 126).

El anclaje de los muros a la cadena de desplante se realizó con soleras de madera 5 plg de ancho por $\frac{3}{4}$ plg de espesor, con taquetes expansivos en algunos casos y taquetes con pijas, de $2 \frac{1}{2}$ plg galvanizadas, los tallos se fijaron a la solera con cuatro tornillos tipo tabla roca de $2 \frac{1}{2}$ plg.



Imagen 126. Esterilla en cubierta. Fuente: autor.

7.5.6 Puertas y ventanas.

El marco donde se fijaron las ventanas está compuesto por dos tallos verticales y dos horizontales que forman el marco de la ventana, los verticales en un extremo se encuentran anclados a la cadena de desplante con una varilla de $\frac{3}{8}$ plg corrugada, en el otro se unieron con los elementos longitudinales de unión entre postes verticales, con varilla roscada de $\frac{3}{8}$ plg con tuercas y arandelas. Antes de

colocar los tallos se perforaron del diafragma para la penetración de la varilla de anclaje, se rellenaron los entrenudos con mortero cemento-arena a una altura de 1 m, los elementos horizontales se unieron con corte a boca de pescado, un refuerzo con gancho de varilla roscada para el acoplamiento y tornillos tabla roca de 2 ½ plg (Imagen 127).



Imagen 127. Armado ventana, fijación a cadena y acabado. Fuente: autor.

Las ventanas se armaron con un bastidor de madera de cedro, se colocó reglilla en ambas caras fijada con grapas de 1 plg con engrapadora neumática. El acabado para proteger de la intemperie fue con un barniz de poliuretano transparente.

La construcción del marco con tallos de aculeata para recibir el marco de la puerta se construyó con elementos verticales con el diafragma perforado, anclados al piso con varilla corrugada de 3/8 plg, de 1 m, de altura, unidos a las cuerdas inferiores de la armadura con corte boca de pescado y pijas tipo tabla roca de 2 1/2 plg, la rigidez se logra, rellenando con mortero los entrenudos a la altura de la varilla de anclaje.

Los elementos horizontales que determinan la altura, se unieron con un corte a boca de pescado a 90°, se colocó un gancho roscado que unió los elementos con tuercas y arandelas (Imagen 128).



Imagen 128. Construcción de puertas de interiores y exteriores, acabados y estructura. Fuente: autor.

Los marcos son de madera de cedro de 5 plg de ancho x ¾ plg de espesor, fijos al marco de aculeata con varillas roscadas de 3/8 plg con tuercas y arandelas. Los

bastidores de las puertas se armaron con madera de cedro, forrados con reglilla en ambas caras fijadas con grapas de 1 plg con engrapadora neumática.

7.5.7 Acabados exteriores.

una vez concluido el sistema estructural, se estructuraron los muros perimetrales, con tallos fijos a las armaduras y riostras longitudinales en la parte superior, en la cadena de desplante se fijaron con soleras de madera de 5 plg de ancho por $\frac{3}{4}$ plg de espesor, las uniones fueron con varilla roscada de $\frac{3}{8}$ plg, tuercas y arandelas. Posteriormente se fijaron esterillas a la estructura de los muros, con grapas y pistola neumática, en todo el perímetro del prototipo y sobre las esterillas malla tipo gallinero para recibir el mortero como aplanado. Finalmente se pintó con cemento blanco y sellador (Imagen 129).



Imagen 129. Proceso constructivo de muros perimetrales. Fuente: autor.

7.5.8 Equipo y herramienta

Para la construcción del prototipo se utilizó herramienta diversa y equipo de corte, en algunos casos adaptados a las necesidades y en otros se modificó el equipo para este propósito.

La herramienta se clasificó en función al uso en las distintas etapas del sistema constructivo.

7.5.8.1 Acondicionamiento de material.

Comprende las etapas desde la extracción, transportación, limpieza, preservado, secado, habilitado de esterilla y reglilla

Para la extracción de los tallos del guadua se utilizaron motosierras y sierras manuales de corte, machetes, reatas, para la limpieza y perforación del diafragma, broca de barril con broca de acero de $\frac{3}{4}$ plg, taladro, sierra de sable. Para habilitado de esterilla, hachas, coas, cepillo eléctrico para madera. Para la reglilla,

sierra circular con doble disco y riel de transportación, sierra circular normal, sierra de inglete (Imagen 130).



Imagen 130. Herramienta y equipo para acondicionamiento de la aculeata. Fuente: autor.

7.5.8.2 Herramientales

En la construcción con bambú se requieren herramientas de sujeción para perforar perpendicularmente y alineado al centro del tallo, su forma circular no permite realizar la perforación adecuadamente, construir herramientas para este propósito fue imprescindible para solucionar los problemas presentados.

Se construyó un soporte de tallos con variabilidad de ángulos, soporte de bambúes para corte con el taladro de banco, porta taladro para cortes a diferentes ángulos. Para perforar, sistemas de ajuste de ángulo, apoyo para perforar a 90°, tripie de apoyo para corte, porta tallos de madera, con ajuste para perforaciones perpendiculares. Para el izado de las armaduras, poleas, andamios, malacate, escaleras (Imagen 131).



Imagen 131. Herramientales para cortes, perforaciones y uniones. Fuente: autor.

7.5.8.3 Cortes y acoplamientos

Las uniones con cortes a boca de pescado a diferentes ángulos, es una de las actividades que requiere precisión, la resistencia la confiere un buen acoplamiento

La importancia de los cortes, sea manual o mecánica conduce a uniones que van a cumplir su función estructural ante cargas de servicio.

Realizar cortes manualmente, requiere mucha práctica, suelen fallar por acoplamiento, con apoyo de las herramientas colombianas se construyó un porta taladro a diferentes ángulos, para cortes de mayor profundidad se colocaron extensiones a las sierras de copa de 3 plg, 3 ½ plg, 4 plg, 4 ½ plg y 5 plg existentes en el mercado, para su acoplamiento se utilizaron limatones, caladora, lijadora. Para cortes a diferentes ángulos se utilizó una sierra de inglete y pinzas de presión con cadena (Imagen 132).



Imagen 132. Herramienta y equipo para cortes a boca de pescado. Fuente: autor.

7.5.8.4 Uniones

Los diferentes tipos de uniones utilizadas en la construcción del prototipo fueron con varilla roscada de 3/8 plg y ½ plg, las brocas utilizadas fueron de 7/16 plg y 9/16 plg, normales y con extensión a 14 plg de largo, taladros inalámbricos y eléctricos, de banco, esmeriladoras para el corte de varilla, llaves españolas de diversas medidas, desarmadores, pinzas de presión, mecánicas, de corte, escorquina, limas, niveles de mano (Imagen 133).



Imagen 133. Herramienta y equipo para los tipos de uniones entre bambúes. Fuente: autor.

7.5.8.5 Acabados

La construcción de puertas y ventanas y colocación de la reglilla se inicia desde el habilitado de la madera, se utilizaron sierras de corte, cepillo eléctrico,

engrapadora neumática, compresor, sierra de inglete. Para la aplicación de acabados pistola de aire con compresor. La protección de los extremos de los tallos se realizó con un capuchón de plástico, adaptado con calor al tamaño, se utilizó una pistola de calor para amoldar el plástico, la colocación de herrajes y cerraduras con sierras de copa, caladora, desarmadores y engrapadora neumática (Imagen 134).



Imagen 134. Herramienta para engrapar esterilla, reglilla, cortes en ángulo y perforación.
Fuente: autor.

