



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

DOCTORADO EN CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

**ÁREA DE CONCENTRACIÓN
SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL**

**TECNOLOGÍA AMBIENTAL
PARA EL DISEÑO DE
PRODUCTOS SUSTENTABLES**

TABLEROS DE BAMBÚ LAMINADO

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO**

AUTOR:

MTRO. JOSÉ LUIS GUTIÉRREZ SENTÍES

TUTORA:

DRA. MARÍA EUGENIA CASTRO RAMÍREZ

mayo / 2014

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	1
1. VALOR AMBIENTAL Y TECNOLÓGICO DEL BAMBÚ.....	7
1.1 Tecnología Ambiental.....	18
1.1.1 Diseño Ambiental.....	18
1.1.1.1 Qué es diseño.....	19
1.1.1.2 Qué es diseño ambiental.....	19
1.1.2 Tecnología ambiental.....	20
1.1.3 Ecodiseño.....	21
1.1.4 Ciclo de vida.....	22
1.1.5 Impacto ambiental.....	24
1.2 Tecnologías Ambientales.....	25
1.2.1 Qué son las tecnologías ambientales.....	25
1.2.2 Barreras y factores que impulsan las tecnologías ambientales.....	26
1.3 Tecnología ambiental, sociedad y cultura en México.....	32
1.4 Materiales Verdes y el Bambú.....	34
1.4.1 Materiales Verdes.....	34
1.4.2 El bambú.....	34
1.4.2.1 Qué es el bambú.....	36
1.4.2.2 Especies en México.....	42
1.4.2.3 Mejores especies para laminar.....	51
1.5 El Bambú y el Medio Ambiente.....	57
1.5.1 Contribución en el sector forestal.....	58
1.5.2 Contribución para evitar la erosión de los suelos.....	59
1.5.3 Captación de CO ₂	59
1.5.4 Producción de biomasa y gas.....	60
1.5.5 Fertilización del suelo.....	61
1.5.6 Material biodegradable.....	62
1.5.7 Limitaciones.....	63
1.6 Aplicaciones y usos más comunes.....	65
1.6.1 Arquitectura.....	66
1.6.2 Diseño Industrial.....	68
1.6.3 Otras.....	71
1.6.4 La industria del bambú en México.....	72

2.	PROPUESTA Y RESULTADOS.	77
2.1	Tableros de Bambú Laminado.	77
	2.1.1 Qué son los tableros de bambú laminado.	77
	2.1.2 Quién los produce actualmente.	83
	2.1.3 Normas para la fabricación de laminados.	85
	2.1.4 Pruebas de laboratorio.	85
	2.1.5 Proceso de producción.	86
2.2	Elaboración de Probetas.	102
	2.2.1 Obtención de tablillas.	102
	2.2.2 Aplicación de adhesivo.	104
	2.2.3 Prensado.	105
	2.2.4 Acabado.	105
2.3	Pruebas de Materiales.	105
	2.3.1 Propósito.	105
	2.3.2 Estímulos físicos.	106
	2.3.3 Definición de variables.	109
	2.3.4 Preparación de probetas.	110
2.4	Propiedades de los Tableros de Bambú Laminado.	113
	2.4.1 Resistencia a estímulos físicos.	114
	2.4.1.1 Tensión paralela a las fibras.	115
	2.4.1.2 Tensión perpendicular a las fibras.	118
	2.4.1.3 Flexión.	120
	2.4.1.4 Compresión paralela a las fibras.	121
	2.4.1.5 Compresión perpendicular a las fibras.	124
	2.4.1.6 Fuerza cortante.	127
	2.4.1.7 Comparativa de resistencias entre Bambú, Bambú-Guadua y Madera.	130
	2.4.2 Análisis de Ciclo de Vida.	131
	2.4.3 Análisis Ambiental del proceso de producción.	134
	2.4.4 Respuesta al maquinado.	136
	2.4.4.1 Corte.	138
	2.4.4.2 Barrenado.	138
	2.4.4.3 Cepillado.	141
	2.4.4.4 Maquinado con Router.	143
	2.4.4.5 Lijado.	145
	2.4.4.6 Corte Láser.	146
	2.4.4.7 Hidrocorte.	147
	2.4.5 Respuesta a la humedad.	148
	2.4.6 Respuesta al acabado.	150
2.5	Diseños con Bambú Laminado.	150
	2.5.1 Tabla de corte para cocina.	150
	2.5.2 Base para Mouse doble vista.	152
	2.5.3 Base para computadora portátil.	153
	2.5.4 Base para trastes calientes.	154
	2.5.5 Mesa de Servicio.	155

DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... 156
CONCLUSIONES. 159
GLOSARIO. 163
FUENTES DE REFERENCIA..... 165

Introducción

En diversas zonas de nuestro país se presentan problemas como la falta de oportunidades de trabajo para la población rural, pobreza, desnutrición, alta migración a grandes ciudades o a otros países, poco apoyo financiero y de capacitación, programas de gobierno nulos o mal aplicados, sobreexplotación de los suelos y el desaprovechamiento de los recursos naturales con que cuenta cada región, entre otros.

Por otra parte, el medio ambiente se ha alterado de forma negativa por diferentes causas, tales como el insustentable manejo forestal, la sobreexplotación de recursos naturales y la generación de una gran cantidad de sustancias contaminantes.

El bambú es una planta que puede ofrecer un gran número de virtudes desde el punto de vista ambiental, económico, social y cultural en nuestro país, si se sabe aprovechar, y puede contribuir a la solución de los problemas mencionados. Sin embargo, no se le ha dado la importancia que merece y falta mucha información sobre sus múltiples beneficios y posibles aplicaciones.

Después de realizar una investigación sobre el uso del bambú en el mundo, se encontraron resultados muy interesantes que ejemplifican sus grandes ventajas en diversas aplicaciones. En Asia, por ejemplo, el bambú se ha utilizado desde hace miles de años, y en países como China e India su estudio y aplicaciones se han desarrollado de manera importante. Países donde se pueden encontrar productos no inimaginables, tal es el caso de textiles, medicamentos, pisos y tableros laminados de primera calidad con los que producen una gran diversidad de objetos. En la actualidad, países latinoamericanos como Ecuador, Brasil, Cuba y Colombia han sabido aprovechar sus grandes virtudes, no sólo en artesanías y aplicaciones en la construcción, sino también laminados, papel, carbón y vinagre, además de estar realizando investigaciones para el área de la medicina y la cosmetología en productos como champú y crema protectora. De la misma forma se puede sumar a lo antes mencionado una de las principales

ventajas que tiene esta gramínea, y es su rápido crecimiento en comparación con otras plantas, esto hace posible obtener cosechas en lapsos de alrededor de cinco años, tiempo que tarda en llegar a su madurez, debido a que puede llegar a crecer hasta 20 cm al día.

México tiene la fortuna de contar con diversas especies nativas de bambú, cada una con características propias, desde las que cuentan con gran cantidad de fibra, hasta especies herbáceas. Esta investigación pretende contribuir en los conocimientos relacionados con la transformación del bambú para su aprovechamiento de manera eficaz por la industria bambusera, colaborando a su vez al mantenimiento y mejoramiento ambiental y económico de diversas regiones de nuestro país que se caracterizan por su producción, transformación y comercialización, así mismo proponiendo diversos conceptos de diseño y tecnologías que servirán para ampliar y promocionar la industria en cuestión, contribuyendo, al mismo tiempo, a reducir el uso de la madera, y por tanto, a la conservación de los bosques al disminuir la tala de árboles y a mantener y mejorar los suelos, el medio ambiente, su biodiversidad, e inclusive los mantos acuíferos gracias a las características físicas, morfológicas y fisiológicas del bambú.

Es por ello que este trabajo se dedicó a la investigación sobre una manera con la cual se pueda contribuir al desarrollo de la industria bambusera y de las regiones que lo producen o transforman, así como para el mejor aprovechamiento de esta planta, generando información y propuestas de nuevas aplicaciones que ayuden a superar las barreras que hasta ahora han detenido su estudio, progreso y utilización en nuestro país.

Considerando lo anterior, aquí se propone un proceso para la elaboración de Tableros de Bambú Laminado y con ello, aprovecharlo como la principal materia prima de una nueva tecnología ambiental que abra un abanico de oportunidades en la utilización de esta bondadosa gramínea. Así mismo, se realizan pruebas de laboratorio para identificar su resistencia a estímulos como tensión, flexión, compresión y esfuerzo cortante. Igualmente, para complementar la información se mencionan experiencias sobre su respuesta a diversos maquinados y se muestran algunos objetos realizados con bambú laminado como muestras de posibles productos resultantes de esta investigación.

De la misma forma, se presenta un estudio de Análisis de Ciclo de Vida de los tableros elaborados con el proceso propuesto en este documento; adicionalmente se muestra un Análisis del proceso de producción realizado en Colombia, con ello se respalda la viabilidad de su producción y utilización desde un punto de vista ambiental.

Para obtener parte de la información se realizaron visitas a distintos estados de la República Mexicana, como Veracruz, Puebla, Chiapas y Oaxaca, donde se platicó con productores de bambú, artesanos, especialistas e investigadores, así como en el Departamento del Quindío, ubicado en el Eje Cafetero de Colombia. Se consultó una gran cantidad de bibliografía, principalmente de autores extranjeros debido a que hay muy poca experiencia y autores mexicanos en esta área, comparada con la experiencia que tienen otros países. Toda esa información sirvió como base para conocer las bondades del bambú, los posibles beneficios de su industrialización y para generar la información que se presenta en los resultados de esta investigación, para los cuales se utilizaron métodos como el Análisis de Ciclo de Vida y Pruebas de Resistencia de Materiales realizadas en el Laboratorio de Estructuras de la Unidad Azcapotzalco de la UAM.

Con esta investigación se comprueba que “la *Bambusa oldhamii* se puede reproducir en el municipio de Huatusco, Veracruz, y presenta características adecuadas para poderse utilizar como materia prima en la elaboración de tableros de bambú laminado.

De la misma forma se demostró que la resistencia de dichos tableros a estímulos físicos es similar a la de los tableros de madera de pino contrachapada y que su elaboración y utilización es viable desde el punto de vista ambiental, razones por las que se convierte en una tecnología que puede contribuir al bienestar del medio ambiente, así como al desarrollo de la industria bambusera, de los artesanos y de las personas, industrias y regiones que trabajan el bambú, a través de la producción, transformación y comercialización del tablero de bambú laminado.

Este documento se presenta en dos capítulos. El primero aborda principalmente la parte conceptual y los antecedentes, lo que ya se sabe del bambú y las tecnologías ambientales, así como la información básica que permitiera desarrollar esta investigación; aspectos como qué es el bambú, las especies que se reproducen en México, los beneficios ambientales que ofrece y las aplicaciones actuales más comunes.

En el segundo capítulo se presentan los resultados, el proceso de elaboración de laminados, la resistencia del tablero de bambú laminado a estímulos físicos y al maquinado, así como ejemplos de algunas aplicaciones.

Todas las imágenes reproducidas en este documento son propiedad del autor, excepto aquellas donde se hace la referencia, y fueron tomadas durante la realización de esta investigación.

Cabe mencionar que los tableros de bambú laminado, objeto de este estudio, ya se elaboran en países asiáticos y se están produciendo en algunos países del continente americano, sin embargo, en México sólo contamos con información generada en otros países sobre el proceso de elaboración y características de este producto, no hay estudios realizados en este país que contemplen sus diferentes especies de bambúes, sus climas, su cultura y sus posibilidades, tanto económicas como tecnológicas para la fabricación de dichos tableros.

1. Valor ambiental del bambú



1. Valor ambiental del bambú

El bambú no es una madera, es una planta gramínea que presenta características excepcionales como su gran resistencia, flexibilidad y velocidad de crecimiento. De la misma forma, por sus propiedades mecánicas presenta grandes ventajas frente algunos tipos de madera que se utilizan regularmente en la construcción, así como sobre otros materiales.

Algunas ventajas que ofrece el bambú, son:

- Crece y se reproduce en lapsos muy cortos de tiempo en comparación con otras plantas.
- Se puede utilizar como un material biodegradable para fabricar una gran diversidad de artículos como: artesanías, papel, tela, tableros, utensilios para el hogar, artículos para oficina, muebles, elementos para la construcción, etcétera.
- Contribuye a la recuperación y conservación de suelos gracias a la forma en que se desarrollan sus raíces y rizomas, los cuales forman una especie de redes entrelazadas, que además los adhieren fuertemente al suelo además de ayuda a evitar la erosión (Bambuver, 2010).
- Gracias al contenido de agua y evapotranspiración de sus hojas, aportan humedad al medio ambiente.
- Contribuye a disminuir el CO₂ que se encuentra en el ambiente y genera igual o más oxígeno que una plantación arbórea en superficies con medidas iguales.
- La cantidad de hojas que se desprenden generan una importante cantidad de materia orgánica en el suelo que, además de aportarle nutrientes, lo protege de la erosión y lo mantiene húmedo.
- Se puede cosechar a partir de los cinco años de edad si se requiere como material estructural resistente.

- Es un material con altos índices de resistencia mecánica y, al mismo tiempo, muy ligero y fácilmente manipulable en su forma rolliza.
- Es un material que puede ser utilizado alternativo a la madera en un gran número de aplicaciones.
- Las plantaciones de bambú son perennes y los culmos son renovables a partir del mismo rizoma durante muchas generaciones.
- Contribuye en las reservas forestales e hídricas.
- Es muy resistente a diversos tipos de climas.
- También conocido como el *Oro Verde* por sus múltiples beneficios.
- Su resistencia y flexibilidad lo hacen un excelente material en la construcción.
- En otros países también se utiliza en la cosmetología, medicina, generación de vinagre, como combustible, alimento y elaboración de papel, entre otras cosas.

No obstante, en México aún hace falta información referente a sus propiedades físicas, mecánicas, químicas, ambientales y biológicas. Se requiere investigación acerca de todas sus posibles aplicaciones, procesos de transformación, propiedades físicas de tableros laminados, métodos de conservación y mantenimiento, así como los beneficios económicos, sociales, culturales y ambientales. De la misma forma es importante identificar los posibles problemas de alteración ambiental en su producción y transformación, así como las características y propiedades de las especies que crecen en nuestro país, tanto nativas como introducidas. (Imagen 1)

Actualmente, existen organizaciones en diversos estados de nuestro país que están interesadas en el desarrollo de la industria del bambú, tal es el caso de Puebla, Tabasco, Chiapas y Veracruz, entre otros; en estos lugares se han generado centros de acopio, apoyos para la producción y transformación, así como diversas investigaciones.

En el Segundo Congreso Mexicano de Bambú, celebrado en marzo de 2008 en la ciudad de Puebla, se presentó el desarrollo de dos nuevos productos: el papel y el carbón vegetal activado, generados a través de dos cadenas productivas que promueve la Fundación Produce Puebla A. C.

En noviembre de 2009, el Diputado Federal y extitular de la Secretaría de Desarrollo Rural del estado de Puebla, Alberto Jiménez Merino, realizó una propuesta en la tribuna de San

Imagen 1. Bambusales en Bambuver.



Lázaro donde expuso la importancia que presenta la utilización del bambú, así mismo, planteó un programa integral de coordinación de instancias federales para desarrollar y fortalecer, a nivel nacional, la cadena productiva de esta planta, de la cual, dice, aún no se aprovecha todo su potencial en nuestro país. Aseguró que el bambú, considerado como el acero vegetal, tiene más de cuatro mil usos documentados en el mundo, entre los que destacan la construcción de vivienda digna a bajo costo, con ahorro de más de 40% con relación a materiales tradicionales (Jiménez, 2009).

Jiménez Merino (2009) comentó que “más de mil millones de personas en el mundo viven en casas de bambú, y por sus usos es un negocio de siete mil millones de dólares anuales...”; también dijo que las “construcciones de bambú en Costa Rica, en 1991, resistieron un terremoto de 7.7° en la escala de Richter sin una sola grieta, cuando las demás obras se cayeron”. Así mismo mencionó, que entre muchas otras ventajas de dicha gramínea, y a pesar de que en nuestro país aún no se ha aprovechado suficientemente, ya hay un hotel de bambú en Cuetzalan, Puebla (Jiménez, 2009).

El bambú actualmente está siendo considerado en nuestro país por diversos organismos, tanto a nivel particular, como por instancias de gobierno, intentando dar una oportunidad de desarrollo social, económico y ecológico para muchas regiones, y con el fin de aprovechar la gran gama de beneficios ambientales que no se han encontrado en otras plantas, inclusive madereras.

Como habíamos comentado, uno de los grandes problemas que enfrentamos en nuestro país es un manejo forestal deficiente en una gran cantidad de casos, donde no se considera el daño que se realiza a la naturaleza y que contribuye al cambio climático y a la destrucción del medio ambiente.