7.5.9 Costos de construcción del prototipo

Los alcances de construcción del prototipo se determinaron por los límites del presupuesto, se excluyeron las instalaciones hidráulicas y sanitarias. La definición del sistema constructivo mixto determinado por la protección necesaria del bambú contra agentes bióticos y abióticos, como cualquier especie natural, es susceptible de deterioro por rayos solares y hongos formados por la humedad. Lo anterior derivó en obra de albañilería y obra con aculeata, los costos de albañilería incluyen mano de obra y todos los materiales utilizados. La obra con aculeata incluye los costos de mano de obra, desde la extracción, preservación, secado, habilitado de esterilla y reglilla, así como los trabajos realizados en la construcción del prototipo de vivienda. Los costos de materiales incluyen los preservantes, varillas roscadas, lámina de la cubierta, acabados en los muros, tornillería, herrajes, chapas de puertas.

La obra de albañilería, contempló la cimentación y la construcción de murete perimetral, cadenas de liga y desplante para el anclaje de la estructura de aculeata, los pisos de concreto armado en interiores y exteriores, incluyendo la mano de obra.

La obra con aculeata, consideró los materiales y mano de obra utilizada en la construcción del prototipo, fue aportada por el INIFAP.

La mano de obra empleada, no tenía relación alguna con el uso de la aculeata como material de construcción, se capacitó previamente para el uso de las

herramientas y equipo, así como para el proceso de preservado y secado, se aprovechó su experiencia innata con la naturaleza y corte del bambú, así como sus habilidades y creatividad para la resolución de problemas inherentes a la construcción.

La mano de obra empleada se integró con una cuadrilla con cuatro personas, trabajando de lunes a viernes, se emplearon 409 jornales, con un costo de \$ 61,350.00, una semana de un oficial carpintero para el habilitado de la madera para las puertas y ventanas, así como una persona que capacitara en el uso de la herramienta, equipo, e interviniera en las actividades especiales de la construcción. el costo total de la mano de obra fue de \$ 92,850.00 (Tabla 45).

Tabla 45. Mano de obra construcción de prototipo de vivienda rural, especie *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Mes	Jornales	Costo /jornal	Importe
Septiembre	40	150	6000
Octubre	74	150	11100
Noviembre	69	150	10350
Diciembre	55	150	8250
Enero de 2018	59	150	8850
Febrero de 2018	56	150	8400
Marzo de 2018	56	150	8400
Total	409	150	\$61,350
Oficial carpintero	5	300	1500
Apoyo técnico	100	300	30000
Total			\$92,850.00

Los costos de construcción del prototipo, se encuentran divididos en dos fases, la de albañilería, previa a la obra con bambú, la cual tuvo un costo de \$ 114,666.00, (48.51 %) de los cuales \$ 88,296.00 (37.35 %) por concepto de materiales y \$26,370.00 (11.70 %) por mano de obra. La segunda fase, la obra con bambú a partir del sobrecimiento, con un costo de \$121,722.00, (38.80 %) de los cuales \$32,002.04 (13.54 %) corresponden a los materiales (conexiones, varillas roscadas y material de preservación) y \$ 89,720.00 (37.95 %) de mano de obra. El costo total de la construcción del prototipo de vivienda rural fue de \$ 236,388.04, el costo de la obra con bambú representa 51.49 %, la albañilería el 48.51 % (Tabla 46).

Tabla 46. Costos de construcción prototipo de vivienda rural, especie *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia

Partidas		Importe \$	Porcentaje %	Subtotal \$	Porcentaje %
Albañilería	Materiales	88,296.00	37.35	114,666.00	48.51
	Mano de obra	26,370.00	11.16		
Obra con bambú	Mano de obra prototipo	35,400.00	14.98	121,722.04	38.80
	Mano de obra extracción - preservación - secado	24,320.00	10.29		
	Materiales preservación	32,002.04	13.54		
	Apoyo técnico	30,000.00	12.69		
Total		236,388.04	100.00	236,388.04	100.00

La superficie construida del prototipo fue de 77.40 m² de construcción, 54 m² en planta baja, 23.40 m² en el segundo nivel (tapanco), además 39 m² de volados de cubierta, con una superficie total 116.40 m².

El costo por m² de la obra con bambú es de \$1,045.68 (51.49 %) incluyendo volados.

El costo por m² de los trabajos de albañilería hasta el sobrecimiento, incluyendo los materiales de la cubierta es de \$ 985.15 (48.51 %). El costo por m² de construcción del prototipo es de \$ 2,030.83 (Tabla 47).

Tabla 47. Costos por m² de construcción de obra con *G. aculeata* y albañilería. Fuente: elaboración propia.

Partida	Costo	Superficie m2	Costo /m2	Porcentaje %
<i>G. aculeata</i>	121,722.00	77.4	697.68	34.35
		39	348.00	17.14
Albañilería	114,666.00	54	985.15	48.51
Total	236,388.04		2030.83	100.00

7.5.10 Evaluación del sistema constructivo

La real academia española define el término de evaluar, como señalar, apreciar, o calcular el valor de algo, en este sentido, la evaluación del sistema constructivo con *Guadua aculeata* permite determinar la validez cómo material estructural y los procedimientos constructivos utilizados para su materialización.

Los aspectos a evaluar del sistema constructivo están relacionados con las experimentaciones realizadas: investigación básica (preservado, evaluación del nivel de concentración, secado) la calidad, apariencia de los tallos (color, grietas, ataque de xilófagos), sistema de uniones, el sistema constructivo (aspectos estructurales y elementos estructurales y sistema de uniones).

La conclusión del prototipo de vivienda en el mes de abril de 2018, permite su seguimiento durante los meses mayo, junio y julio de 2018.

7.5.10.1 Aspectos de la investigación básica de la aculeata

- **Preservado**

Para evaluar la concentración de las SB en el preservado de los tallos utilizados en la construcción del prototipo, se realizaron pruebas de penetración-presencia de las SB a 14 muestras preservadas en el mes de marzo de 2017, previamente se obtuvo el CH, (es decir las muestras se encontraban anhidras o al CHE), se evaluó la concentración de las SB por el método cualitativo a través de la aplicación de reactivos y cúrcuma en el mes de julio de 2018, bajo los procedimientos de la metodología de (Erdoiza & Echenique, 1980). Los resultados se muestran en la imagen 135.



Imagen 135. Resultados de la evaluación niveles de penetración-presencia de SB, al 6 % de concentración durante 7 días, por inmersión-difusión en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural, con *G. aculeata*, de la región de Hueytamalco, Puebla, con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.

El análisis de resultados registró en general colores que corresponden al café amarillento 0.20 %, es decir 1.5 y 2 kg/m³ EAB, sin embargo, en evaluaciones anteriores se obtuvieron mejores resultados en cuanto EAB/m³.



Imagen 136. Resultados, detalles de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % durante 7 días. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: autor

En la imagen 136 se observa a detalle el color café amarillento, lo que significa baja concentración de SB, pero una alta penetración, resultados distintos a evaluaciones anteriores. La parte interna del espesor de pared se observa mayor concentración, por existir mayor porosidad y menor densidad, no así en la parte externa por la disminución de la porosidad y el incremento de la densidad, haciendo difícil la penetración del preservante. Se infiere que la baja concentración de las SB en las muestras evaluadas se justifica por el efecto que produjo la temperatura al momento de lograr una masa anhidra.

Para confirmar la hipótesis de la influencia de la temperatura en la baja concentración de las SB en las muestras evaluadas, se aplicó el mismo procedimiento a cinco muestras preservadas secas con un CH menor al 18 %.

Los resultados se observan en la imagen 137, las muestras agrupadas en el conjunto 1, se encuentran sin la aplicación de reactivos, el conjunto 2, se le aplicó el reactivo a base de cúrcuma y alcohol etílico, el conjunto 3 muestra los resultados de la evaluación de los niveles de concentración de las SB.

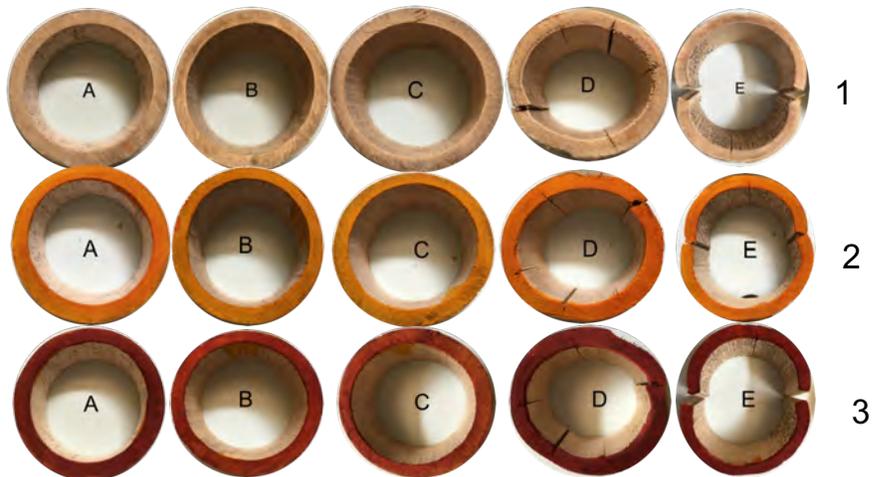


Imagen 137. Aplicación de reactivos y resultados de la evaluación de los niveles de penetración-presencia de SB, al 6 % de concentración durante 7 días, por inmersión-difusión en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural, con *G. aculeata*, de la región de Hueytamalco, Puebla. Con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.

Los resultados obtenidos de la evaluación de la penetración-presencia de SB, se presentan en las muestras del conjunto 3, el rango de colores registrados que se observan en las cinco muestras presenta alta concentración de SB y una penetración-presencia total en el espesor de pared.



Imagen 138. Resultados, detalles niveles de penetración-presencia de SB, concentración al 6 % durante 7 días, en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural. *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla, con la metodología de (Erdoiza & Echenique 1980). Fuente: autor.

En la imagen 138, se observa a detalle el color rojo brillante en las muestras con una penetración total regular, es decir, 0.30 % EAB, lo que significa que existe una alta concentración de SB. Lo anterior indica que la temperatura aplicada para obtener la masa anhidra en las muestras anteriores, influye de manera importante de tal manera que los niveles concentración de las SB, disminuye al momento de la evaluación.

- **Secado**

La evaluación del secado se realizó en dos periodos: el primero durante el proceso de secado en el mes de julio de 2017, a 8 muestras de la parte baja de los tallos elegidos aleatoriamente (Tabla 48). La segunda en el mes de mayo de 2018, durante el proceso de construcción del prototipo, a 18 muestras de elementos estructurales elegidos con el mismo método (Tabla 49). La metodología para determinar el CH fue por el método gravimétrico (Montoya, 2006).

Tabla 48. Resultados de CH en tallos de *G. aculeata*, previos a la construcción del prototipo de vivienda rural, julio 2017. Fuente: elaboración propia.

Clave	Peso inicial PI	Peso anhidro PA	Contenido de humedad CH
1	48.3	41.2	17.2
2	95.7	82.4	16.2
3	124.8	107.2	16.4
4	104.3	89.2	16.9
5	54.5	46.7	16.6
6	87.0	74.2	17.2
7	43.2	37.2	16.0

Los tallos seleccionados para la construcción del prototipo fueron extraídos en el mes de enero y febrero de 2017, se colocaron bajo sombra para el secado, las

muestras para evaluar el secado durante el proceso fueron cortadas en la parte baja del tallo. El límite máximo de CH obtenido no supera lo determinado por (GOCDMX, 2017), el límite mínimo fue de 16 %, el promedio de CH obtenido fue de 16.6 %.

Tabla 49. Resultados de CH en muestras de tallos del prototipo de vivienda rural de *G. aculeata* de la región de Hueytamalco, Puebla. Fuente: elaboración propia.

Clave	Peso inicial g	Peso anhidro en g	Contenido de humedad %	Elemento estructural	Parte del tallo
1	76.7	67.2	14.2	Viga compuesta	Baja
2	69.9	62.1	12.7	No identificado	
3	60.7	53.3	14.0	Viga compuesta	
4	71.4	62.8	13.6	Viga compuesta	Media
5	73.5	64.2	14.4	Viga compuesta	Alta
6	78.7	68.8	14.4	Postes	Baja
7	79.5	69.8	13.9	Viga compuesta	
8	112.7	98.9	13.9		
9	41.8	37.6	11.3	Postes	Media
10	53.1	46.5	14.4		
11	82.5	72.4	13.9		
12	83.9	72.8	15.3		
13	46.6	41.3	12.9		
14	47.0	41.7	12.5		
15	77.2	68.4	12.8		
16	126.4	110.8	14.1		
17	48.6	42.6	14.1		
18	42.2	37.3	13.3		

Durante la construcción del prototipo se cortaron muestras del sistema estructural para medir el CH al momento de colocarlos. El límite máximo obtenido de CH fue de 15.3 %, por debajo de la (GOCDMX, 2017). En promedio obtenido un CH de 13.6 %, con rangos entre 11.3 % y 15.3 %.

- **Calidad**

Para evaluar la calidad de la *G. aculeata* en servicio se realizó un análisis visual y un registro fotográfico en todo el sistema constructivo, muros, cubierta y entepiso, así como los acabados. Hasta la fecha no se observaron ataques por xilófagos y plagas, el color se mantiene original, no existe variabilidad, la longitud de las grietas que se presentan son menores a las establecidas por la (GOCDMX, 2017). En cuanto a las deformaciones de los elementos estructurales, no se identificaron deformaciones aparentes, en el sistema de uniones no se presentaron fallas

visibles, en los largueros de la cubierta, algunos elementos presentan grietas, su longitud no es de consideración, la estructura del entrepiso no presenta falla alguna ni deterioro de los elementos, los acabados de los muros permanecen intactos, no se registran cambios de color y deformaciones.

7.5.10.2 Aspectos estructurales

La evaluación del sistema estructural, es la más importante, de su estado físico depende la seguridad del prototipo, evitando el colapso por fallas estructurales. Las observaciones se realizaron en el sistema de uniones y elementos estructurales (vigas, columnas, riostras y anclajes).

- **Uniones**

En el sistema de uniones del sistema estructural se registraron las grietas o fendas, deformaciones, cambios de color, aplastamientos, ataque de xilófagos, movimiento de los pernos y en general el estado actual de las uniones. Las uniones evaluadas fueron la unión de las cuerdas superiores con las inferiores, las cuales trabajan a compresión y tensión paralela y perpendicular a la fibra con ángulo de incidencia, las uniones entre las cuerdas superiores y el tensor, las uniones entre las cuerdas inferiores y el tensor, las uniones entre los postes verticales, las cuerdas inferiores y las riostras longitudinales horizontales, las uniones entre las cuerdas inferiores y los postes diagonales, las uniones entre los postes verticales, las cuerdas superiores y las riostras longitudinales horizontales.