Hay productores de madera legalmente autorizados que realizan un manejo forestal adecuado, sin embargo existe una cantidad importante de aserraderos clandestinos en nuestro país que realizan tala ilegal y que provocan graves consecuencias climáticas y ambientales.

La tala clandestina es un negocio multimillonario presente en todas las clases de bosques en más de 70 países del mundo, desde Brasil hasta Canadá, de Camerún a Indonesia, de Perú a Rusia, afectando de manera directa a nuestro país. En México se pierden anualmente más de 60 mil hectáreas forestales por tala clandestina, principalmente en estados como Michoacán, Estado de México, Morelos, Puebla

y Veracruz, según cifras de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), en cuyas entidades es preciso fomentar el combate a este delito” (González, 2008).

Si no hay árboles que transformen el bióxido de carbono en oxígeno aumenta el efecto invernadero. También acelera la erosión de los suelos y la pérdida de flora y fauna que habita en esos ecosistemas. Se propician deslaves y se evita que el agua se vaya a los mantos freáticos, provocando inundaciones, ríos menos caudalosos y, por consiguiente, falta de agua para el consumo humano.

Una situación que origina la existencia de estos aserraderos clandestinos es la gran demanda que tiene la madera, debido a todas las aplicaciones que ésta presenta, entre las que podemos encontrar: la elaboración de muebles diversos, la fabricación de cabañas, estructuras para casas, la obtención de papel, como combustible, etc.

En México, el consumo de productos se ha incrementado debido a diversos factores, entre los cuales podemos destacar el crecimiento de la población y el incremento en el consumo *per cápita* de madera experimentado desde 2002, con excepción de 2004. “Entre 1990 y 2005, el consumo *per cápita* de madera prácticamente se ha triplicado. La combinación entre la disminución en la producción por persona en este periodo y el crecimiento del consumo *per cápita*, ha provocado una brecha cada vez mayor, en donde para el año 2005 la producción nacional únicamente cubrió 20% de la demanda de consumo nacional” (Elizondo, n.d., p. 5). Para 2012, la situación sigue siendo similar, ya que considerando datos del Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2012 de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) se cubre únicamente 33% del consumo aparente de productos forestales.

“En 2012, la relación producción-consumo indica que la producción forestal maderable, con 5.9 millones de m³, satisfizo 33% del consumo aparente que ascendió a 17.9 millones de m³”. (Semarnat, 2013, p. 214)

Una alternativa ambiental y sustentablemente viable es el bambú, que puede ayudar a disminuir la utilización de la madera y a cubrir la demanda de productos forestales, ya que si bien, no es una madera, cuenta con características similares que permiten su utilización en muchas aplicaciones, e incluso, puede presentar mejores resultados en muchos casos donde se aprovechan las características propias que lo caracterizan.

En México, el desarrollo de la industria del bambú es incipiente por lo que es necesario ampliarla y promocionarla haciéndola sustentable, generando una tecnología ambiental novedosa con productos “verdes”.

Otro problema que enfrentamos en la República Mexicana, como lo habíamos comentado, es la pobreza, falta de oportunidades de empleo y desarrollo, así como una alta migración en diversas regiones de nuestro país.

El modelo de desarrollo rural aplicado en las últimas décadas se ha centrado en el impulso de la agricultura privada de exportación. Se han enfatizado los apoyos económicos, tecnológicos y crediticios principalmente a la floricultura y ganadería del norte del país, dejando a los agricultores campesinos olvidados y con sus métodos de producción prácticamente obsoletos, degradándose de esta forma sus condiciones de vida y de trabajo, desventajas que enfrentan contra una constante modernización científica y tecnológica, aunado a los cambios en el comercio mundial, los tratados de libre comercio e inclusive la misma globalización, circunstancias que los dejan con mínimas posibilidades de comercializar sus productos (De Teresa, Castro, 2007).

Dicha situación también se ha manifestado en la contaminación del medio, la salinización de los suelos, el abatimiento de los recursos hídricos y el abandono o deficiente aprovechamiento de las tierras. Por otra parte ha provocado la centralización económica y social en las grandes ciudades, la migración en masa a otras regiones o países, provocando que la generación de empleos disminuya y un inapreciable aprovechamiento de nuestros recursos naturales, esto es, el programa de ajuste del gobierno federal ha dejado a un lado a los pequeños productores del modelo de desarrollo nacional (De Teresa, Castro, 2007).

Es así como las zonas campesinas ya no se consideran como una fuente de riqueza real o potencial para el país y se han convertido en el espacio donde los pobres del campo luchan por subsistir (De Teresa, Castro, 2007).

En contraste, las posibilidades de afrontar las necesidades de alimentación y materias primas que el país requiere, y que además se incrementa día con día, se encuentran en estas zonas campesinas, donde tenemos un gran potencial de recursos humanos y naturales.

Hoy en día, es realmente preocupante el abandono del campo por parte de los jóvenes y su migración a las grandes ciudades u otros países como Estados Unidos, porque además de dejar de atender el campo, se generan conflictos sociales, económicos y culturales, entre

los que podemos mencionar: abandono de tierras, la centralización económica y social en las grandes ciudades, baja generación de empleos, pobre explotación y aprovechamiento de recursos naturales, desintegración familiar, además de pobreza, disminución de la diversidad de culturas, aumento de la delincuencia, grupos armados, peor calidad de vida, menor ingreso social, etcétera.

Por otra parte, especialmente en las zonas tropicales en los estados de Puebla, Veracruz, Tabasco, Campeche, Guerrero, Morelos, Michoacán, Jalisco, Chiapas y Oaxaca, existe una planta poco aprovechada, casi desconocida, y a veces eliminada de los campos, y que aún no forma parte de programas de fomento: El bambú.

El bambú se ha utilizado en la construcción de vivienda, utensilios para el hogar, instrumentos musicales, bicicletas, herramientas e inclusive como instrumentos de caza como arcos y flechas, sin embargo, en países como India y China han desarrollado novedosas formas de utilización del bambú a través de Tableros. Esto es, de modo similar a la manera en que se elaboran los diferentes tableros de madera, estos países elaboran tableros con láminas o reglillas de bambú, disponiéndolas en diferentes direcciones y uniéndolas con presión y un aglomerante.

Actualmente, la mayoría de los muebles y objetos hechos en México con bambú presentan un estilo rustico, y se diseñan utilizando la forma natural de dicha gramínea. Sin embargo, con esta novedosa presentación se abre un mundo de posibilidades para su aplicación en diversos sectores de la industria como en la mueblera, la de construcción, y en el diseño y fabricación de un sinnúmero de objetos, permitiendo, además de manipular la forma, decidir el estilo, la presentación y la resistencia, gracias a la transformación de su forma natural a la de tableros laminados.

En este trabajo se investigan y se dan a conocer, de forma superficial, diferentes procesos para la elaboración de laminados que se aplican en otros países, y se propone uno que se puede realizar sin la necesidad de máquinas y herramientas especiales para el bambú, simplemente utilizando las que ya existen en el mercado mexicano, principalmente para la transformación de la madera.

En México, existen diversas regiones que cuentan con suelos y climas propicios para el cultivo de bambú, con precipitación pluvial de 1,000 a 2,200 mm³ anuales, abundancia de nubes, ambiente caluroso y húmedo, temperaturas entre 18° y 26° centígrados, suelos desde

areno-arcillosos, hasta arcillosos conformados por aluviones de ríos o nacimientos (Bambuver, 2010). Algunos de estos lugares se encuentran principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Guerrero, Tabasco, Campeche, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Jalisco, Sinaloa, Oaxaca, Yucatán y Quintan Roo.

La imagen 2 muestra las regiones hidrológicas en la República Mexicana, entre más oscuros son los tonos, mayor es el escurrimiento superficial. En este caso interpretamos el mapa para indicar las zonas donde se presenta el desarrollo natural del bambú, y de igual forma que el escurrimiento; los tonos más intensos indican áreas con mayor cantidad de bambú, aclarando que el escurrimiento superficial de la zona no es la única variable que determina su desarrollo, pero por lo que apreciamos, sí es una de las más importantes, como lo veremos más adelante.

Imagen 2. Regiones hidrológicas en la República Mexicana.



Fuente: Recuperado de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/coah/estudios/2006/05CO2006H0002.pdf>

De esta forma, es posible observar que es potencialmente viable aprovechar el cultivo del bambú en muchas regiones de nuestro país para crear fuentes de empleo, efectuar el aprovechamiento sustentable del bambú, promover el desarrollo económico regional, disminuir el

Imagen 3. Mapa de localización del Municipio de Huatusco, Veracruz.



Fuente: Recuperado de <http://cae2k.com/bhagwan-photos-0/veracruz-map.html>

uso de la madera, apoyar en la conservación de suelos, contribuir en la reducción del impacto ambiental sobre la selva húmeda tropical y conservar la biodiversidad. Sin embargo, delimitaremos la investigación al municipio de Huatusco, Veracruz, México (Imagen 3), por ser uno de los principales lugares de nuestro país donde el bambú crece de forma natural y se produce de manera comercial, además de contar con las condiciones naturales adecuadas para el desarrollo de la mayoría de las especies de bambú, tanto nativas como introducidas; aunado a ello, es una región donde se ha utilizado, comercializado y desarrollado desde hace varios años. Así mismo, en este municipio se encuentra la Asociación Civil Bambuver (Bambuver, A. C.), que se ha dedicado al cultivo, transformación, comercialización, estudio y experimentación del bambú. Esta asociación fue fundada por el Sr. Rafael Guillaumín, quién dedicó sus últimos años de vida a promover el desarrollo de la industria bambusera, de hecho, abrió las puertas y apoyó con todos sus conocimientos, instalaciones y personal especializado para la realización de esta investigación. Aunado a ello, en Veracruz existen familias que viven del bambú, como el municipio de Monte Blanco, localizado a 60 km de Huatusco y bautizado como el “Pueblo de Bambú”, ya que su principal actividad económica se basa en la elaboración de muebles y

algunos objetos utilizándolo como materia prima principal. Por ello, se delimitó esta región como zona de estudio. No obstante, en esta investigación se considera información de toda la República Mexicana, así como de otros países, principalmente Colombia, que presenta gran desarrollo de la industria del bambú, además de ser una nación latinoamericana que se asemeja en diversos factores socioculturales, naturales y tecnológicos con nuestro país.

Como se había comentado, el municipio de Huatusco presenta condiciones naturales aptas para el cultivo del bambú, y se encuentra ubicado en la zona central montañosa del estado de Veracruz, sobre las estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Cuenta con una topografía bastante accidentada en la que se observan barrancas y una altitud promedio de 1,300 msnm, también exhibe una importante red de pequeños ríos.

Presenta un clima cálido-húmedo con una temperatura promedio de 19.1°C, su precipitación pluvial media anual es de 1,825.5 milímetros, y el ecosistema que se presenta en el municipio es el subtropical perennifolio, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de conejos, ardillas y armadillos, entre otras.

Bambuver (Imagen 4) tiene como meta establecer un Programa de Desarrollo Integral del Bambú en colaboración con instituciones, tanto públicas como privadas, con visión similar al de esta investigación, cuyos objetivos son:

Establecer y ejecutar programas de desarrollo integral para las regiones con rezagos, buscando con ello incorporarlas a la dinámica de desarrollo económico y social de la entidad”. “Impulsar una política rural que implique cambiar hábitos, prácticas y usos tecnológicos que frenen el dete-

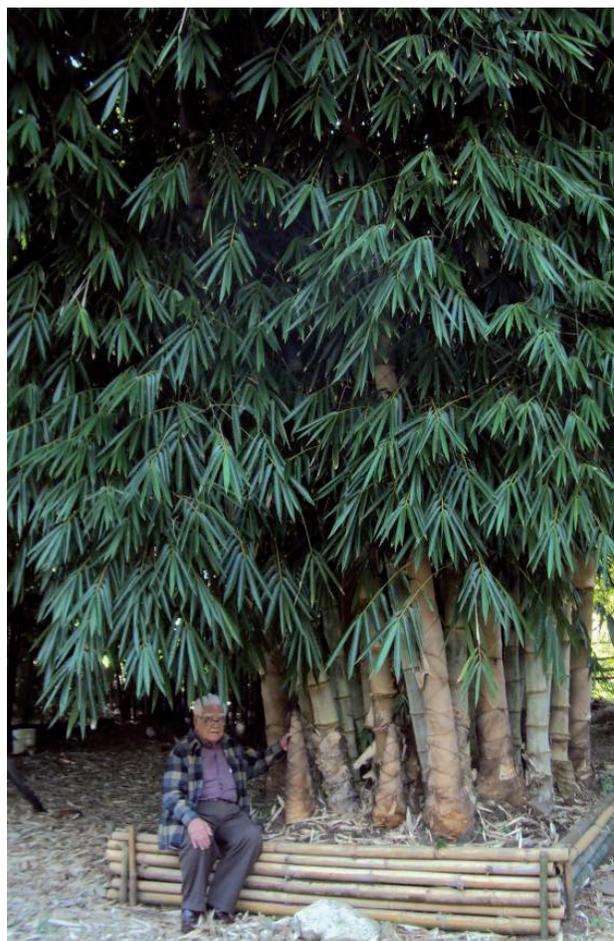


Imagen 4. Entrevista con Don Rafael Guillaumin en Rancho Xocotla.

rioro de nuestros recursos naturales, la erosión, la contaminación y el agotamiento de los recursos acuíferos, así como la deforestación de los bosques y selvas”. “Impulsar un desarrollo forestal sostenible, sustentable, sistemático y racional”. “Promover y fortalecer programas que den proyección a la industria veracruzana”. “Impulsar el desarrollo de la Agroindustria para generar empleo en el campo (Bambuerver, 2010).

Existen más asociaciones que apoyan el desarrollo de la industria bambusera, tanto a nivel nacional como internacional, entre las primeras encontramos Bambumex, Cadena Productiva del Bambú en el estado de Puebla y la Sociedad Cooperativa Tosepan Titataniske, entre las segundas encontramos el International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), la American Bamboo Society (ABS), Sociedad Latinoamericana de Botánica (SLB), Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos (SNIT), World Bamboo Organization (WBO) y Bambú de las Américas (Bota), entre otras.

Como se comentó al inicio de este punto, la investigación se realizó centrándose en el municipio de Huatusco, Veracruz, sin embargo, los conocimientos generados además de poder ser aplicados en la zona de investigación se podrán utilizar en cualquier región de nuestro país e inclusive del mundo, donde cuenten con cultivos de bambú y con características tecnológicas, culturales y económicas similares a la de la zona de estudio.

Cabe mencionar que la transformación el bambú se puede realizar en la misma región que se cultiva o trasladarlo a otro lugar, sin embargo, y con el fin de respetar los principios y recomendaciones realizadas para la sustentabilidad ambiental, se sugiere que dicha transformación se realice en zonas cercanas a la de cultivo con el fin de evitar largos traslados que requieran el consumo de grandes cantidades de combustibles y la generación de gases contaminantes por concepto de transporte.

Así mismo, el proceso de transformación deberá incorporar tecnologías limpias, reciclado o aprovechamiento de residuos, y evitar la contaminación del medio ambiente con el fin de cooperar con la conservación ambiental.

Por otra parte, para no perder el objetivo principal de esta investigación y llevar un proceso ordenado y eficiente, se plantearon y se fueron respondiendo las siguientes preguntas conductoras:

- ¿Qué son las tecnologías ambientales y qué características deben cumplir?
- ¿Qué especies de bambú son originarias de la región de Huatusco, Veracruz, cuáles de México y qué características presentan?
- ¿Qué especies de bambú, introducidas en México, cuentan con características apropiadas para la elaboración de tableros?
- ¿El cultivo del bambú ayuda a subsanar el deterioro forestal o puede causar alteraciones ambientales?
- ¿Qué productos se elaboran con bambú en otros países (como Colombia), que no se hacen en México, y cuál es su proceso de producción?
- ¿Cuáles serían algunas recomendaciones de productos y procesos de producción que se pudieran realizar en México?
- ¿Cuál es el proceso de producción de los tableros de bambú laminado?
- ¿Cuál es la resistencia de los tableros de bambú laminado a estímulos físicos como: Tensión, compresión, cortante y flexión?
- ¿Qué aplicaciones pueden tener los tableros de bambú laminado?

Dichas preguntas además permitieron generar nuevas interrogantes que enriquecieron aún más los conocimientos generados. Las respuestas pueden encontrarse en el contenido de este documento, así como todo el proceso de investigación que se realizó para lograr los objetivos propuestos, y los resultados de las diferentes pruebas de laboratorio que se les realizaron a los tableros de bambú laminado, finalizando con algunas propuestas donde es posible utilizar estos tableros.

1.1. Tecnología Ambiental

1.1.1. Diseño Ambiental

En este apartado se definen los principales conceptos que se utilizan en el desarrollo de este documento con el fin primordial de que el lector logre abordarlos en el mismo sentido con el cual se están aplicando.