El seguimiento se realizó cada mes, en el primer mes no se observaron alteraciones, en el segundo mes en la unión de las cuerdas superiores con las inferiores, se observaron grietas en los tallos que forman la cuerda inferior, al unirse con la cuerda superior, a partir de los taladros provocado por las plagas, su longitud es de un entrenudo. el tallo superior presenta una fisura en el sentido de la fibra a partir del perno. La riostra diagonal de la cubierta, presenta fisuras del tamaño del primer entrenudo, en el perno en el sentido de la fibra presenta una fisura hasta el encuentro con la cuerda superior, las grietas que presentan no exceden el 30 % de la longitud del elemento, establecido en (GOCDMX, 2017). Se observa aplastamiento provocado por la arandela y tuerca en la riostra de la cubierta, se infiere que fue provocado por el exceso de presión al momento del ajuste de la tuerca (Imagen 139).



Imagen 139. Estado actual de las uniones entre cuerdas inferiores y riostra de cubierta.
Fuente: autor



Imagen 140. Estado actual de las uniones entre cuerdas superiores y riostra de cubierta.
Fuente: autor

Las grietas observadas en las cuerdas superiores no superan los dos entrenudos, se encuentran fuera del eje longitudinal del perno, cuando la grieta está en el eje del perno, no presenta compresión perpendicular en el espesor de pared, ni falla por cortante, en algunos casos cuando la grieta se extiende hasta el extremo del tallo, se inicia desde el taladro provocado por las plagas. (Imagen 140).



Imagen 141. Estado actual unión de postes verticales con riostras longitudinales y postes diagonales. Fuente: autor

En la imagen 141, se observa que las grietas se originan en los taladros que se encuentran en los nudos y en las picaduras provocadas por las aves, generalmente la longitud es de un entrenudo.

Las uniones a tensión paralela a la fibra (P), compresión y tensión perpendicular a la fibra, (Q) y (T) no sufrieron hasta la fecha cambio alguno en los pernos, grietas provocadas por las cargas de servicio, fallas por cortante, aplastamiento o rajaduras por tensión perpendicular.

De la evaluación realizada visualmente y del análisis fotográfico, se determina que los elementos estructurales donde se identifican el mayor número de grietas, es en las cuerdas superiores, le sigue las uniones entre cuerdas superiores e inferiores y finalmente las riostras y largueros de la cubierta, las cuales no son superiores para tomarse en cuenta a lo establecido por (GOCDMX, 2017).

Para determinar el torque con control (esfuerzo de torsión ejercido por una fuerza) al cual deben apretarse las tuercas una vez que se encuentran al tope con el bambú y no falle por compresión perpendicular a la fibra (aplastamiento), se requiere emplear el torquímetro, las unidades empleadas son N-m, lb-p, kg-m, (<https://es.wikipedia.org/wiki/Torque>). La revisión del torque de las tuercas en las uniones se realizó determinando el número de vueltas, se analizaron 55 tuercas, observándose que 15 faltaban de ajustarse $\frac{1}{4}$ de vuelta, 20, $\frac{3}{4}$ de vuelta y 20 dos vueltas y media. La determinación del torque requiere un torquímetro que permita medirlo al momento de la torsión (el torque se establece por especificación dependiendo del tipo de tornillo o tuerca). Definir el torque para las tuercas dependiendo del espesor de pared del bambú, ubicación, etc., permite al usuario colocar la tuerca sin dañar al material. Para convertir el torque en número de vueltas de apriete de tuercas se ensayaron varios bambúes con diferentes espesores, ubicación a 5 cm del nudo, en el entrenudo y en el nudo, los resultados fueron entre una y dos vueltas dependiendo de las variables anteriores, más de dos vueltas el bambú empezaba a sufrir aplastamiento.

- **Elementos estructurales**

La revisión a elementos estructurales en servicio, se realizó de la misma manera que las uniones, agregando las deformaciones presentadas con respecto al eje centroidal longitudinal.

En los postes verticales y diagonales se observaron pequeñas grietas que no sobrepasan lo determinado por la norma (GOCDMX, 2017), las cuales se infiere que fue por el cambio de temperatura y la diferencia del CH con respecto al CHE. En

las experimentaciones realizadas en el secado, se observó que no es uniforme a lo largo del tallo, presenta diferencias de CH en el nudo, en la parte alta y en la parte baja. En el caso de las vigas longitudinales que unen los marcos porticados, no presenta falla alguna por esfuerzos de servicio, las cuerdas inferiores (vigas compuestas), no presentan fallas y grietas, excepto en la parte de unión con las cuerdas superiores, en los postes intermedios los cuales trabajan a compresión paralela a la fibra, no presentan falla por esfuerzos de servicio (Imagen 142).



Imagen 142. Estado actual de las uniones entre postes intermedios verticales, riostras longitudinales y postes diagonales. Fuente: autor

Conclusiones del sistema constructivo

Podemos inferir que construir con bambú siempre tendrá un costo menor que con materiales tradicionales, es importante utilizar un sistema mixto, que involucre materiales tradicionales en la menor proporción posible, sobre todo, cuando haya contacto necesariamente con el piso, donde hay humedad y expuesto a intemperie.

1. Construir con bambú requiere un sistema constructivo específico, la variabilidad como material natural es determinante en todos los componentes del sistema.
2. Con personal capacitado, equipo y herramienta apropiados, los costos de mano de obra se reducen de manera considerable.
3. La capacitación al personal en el sistema constructivo, repercute en la calidad y tiempo de la obra, disminuyendo el costo final.
4. El uso de materiales del sitio, disminuye los costos de construcción.
5. La capacitación en la etapa inicial de investigación básica de la *G. aculeata*, es fundamental para el acondicionamiento del material.
6. La planeación de la construcción reduce de tiempos de ejecución.

7. Construir con *G. aculeata* es una alternativa que produce beneficios ecológicos, económicos y sociales.
8. Las experiencias en todo el proceso constructivo, permite afinar el sistema constructivo con *G. aculeata*.
9. El sistema constructivo promueve la prefabricación de elementos estructurales disminuyendo considerablemente el tiempo de ejecución de la obra.
10. El sistema constructivo con *G. aculeata* por su facilidad de aprendizaje permite adoptarlo como un sistema de autoconstrucción.
11. La industrialización del sistema constructivo con *G. aculeata*, es posible en elementos portantes como muros de carga, divisorios, puertas, ventanas, muebles, pisos, y recubrimientos de muros.

CONCLUSIONES FINALES

La amplitud de la investigación origina resultados importantes que se encuentran interrelacionados, para ordenarlos se distinguen los de carácter general, relacionados con la investigación en su conjunto y los de carácter específico derivados de las investigaciones experimentales.

De carácter general

Sobre el objetivo del estudio.

El sistema constructivo con *Guadua aculeata* se propone a partir de la integración de la investigación básica, producción de material, procedimientos constructivos en el sistema de uniones, trabajos preliminares, sistema estructural, muros, entrepisos, cubiertas y acabados.

En el estudio se determina el potencial estructural en el sistema de uniones con *Guadua aculeata*.

Con relación a los objetivos particulares

Para efecto de este estudio se cumplieron la mayor parte de los objetivos particulares, sin embargo, en el proceso de la indagación se presentaron nuevos problemas que requieren atención y complementan la información, surgen nuevas variables por la complejidad y variabilidad de la *G. aculeata* por ser un material natural, aunado a la ubicación geográfica, lo que hace de esta investigación un aporte parcial a la complejidad de conocimientos que se pueden generar en torno a esta especie de bambú.

De carácter específico

Sobre el enfoque teórico metodológico.

La revisión de la bibliografía especializada orientada y definida en cada tema, integra conocimientos procedentes de varias disciplinas como, la mecánica, química, biología y ambiental, se asume un enfoque multidisciplinario, que permitió abordar el estudio de la *Guadua aculeata*. En este sentido una de las aportaciones de este estudio es la integración de metodologías y resultados al conocimiento de las condiciones adecuadas de los tallos de *Guadua aculeata* y su comportamiento en el uso como material constructivo-estructural, aplicado a la construcción de un prototipo de vivienda rural.

De la investigación básica de la aculeata

Las experimentaciones para el registro del CH por el método gravimétrico por fase lunar en los dos periodos de estudio no son concluyentes, se identificaron una gran variabilidad de CH en cada periodo entre las muestras seleccionadas, en el primer periodo la fase lunar “luna llena” y “cuarto menguante” obtuvieron menores CH, con respecto a luna nueva y cuarto creciente. En el segundo periodo se identificaron a la fase lunar “luna llena” y “cuarto creciente” con menores CH. La parte baja de los tallos es donde se concentra el mayor porcentaje de CH. La ubicación de los guaduales no es determinante para el CH de las muestras, se midieron CH de guaduales colindantes a una fuente de agua, obteniendo menores CH respecto a otros sin fuente de abastecimiento de agua. Para este estudio, realizar los cortes para su aprovechamiento en “cuarto menguante” no es garantía de menor contenido de humedad, sin embargo, se recomienda esta fase lunar y luna llena para el corte, por registrar menores CH a lo largo del tallo. Es necesario comparar los resultados de la experimentación con otros estudios realizados en las mismas condiciones.

En las experimentaciones de preservado con sales de boro los niveles de retención obtenidos en kg/m^3 , en las muestras preservadas al 4 %, 5 % y 6 %, son superiores a la recomendación de la FAO, (1986) y otros autores, las concentraciones más altas se obtuvieron con el 5 % de concentración de sales de boro y 6 días de inmersión, por lo que es la más recomendable para la preservación de tallos de aculeata. La parte baja del tallo, es la que presentó mayor concentración del preservante.

Las concentraciones de preservantes evaluadas se pueden utilizar para la preservación de aculeatas rollizas.

La evaluación de la penetración y presencia del preservante por el método cualitativo, es referencial, no definitivo.

Esta investigación no es concluyente, se debe continuar investigando y correlacionar el espesor, diámetro y densidad, variables que determinan la retención

El secado a intemperie por medios naturales, tiene ventajas sobre los sistemas mecánicos, utiliza la energía del sol, es más económico, facilita su proceso y no requiere capacitación. Las experimentaciones realizadas en diferentes periodos del año, determinan el tiempo necesario para disminuir el CH a lo establecido por las normas, los resultados permiten al productor tener una herramienta que le da

valor agregado a su producto.

Los resultados de las experimentaciones permiten concluir que, en climas similares a la ciudad de Papantla, Ver. El menor tiempo para disminuir el CH a menos del 19 %, fue en el periodo marzo-mayo con 28 días.

La humedad relativa, temperatura y velocidad del aire influyen en la duración del secado a intemperie, la variabilidad del tiempo depende de la época de secado, aún en el mismo clima.

Para evitar las hendiduras en los tallos expuestos a los rayos solares, se deben trasladar bajo sombra una vez que el CH disminuya al 30 % punto de saturación de la fibra PSF. Una vez que el CH disminuye al 20 %, el comportamiento de la curva de secado no es predecible.

Los resultados de las mediciones paralelas de CH y peso durante periodos de tiempo, proponen un método alternativo para determinar el CH por disminución de peso, las curvas de secado y peso generadas, con sus ecuaciones matemáticas, permiten calcular de manera teórica y gráfica el CH y peso en tiempos determinados.

Los estudios para determinar la curva de secado no son concluyentes, se requiere continuar con más experimentaciones donde se midan otras variables, que puedan dar certeza al proceso de secado, como la humedad relativa, temperatura y velocidad del viento, con la intención de normalizar los procesos.

La posición de los tallos, verticales, horizontales o invertidos para el secado a intemperie, no influyen en el tiempo final para lograr el CHE.

El diámetro y espesor de pared no son determinantes en la disminución del tiempo para lograr CHE.

De la propuesta de vivienda.

La propuesta funcional, formal y espacial, es una expresión de aspectos tradicionales, culturales e históricos de la vivienda tradicional totonaca, se rescatan los materiales tradicionales y la sabiduría de los sistemas constructivos ancestrales, con el uso racional de los materiales. Representa el concepto de vivienda “evolucionada” de (Moya Rubio, 1982), con sistemas constructivos mixtos, integrando las nuevas necesidades ante los cambios sociales y económicos. El sistema estructural, es un reflejo de la forma natural de trabajo de la aculeata, a tensión y compresión, cerchas cuyo origen son las tijeras en la solución de la

cubierta de la vivienda tradicional, la geometría responde a cuestiones culturales de funcionamiento y fuerzas físicas. El rescate del bajareque con materiales mixtos que buscan la durabilidad y menor mantenimiento

La similitud con la vivienda tradicional actual, evoca los valores e identidad que han permanecido a través del tiempo, se conjuga la modernización, tradiciones, disposición de los recursos naturales y la organización espacial.

La propuesta estructural es el resultado del análisis de los sistemas constructivos tradicionales, conjugado con las propiedades mecánicas de la *G. aculeata* y resistencias de los tipos de uniones propuestos.

El crecimiento progresivo de la vivienda a través de la modulación y prefabricación, conduce a la racionalización de los sistemas constructivos, con procedimientos sencillos y fáciles se puede utilizar en la autoconstrucción y disminución de los costos con la participación de la mano de obra solidaria o a mano vuelta.

Del sistema de uniones

Los ensayos mecánicos en el sistema de uniones a tensión paralela y perpendicular a la fibra y compresión perpendicular a la fibra, con mortero y sin mortero, en las especies *G. aculeata* y *G. angustifolia* concluyen que:

En Ambas especies con pernos y rellenas con mortero presentan alternativas de uso para esfuerzos mecánicos importantes. Las uniones a tensión paralela a la fibra son las que más resisten, por los resultados obtenidos, es altamente recomendable el uso de relleno con mortero en los entrenudos de las uniones. Los pernos de ½ plg presentan mayores resistencias que los de 3/8 plg.

Las propiedades mecánicas del sistema de uniones en ambas especies presentan excelentes condiciones para ser utilizados en el sistema estructural propuesto para la vivienda rural. Los sistemas de unión garantizan la estabilidad estructural ante cargas axiales y accidentales del sistema estructural.

Del sistema constructivo

Representa la síntesis de los resultados de las experimentaciones realizadas a la *Guadua aculeata*, el sistema constructivo comprende los procedimientos desde el acondicionamiento (investigación básica), corte, preservación, evaluación y secado, etapas previas a su uso, hasta la conclusión de la construcción del prototipo de vivienda rural.

Los procedimientos para el acondicionamiento de la aculeata como material constructivo-estructural son determinantes para evitar reacciones negativas de los elementos estructurales que pongan en riesgo la integridad física de las personas, el sistema estructural y el colapso de la construcción.

La construcción del prototipo de vivienda permitió establecer procedimientos y técnicas constructivas en el desarrollo de cada etapa, desde la producción del material, su acondicionamiento, construcción del sistema de uniones, prefabricación, modulación de los elementos estructurales, montaje y armado del sistema estructural, construcción de muros, colocación de acabados, los cuales se integran al sistema constructivo para dar orden y sentido funcional a la construcción con *Guadua aculeata*.

Reflexión general

La búsqueda de soluciones con materiales alternativos de baja emisión de contaminantes para su transformación y alta resistencia mecánica para su uso en la construcción de viviendas es posible a través del conocimiento profundo de su comportamiento. Los resultados del estudio confirman que, su uso a través del tiempo se fue olvidando, no por la pérdida de propiedades, si no por el cambio de paradigma de los materiales tradicionales originado por múltiples factores inherentes al desarrollo inducido de la sociedad.