1.1.1.1. Qué es diseño

No es tan fácil determinar el significado del diseño, en virtud de que es una palabra que puede ser utilizada desde muy diferentes puntos de vista y con diversas connotaciones. El interés en este documento no es analizar y criticar los diversos significados con que es utilizado, ya que no es el tema central de la investigación, sin embargo, es conveniente elegir una postura y aquí se expone la definición con que se abordará dicho concepto en este proyecto.

La palabra diseño “proviene del italiano *disegnare* que significa dibujar, el cual a su vez se deriva del latín *designare* que evoca: marcar, trazar, ordenar y disponer, aunque también la palabra latina *designare* proviene del término: signa que se refiere a seña. La idea que tenemos actualmente del concepto diseño tuvo origen en Inglaterra, donde la palabra *design* se utiliza como verbo y sustantivo” (Frías y O’Brien, 2005, p. 1). Para los fines de este documento se considera la definición de diseño que realiza Frías en su tesis de doctorado:

“Diseñar es un proceso creativo proyectual que nos permite innovar para mejorar la calidad de vida del ser humano” (Frías, 2005).

1.1.1.2. Qué es diseño ambiental

Se podría decir que la noción del diseño ambiental es un concepto muy reciente que comenzó a utilizarse en el diseño de objetos y espacios arquitectónicos, mismo que en la actualidad ha tomado mayor compromiso con el área del diseño en general y no sólo con el de la arquitectura. Su definición es cambiante de acuerdo con el tiempo y el espacio, así como con el avance de la tecnología que día a día nos ayuda a descubrir nuevas cosas del medio que nos rodea.

Uno de los conceptos que se consideraron es el del *Diccionario de Arquitectura y Construcción*, que lo define como el: “diseño y distribución del medio físico del hombre mediante la arquitectura, la ingeniería, la arquitectura del paisaje y el planeamiento urbano” (D.A.C., 2009). Así mismo, podemos decir que el diseño del ambiente es el resultado de la relación e interacción del hombre con el medio natural y el medio creado.

Sin embargo, se puede decir que el diseño ambiental es algo que va más allá que tan sólo eso, es algo mucho más amplio que involucra con mayor profundidad al diseñador y al ecosistema donde se desenvuelve. En el diseño ambiental, el ser humano debe saber observar

las características tanto del ambiente natural, como del construido, e identificar problemas que involucran al humano y su medio, toda vez que lo ha identificado, entendido y asimilado, entonces podrá tener la capacidad de crear alternativas de solución.

Comprender la diversidad de relaciones que guardan el ser humano y la naturaleza posibilita diseñar espacios y objetos, considerando las necesidades tanto del individuo para resolver sus problemas, como las del medio ambiente para que evitar destruirlo y de ser posible mejorarlo.

El compromiso con el diseño ambiental exige respeto a la tierra, a la naturaleza y a sus procesos, así como la creación de espacios y objetos necesarios para el bienestar del ser humano. Es el diseño basado en la relación Sociedad-Naturaleza.

1.1.2. Tecnología ambiental

La Tecnología Ambiental se ha convertido en un concepto que día a día va tomando mayor fuerza en el desarrollo tecnológico y que aún no tienen una definición única y concreta. Este término va de la mano del diseño ambiental, ya que para que este último pueda cumplir su propósito debe considerar y hacer uso de estas tecnologías.

En la actualidad, las actividades humanas han ocasionado fuerte impacto en el medio ambiente, lo que además se ha incrementado por el crecimiento poblacional y el avance tecnológico que no contempla a la naturaleza más que como fuente de recursos. Muchas de estas actividades han propiciado que la calidad del ambiente y de los “recursos naturales” se vayan deteriorando cada vez más. Un clásico ejemplo de ello y que a todos nos afecta es la contaminación atmosférica. Por otra parte, la calidad del aire también ha sufrido grave daño, principalmente en las grandes ciudades, problema que además ocasiona impactos directos e indirectos en sectores como el medio ambiente, la salud y la economía (Weber, 2007), derivado principalmente por la utilización de energías fósiles.

Uno de los principales objetivos que buscan las tecnologías ambientales es garantizar en forma eficiente y económicamente factible el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la restauración y la conservación ecológica, contribuir en la reducción de los efectos que causan el cambio climático, disminuir el agotamiento de los recursos naturales, ofrecer un ambiente y vida saludable para el hombre, prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, reducir los impactos ambientales de las actividades productivas, comerciales y de

servicios, así como favorecer el desarrollo social y económico, aunque en ocasiones éstos entren en conflicto por diversos intereses.

Las tecnologías ambientales abarcan un amplio espectro de desarrollo tecnológico. En la antigüedad, éstas se asociaban principalmente a sectores individuales (energía, transporte y agrorregionales). Sin embargo, las tecnologías genéricas que están emergiendo, se consideran cruciales, tales como la biotecnología, nanotecnología y los nuevos materiales amigables con el medio ambiente (Weber, 2007).

Algunos autores nombran como sinónimos la tecnología ambiental, la tecnología limpia e inclusive la tecnología verde.

En el Plan de Acción de Tecnología Ambiental de la Comisión Europea se definen las Tecnologías Ambientales como:

Todas las tecnologías cuyo uso causa menos daño en el medio ambiente que las alternativas. Incluyen tecnologías para controlar la contaminación (por ejemplo: control de la contaminación atmosférica, gestión de residuos), productos y servicios menos contaminantes, (por ejemplo: pilas de combustible) y formas para gestionar de una manera eficiente los recursos (por ejemplo: abastecimiento de agua, tecnologías de ahorro energético) (Weber, 2007).

Definición que consideramos en este proyecto como base para nuestra investigación.

El desarrollo sustentable es la razón de ser de las tecnologías ambientales. Cuando se aplica dicho desarrollo como solución para asuntos ambientales, las soluciones tienen que ser socialmente equitativas, económicamente viables y ambientalmente amigables.

El desarrollo de nuevas tecnologías de materiales se encuentra actualmente influenciado por la investigación científica y, sin duda, también por las necesidades de las Tecnologías Ambientales (Weber, 2007).

1.1.3. Ecodiseño

Un concepto que se ha utilizado en el área del diseño desde hace algunos años, y que no sólo contempla el material que se utiliza en un objeto, sino que analiza el proceso de producción y el ciclo de vida del producto, es el Ecodiseño.

Existen diversas formas de considerar al ecodiseño. Algunos autores también lo denominan el Diseño para el Medio Ambiente, al respecto comentan que es un proceso para el desarrollo de productos, útil para prevenir los impactos ambientales negativos y hacer mejoramientos en el ciclo de vida desde el proceso de diseño (González, 2001). Considera los impactos ambientales de un producto industrial a lo largo de todo su ciclo de vida, desde el inicio del proceso hasta su reutilización o desecho, ofreciendo la oportunidad de actuar a favor del medio ambiente, en cualquier momento del proceso.

El ecodiseño nos dirige hacia una producción sustentable y a un consumo racional de los recursos, y es parte integral de su aplicación considerar el ciclo de vida del producto, desde la obtención de las materias primas, hasta su reintegración al ciclo mismo, al final de su vida útil. Con él es posible obtener múltiples beneficios, entre ellos: minimizar los costos de producción, disminuir el consumo de materiales y recursos, optimizar la calidad de los productos, mejorar su vida útil, seleccionar los recursos más sostenibles, buscar la utilización de tecnologías más limpias y reducir los costos de manejo de residuos y desechos (CEGESTI, n. d.).

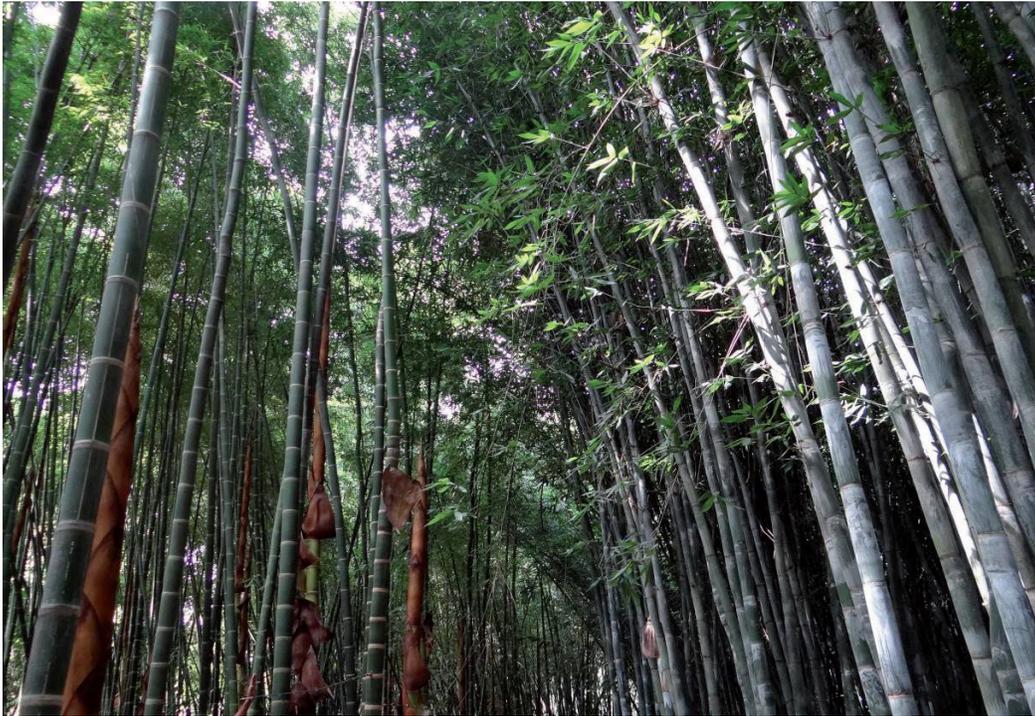
Al ecodiseño lo entendemos como: “una estrategia que busca una mejora en el perfil ambiental de productos o empresas; se plantea como una herramienta apropiada para lograr la mejora de un perfil ambiental al introducir restricciones o mejoras ambientales en todas las fases de la producción industrial de productos que no afecten el ambiente. Con esto se asegura la utilización eficiente de los recursos naturales, la minimización del impacto ambiental, al igual que una implementación coherente de una política ambiental en la organización, todo esto basado en el análisis del ciclo de vida de los productos” (Castellanos, Godoy, 2007, p. 9).

En términos generales, podemos decir que en el ecodiseño, el ecosistema define, prácticamente, las reglas bajo las cuales deberá diseñarse, materializarse y desarrollarse un producto. (Imagen 5)

1.1.4. Ciclo de vida

Cuando hablamos de ciclo de vida puede referirse a un producto, un servicio o, inclusive, a una empresa. En nuestro caso nos referimos al ciclo de vida de un producto desde una perspectiva de su existencia, esto es, desde el momento en que se produce, hasta su eliminación o reincorporación a un nuevo proceso. Al hablar del ciclo de vida en este proyecto nos referimos a

Imagen 5. Camino entre bambusales.



todas las etapas por las cuales pasa un producto: desde la producción de los componentes y materias primas necesarias para su obtención, hasta la disposición final o reutilización.

Dichas etapas generalmente son:

- Obtención de las materias primas y los procesos que se requieren para hacer de éstas un material aprovechable (incluyendo la utilización de materiales reutilizados o reciclados).
- Fabricación del producto y las tecnologías asociadas.
- Empaque y transporte (incluyendo los materiales, equipo y recursos energéticos involucrados).
- Uso del producto por el consumidor.
- Disposición del producto una vez concluida su vida útil, o la reincorporación de algunas de sus partes o materiales como materia prima al inicio del ciclo de vida del mismo u otro producto (CEGESTI, n. d.).

1.1.5. Impacto ambiental

En este trabajo se considera la definición y tipos que adopta la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), donde se define al impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza” (Semarnat, 2009). Esto es: un huracán, una tormenta o un sismo pueden provocar impactos ambientales, sin embargo, en nuestro caso, nos referimos a cualquier cambio positivo o negativo en el medio ambiente, resultante de todas o parte de las actividades, productos y servicios de una agrupación.

Tipos de impactos ambientales

Existen diversos tipos de impactos ambientales que se pueden clasificar de acuerdo a su origen:

- El aprovechamiento de recursos naturales, ya sean renovables como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables como la extracción del petróleo o del carbón.
- Contaminación. Todas las actividades que producen algún residuo (peligroso o no) emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
- Ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones como desmonte y compactación del suelo.

Asimismo, existen diversas clasificaciones de impactos ambientales de acuerdo a sus atributos, por ejemplo:

Tabla 1. Tipos de Impactos Ambientales

Positivo o Negativo	En términos del efecto resultante en el ambiente
Directo o Indirecto	Si es causado por alguna acción del proyecto o es resultado del efecto producido por la acción.
Acumulativo	Es el efecto que resulta de la suma de impactos ocurridos en el pasado o que están ocurriendo en el presente.
Sinérgico	Se produce cuando el efecto conjunto de impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.

Residual	El que persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.
Temporal o Permanente	Si es por un período determinado o definitivo.
Reversible o Irreversible	Dependiendo de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
Continuo o Periódico	Dependiendo del período en que se manifieste.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, agosto, 2009.

1.2 Tecnologías Ambientales

En la actualidad, las tecnologías ambientales juegan un papel fundamental para la conservación del medio ambiente. Tal como ya se mencionó, es necesario hacer conciencia y tomar medidas drásticas y concretas para no causar daño a nuestro planeta. Es necesario recordar que en el diseño de la mayoría de las tecnologías antiguas no se contemplaba su impacto negativo al medio ambiente y los ecosistemas de todo el mundo. Actualmente no podemos ignorar el aspecto ambiental en el diseño y la utilización de tecnologías, por ello, es indispensable diseñar y contar con equipos y materiales que contribuyan a mantener o, incluso, mejorar nuestro medio ambiente, esto es, requerimos utilizar Tecnologías Ambientales.

1.2.1. Qué son las tecnologías ambientales

Las tecnologías ambientales son aquellas que intentan evitar o disminuir el deterioro ambiental en la elaboración de bienes, dando mayor importancia a la fase final de los procesos de producción, procurando no producir o disminuir la cantidad de desechos generados. Algunas de estas técnicas son: el reciclaje, purificación del agua, tratamiento de aguas negras, tratamiento de gases, manejo de desechos sólidos y energías renovables, entre otras.

Por ejemplo, los motores eléctricos eficientes como la máquina eléctrica con rotor embobinado, sin escobillas, doble alimentada y el módulo ahorrador de energía, producen menor cantidad de dióxido de carbono y dióxido de azufre, en comparación con la electricidad generada por combustibles fósiles.

Como se comentó al inicio de este apartado, no hay una única definición para el concepto de Tecnologías Ambientales, y en gran medida es porque el quehacer de éstas es muy diverso y heterogéneo. Este término es utilizado para incluir tecnologías y aplicaciones que no producen contaminantes y de las que se supone ayudan a reducir o mitigar el impacto negativo de la actividad industrial y de servicios, y de usuarios privados o públicos sobre el medio ambiente.

Dicho concepto generalmente se refiere a tecnologías “al final del proceso” (end-of-pipe), integradas en tecnologías limpias y para la recuperación de las áreas contaminadas. Sin embargo, también puede abarcar, en un sentido más amplio, cuestiones como la supervisión, medición, el cambio de productos o administración de sistemas ambientales (IPTS, 2002). Las tecnologías ambientales son, por tanto, de naturaleza interdisciplinaria, pudiendo ser aplicadas en cualquier fase de la cadena de producción-consumo (Weber, 2007).

Cabe mencionar que la investigación y el desarrollo tecnológico son algunos de los muchos caminos para tratar como retos ambientales, además de que son necesarios para comprender y desarrollar soluciones potenciales y opciones para mejorar la calidad de las interacciones entre los sistemas sociales y ecológicos.

Sin duda alguna, dicha comprensión sobre las interacciones entre la sociedad y el medio ambiente, al igual que el diseño ambiental, requieren, por una parte, de un control comprensivo y, por otra, de medir el impacto ambiental, al igual que una reacción en la sociedad a largo plazo. Este cambio de perspectiva hacia unas interacciones entre sociedad y naturaleza resulta un tema crucial con respecto a las Tecnologías Ambientales porque puede conducir a percepciones diferentes, teniendo en cuenta que el tipo de régimen no es el material y la intensidad energética en sí no es lo que representa el problema para el medio ambiente, sino la falta de consistencia metabólica o eco-consistencia (Huber, 2004).