La propuesta del sistema constructivo de la vivienda con *Guadua aculeata* es producto del enfoque teórico, que en la práctica es posible desarrollar y ratificar la validez de propuestas alternativas acordes a las necesidades de las zonas rurales, por la disposición de los materiales propios de su entorno, que con facilidad pueden sustituir a los modelos precarios, impuestos por las dependencias gubernamentales.

Los referentes teóricos analizados permiten aprender y proponer modelos de soluciones que puedan transformar el contexto circundante con la participación solidaria de la mano de obra en la producción de la vivienda, instituyendo sistemas de autoconstrucción, con el sistema mano vuelta.

Los resultados de la investigación ofrecen una tecnología con *Guadua aculeata*, a través de un trabajo sistemático, participativo, de organización, que reduce los costos de la obra y cubre las necesidades espaciales, detona el cambio de una realidad social. Promueve la confianza y uso en la construcción, motiva su conservación y producción, así como la comercialización de tallos y derivados. En este sentido se gesta el inicio de la cultura de la *G. aculeata*, para revalorarlo como

material alternativo nativo, con grandes potencialidades estructurales. Asimismo, la generación de empleos para incentivar la economía local y propiciar el arraigo.

Los resultados de las experimentaciones proponen un sistema constructivo para la vivienda rural con una especie nativa, se establecen procedimientos constructivos para todas las etapas de construcción, uso de herramienta y equipo para su facilidad y racionalización de los procesos.

Posibles investigaciones futuras

Pensar que este tema se encuentra agotado, es limitarse a creer que la *G. aculeata* como ser vivo tiene un comportamiento similar en cualquier ambiente donde se desarrolle.

La etapa del corte y la edad del tallo de la aculeata es fundamental cuando se usan como elementos para la construcción, de esto depende el tiempo de secado, la infestación, ataque de xilófagos, resistencia mecánica y durabilidad. Los resultados de las experimentaciones realizadas para determinar la etapa del corte por medio de la medición del CH, no son concluyentes, es necesario continuar investigando incorporando nuevas variables, como el contenido de azúcares, almidones, carbohidratos, que son el alimento de los xilófagos, en las diferentes fases lunares, así como la ubicación geográfica e incrementar el número de experimentaciones, periodos de tiempo y número de muestras, que consoliden o generen nuevos conocimientos. Para determinar la edad se aplicaron conocimientos sobre la apariencia de los tallos, se requiere estudios anatómicos que determinen la edad y permitan mediante procedimientos sencillos seleccionar los tallos por su edad, lo que confiere mayor seguridad, resistencia mecánica y deformaciones durante el proceso de secado.

La preservación con sales de boro mediante la inmersión-difusión de los tallos de aculeata, así como su evaluación, requiere continuar investigando. Hasta el momento se desconoce cómo actúa el preservante en las células y desplaza al parénquima, la influencia del agua caliente además de mezclar y evitar la sedimentación del bórax en el proceso de preservación, así como la densidad retarda y prolonga el tiempo de penetración del preservante.

La concentración de las sales de boro en la solución preservante, requiere determinar en qué momento es necesario incorporar las sales y en qué proporción, la información existente hasta el momento no determina procedimientos confiables.

El secado a la intemperie, es un proceso complejo, confiere a la aculeata,

resistencia y evita el ataque de plagas, sin embargo, es lento, requiere atención y cambiar bajo sombra al momento de la disminución del CH al PSF. Las experimentaciones realizadas midieron las variables contenido de humedad CH y tiempo, permitiendo al productor contar con una herramienta sencilla para calcular el tiempo de secado de los tallos, sin embargo, falta incorporar las variables, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento.

En el sistema de uniones es necesario ensayar diferentes propuestas a las planteadas, con diferentes edades de las muestras, para determinar la resistencia con la variable edad del tallo.

La configuración de los elementos estructurales que trabajen de forma natural a sus propiedades mecánicas, es la geometría de cerchas o armaduras, permiten la prefabricación, modulación y se puede implementar un sistema de autoconstrucción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camacho Reyes, V. M., & Páez Ramos, I. H. (2002). *Estudio en conexiones en guadua solicitadas al momento flector*. tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia.
- Camino Solórzano, M., & Sáinz Guerra, J. L. (2014). Habitat Social digno, sostenible y seguro en manta, Manabí, Ecuador. En M. Camino Solórzano, *Propuestas constructivas sostenibles. La caña guadua y los BTC de terro cemento, como materiales de construcción, Tradición e investigación en nuevos productos* (Vol. I). Manta, Ecuador, Ecuador: Publicaciones, Proyecto AECID.
- Ordoñez C., V.R., Bárcenas P., G.M. 2014. Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). *Madera y Bosques* 20(2): 111-125
- Ordoñez C., V.R. 1999). Perpectivas del bambú para la construcción en México. *Madera y Bosques* 5(1):3-12
- Carrió, D. A. (2005). Obtenido de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/23065/1/554.pdf>
- Cedeño Valdiviezo, A., & Irigoyen Castillo, J. (2011). El bambú en México. *ISJT.arq.urb*, 1(6), 223-243.
- CENAPRED, S. e. (08 de diciembre de 2015). <https://www.gob.mx/cenapred#2883>. Recuperado el noviembre de 2015, de <https://www.gob.mx/cenapred/acciones-y-programas/solicita-publicaciones-impresas-al-cenapred>.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). 2010. Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente NSR 10. Capitulo G-12 Estructuras de guadua 156 p.
- Liese, P. W. (1998). *The Anatomy of Bamboo Culms - INBAR Technical Report*. INBAR.
- Londoño , X. (2005). Aspectos generales de los bambúes latinoamericanos. *Congreso Mexicano del bambú, I*, pág. 3. Xalapa, Ver.
- Cortéz Rodríguez, G. (2000). Los bambúes nativos de México. *Biodiversitas*(30), 12-15.
- Cortéz Rodríguez, G. (2005). Viviendas de Bambú en México. *Bío Bambú- Revista electrónica*, 1-1.
- Cortéz Rodríguez, G. R. (2005). *Bio bambú, Revista electrónica*. Recuperado el 24 de septiembre de 2014, de www.bambumex.org: www.bambumex.org/paginas/ECOLOGICOS1.pdf

- Cruz Ríos, H. (2013). *Bambú Guadua, Guadua Aculeata*. Estudio, Bamboo Premier, México D.F.
- Cruz, L. P. (2018). *Determinación del ácido bórico y bórax, usado como preservante en la Guadua aculeata*. Tesis licenciatura, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Poza Rica, Veracruz.
- López Morales, F. J. (1987). *Arquitectura Vernácula en México* (1a. edición ed., Vol. 1). D.F., D.F., México: Trillas.
- López, O. H. (1974). *Bambú, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Colombia: Estudios Técnicos Colombianos.
- López, O. H. (1978). *Nuevas técnicas de construcción con bambú*. (C. d. "CIBAM", Ed.) Universidad Nacional de Colombia.
- Restrepo Rivera, J. (2005). *La luna "El sol nocturno en los trópicos y su influencia en la agricultura"* (Vol. 1). Nicaragua, Nicaragua, Nicaragua: Fundación Juquira Candirú Colombia – Brasil - México 2005.
- Ángel Pérez, A. L., & Mendoza Briseño, M. A. (abril de 2002). Cultura y sobrevivencia familiar en la etnia Totonaca, México. *Papeles de Población* 2002 8(32), 32.
- Alberto Cedeño Valdiviezo, J. I. (2011). *USJT.ARQ.URB*. Obtenido de http://www.usjt.br/arq.urb/numero_06/arqurb6_06_ponto_de_vista_03_alberto_cedeno.pdf
- ACO Bambú Costa Rica*. (s.f.). Obtenido de <http://www.acobambu.org/>
- Aguilar Amar, R. (2005). Morfología: Tallos o culmos. *Revista Electrónica Biobambú*. Xalapa, Veracruz, México.
- Aguilar Amar, R. I. (2005). *www.bambumex.org*. Recuperado el 2 de octubre de 2014, de Bambúes de México, revista electrónica: www.bambumex.org/DEDEUNBAMBU-1.pdf
- American Bamboo Society*. (1979). Obtenido de <http://www.bamboo.org/index.php>
- Angeles, G. (2006). *Atlas microscópico de tres especies mexicanas de bambú*. Investigación, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México., Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México, Xalapa, Ver.
- Arq. Tim Martin Oberman, I. C. (2003-2004). *Scribd*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/7296835/Bambu-Recurso-Para-Estructuras-Espaciales>

- Arroyo, E. C. (2007). *Arquitecturas transformadas: reutilización adaptativa de edificaciones en Lisboa 1980-2002. Los antiguos conventos.* Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Cataluña, España.
- Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica. (1998). *Manual de construcciones sismo-resistente de viviendas en bahareque encementado.* Colombia.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.* (2007). Obtenido de <http://www.asosismica.org.co/>
- Blanco, J. L. (2011). *La Casa Ecológica.* México, DF: Trillas S.A. de C.V.
- B. R. (1976). *Arquitectura sin arquitectos.* Buenos Aires, Argentina: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- bambumex. (2013). *www,bambumex.org.* Recuperado el 22 de septiembre de 2014, de El bambú en México: www.bambumex.org
- Boto de Matos Caeiro, J. G. (2010). *Construcción con bambú.* Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Lisboa, Facultad de Arquitectura, Lisboa, Portugal.
- El Bambú en México.* (s.f.). Obtenido de <http://www.bambumex.org/>
- Engel, h. (2013). *sistemas de estructuras* (1a edición, 8a tirada ed.). Ed. G. Gili, Ed., & R. A. de Yordi Siguan, Trad.) Barcelona, España.
- Eraso, I. M. (s.f.). *Vivienda Sismo resistente en Guadua.* (S. Publicaciones, Ed.) Colombia: Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Arquitectura, y Artes, Laboratorio de Tecnología.
- Erdoiza, J., & Echenique, R. (1980). *Preservación de madera de pino con sales de boro.* Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos, Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Madera. Xalapa, Ver.
- Echenique y Robles, (1993). *Ciencia y Tecnología de la Madera I,* Universidad Veracruzana, Textos Universitarios.
- Falck, A. N. (1989-1995). (X. C. Y, Ed.) Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia3.pdf>
- FAO (1986). *Wood preservation manual.* Rome, Rome, Italy.
- GOCDMX NTC, (2017) *Gaceta oficial de la ciudad de México, reglamento de construcciones del distrito federal, Normas técnicas complementarias para diseño*

y construcción de estructuras de madera, capítulo 6, resistencia de diseño de miembros de bambú.

Group, B. P. (2012). an Updated Tribal and Subtribal Classification of the Bamboos. *Bamboo Science and Culture, The Journal of the American Bamboo Society*, 24(1), 1-10.

Gómez de Silva, G. (2010). *Breve diccionario etimológico de la lengua Española* (Vol. I). México, México, México: Fondo de Cultura Económica.

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis Estructural* (Vol. I). EEUU: PEARSON.

Hidalgo López, O. (1974). *BAMBÚ Su cultivo y aplicaciones en: Fabricación de papel, Construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía* (Vol. 1). Bogotá, Colombia: Estudios Técnicos colombianos.

Hidalgo López, O. (1983). *Manual de construcción con bambú* (Vol. 1). (U. n. Colombia, Ed.) Colombia: Estudios Técnicos Colombianos.

ICOMOS, Carta del Patrimonio vernáculo construido. (1999). Recuperado enero de 2016, Icomos.org:https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/vernacular_sp.pdf

INBAR. (1997). Obtenido de <http://www.inbar.int/global/acerca-de-inbar/>

INEGI. (2015). *INEGI*. Recuperado el mayo de 2018, de beta.inegi.org.mx: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/#>

INFONAVIT, C. P. (1999). http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/el+instituto/biblioteca/biblioteca_digital_infonavit. Recuperado el 13 de Agosto de 2015, de <http://infonavit.janium.com/janium-bin/sumario.pl?id=20150813123018>

INFONAVIT, L. V. (1998). http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/el+instituto/biblioteca/biblioteca_digital_infonavit. Recuperado el 17 de Agosto de 2015, de http://portal.infonavit.org.mx/wps/wcm/connect/infonavit/el+instituto/biblioteca/biblioteca_digital_infonavit: <http://infonavit.janium.com/janium-bin/sumario.pl?id=20150813123018>

Ingenieria, U. N. (Julio-Septiembre de 2011). *Informes de la Construcción*. Obtenido de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1252/1337>

INMeT, I. N. (2011). *Vivienda, Salud y Ambiente* (Vol. 1). (O. D. Salomón, & P. Himschoot, Edits.) Puerto Iguazú, Misiones, Argentina: Ministerio de Salud de la Nación.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (26 de 03 de 2008). Norma Técnica Ntc colombiana 5300. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Instituto de Biología. "*Guadua aculeata* Rupr. ex Fournier - IBUNAM:MEXU:PV1104941". (27 de Mayo de 2010). *Unibio. unam.mx*. Recuperado el mayo de 2018, de UNIBIO: Colecciones Biológicas: <<http://unibio.unam.mx/collections/specimens/urn/IBUNAM:MEXU:PV1104941>>

International Organization for Standardization. (junio de 2004). Bamboo -- Determination of physical and mechanical properties -- Part 1: Requirements. Geneva, Switzerland.

ISO International Standard. (Noviembre de 2001). Bamboo Structural Design, ISO/TC 165/ N 313. Geneva, Switzerland.

Janssen, J. J. (2000). Designing and Building with Bamboo, INBAR, TECHNICAL REPORT NO. 20. Eindhoven, Netherlands.

Jaramillo, Suarez, D. L., & Sanclemente Manrique, A. G. (2003). *Estudio de uniones en Guadua con ángulo de inclinación entre elementos*. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá.

José Roberto García Chávez, V. F. (2005). *Viento y Arquitectura*. México, DF: Trillas S.A. de C.V. .

Judziewicz, E. J. (1999). *American bamboos*. Wisconsin, Wisconsin, EU: University of Wisconsin.

Junta del Acuerdo de Cartagena, Prid-madera. (1988). *Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas*. Lima,, Peru: Carvajal S.A.