1.2.2. Barreras y factores que impulsan las tecnologías ambientales

Como suele suceder en la mayoría del surgimiento de nuevos temas que afectan a un considerable grupo de personas es que generalmente nacen grupos de oposición que obstaculizan la aplicación o desarrollo de un tema nuevo, en ocasiones con razón, y en otras sin ella. Este caso no es diferente, algunos grupos, incluyendo anarquistas verdes, han criticado el concep-

to de la tecnología ambiental. Desde su punto de vista, la tecnología se percibe como un sistema, en lugar de una herramienta física específica. Se debate que la tecnología requiere de la explotación del ambiente a través de la creación y extracción de recursos, y la explotación de personas a través de la división social del trabajo y la especialización. No existe ninguna forma neutral de tecnología, ya que las cosas son siempre creadas en un contexto específico, con metas y funciones específicas. De manera que la tecnología verde es rechazada como un intento de reformar este sistema de explotación, simplemente cambiándolo en la superficie para que parezca ambientalmente amigable a pesar de los niveles insostenibles de explotación humana y natural.

Es cierto que diversos sectores de la sociedad tienden a realizar acciones para cuidar el medio ambiente y estarían dispuestos a utilizar las Tecnologías Ambientales, sin embargo, y a pesar de ello, aún existen muchos factores de diversa índole que impiden su implementación. Aunado a lo anterior, el desarrollo de la tecnología ambiental e innovación estarán sujetos a temas económicos, políticos, sociales y legales. Los factores que a continuación se mencionan, así como su descripción, fueron tomados a la letra del Informe de Vigilancia Tecnológica de la Comisión Europea realizado por Weber (2007). Se considera pertinente mencionarlos porque a pesar de que fueron descritos considerando las características de Europa, son casos muy similares a los que se enfrentan en México, que además es muy importante superarlos para el desarrollo en nuestro país. (Weber, 2007)

1. Factores tecnológicos

- “En algunas áreas faltan todavía sustancias alternativas que sustituyan algunos componentes peligrosos (p. Ej. plomo, mercurio, etc.).
- Es probable que las oportunidades más importantes aparezcan a raíz de los desarrollos en la industria de uso general (materiales, nanotecnología, biotecnología, TICs), pero estas oportunidades están sujetas a importantes incertidumbres.
- El cumplimiento de criterios de “rendimiento tecnológico”, conforme a ciertos requisitos económicos y estándares de diseño de procesos, todavía representa una barrera tecnológica crucial, a veces debido a la falta de estándares y de pruebas armonizadas.

- La creciente sofisticación y complejidad inherente a los sistemas de producción-consumo integrados plantea una barrera para la mejora de las características ambientales.
- Existe un escepticismo generalizado acerca del rendimiento de ciertas Tecnologías Ambientales, y por lo tanto, una cierta resistencia a la hora de invertir. Esto se debe, por una parte, a la incertidumbre general para invertir en nuevas tecnologías y, por otra, al intento de evitar engaños.” (Weber, 2007, p. 63)

2. Factores financieros

- “Los costos de investigación y desarrollo de las Tecnologías Ambientales son significativos y demasiado altos, sobre todo para las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (MiPYMEs).
- Adaptar los costos a los nuevos procesos ambientales más respetuosos con el medio ambiente puede salir caro, en concreto, debido a la incertidumbre sobre la aceptación del consumidor y la percepción de la calidad del producto.
- Los cálculos de los costos y los análisis de costo-beneficio a menudo no son lo suficientemente exhaustivos y omiten importantes elementos de costos y beneficios (p. ej. en lo referente a los costos de las operaciones enmascaradas de las tecnologías actuales). Esto puede aplicarse a nivel empresarial y también a una escala macroeconómica.
- La falta de entendimiento y la dificultad para predecir costos futuros de manera fiable (p. ej. en relación con la eliminación de residuos).
- Los requisitos de rentabilidad a corto plazo tienen como resultado una baja tolerancia con respecto a períodos más largos de compensación por las inversiones en la maquinaria.
- La falta de flexibilidad para la inversión del capital en el ámbito de las Tecnologías Ambientales se debe a un margen bajo de beneficio.
- Cuando otras empresas invierten menos en tecnología ambiental, algunas industrias dedicadas a la exportación temen una supuesta desventaja en la competitividad, también sucede esto en el contexto del intercambio de emisiones relacionado con el Protocolo de Kyoto.

- Las empresas están comprometidas de manera financiera (e incluso técnica) debido a inversiones recientes en otras tecnologías que son el núcleo de sus actividades principales y carecen de medios financieros.
- Las tendencias de capital arriesgado suelen ser escasas, y lo son incluso más cuando se trata de la inversión en las Tecnologías Ambientales.
- Las economías de escala impiden que las pequeñas empresas inviertan en las Tecnologías Ambientales (p. ej. en las tecnologías de recuperación interna).
- La inversión en modificaciones del procesamiento puede resultar inefectiva para las empresas antiguas; esto es un tema inherente en muchas empresas con importante inversión de capital.” (Weber, 2007, p. 64)

3. Factores relacionados con la mano de obra

- “Falta de personal encargado de la gestión ambiental, su control y su aplicación, así como para la realización de proyectos ambientales, para la gestión financiera, tecnológica y energética de bajo costo y no contaminante, y otros factores relacionados con la tecnología.
- Falta de conocimientos y competencias, como para el diseño y la gestión ambientales.
- Falta de formación especializada y educación secundaria y superior para prepararse en el ámbito del desarrollo y operación de la tecnología ambiental.
- Resistencia a emplear ingenieros con formación capaces de desarrollar y diseñar tecnologías acordes con los principios de diseño ambientales.
- Mayores requisitos de gestión como resultado de la aplicación de Tecnologías Ambientales más sofisticadas.” (Weber, 2007, p. 64)

4. Factores de organización y gestión

- “La falta de compromiso de gestión a un alto nivel todavía es un importante problema en muchas empresas, incluyendo las grandes. De hecho, las consideraciones ambientales continúan siendo un factor de segundo orden para la mayoría de ellas. Al mismo tiempo, el papel de la gestión a alto nivel es clave para conseguir un cambio hacia las Tecnologías Ambientales a nivel empresarial.

- La falta de conocimiento y concientización sobre el potencial de las Tecnologías Ambientales todavía es una barrera esencial para el avance de estas Tecnologías.
- La falta de cooperación en el ámbito de la ingeniería para acabar con la separación jerárquica de las áreas de responsabilidad (p. ej. los ingenieros de producción no cooperan con los ingenieros ambientales encargados de la producción y eliminación de sustancias peligrosas).
- La oposición y resistencia iniciales para introducir cambios en la empresa.
- La falta de educación, formación y motivación de los empleados para tomarse en serio los temas ambientales y la gestión (p. ej. en métodos adecuados de gestión interna o en la operación y mantenimiento de tecnologías de recuperación).
- La falta de supervisores competentes capaces de instruir y guiar a los empleados.” (Weber, 2007, p. 65)

5. Factores reguladores y políticos

- “La depreciación y los reglamentos de impuestos no representan un gran impedimento para las Tecnologías Ambientales, pero podrían emplearse para impulsar su puesta en marcha.
- La incertidumbre acerca de las futuras normatividades y objetivos ambientales contribuye a retrasar la inversión en las Tecnologías Ambientales. Esto se considera un tema fundamental, a pesar de algunas prácticas conocidas y favorables.
- Los enfoques reguladores del cumplimiento y la coordinación de los estándares normativos pueden tener más resultados en la inversión en tecnologías, “al final del proceso”, convencionales que en tecnologías de procesos integrados.
- Las subvenciones para las Tecnologías no-Ambientales (p. ej. tecnologías de energía convencional, carbón) impiden la transparencia de los costos sociales reales y dificultan la innovación y difusión de las Tecnologías Ambientales. Este es un punto muy importante en varios sectores industriales.
- La asunción de los costes externos de las tecnologías contaminantes en el ámbito interno es todavía insuficiente, pero podría convertirse en un gran impulso con el uso extendido de los instrumentos basados en el mercado (p. ej. peajes, intercambio de emisiones, etc.)

- La atención insuficiente a las consideraciones ambientales en las políticas públicas de abastecimiento.
- Las diferencias entre las normativas ambientales de países y regiones impide el establecimiento de un mercado mundial común de Tecnologías Ambientales.” (Weber, 2007, p. 65)

6. Factores relacionados con el usuario

- “Los productos estrictos impiden el uso de soluciones respetuosas con el medio ambiente en mayor medida que los requisitos de rendimiento (p. ej, para fines militares).
- El peligro de perder al cliente si las propiedades finales cambian ligeramente o si el producto no puede comercializarse durante algún período de tiempo.
- Los servicios y productos ambientales requieren una actitud y un comportamiento diferente por parte de los usuarios.
- Falta de voluntad por parte de los usuarios para aceptar los cambios necesarios (p. ej. reciclaje, movilidad, etc.).” (Weber, 2007, p. 66)

7. Factores relacionados con los proveedores

- “Falta de apoyo en el suministro, en términos de publicidad del producto, buen servicio de mantenimiento, avanzada experiencia en ajustes de proceso, etc.
- Avance hacia el servicio en lugar de la distribución del producto, lo que requiere nuevos conceptos de organización y de negocios para los proveedores.
- Recursos renovables disponibles de manera intermitente (estacional, diaria, etc) que necesitan ser distribuidos de manera continua.” (Weber, 2007, p. 66)

8. Factores sistemáticos

- “La falta de cooperación entre los usuarios y los proveedores debido a intereses organizativos conflictivos podría superarse por medio del establecimiento de organizaciones interfaz.
- Las tasas de interés están siendo cada vez más importantes en los complejos sistemas de producción y consumo, otorgando prioridad a asuntos de temporización para la innovación y la política (“ventana de oportunidades”).

- Los problemas de coordinación para asegurar la realización de las estrategias transitorias colectivas a largo plazo plantean nuevos retos para gobernar y hacer política, sobre todo para la coordinación política vertical y horizontal.” (Weber, 2007, p. 67)

Los factores antes mencionados intervienen definitivamente de manera positiva o posiblemente negativa para que sea viable la aplicación de las Tecnologías Ambientales, dependiendo de cómo se aborden e interpreten. Muchos de ellos si se atacan de forma positiva, servirían para promocionar y mejorar dicho tipo de tecnologías.

1.3 Tecnología ambiental, sociedad y cultura en México

En la actualidad el tema ambiental ha generado gran interés por diversas razones. Es responsabilidad de cada uno de nosotros cuidar el planeta en el que vivimos, y el cual nos ofrece todos los recursos indispensables para poder vivir, sin ellos, simplemente no habría vida. Debemos ser conscientes de todas las actividades que realizamos, ser inteligentes y evitar dañar el medio ambiente.

Durante el proceso de investigación se logró percibir que una importante cantidad de personas no cuenta con el hábito de cuidar el lugar en el que se desenvuelve antes de realizar alguna actividad que lo pueda perjudicar. De igual manera no cuenta con la información suficiente y adecuada que le haga consciente del daño que pueden generar diversas actividades que realiza cotidianamente; y mucho menos conocen el concepto de “Tecnología Ambiental”, un término nuevo para gran parte de la sociedad.

Actualmente, aún existe un gran número de personas en México que tienen la idea de que el bambú es una planta de origen asiático que sirve de ornato o que la utilizan comunidades de bajos recursos para construir chozas, corrales y algunos muebles. La información que tienen es escasa y desconocen sobre todo los beneficios que ofrece esta gramínea y la gran cantidad de aplicaciones que hoy en día presenta en diversos países del mundo. Hoy en día, el bambú es utilizado en nuestro país principalmente como planta de ornato, como materia prima para la elaboración de artesanías, algunos utensilios domésticos, muebles rústicos o en la construcción de cabañas y corrales. Hace falta difundir sus distintos orígenes, todos los

beneficios ambientales que ofrece, así como sus características y ventajas como material para la elaboración de diversos artículos y sus posibilidades en aplicaciones en la producción de textiles, medicamentos, combustibles, suplementos para la salud, etcétera.

De la misma forma, prácticamente aún no se conoce la presentación de los Tableros de Bambú Laminado, tema principal de esta investigación, los cuales se convierten en una excelente Tecnología Ambiental que nos permite ampliar el abanico de aplicaciones en diversas áreas. Actualmente, el bambú no es reconocido en muchos sectores de la sociedad, incluyendo personas del campo que desean sembrar otro tipo de cultivo en zonas donde crece el bambú de forma silvestre, convirtiéndose para ellos en una planta desagradable, difícil de eliminar, considerándola como una “Plaga”, a decir de un campesino del rancho “El Fresnal”, ubicado en el municipio de Tuxpanguillo, Veracruz (H. Gutiérrez, entrevista personal, junio de 2011); “en 2010 representantes de la Red Internacional del Bambú afirmaron que el bambú en México es una Plaga” (Bambumex, 2014). De la misma forma, en otros grupos sociales aún se tiene la creencia de que es un material para “los pobres”, o el estilo rustico característico de muebles y artesanías fabricadas en México no es del gusto de muchos otros. Sin embargo, cuando se enteran acerca de las 40 especies nativas de bambú que existen en México y conocen su origen, sus múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos, las nuevas posibilidades de usos y la innovadora presentación como tablero laminado, la percepción cambia y se muestran interesados en su uso.

Hoy en día podemos encontrar diversos artículos en tiendas departamentales y de autoservicio elaborados en otros países, principalmente asiáticos, que son bien recibidos por el pequeño sector de la población que tiene acceso a ellos (por los altos precios con que se venden y los comercios que los distribuyen), en virtud de que éstos cuentan con diseños innovadores y vanguardistas que modifican el estilo rustico que caracteriza al bambú, pues son fabricados con tableros laminados de bambú que ofrecen propiedades y estilos novedosos, estéticos y funcionales, características que generan mayor y mejor aceptación de los productos de bambú en la sociedad mexicana.

Referente a la parte socioeconómica, el bambú tiene un fuerte potencial tanto en México, como para su exportación a países europeos y americanos. Jheny Prado (2012, p. 9) menciona que “Estados Unidos es considerado uno de los mayores mercados mundiales para el bambú. Sin embargo, este mercado es dominado casi en su totalidad por China... En 2011,

sólo hasta el mes de noviembre, EE.UU. importó \$ 3,945.49 millones. Su principal proveedor fue China, el cual vendió un total de \$ 3,564.81 millones, seguido por Taiwan \$ 116.97 millones, Tailandia \$ 60.54 millones, e Indonesia con \$ 47.73 millones”.

La expansión de los mercados occidentales de bambú es cada vez mayor. Si a ello sumamos la nueva presentación en Tableros Laminados, con los que se genera una importante gama de posibilidades de aplicación, seguramente el mercado tanto nacional como internacional se podría multiplicar.

1.4. Materiales verdes y el bambú

1.2.1. Materiales Verdes

Un material verde o ecológico se considera, en este proyecto, como toda materia prima o producto elaborado o semielaborado de origen natural, y que es empleado en un proceso de producción o para un fin determinado, además de no provocar ningún impacto ambiental negativo. Esto es, que a diferencia de cualquier otro material, no daña el medio ambiente, no contamina, es un recurso natural renovable, es biodegradable o reutilizable, e inclusive, puede contribuir a mejorar los ecosistemas, mantos freáticos, los suelos, el clima, el aire, etc. Un ejemplo de un material que cuenta con todas estas atribuciones es el bambú. En la siguiente imagen (Imagen 6) tenemos un ejemplar de una especie de bambú introducida que se ha adaptado muy bien al clima y suelos mexicanos, y que cuenta con las características necesarias para poder ser utilizado en una gran diversidad de aplicaciones, entre las que podemos encontrar la elaboración de tableros y laminados.

1.2.2 El bambú

Una nueva era para el bambú ha comenzado, ahora como materia prima para la elaboración de una gran cantidad de artículos con aspecto y tecnología innovadora, dando un giro de 180° al concepto que se tenía de esta planta como material para uso de grupos sociales marginados y la elaboración de productos de estilo rústico como muebles y artesanías.

Imagen 6. Especie del género Dendrocalamus.

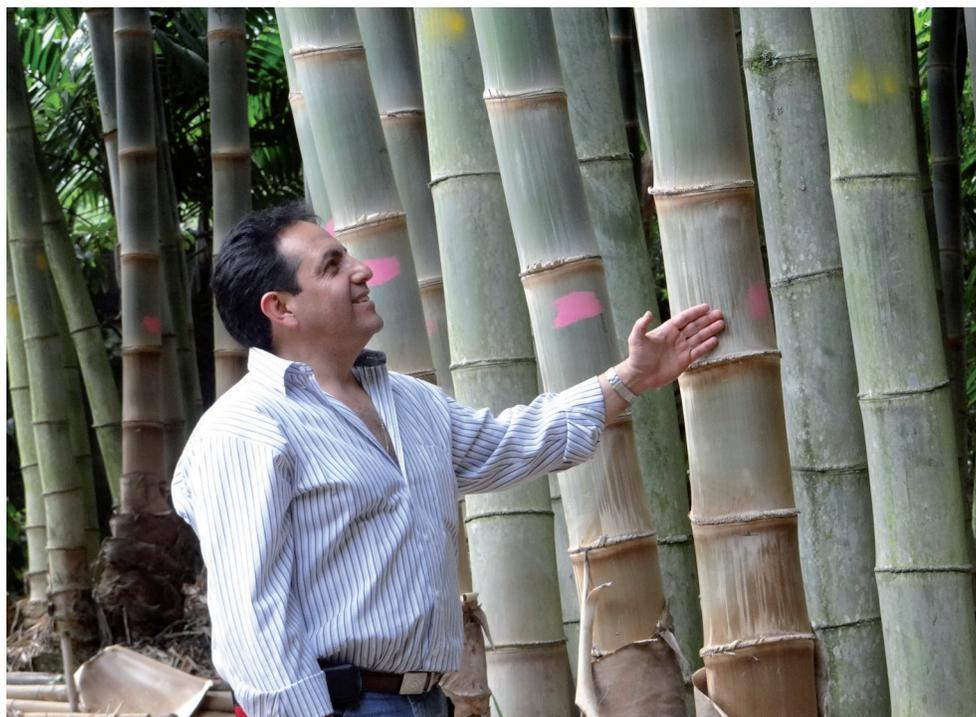


Imagen 7. Zapatos y calcetines elaborados con bambú.



En la actualidad, en otros países el bambú es utilizado para la elaboración de artículos como tela, papel, carbón vegetal, laminados y tableros para la construcción de diversos objetos, también se aprovecha en la industria farmacéutica y como alimento, tanto para consumo humano como para animales, además ofrece múltiples beneficios ecológicos, sociales y económicos, como lo veremos en el transcurso de este apartado. (Imagen 7)

1.2.2.1. Qué es el bambú

En repetidas ocasiones escuchamos hablar de la madera de bambú, o especies de bambú maderables, también de muebles de madera de bambú, o que podemos obtener buena madera de bambú, o inclusive se llega hablar del árbol de bambú, lo cual es un error, ya que el bambú no es un árbol, y el material sólido y fibroso que nos ofrece no es madera, simplemente porque la madera es la: “parte sólida de los árboles cubierta por la corteza”, (Diccionario de la Real Academia Española y Diccionario de la Lengua Española), además a diferencia del árbol, el bambú es una planta gramínea, perene, monocotiledónea que puede llegar a tener una altura de 30 m, y hasta un diámetro de 25 cm, dependiendo de la especie, las condiciones bioclimáticas y el tipo de suelo. Es una de las plantas que cuentan con la mayor velocidad de crecimiento, ya que logra crecer hasta 20 cm de altura en tan sólo 24 hrs. Incluso algunos autores comentan que se puede observar cómo está creciendo el culmo o tallo del bambú. (Imagen 14). Es necesario ver al bambú por lo que es y no debemos restarle importancia como planta, y mucho menos como material, ya que nos ofrece grandes beneficios y características propias, en muchas ocasiones similares a las de la madera, pero preservando sus diferencias y propiedades como planta y como material, pues esta característica le permite funcionar mejor que la madera para algunas aplicaciones, sin demeritar las grandes virtudes y ventajas que presenta esta última y que ha dado múltiples beneficios al medio ambiente y al ser humano, simplemente es necesario reconocer y separar las características que presenta cada una de estas plantas, y cada uno de los materiales que obtenemos de ellas para darles la importancia y aplicación que les corresponde. El bambú es bambú y la madera es madera.

Si comparamos la velocidad de crecimiento del bambú con la de un árbol de crecimiento rápido, el primero en tan sólo 4-5 años llega a su madurez y alcanza su mayor tamaño y resistencia (Imagen 8), se le puede cosechar para su uso estructural, pero puede ser aprove-

Imagen 8. La *Guadua angustifolia* alcanza hasta 25m de altura.



chado desde sus brotes para alimento. A diferencia de un árbol de pino que requiere entre 25 y 30 años para su aprovechamiento como madera.

Se puede contar con una densidad por hectárea de entre 3000 y 4500 culmos en promedio, ya que también dependerá de la especie, de la precipitación y del tipo y nutrientes del suelo.

El bambú es una gramínea común en el continente americano. Se encuentran registros de bambúes nativos en casi todos los países de América, con excepción de Canadá. Por su rápido crecimiento, gran versatilidad y resistencia ha sido de gran utilidad para el humano a lo largo de su historia.

Los bambúes son plantas extremadamente diversas y económicamente importantes que crecen en regiones tropicales y templadas de Asia, África, Australia y América. Se conocen como las gramíneas más grandes del mundo y se distinguen del resto por ser una planta perenne, los rizomas bien desarrollados, los culmos casi siempre lignificados y fuertes y las hojas pecioladas (Soderstrom, 1987).

En el mundo existen entre 101 y 118 géneros y alrededor de 1400 especies (1290 especies leñosas y 110 especies herbáceas), que se distribuyen desde Japón hasta Chile, y desde el nivel del mar hasta los 4300 metros de altura, reportada en los Andes ecuatoriales en la formación conocida como Páramo. Los bambúes prefieren los hábitats húmedos de las selvas nubladas y selvas bajas tropicales, aunque algunos crecen en hábitats secos.

Son plantas con una gran diversidad morfológica: las hay con altura de pocos centímetros y tallos herbáceos, hasta bambúes de gran altura con culmos gruesos y leñosos.

En América, existen 41 géneros y 473 especies, aproximadamente la tercera parte de la diversidad mundial, los cuales se distribuyen desde los Estados Unidos hasta el sur de Chile.

Brasil es el país americano que cuenta con una mayor variedad, encontramos 22 géneros y 202 especies, de las cuales 137 son bambúes leñosos y 65 son herbáceos, esto es, casi 48% de todos los géneros americanos, cuatro de los cuales son propios de la región. Le sigue en diversidad la cordillera de los Andes, desde Venezuela hasta Bolivia, y la parte sur de Mesoamérica. Colombia le sigue a Brasil en diversidad de especies, con 92 (70 leñosos y 22 herbáceos), sigue Venezuela con 81 especies (60 leñosos y 21 herbáceos), Ecuador con 50 especies (42 leñosas y 8 herbáceas), Costa Rica con 47 especies (39 leñosos y 8 herbáceos), y México con 41 especies (37 leñosas y 4 herbáceas).

Debido a su naturaleza especializada, y a su floración infrecuente, se le ha dado mucha importancia a estructuras morfológicas tales como raíces, rizoma, culmo, ramas, hojas, flores y frutos.

Por ello es importante mencionar y analizar todas sus partes, ya que cada una de ellas presenta una característica especial que hace de la planta una creación casi perfecta de la naturaleza y que podemos aprovechar prácticamente en su totalidad. A continuación se hace una descripción morfológica, haciendo referencia al empleo de cada parte que lo compone. (Imagen 9)

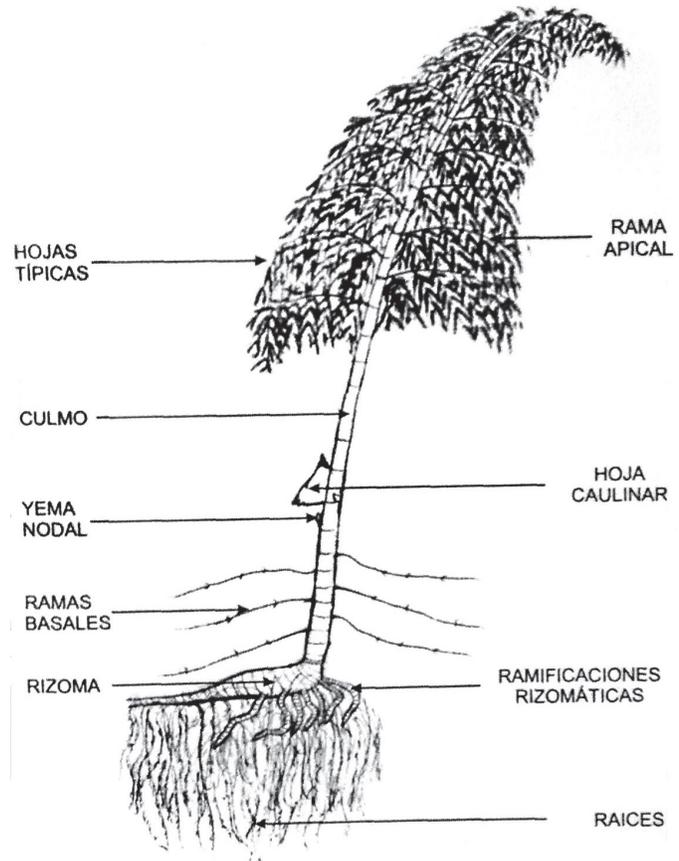
1. Raíces. Es la estructura más externa que podemos encontrar en el sistema de anclaje de la planta. Brotan de forma individual del rizoma y tienen un radio promedio de 5 mm, llegando a crecer a lo largo hasta 5 m. Su función principal es la captación de agua y nutrientes, los cuales se almacenan en gran porcentaje en el rizoma, junto con el cual forma el sistema que fija la planta al piso. Jóvenes son suculentas en la alimentación.

2. Rizoma. El tallo del bambú lo dividimos en dos partes: el rizoma y el culmo. El rizoma es la parte más basal que se especializa en la producción de raíces y el almacenamiento de agua y nutrientes. Es un eje segmentado típicamente subterráneo que constituye el sistema de anclaje de la planta junto con las raíces, y juega un papel importante en la estabilidad del culmo. Su desarrollo va conformando una especie de red, la cual va amarrando y fortaleciendo el suelo a la orilla de ríos y carreteras, por lo que es un excelente recurso para la preservación del suelo y controlar la erosión que se genera por escurrimientos, vientos fuertes o desmoronamientos, auxiliando de igual manera a estabilizar las laderas, entre otras cosas. La *Guadua angustifolia* Kunth, una de las principales especies oriundas del sur de América, estructura una red menos densa que permite también un mejor paso del agua.

Además del papel ecológico, los rizomas pueden ser utilizados para la elaboración de artesanías. En países de América Latina como Colombia y Ecuador los rizomas de *Guadua angustifolia* se utilizan en la fabricación de muebles en general. En Asia se utilizan para hacer esculturas, y el rizoma de *Dendrocalamus hamiltonii* es utilizado para imitar el cuerno de un rinoceronte y se vende como fetiche a precios descomunales (Liese, 1985).

3. Culmo. Es el eje aéreo segmentado que emerge del rizoma. Generalmente una vez que brota del suelo lo hace con el diámetro máximo y va disminuyendo conforme la altura. Puede llegar a medir hasta 30 m de altura por 25 cm de diámetro. Se divide en tres partes principales: cuello, nudos y entrenudos. Se le denomina cuello a la parte de unión entre el rizoma y

Imagen 9. Órganos vegetativos de una planta adulta de *Guadua angustifolia*.



Fuente: Hormilson Cruz Ríos. Libro: *Bambú Guadua*, (2009).

el culmo; nudo, a los puntos de unión de los entrenudos; y entrenudo, a la porción del culmo comprendida entre dos nudos. Los nudos son la parte más resistente del culmo y pueden ser huecos como en la mayoría de las especies, o sólidos como en *Chusquea* y en algunas especies de *Merostachys* y *Guadua*; o también pueden ser totalmente cilíndricos como en *Merostachys* y *Elytrostachys*.

Con relación al hábito de los culmos, los bambúes se pueden agrupar en: a) estrictamente erectos, b) erectos, pero arqueados en la punta, c) estrictamente escandentes y trepadores, y d) erectos en la base y escandentes en la parte superior.

El culmo es la porción más útil de un bambú y de acuerdo a su estado de madurez tienen diferentes usos:

Brotos nuevos o renuevos: en América no se acostumbra el consumo de los brotes de bambú como alimento. En los países Asiáticos, especialmente en China, Taiwan, Japón y Tailandia, los renuevos se consumen frescos, secos, ahumados o en encurtidos, y se venden generalmente enlatados en salmuera. Países como China, Tailandia y Taiwan producen grandes cantidades de estos brotes, tanto para consumo interno como para exportar a Japón, a países del Sudeste Asiático, América y Europa. En China, en la ciudad de Anji, se realiza la fabricación de cerveza a base de renuevos de bambú.

Culmos jóvenes: se utilizan principalmente para la elaboración de canastos y esteras. En Colombia, en los departamentos de Cundinamarca y Quindío, se ha reportado el uso de culmos jóvenes de *Guadua angustifolia* para la fabricación de canastos rústicos y artesanías.

Culmos maduros: se encuentran reportados más de mil usos, los más importantes son como material de construcción (vivienda, puentes, etc.), en las labores agropecuarias (corrales, cercos, etc.), en la fabricación de muebles y artesanías, en la producción de carbón vegetal, de textiles, de pulpa para papel y de productos industrializados tales como paneles, aglomerados, y pisos.

Culmos secos: se utilizan como material de combustión en los fogones domésticos, en los trapiches paneleros y en las fábricas de ladrillo.

4. Yema. Está siempre protegida por un profilo; puede ser activa o inactiva, de carácter vegetativo o reproductivo. En el culmo, las yemas se localizan por encima de la línea nodal y en posición distal; rompen su inactividad generalmente cuando el culmo ha completado el creci-

miento apical. Ayudan a identificar especies, secciones y géneros. También cumplen un papel muy importante en el campo de la biotecnología para la propagación “in vitro”.

5. Complemento de ramas. Las ramas se originan en la línea nodal, por encima de ésta o sobre un promontorio. Su número y organización varían mucho. Puede haber desde una, hasta más de 100 ramas por nudo, dispuestas en forma de abanico. Son muy importantes por que sostienen el follaje, estructura básica para los procesos fisiológicos en el proceso fotosintético (fotosíntesis, respiración, etc.). Las ramas secas se utilizan en las labores agrícolas como soporte para cultivos de frijol, arveja, habichuela y tomate a pequeña escala. También se utilizan para la fabricación de escobas. Las ramas apicales del culmo, que generalmente se desperdician en los manejos silviculturales, tienen alto contenido de fibra y pueden ser aprovechadas en la fabricación de papel y de paneles (Liese, 1985).

6. Hoja caulinar. Es una hoja modificada que protege el culmo desde el momento en que emerge hasta sus seis primeros meses de crecimiento. La hoja caulinar nace en cada nudo del culmo y tiene como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje. Se utilizan para la fabricación de objetos artesanales y como elemento decorativo. Tienen un carácter diagnóstico importante a nivel de especies, secciones y géneros. En la actualidad también se está utilizando para la fabricación de platos desechables.

7. Follaje. Es la principal fuente de elaboración de alimento en la planta. En la mayoría de las gramíneas la hoja está constituida por vaina, lámina, y apéndices como aurículas y fimbrias. Es importante en los estudios taxonómicos, sobre todo a nivel anatómico. En los Andes Americanos, el follaje de *Aulonemia* y de *Chusquea* es utilizado por los campesinos de la sierra para alimentar conejos y las hojas de *Neurolepis* se utilizan para techar las cabañas en los páramos (Londoño, 1990b).

8. Flores. Ocurre cuando todos los miembros de una generación determinada, con un origen común, entran a la etapa reproductiva aproximadamente al mismo tiempo. En este tipo de floración todos los culmos de una especie florecen al mismo tiempo independiente de su edad y del lugar en que se encuentren.

9. Fruto. La forma y tamaño del embrión y la del hilum son muy significativos y sirven para distinguir grupos mayores dentro de las gramíneas y ayudan a delimitar taxonómicamente a la subfamilia Bambusoideae. Se utilizan principalmente como fuente alimenticia. Los cariopsis secos de muchas especies, ricos en almidón, son consumidos en África y en Asia, así como los

frutos carnosos de *Melocanna baccifera* en India. En América, únicamente los frutos carnosos de *Guadua sarcocarpa* se han reportado como fuente de alimento para las comunidades Machiguengas de Perú y Brasil (Londoño & Peterson, 1991).

La diversidad de formas hace del bambú un elemento ideal en la ornamentación y el embellecimiento del paisaje, además de que juegan un papel muy importante como barreras rompe-vientos.