Manual de diseño de obras civiles, D. p. (diciembre de 2008). *syncom.com.mx*. Recuperado el junio de 2016, de http://www.syncom.com.mx/apps/site/files/manual_de_diseño_por_viento_cfe_2008.pdf

Manzanilla Naim, L. (1986). *Unidades habitacionales Mesoamericanas y sus áreas de actividad* (Vol. 1). (L. M. Naim, Ed.) Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Materials, N. A.-B. (2015). *Global.ihs.com*. Obtenido de https://global.ihs.com/family_search_res.cfm?&rid=Z56&mid=ASTM&input_search_filter=ASTM&item_s_key=00018639&document_name=ASTM%20D4442&stage=H&input_doc_number=STANDARD%20TEST

%20METHODS %20FOR %E2 %80 %A8DIRECT %20MOISTURE
%20CONTENT %20MEASUREMENT %20OF %20WOOD %2

- Minke, G. (2010). *Manual de Construcción con Bambú*. Cali, Colombia: Merlin S. E. SAS.
- Monjo Carrio, J. (2005). La evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización. *Informes de la Construcción*, 37-54.
- Montoya Arango, J. A. (25 de junio de 2008). Evaluación de los métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia*. *Scientia et Technica*(38), 443-448.
- Montoya Arango, J. A., & Jimenez Arias, E. (6 de enero de 2006). Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica Año XII, No 30, Mayo de 2006 UTP. ISSN 0122-1701*, 415-419.
- Morán Ubidia, J. A. (S/F). *Preservación del bambú en América Latina, mediante métodos tradicionales* (Vol. 1). (R. I. INBAR, Ed.) Guayaquil, Guayaquil, Ecuador: Red Internacional de Bambú y Ratán INBAR.
- Morales Pinzon, T. (Mayo de 2002). Ensayo preliminar de contenido de azúcar en la *Guadua*. *Seminario - Taller Avances en la investigación sobre Guadua*, 1-8.
- Morales Pinzon, T. (15 de diciembre de 2006). Evaluación y ajuste del proceso de preservación de *Guadua* por inmersión con sales de boro. *Scientia et Technica Año XII, No 32, Diciembre de 2006. UTP. ISSN 0122-1701, XII(32)*, 457-462.
- Morales Pinzon, T., & Tistl, M. (2007). Preservation of the *Guadua angustifolia* Kunth by submersion in aqueous boron solutions The influence of temperature concentration and duration of submersion in aqueous boron solutions on the effectiveness. *The Journal of the American Bamboo Society* 20(1): 21-25, 1(20), 21-25.
- Morales Pinzon, T., Duran, L. F., & Alzate, C. A. (2012). Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia*, en el eje Cafetalero Colombiano, por el método de inmersión. *Recursos naturales y ambiente*, 1(65-66), 51-55.
- Moya Rubio, V. J. (1982). *La vivienda indígena de México y el mundo* (Vol. 1). México, D.F., México: UNAM.
- Nolivos Valiente, j. C., & Yacelga Díaz, J. G. (2010). *Estudio de conexiones entre elementos estructurales de caña Guadua, sometidos a carga axial*. tesis licenciatura, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2006. Norma Técnica colombiana 5300. (Septiembre de Abril de 2008). Cosecha y postcosecha del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2006 Norma Técnica colombiana 5301. (03 de Agosto de 2007). Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. Bogotá, Colombia.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). 2006. Norma Técnica colombiana 5407. Uniones de estructura con *Guadua angustifolia* Kunth. 8 p.
- Organization, World Bamboo. (2009). *Worldbamboo.net*. Obtenido de <http://www.worldbamboo.net/world-bamboo-day>
- Palacios López, D. (2009). *Desarrollo de un sistema de construcción a partir de estructuras en guadua*. Tesis, Universidad Eafit, Medellín, Departamento de ingeniería de diseño de producto, Medellín.
- Palacios Sánchez, A. (2009). *La muerte: Símbolo de vida entre los Totonacas de Papantla, Veracruz*. Tesis Doctoral, Universidad Iberoamericana, México, D.F.
- Bárcenas Pazos, G. M. (1985). Recomendaciones para el uso de 80 especies de acuerdo con su estabilidad dimensional. *Nota Técnica no. 11. LACITEMA-INIREB*. Xalapa, Veracruz, México.
- Peña V., L., Burgo s., A., Gonzalez F., A., & Will Valero, S. (julio de 2009). Efecto de la preservación con mezclas de bórax-ácido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico-mecánicas y el ataque de insectos en *Guadua angustifolia*. *Revista Forestal Venezolana*, 135-144.
- Piombo, P. V. (2016). *Arquitectura contemporánea en contextos patrimoniales* (Vol. I). Guadalajara, Jalisco: ITESO .
- Ponce, D. L. (2010). *Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Características de Preservación por el Método de Inmersión del Tallo de Guadua angustifolia Kunth (bambú), proveniente del Distrito de La Florida, Cajamarca*. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú.
- Posada, Giraldo, R. E. (2015). *Desarrollo de métodos alternativos de valoración de la calidad de la preservación, empleando sales de boro en la Guadua angustifolia Kunth*. Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Pereira, Colombia.

- Prieto, V. (. (1994). *La vivienda campesina en México* (2a. edición ed., Vol. I). (S. d. Turismo, & I. SEDESOL, Edits.) México, Distrito Federal, México.
- R. A. (1972). *Vivienda y cultura*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Rapoport, A. (1972). *Vivienda y Cultura* (Vol. I). Barcelona, Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Rapoport, A. (2003). *Cultura, Arquitectura y Diseño* (Vol. I). Barcelona, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Reglamento de construcciones sismo-resistentes NSR-98. (1998). Casas de uno y dos pisos de Bahareque encementado. Capítulo E.7. Bogotá, Bogotá, Colombia.
- Riba-Ramirez, R. M., & Ricalde-Camacho, M. O. (1987). Determinación del contenido de humedad en equilibrio para madera en la república mexicana. *Nota Técnica* 13, 9. Xalapa, Veracruz, México: Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos .
- Sánchez Domínguez, C. (2009). *El Género Guadua (Poaceae-Bambusoideae) en el Estado de Veracruz*. Tesis , Universidad Veracruzana, Facultad de Biología, Xalapa, Ver.
- Sánchez Olvera, L. I. (2005). *Entre la apariencia y la esencia "Chiqui", La transformación de la vivienda totonaca*. Puebla, Puebla, México: Talleres de LunArena.
- Saleme, H. (5 de octubre de 2011). El uso del bambú para la construcción sustentable del Hábitat humano, Proyecto de bambú de la Universidad Nacional de Tucumán. *Taller vivienda, salud y ambiente*, 1(1), 223.
- Saleme, H. (2014). *El Bambú: Arquitectura, Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.
- Silva, H. (1997). *Depósito Académico Digital Universidad de Navarra*. (S. d. Navarra, Ed.) Obtenido de <http://dspace.unav.es/dspace/handle/10171/17305>
- Sociedad Colombiana del Bambú*. (s.f.). Obtenido de <http://sociedadcolombianadelbambu.org/>
- Stamm, J. (5 de marzo de 2008). www.bambumex.org. Recuperado el 1 de 9 de octubre, de El bambú en México: www.bambumex.org/paginas/articuloshtm
- Stamm, J. (2009). *Bambues de México, siete conceptos para hacer un puente en Bambú*. Obtenido de www.bambumex.org: www.bambumex.org/conceptos/puentes/Stamm2.pdf

- Turner, A. A. (2008). Penetration depth of borates in historic wooden structures in Virginia City, Montana. Tesis Faculties of the University of Pennsylvania, [hp://repository.upenn.edu/hp_theses/115](http://repository.upenn.edu/hp_theses/115), Pennsylvania.
- Ubidia, J. M. (Agosto de 2001). (C. d. Ecuador, Ed.) Obtenido de http://books.google.com.mx/books/about/Usos_tradicionales_y_actuales_del_bambu.html?id=TUOmAAAACAAJ&redir_esc=y
- Villegas, M. (2003). *El bambú, material deconstrucción*. Bogotá, Colombia: Villegas editores.
- Zaragoza, Hernández, I. (2012). *Anatomía y propiedades físico-mecánicas del culmo de bambú (guadua aculeata Rupr.) de la región nororiental del Estado de Puebla*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales, Texcoco, Edo. de México.