El bambú tiene aplicación desde que cumple los primeros 20 o 30 días de edad, los cogollos tiernos son, en muchos de los países productores, parte de la alimentación humana. Los tallos de entre 6 meses y un año de edad suelen emplearse en la elaboración de canastos, esteras y otro tipo de tejidos; entre los 2 y 3 años se utilizan en la elaboración de tableros de esterilla, latas y cables hechos con cintas de bambú. Los tallos maduros o sazonados, es decir los de 3 años o más se emplean ya en la construcción de todo tipo de estructuras y en la fabricación de pulpa y papel. Entre los 4 y 8 años se emplean en la elaboración de productos que van a ser sometidos a un fuerte desgaste, por ejemplo baldosas para pisos. (Prado, 2012, p. 27)

1.2.2.2. Especies en México

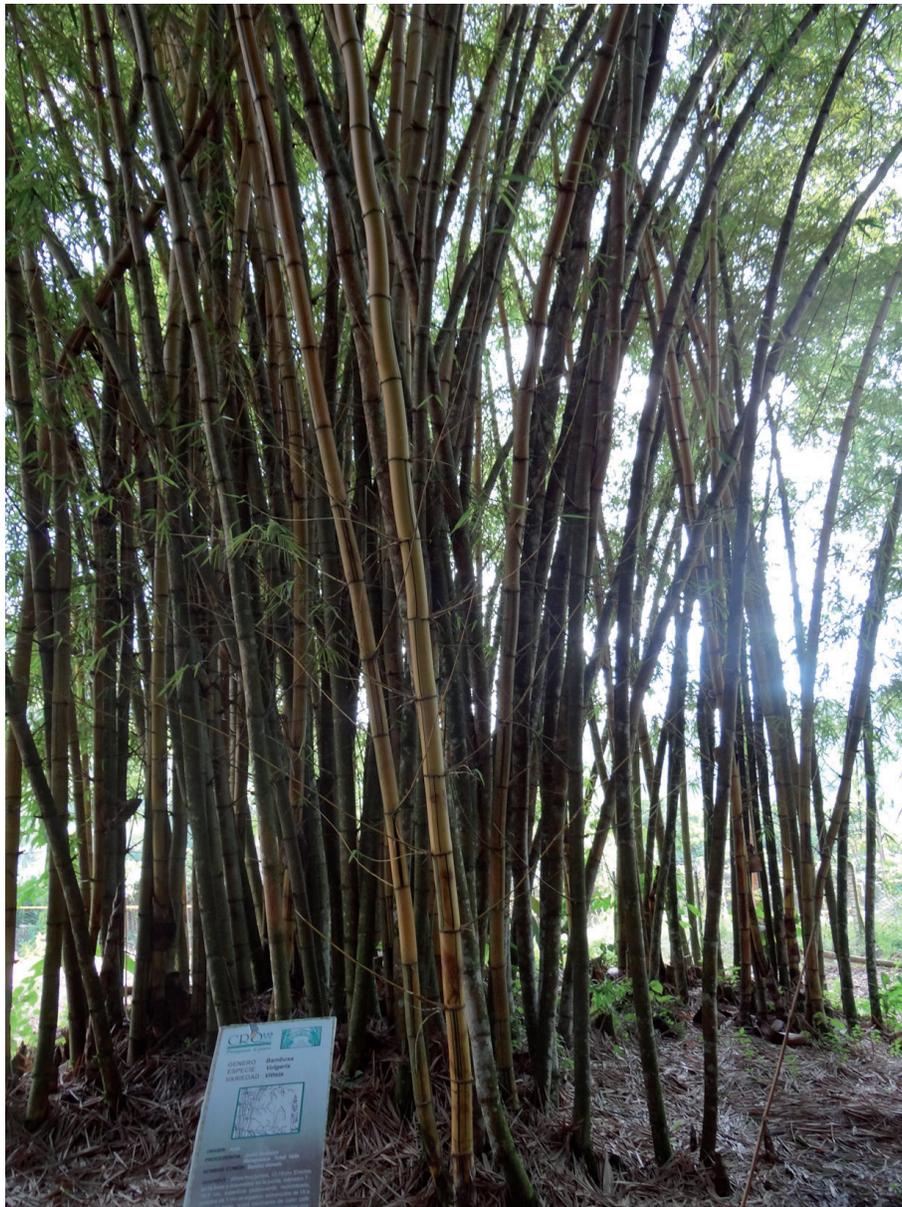
Como ya se ha mencionado, en nuestro país existen 8 géneros y alrededor de 35 especies de bambúes leñosos y 3 géneros con aproximadamente 4 especies de bambúes herbáceos, mismos que habitan principalmente en los estados del sureste (Cruz, 2009), entre los que se encuentran Chiapas, Tabasco, Campeche, Veracruz, Puebla y Guerrero. Existen especies monopodiales y simpodiales. Cabe mencionar que es posible encontrar aún más especies que no han sido descubiertas, y otras que no se han identificado debido, en gran parte, a la falta de investigaciones. En este apartado se mencionan las especies más conocidas y utilizadas en la República Mexicana, tanto nativas como introducidas.

a) *Bambusa vulgaris* Vittata

También conocido como Bambú Amarillo. Es de origen asiático y muy apreciado en todo el mundo, utilizado principalmente como planta ornamental.

Es un bambú simpodial con tallos rectos en la parte basal y un tanto arqueados en la parte apical. Sus culmos llegan a alcanzar una altura hasta de 18 m con diámetros de 5 hasta 10 cm. Se desarrolla mejor en suelos arenosos, franco arcillosos, arcillosos y limosos. Soporta temperaturas hasta de -3°C , aunque su desarrollo es mejor entre los 20 y 30°C . (Imagen 10)

Imagen 10. *Bambusa vulgaris* Vittata. CRQ Colombia.



Sus usos más frecuentes son en la artesanía, planta de ornato, tutores y obtención de celulosa, entre otros.

b) *Bambusa multiplex*

Otra especie del mismo género que la anterior. También conocido como bambú para cerco, bambú chino o enano. De origen asiático, y se cuenta con algunos cultivos en México.

Es una gramínea simpodial de culmo recto y delgado en la parte basal, un tanto arqueado en la punta. (Imagen 11)

Imagen 11. *Bambusa multiplex*. CRQ Colombia.



Sus culmos no son muy altos, pueden llegar a medir hasta 7 m con diámetros cercanos a los 2 cm y se utiliza como planta ornamental, muy común para elaborar cercos y artesanías. Es una especie propia para la obtención de fibra y celulosa.

c) *Phyllostachys bambusoide*

También conocido como “Madake”, originario de China. Es un bambú monopodial, con culmos cercanos a los 15 m de altura y de 10 a 12 cm de diámetro (Imagen 12). Es utilizado principalmen-

te para estructuras, en la decoración, artesanías y elaboración de muebles. Se caracteriza por ser una de las pocas especies que se puede doblar en verde con aplicación de calor. Sus brotes se aprovechan como alimento.

Por sus características y su forma es una de las principales especies utilizadas en nuestro país para la fabricación de muebles, ya que encaja perfectamente con la forma clásica del bambú, con nudos que sobresalen, fuertes, y a su vez flexibles al aplicarle calor.

Imagen 12. *Phyllostachys bambusoide* (Madake).



d) *Phyllostachys nigra*

También de origen chino, otro bambú monopodial. Pueden ser especies invasoras muy difíciles de erradicar una vez que se amarran al suelo, ya que sus fuertes raíces viajan y se desarrollan por todo el suelo con espacio abierto.

Los culmos jóvenes son de color verde que se tornan negros después de un año. Puede llegar a crecer hasta seis metros de altura y tener diámetros hasta de 4 cm.

Se utiliza como planta ornamental, elaboración de artesanías, sus culmos delgados, pero resistentes, se aprovechan para fabricar varas de pescar, bastones e instrumentos musicales.

e) *Phyllostachys aurea*

También conocido como Bambú plumoso, originario de la parte sur de China y de Japón. Cada tallo madura en un tiempo entre 3 y 5 años. Es monopodial con culmos rectos de entre 2 y 12 m de altura, 2 a 6 cm de diámetro, 4 a 6 mm de espesor. Se desarrolla desde 0 hasta 2000 m.s.n.m. y tolera temperaturas desde -10°C hasta -18°C. Prefiere suelos arenosos bien drenados.

Se utiliza como planta ornamental, artesanía, cañas de pescar, mangos para sombrillas, tutor para cultivos débiles etcétera (Imagen 13).

Imagen 13. *Phyllostachys aurea*.



f) *Dendrocalamus giganteus*

Originario de Asia y como su nombre lo indica es uno de los bambúes más grandes del mundo, es capaz de alcanzar alturas de 35 m y diámetros de 30 cm con paredes gruesas que llegan a

los 25 mm. Sus entrenudos miden alrededor de 40 cm de largo. Considerado como el bambú más alto del mundo. (Imagen 14)

Imagen 14. *Dendrocalamus giganteus*.



Es uno de los bambúes más versátiles y con una gran cantidad de aplicaciones. Se puede utilizar en la construcción, producción de papel, andamios, jarrones, artesanías, muebles, inclusive brotes para alimento, entre muchos otros usos. Cabe mencionar que es una de las especies con mayor rendimiento para obtener latas o reglillas para la elaboración de tableros laminados, sin embargo es una especie que tiene poco tiempo de cultivarse en nuestro país, lo que hace que el material tenga un precio alto en comparación con las especies que tienen mayor tiempo de producirse. La empresa Bambuver, A. C., es una de las pioneras en cultivar esta especie.

g) *Dendrocalamus strictus*

Nativo del sureste de Asia y de la India, también conocido como Bambú Macho, Bambú sólido o Bambú de Calcuta. Con dimensiones notablemente menores al anterior a pesar de ser del

Imagen 15. *Dendrocalamus strictus*.



mismo género, puede llegar a los 20 m de altura con culmos de 8 cm de diámetro y llega a resistir hasta -5°C . (Imagen 15)

Muy similar al giganteus en sus aplicaciones, pues también es muy versátil y se utiliza en la producción de muebles, en la construcción, muy requerido para la producción de papel; sus brotes son comestibles, se utiliza en el diseño de instrumentos musicales, para la elaboración de tableros laminados, cestos, herramientas, utensilios para cocina y el hogar, en general, también con aplicaciones en la industria farmacéutica.

h) *Dendrocalamus asper*

Muy similar en tamaño al *D. Giganteus*, pero con paredes ligeramente más delgadas, sin embargo también se le conoce como Bambú Gigante, ya que llega a alcanzar 30 m de altura, con culmos cercanos a los 20 cm de diámetro y espesores alrededor de los 20 mm. Este

género cuenta con gran cantidad de follaje, entre ramas y hojas, que generan gran cantidad de biomasa. (Imagen 16)

En cuanto a sus aplicaciones, son muy similares a las de sus hermanos, pero sobresale la aplicación en la construcción por sus gran resistencia en su forma rolliza, además produce brotes dulces muy apreciados como alimento. Se utiliza en la construcción de puentes, en la elaboración de tableros laminados, muebles, artesanías, elaboración de palillos, también como tubos para trasladar agua o como contenedores, e incluso puede ser torneado y darle formas diversas para crear floreros u otras aplicaciones decorativas.

i) *Olmecca recta*

Una de las especies endémicas de México, también conocida como “Jimba”. Llega a tener longitudes de 8 a 10 m, con culmos delgados cercanos a los 5 cm. Se encuentra en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, desde los 0 hasta los 800 m sobre el nivel del mar. (Imagen 17)

Se utiliza principalmente en la cestería y en la construcción.

Imagen 16. *Dendrocalamus asper*.



Imagen 17. *Olmeca recta*.



Fuente: Ing. Maurino Hernández Chacón. Bambuver.

j) Otatea acuminata

Otra especie endémica de México, también conocida como el verdadero “Otate”. Es un bambú pequeño, simpodial, que llega a los 5 m de longitud, con culmos entre 20 y 25 mm de diámetro, con paredes gruesas, casi sólidas. Localizado en los estados de Oaxaca, Guerrero, Veracruz, Chiapas, Puebla, Campeche, Mérida y Quintana Roo. (Imagen 18)

Imagen 18. *Otatea acuminata*.



Fuente: Ing. Maurino Hernández Chacón. Bambuver.

Se utiliza principalmente en la elaboración de artesanías, como planta ornamental, tutores en la agricultura, cestería, pérgolas, decoración de techos, muros y barrotes para barandales.

k) Guadua amplexifolia

Es un bambú simpodial nativo de nuestro país, también conocido como “Caña vaquera”. De culmos rectos en la parte basal y arqueados en la parte apical, con longitud de 12 a 15 m y diámetros de 5 a 10 cm. (Imagen 19)

Es utilizada principalmente como tutor en la agricultura, y en la obtención de celulosa, carbón vegetal activado, como combustible y en la construcción como puntales para cimbra.

Imagen 19. *Guadua amplexifolia*.



1.2.2.3. Mejores especies para laminar

En México contamos con diversas especies de bambú, cada una de las cuales, como ya vimos, presenta características específicas que las hacen aptas para diferentes aplicaciones. No obstante, para la elaboración de tableros se requieren especies de bambú con características especiales. De preferencia deben ser fibrosas para contar con mayor resistencia a la tensión, compresión, a la flexión y a la fuerza cortante, así como contar con alto grado de elasticidad. Así mismo, es conveniente que sean de culmos grandes y diámetros gruesos con el fin de obtener mayor número de reglillas de gran tamaño. Y deberán ser de paredes gruesas para contar con mayor cantidad de material para utilizar menos reglillas en la elaboración de cada tablero.

En México contamos con tres especies que tienen estas características, una de ellas, la *Guadua aculeata*, es originaria de nuestro país y dos especies que son introducidas, pero que

se han adaptado muy bien a diversos climas y suelos de la República Mexicana, principalmente a aquellos donde crece el bambú de forma natural, tal es el caso de la *Guadua angustifolia*, de la que algunos autores mencionan que hay crecimiento nativo en nuestro país, y la *Bambusa oldhamii*, que a pesar de no ser del género *Guadua* cuenta con dimensiones y características similares.

La *Guadua aculeata*

Es un bambú fibroso, conocido comúnmente como “Tarro”, presenta las dimensiones más grandes de las especies nativas de México, además de contar con las características necesarias para poder ser utilizado en la elaboración de tableros de bambú laminado, sin embargo, a diferencia de las otras dos especies sus culmos no son totalmente rectos y secos, tienden a abrirse más fácilmente. (Imagen 20)

Imagen 20. *Guadua aculeata*.



La podemos encontrar principalmente en los estados de Veracruz, Puebla, Tabasco, Oaxaca y Chiapas, donde ya existen plantaciones comerciales y es utilizada en las áreas de arquitectura, artesanías y, muy ocasionalmente, para muebles. Puede tener una altura de alrededor de 20 m, con diámetros de hasta 20 cm en su parte basal con paredes gruesas de espesor, entre 10 y 20 mm.

En el campo de la construcción, la guadua es el bambú más sobresaliente en altura, resistencia, funcionalidad y alta durabilidad.

La *Guadua* se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2800 msnm, pero es mucho más abundante y diversa en elevaciones por debajo de los 1500 msnm; crece

en diversos ecosistemas incluyendo la selva húmeda tropical, el bosque montañoso bajo, las sabanas, los cerrados, los bosques de galería y los valles interandinos, sin embargo, se puede considerar un género amazónico, con 45% de sus especies habitando la cuenca Amazónica y la Orinoquía (Londoño, 2004).

Los bambúes de crecimiento rápido son un factor clave en la recuperación de los bosques y captan una importante cantidad de carbono, por lo que bien pudieran ser considerados en el Protocolo de Kioto.

El género *Guadua* sobresale entre los bambúes leñosos por su importancia social, económica y cultural; su uso se remonta a épocas precolombinas. Reúne las especies con mayor potencial de desarrollo industrial en América como es el caso de *Guadua angustifolia*.

Esta especie además de ser de las principales que se desarrollan en el sur de América, es la más aprovechada y la que presenta mejores características físicas para la arquitectura y, hoy en día, para la elaboración de tableros laminados.

La *Guadua angustifolia*

El género *Guadua* fue establecido en 1822 por el botánico alemán Karl Sigismund Kunth, quien utilizó el vocablo indígena *guadua* empleado por los indígenas de Colombia y Ecuador, e incorporando material botánico recolectado por Humbolt y Bonpland en su viaje a América Equinoccial a comienzos del siglo XIX. (Imagen 21)

Se describe como una planta pionera y como un refuerzo de la reforestación, especialmente como elemento clave en la preparación de los suelos y la gestión del agua para la sucesión natural de los árboles endémicos. Sus cualidades anatómicas y fisiológicas se exponen y se colocan en función simbiótica de la recuperación de la selva tropical después del impacto natural o antropogénico.

La *guadua* es una planta pionera excelente para el establecimiento de corredores biológicos (Stamm, 2004).

Este género reúne aproximadamente 30 especies que se distribuyen desde San Luis Potosí, México (*G. velutina*), hasta Argentina (*G. trinitii*). Crece naturalmente en todos los países de América Latina, con excepción de Chile y las Islas del Caribe, sin embargo, en la región del Caribe la especie *Guadua angustifolia* ha sido introducida a islas como Puerto Rico, Cuba, Haití y Trinidad.

Imagen 21. Culmos *Guadua angustifolia*.



En especial la *G. angustifolia* presenta una extraordinaria capacidad de fijación de biomasa, y se estudia su contribución histórica para detener el rápido cambio climático (segunda ola de la “Pequeña Edad de Hielo”: 1550 a 1850). *Guadua*, como pionero en los bosques secundarios, actuó en el pasado como sumidero de CO_2 .

En la investigación denominada “El Almacenamiento de CO_2 Atmosférico, un Servicio Ambiental Prestado por los Suelos Bajo Rodales de *Guadua angustifolia* Kunth en el Eje Cafetero de Colombia” se estimó el contenido de carbono en suelos bajo rodales de *Guadua*, encontrando en promedio 152.8 toneladas de carbon por ha^{-1} en los primeros 50 cm de profundidad.

Así mismo se determinó que una plantación de *Guadua* puede fijar 80.28 toneladas de CO₂ en un periodo de 6 años a partir de su establecimiento.

Los guaduales son ecosistemas forestales generadores de bienes y servicios ambientales, tales como la restauración de áreas degradadas y el almacenamiento de carbono atmosférico; por lo tanto es una especie con un importante potencial para la formulación de proyectos de Mecanismo de desarrollo limpio contemplados dentro del Protocolo de Kyoto.

Cabe mencionar que en la ciudad de Huatusco, Veracruz, a iniciativa del Sr. Rafael Guillaumín, ahora se cuenta con aproximadamente 50 hectáreas cultivadas de *Guadua angustifolia* (Álvarez, 2008). Hoy en día también podemos encontrar cultivos comerciales en diversos estados de la República Mexicana como Guerrero, Chiapas, Puebla y Tabasco, entre otros. (Imagen 22)

Imagen 22. *Guadua angustifolia*.



La *Bambusa oldhamii*

Es originaria del sur de China y se ha adaptado muy bien a diversos tipos de suelo y climas de México, principalmente en la zona montañosa del estado de Veracruz, donde se ha cultivado comercialmente, convirtiéndose en una de las principales especies que se comercializan, gracias a su capacidad de reproducción, adaptación, poco mantenimiento y resistencia a cambios climáticos y diversos tipos de suelo, asimismo, por sus características morfológicas y mecánicas, que además de hacerlo atractivo por su tamaño y color verde intenso, también presenta alta resistencia y flexibilidad, haciéndolo muy versátil y apto para diferentes aplicaciones. Podemos encontrarlo en estados que cuentan con mayor población de bambúes como Chiapas, Tabasco, Puebla y Veracruz.

Imagen 23. *Bambusa oldhamii*.



A pesar de no ser del género *Guadua*, es un bambú que cuenta con forma y dimensiones aceptables para su aprovechamiento en la elaboración de tableros laminados. Esto es, sus culmos son rectos de altura cercana a los 20 m, pudiéndose encontrar culmos con diámetros de hasta 15 cm, con espesores de casi 10 mm en su parte basal. Sus medidas mayores las alcanza en zonas altas, con suelos ricos en agua y nutrientes. Es un bambú fibroso, simpodial, también conocido como “bambú africano” o “bambú oldham”. El nombre común en China es *lu zhu* (Bambumex, 2014). Es utilizado como alimento, en la construcción, elaboración de artesanías, como decoración, utensilios domésticos, instrumentos musicales y para obtener cintillas para tejer, entre muchas otras aplicaciones.

En cuanto a sus características morfológicas se puede mencionar que es un Bambú con los rizomas paquimorfos, difuso y culmos ligeramente separados, erectos, cubiertos por cera blanca, de paredes gruesas en la parte basal, nudos prominentes y entrenudos hasta 30 cm de longitud. Se ramifica en la parte superior del culmo; la mayoría de las ramas fasciculadas

y la rama principal es prominente. Hoja caulinar triangular, 38 cm x 30 cm, cubierta por pelos café en la parte dorsal, glabra y brillante en la parte interna, presenta aurículas pequeñas y ciliadas. Inflorescencia en panícula y espiguillas arregladas en cluster. (Bambumex, 2014)

Llega a soportar temperaturas de -9°C . Su propagación por estacas es relativamente fácil de realizar y sus culmos crecen orientados al sol. En regiones a nivel del mar sus culmos son más delgados y en colores amarillentos con respecto a plantas que han sido sembradas a altitudes mayores. Crece característicamente en forma de macollo y puede desarrollar hasta más de 100 culmos en una sola planta. (Bambumex, 2014)

“Es uno de los primeros bambúes que fueron introducidos en México, posiblemente en los años cuarenta o cincuenta. Por muchos años las plantas de esta especie sembradas en parques y jardines permanecieron sin identificar con un nombre científico, y fue en 1999 cuando dos expertos bambuseros procedentes de los Estados Unidos, Mr. Gib Cooper (Oregon) y Mr. Jesús Mora (California) visitaron Veracruz y recorrieron varias localidades con bambúes, pudiendo reconocer a las plantas de esta especie con su nombre correcto: *Bambusa oldhamii*. Es importante mencionar que la palabra *oldhamii* es el latinizado del apellido Oldham, y no se refiere a la combinación de palabras inglesas que significarían al *viejo Ham*“. (Bambumex, 2014)

Como se observa, además de contar con una importante diversidad de especies nativas en México, cada una de ellas cuenta con características propias, lo que significa que es posible aprovechar el bambú para múltiples aplicaciones, tal como lo están haciendo otros países, aparte de la artesanía y la elaboración de muebles y objetos de uso doméstico.

1.5. EL bambú y el medio ambiente

En los últimos años, debido a la utilización de combustibles fósiles, el desarrollo industrial y económico irracional en detrimento del medio ambiente y la tala de bosques, entre otros, se ha presentado un incremento en la producción de Gases Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que están contribuyendo al cambio climático y generando, a nivel global, efectos negativos en aspectos ambientales, sociales y económicos.

Los guaduales prestan múltiples servicios ambientales entre los que vale la pena mencionar: la generación de biomasa que aporta una importante cantidad de nutrientes al suelo; contribuye en la recuperación de caudales, ya que según estudios realizados una hectárea de

guadua puede almacenar 30.375 litros de agua, cuando se percibe su déficit es aportada al suelo dada la estructura de almacenamiento de la planta; los rodales de guadua además de aportar gran belleza escénica, están catalogados como una de las especies con más capacidad para la fijación de CO₂. (Mejía, 2004)

Son ecosistemas generadores de bienes y servicios ambientales como la restauración de áreas degradadas y el almacenamiento de carbono atmosférico; por tanto, es una especie con un importante potencial para la formulación de proyectos de Mecanismo de desarrollo limpio, contemplados dentro del Protocolo de Kyoto (Arias, 2004).

1.5.1 Contribución al sector forestal

Debido a que el material de bambú presenta diversas características físicas, químicas, mecánicas, fisiológicas y algunas anatómicas similares a la madera, y además aporta importantes beneficios ambientales, económicos e inclusive sociales, es posible considerar utilizar el bambú en diversas aplicaciones donde actualmente se usa madera. Esto sin pensar necesariamente en que actúe como un sustituto de ella, sino simplemente como una alternativa, lo cual contribuiría en gran medida a la disminución de la tala de árboles y a cubrir la demanda de productos forestales.

Como se comentó al inicio de este proyecto, en la actualidad la demanda de madera se ha incrementado de manera considerable, a tal grado que supera la capacidad de producción de árboles, situación que promueve el incremento de la tala clandestina, una de las actividades ilícitas principales que contribuyen a la desertificación, erosión de suelos y sus consecuencias.

Los bambúes fibrosos son un elemento clave en la recuperación rápida de los bosques y una sucesión hacia el bosque tropical maduro.

Por otra parte, los bambusales se comportan como un corredor biológico para varias especies, permitiéndoles moverse entre parches de bosque o ser utilizados como refugio en algunas épocas del año (Román).

Estudios realizados muestran que se han encontrado más de 45 especies diferentes de flora; 32 familias de insectos; 25 de aves y dos de anfibios, entre otras.

Por todo ello, es importante y urgente que se desarrolle la industria del bambú con sus nuevos productos y presentaciones, y no sólo en México, sino en todos aquellos países que tienen la fortuna de contar con esta gramínea y que aún no han aprovechado sus virtudes.

1.5.2 Contribución para evitar la erosión de los suelos

El bambú cuenta con una forma muy particular en el desarrollo de sus raíces (rizomas), largas, profundas y fuertes, las cuales se entretajan por debajo del suelo formando grandes redes que amarran la tierra, controlando la socavación lateral y previniendo la erosión, es por ello que también realiza una tarea muy importante en la protección de cuencas hidrográficas.

Es muy común encontrar grandes bambusales de crecimiento natural en las riberas de ríos debido a las características de la tierra y a la cantidad de agua cercana, además contribuye como una barrera natural contra el desgaje de los bordes.

Por otra parte, su vegetación permanente genera sombra que protege el suelo de los rayos del sol, y, a su vez, disminuye el impacto de las gotas de lluvia. De la misma manera la gran cantidad de hojas que se desprenden, además de proteger el suelo y guardar humedad, generan una cantidad importante de materia orgánica que ayuda a nutrirlo.

1.5.3 Captación de CO₂

El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales gases de efecto invernadero; el CO₂ es capturado de la atmósfera, en sistemas terrestres, mediante la fotosíntesis de las plantas. Al mismo tiempo que las plantas crecen y mueren, el carbono de la planta entra al suelo, donde puede ser almacenado o “secuestrado” en la materia orgánica a medida que se descompone, tanto en la superficie del suelo como a mayores profundidades. El carbono orgánico del suelo es más o menos tres veces mayor que el retenido en los organismos vivos. Pequeños cambios en las reservas del carbono orgánico del suelo pueden tener un efecto sustancial al disminuir o aumentar los niveles de la concentración de CO₂ en la atmósfera y, consecuentemente, en el clima global (Arias, 2004).

Se comparó el contenido de carbono en el suelo antes y después del establecimiento de plantaciones de Guadua en un experimento realizado en el municipio de Montenegro de Quindío, obteniendo, en promedio, un aumento de 1.18 toneladas de C por hectárea un año después del establecimiento, encontrando beneficios en el almacenamiento del carbono al asociar la Guadua con otras especies forestales. Esta especie puede contribuir significativamente en el control de los niveles de CO₂ atmosférico (Arias, 2004).

En el estudio “Captura de carbono en plantaciones de bambú”, realizado por Castañeda (2008), los resultados indican que la Productividad Primaria Neta (PPN) aérea fue de 32.2 ton ha⁻¹/año⁻¹. La productividad de la plantación y la extracción de los tallos del sistema hacen que esta especie sea atractiva en proyectos de captura de carbono, pues si el destino del bambú es la construcción de casas, 43.4 ton de carbono (biomasa actual de los tallos) serán transferidos a una reserva con un tiempo de residencia promedio de 80 años (Castañeda, 2008).

1.5.4 Producción de biomasa y gas

Como ya se comentó, el bambú ofrece una gran cantidad de beneficios ambientales y ecológicos. Uno de los principales es la generación de gran cantidad de biomasa, definida por el Diccionario de la Real Academia Española (2013) como: “el conjunto de materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”.

La biomasa puede aprovecharse de diversas formas; una de las que podría tener mayor futuro es su utilización en sistemas que emplean la gasificación en ciclos combinados, esto es, en los que se usan los gases de escape de las turbinas de gas, el cual alimenta un generador de tipo ordinario. Sin embargo, también es posible obtener combustible por medio de la fermentación, como puede ser el biogás, el etanol, el metanol y el bio-diesel.

El bambú en general es considerado entre los primeros cinco de los más destacados productores de biomasa (El Bassam, 2001). Las investigaciones revelan una acumulación de biomasa de 76,6 ton/ha (incluyendo flora asociada como palmas, árboles, arbustos y hierbas). Se han registrado bosques de guadua con 222 ton/ha (DeWilde, 1994), llegando a más de 2/3 de la biomasa acumulada de un bosque natural tropical en Colombia con 322.2 ton/ha (Desmukh, 1986). Respecto a la fijación de biomasa en plantaciones recién establecidas (400 plantas/ha), investigaciones recientes determinaron más de 21 toneladas de materia seca por año o 10.8 ton/ha/año en Carbono, llegando a 54.3 toneladas de Carbono acumulado en 6 años (Riaño *et al.* 2002), las cuales causan una disminución de CO₂ en la atmósfera de 195,84 toneladas (Stamm *et al.*, 2004, p. 2).

En la investigación realizada por Castañeda (2008), su estudio dio comienzo en una plantación que tenía 7 años de edad, donde además se encontraban presentes los culmos de las cuatro

últimas generaciones. La biomasa acumulada hasta el séptimo año de la plantación fue de 103 ton/ha⁻¹ (14.7 ton de incremento medio). El incremento estimado en biomasa proveniente de los nuevos culmos fue de 15.8 ton/ha⁻¹, del crecimiento de los culmos preexistentes 10.9 ton/ha⁻¹ y por la producción de hojarasca 5.56 ton/ha⁻¹.

El uso de la biomasa en la combustión del CO₂ liberado a la atmósfera, al contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles, forma parte del ciclo natural del carbono en virtud de que éste había sido fijado por las plantas. De la misma manera, tiene como ventaja su bajo contenido de azufre, lo cual significa que no contribuye a las lluvias ácidas.

Por otra parte, también es posible generar combustible de la biomasa a través de la gasificación, la cual es un proceso térmico que permite la conversión de un combustible sólido (como la biomasa), a un combustible gaseoso, mediante un proceso de oxidación parcial. El gas que resulta puede ser utilizado en turbinas de gas o en motores de combustión interna, y ambos motores térmicos pueden ser acoplados a un generador para la producción de electricidad. Éste contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H), metano (CH₄), alquitrán, agua y pequeñas cantidades de hidrocarburos tales como el etanol.

El uso de la biomasa como fuente de energía renovable es una alternativa viable, y el proceso de gasificación puede hacer posible la generación de energía eléctrica en comunidades apartadas, con una tecnología sencilla.

1.5.5 Fertilización del suelo

La gran cantidad de materia orgánica que depositan los bambusales contribuyen directamente a nutrir el suelo, y, por otra parte, propicia el desarrollo de otras especies que a su vez ayudan a fertilizar el suelo.

“Según Giraldo y Sabogal (1999), en los guaduales poco intervenidos se crea un microclima especial, caracterizado por la economía hídrica, donde se propicia el desarrollo de una diversidad considerable de fauna y flora. El porcentaje de nutrientes, a través del retorno de grandes cantidades de materiales orgánicos de descomposición variada, juegan un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad de suelos.

“En la zona cafetera colombiana, los guaduales cumplen un papel relevante, puesto que han propiciado la existencia de flora, microflora, fauna edáfica, entomofauna, mamíferos,

aves, reptiles y anfibios. En este sistema, los individuos más abundantes son los coleópteros y hormigas” (Arango, 2004).

Hormilson Cruz (2009, p. 14), comenta que: “la Guadua es una gran aportadora de materia orgánica al suelo debido a la incorporación a éste de una gran masa de hojas, ramas y tallos secos, contribuyendo con ello al ciclaje de nutrientes, conservándose así la fertilidad del suelo, tanto en sus aspectos físicos como químicos”. De esta forma, el bambú contribuye a mantener suelos productivos, a evitar la erosión y a generar los nutrientes que le ayudarán para su buen desarrollo. Sin embargo, es preciso mencionar que el uso de fertilizantes adecuados puede mejorar y acelerar el desarrollo de la planta.

1.5.6 Material biodegradable

Una de las grandes ventajas de utilizar al bambú como material para la fabricación de cualquier tipo de objeto es que es un recurso natural que puede ser reintegrado a la naturaleza después de su vida útil. (Imagen 24)

Imagen 24. Bambusal.



Si bien, dentro del proceso de transformación se puede reducir esta característica debido a agentes químicos, físicos o biológicos que se le pudieran haber añadido, se deben utilizar productos amigables con el medio ambiente y que no dañen la naturaleza, tales como los productos orgánicos o biodegradables.

1.5.7 Limitaciones

Como cualquier otro ser vivo u objeto, el bambú presenta diversas limitaciones como planta y como material, por lo que es indispensable considerarlas cuando se tome la decisión de utilizarlo en alguna aplicación.

En primer lugar, se debe considerar que si se “explota” de forma indiscriminada, al igual que cualquier otro recurso natural, puede llegar a desaparecer. Esto es, el uso y cultivo del bambú se deberá realizar de forma inteligente, consciente y adecuada para preservar la especie y mantener siempre fértil el suelo donde se cultiva, ya que a pesar de ser una planta que nos ayuda a fertilizar el suelo por la generación de una cantidad importante de biomasa, si no permitimos la incorporación de nutrientes al suelo o la recuperación de éste, o si realizamos cortes de forma incorrecta e indiscriminada de los culmos, por supuesto que la planta morirá y el suelo se podrá erosionar.

Es importante dar los tiempos y cuidados necesarios para que esto no ocurra, o logremos también el exterminio de los bambusales.

De la misma forma, es altamente recomendable cultivar el bambú en lugares donde crece por naturaleza, ya que el cambio de vegetación o uso de suelo, como en cualquier caso, altera el ecosistema natural del lugar, cambio que puede traer consecuencias desastrosas, es por ello que no se recomienda, en cualquier caso, una modificación a cualquier cultivo o aplicación, ya sea de uso agrícola, ganadero, habitacional, etc. Debemos ser conscientes de que la actividad antropogénica generalmente altera el ciclo de vida natural y puede llegar a exterminar especies y lugares. No obstante, puede ser recomendable la introducción del bambú en casos muy específicos donde se tengan suelos erosionados o pobres en nutrientes, casos donde por algún otro motivo ya se perdió definitivamente la capacidad natural o productiva de la tierra. En estos casos, el bambú puede contribuir en la recuperación del suelo.

Otro factor que pudiera tener en contra el bambú, y que tenemos que considerar al momento de decidir cultivarlo de forma comercial, es la creencia de que el bambú muere después de florecer y se regenera a partir de sus semillas. Esto es, cuando se utiliza una sola planta madre para generar toda la plantación, la producción completa puede morir cuando la planta madre florece y muere. El tiempo de floración varía en cada especie de bambú, entre 40 y 100 años aparentemente, ya que no se cuenta con información respaldada científicamente de esta característica del bambú, o si pasa sólo en algunas especies y en cuáles, sin embargo, no está por demás tomarlo en cuenta si se quiere producir bambú, hasta en tanto se desarrolle evidencia científica que lo corrobore.

También hay especies a las que se les llama invasoras, esto es, una vez que comienza a reproducirse se extiende por todo lugar que sea apto para su reproducción y es muy difícil su control. Esto sucede principalmente con las especies monopodiales como los del género *Phyllostachys*.

Por otra parte, el bambú es muy apetitoso para algunos insectos, por lo cual es necesario aplicarle un proceso de preservación, en caso contrario, una vez cortado pierde su capacidad de autodefensa y es altamente vulnerable a la polilla e insectos que pueden acabar con él en poco tiempo.

De la misma forma, el bambú es higroscópico, o sea que tiene la capacidad de absorber y exhalar la humedad según el medio en el que se encuentre, lo cual aunado a los cambios de temperatura ocurridos durante el día hace que el culmo seco tienda a cuartearse o abrirse en la misma dirección de las fibras. Fenómeno que puede variar según la especie.

En la transformación del bambú se presentan diversas deficiencias tecnológicas en nuestro país, ya que prácticamente no existe producción y desarrollo de tecnología. Como se había mencionado, en la transformación del bambú la mayoría de las herramientas que se utilizan fueron diseñadas para otros materiales u otras aplicaciones. Principalmente se utilizan herramientas que fueron diseñadas para la transformación de la madera. De la misma forma, prácticamente no existen productos especiales para el acabado y mantenimiento del bambú. Generalmente se utilizan productos desarrollados para la madera, y no siempre funcionan correctamente, no se obtienen resultados óptimos o su duración es mucho menor. La tecnología se encuentra disponible en países como China, India, Japón o inclusive Estados Unidos de América, entre otros, de donde hay que importarla. (Imagen 25)

Imagen 25. Tecnología China para dimensionar reglillas.



1.6. Aplicaciones y usos más comunes

El bambú está considerado como una de las plantas más útiles del mundo. De acuerdo a la calidad de los bambúes se pueden utilizar de diversas formas. El estudio de las propiedades físico-mecánicas que incluye contenido de humedad, peso específico, resistencia a la compresión, a la tensión y a la flexión, determinan si son aptos como elemento estructural en la construcción o para la elaboración de muebles; sus propiedades anatómicas son decisivas para determinar su uso en la fabricación de la pulpa de papel o la fibra textil (rayón); el análisis de la composición química y bioquímica que implica proporciones de celulosa, hemicelulosa y lignina, además de sustancias menores como: resinas, tainas, ceras y sales orgánicas, y las variaciones de las mismas, dependiendo de las condiciones de crecimiento, son informaciones que ofrecen bases para nuevas posibilidades de uso (Widmer, 1990).

Como mencionamos, la mayor aplicación del bambú se da en la construcción, en la fabricación de muebles, cestería, artesanías, papel, rayón, como alimento, y como recurso natural para la conservación y transformación del medio ambiente (Londoño, Clark, 2004).

Se han desarrollado gran cantidad de artesanías, pulpa de papel, carbón vegetal y, finalmente, pisos de bambú laminado. Estos últimos se convirtieron durante los años noventa en un éxito de exportación hacia Alemania y Estados Unidos debido a diferentes características como su color, apariencia fina y resistencia. Además, coincidió su llegada al mercado con

una creciente consciencia ecológica, adquiriendo gran valor ecológico una vez que se desarrollaron adhesivos libres de Formaldehído.

1.6.1 Arquitectura

El desarrollo de nuevas técnicas de construcción con bambú impone un estilo nuevo en la arquitectura. Sin embargo, es necesario entender y conocer el comportamiento natural de esta gramínea para su uso en esta área.

El beneficio ecológico del bambú depende, en gran medida, de la forma en que se utiliza. En su forma natural (rollizo), el bambú demuestra ser más amigable con la naturaleza que los materiales más comunes de la construcción como la madera, el acero y el hormigón. Desde un punto de vista económico, el bambú puede competir con los materiales de construcción más utilizados en los países occidentales (*Van, Andy, 2004*).

El análisis de las construcciones con Bambú revela una evolución sucesiva de sistemas con diferentes conceptos, técnicas y métodos, mismos que se dejan organizar en grupos. Podemos destacar las investigaciones que se realizan referentes a la resistencia sísmica de construcciones realizadas con *Guadua angustifolia*, donde se ha logrado apreciar, en la mesa vibratoria (Imagen 26), una alta resistencia en comparación con las construcciones elaboradas con concreto o tabique (*Arias, 2011*).

Algunas mejoras y avances que se han desarrollado en la construcción arquitectónica con bambú son los diversos sistemas de estructuras. Entre ellas se encuentran:

Estructuras contemporáneas

Mientras las estructuras tradicionales, incluyendo la mayoría de las estructuras de ingeniería, son basadas en sistemas constructivos bidimensionales, en las estructuras “Ultra” modernas se experimenta con cerchas tridimensionales. Esto incluye membranas anticlasticas, conchas de doble curvatura, y estructuras espaciales.

Estructura espacial (Space frames)

Las estructuras con cerchas tridimensionales en bambú responden muy bien a esfuerzos con direcciones cambiantes como sismos o vientos. La construcción de un Hangar para cubrir cua-

Imagen 26. Ensayos en mesa vibratoria. Universidad de los Andes.



tro aviones con 20 m de envergadura es un reto. El diseño debe tener un acceso libre de cables y postes. Fuera de la cubierta contra la lluvia y el peso propio de la estructura debe aguantar fuerzas de viento y resistir los rayos UV del sol.

Hypars (Paraboloides Hiperbólicos)

Los culmos largos y ligeros del Bambú responden mucho mejor a esfuerzos de flexión; las pruebas de laboratorio sobre las propiedades físico-mecánicas así lo predicen. Si podemos ver la fuerza que ejerce el viento sobre los culmos, observamos que se doblan, pero casi nunca se quiebran.

Estructuras de Conchas

Construcciones de conchas con bambú son fáciles de hacer y pueden llegar a ser estructuras de grandes dimensiones dado que se pueden prolongar las varas de forma prácticamente in-

visible y con buena repartición de los esfuerzos (Imagen 27). También se prestan para trabajos sin andamios, ya que el rombo sirve de escalera (Stamm, 2008).

Imagen 27. Pabellón de bambú en Ciudad Universitaria.



Fuente: Ing. Maurino Hernández Chacón. Bambuver.

1.6.2 Diseño Industrial

De la misma forma que en la arquitectura, los objetos de bambú han evolucionado, y en la actualidad otros países ya tienen disponibles diversas presentaciones de este material, por ejemplo, en vigas, paneles, tableros, laminados y aglomerados (Imagen 28), mismos que pueden tener aplicaciones interesantes en una gran cantidad de actividades, como en la construcción, la elaboración de artesanías y en fabricación de muebles. Hoy en día estos laminados cuentan con una creciente demanda mundial.

Los laminados de bambú se han utilizado desde hace varios años, aplicados principalmente en la arquitectura, en pisos y muros. Los primeros países que los desarrollaron fueron China y la India, posteriormente se fabrican y se distribuyen en diversos países del mundo; inclusive, éstos se encuentran disponibles en México. Sin embargo, en la actualidad se ha desarrollado una nueva presentación más versátil y con muchas más aplicaciones que simplemente pisos y muros. (Imagen 29)

Imagen 28. Reglillas, tableros y polín de bambú en la Corporación Autónoma Regional del Quindío, Colombia.



Imagen 29. Objetos de bambú hechos en China.



Los Tableros de laminado de bambú se producen en países como China, India, Colombia y Ecuador, entre otros, con las mismas medidas en que se fabrican los tableros de madera como el contrachapado o mejor conocido como “Triplay”, el aglomerado y el MDF; la medida más comercializable es de 1.22 m x 2.44 m. Esto significa que los tableros de bambú pueden ser utilizados en la mayoría de las formas donde son aplicados los de madera, ofreciendo una excelente apariencia y las ventajas de las propiedades físicas que caracterizan al bambú, así como los beneficios ecológicos y medioambientales que ofrece.

Del bambú prácticamente se puede aprovechar todo. En la imagen 30 es posible observar algunos productos que fueron elaborados con la hoja caulinar del bambú. Con los residuos que se obtienen en el proceso de la elaboración de los tableros de laminados es posible fabricar aglomerados, combustibles, abonos y alimentos para animales, entre otros.

Imagen 30. Objetos fabricados en Colombia con la hoja caulinar de Guadua.



Cortesía de: Lic. Luz Patricia Hurtado Arzate.

1.6.3 Otras

Desde hace muchos años, en diversos lugares el bambú se ha aprovechado de diversas formas y en muchas aplicaciones, incluyendo a nuestro país, no obstante, en otros países el desarrollo de la industria bambusera continua avanzando y han mejorado y aumentado sus diversos usos.

Como ejemplos se pueden mencionar la producción de papel en países asiáticos, así mismo se realiza la generación de carbón y vinagre vegetal con guadua en Colombia. Y como resultado de actuales investigaciones sobresalientes se ha extendido su aplicación en la salud y la cosmetología: casos en los que ha habido grandes beneficios en el tratamiento de la diabetes y su uso como shampoo y crema fotoprotectora elaborados con extracto de Guadua (Imagen 31).

Imagen 31. Muestras de Shampoo y Fotoprotector de Guadua hechos en Colombia.



Por otra parte, se realizan investigaciones relacionadas con nuevos materiales como fibrocemento, diversos compuestos reforzados con fibra de Guadua, estructuras y conectores, este último representa un gran reto a vencer debido a la variación de los diámetros en cada culmo, así como sus constantes modificaciones provocadas por la temperatura y humedad ambiental.

Los textiles han tomado mucho auge. Hoy en día se elaboran todo tipo de prendas: mantas, toallas, chalinas, playeras, ropa interior para dama y caballero, etc., todas ellas con fibra de bambú. Sin embargo, cabe mencionar que algunos autores están escépticos a esto, aseguran que en realidad estas telas no están hechas con bambú. Sin embargo, las prendas

exhiben en sus etiquetas que están fabricadas con 100% fibra de bambú, y en otros casos en combinación con algodón o rayón.

También se mencionan algunas aplicaciones en la producción de bioenergía y de alimento, tanto humano como animal.

1.6.4. La industria del bambú en México

Desde hace algunos años se han venido realizando diversas acciones, en diferentes regiones de nuestro país, con el propósito de apoyar el desarrollo de la industria del bambú. Tal es el caso de la creación de cooperativas y cadenas productivas en estados como Puebla (Tosepan), Chiapas, Tabasco y Veracruz (Bambuver y Monte Blanco). (Imagen 32)

Imagen 32. Hotel de bambú Tosepan Kali. Cuetzalan, Puebla.



La cadena productiva del bambú en el estado de Puebla nace como una necesidad de presentar una verdadera alternativa para el campo poblano a través del cultivo, industrialización y comercialización del bambú; una cadena donde están representados todos los eslabo-

nes: desde la selección de la semilla, viveros, plantaciones, manejo, cosecha, transformación, hasta la comercialización. La cadena productiva está representada en cuatro regiones del estado (Sierra Norte, Sierra Nororiental, Sierra Negra y la Mixteca).

Actualmente en estados como Veracruz, Puebla, Chiapas, Tabasco y Oaxaca, entre otros, se han organizado foros donde se reúnen productores de bambú, investigadores y especialistas con el fin de compartir experiencias y conocimientos para mejorar y hacer crecer la industria del bambú.



1. Propuesta

2.1. Tableros de bambú laminado

En los capítulos anteriores, se realizó una introducción acerca de las generalidades de las Tecnologías Ambientales y, un tanto más amplio, del bambú. A partir de este apartado se desarrollará el tema de los Tableros de Bambú Laminado y se mostrará a detalle el proceso de producción, características, resistencia a diversos estímulos físicos, posibles aplicaciones en algunas áreas, especialmente en el Diseño Industrial, y propuestas de diseño, fabricados y realizados por el autor.

2.1.1. Qué son los tableros de bambú laminado

Debido a que en nuestro país, así como en algunos otros, los Tableros de Bambú Laminado apenas comienzan a tener presencia, aún no hay una definición reconocida como tal, por lo que en este documento se propone y se considera la siguiente:

“Tablero conformado por láminas o reglillas de bambú unidas por una técnica física, química o en combinación”.

Con la unión de cierta cantidad de láminas o reglillas de bambú (Imagen 33) conformamos un tablero que puede ser de diferentes medidas, según sea la necesidad. Sin embargo, aquí se proponen medidas susceptibles de comercialización, considerando el tipo de bambú que utilizamos, la maquinaria y tecnología disponible para su elaboración, así como las medidas estándar o comerciales para los tableros de madera que se encuentran en el mercado, las cuales son de 122 x 244 cm. (Imagen 34)

Como sabemos, el bambú es un ser vivo donde cada una de sus plantas y culmos presenta características y propiedades propias e individuales, esto es, cada culmo puede tener

Imagen 33. Reglillas de Bambusa oldhamii.

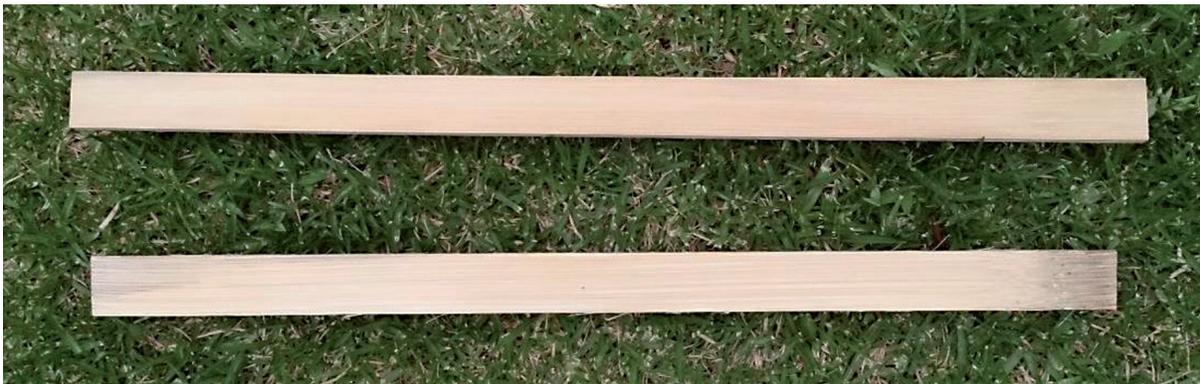


Imagen 34. Reglillas de bambú unidas por cara para formar un tablero.



medidas de altura, diámetro y espesor de pared diferentes a cualquier otro. El mismo efecto tiene su forma, y es difícil encontrar formas de culmos totalmente rectos debido a su conformación y crecimiento.

Generalmente los entrenudos son más delgados y frágiles que los nudos, primer factor que interviene en la forma del culmo. Otro factor es el crecimiento, generalmente la parte basal es de diámetro mayor que la parte media o apical. Así mismo interviene el lugar donde esté ubicada la planta ya que esta busca la luz. También interviene la cantidad de humedad, nutrientes y tipo de suelo donde se encuentra.

Imagen 35. Latas de *Bambusa oldhamii*.



Todos esos factores intervienen en el crecimiento de la planta y a la vez en su forma, por lo que generalmente los tallos o culmos presentan diversas inclinaciones y difícilmente pueden ser totalmente rectos, aunque aparentemente lo sean.

Considerando lo anterior se propone la fabricación de tableros más pequeños que los de madera pero considerando sus múltiplos para que en determinado momento puedan ser utilizados de la misma manera. Las medidas para los tableros de bambú laminado propuestas son:

a) 122 x 40.5 cm

b) 122 x 61 cm

Estas medidas facilitarían la fabricación de los tableros a la vez que contribuirían a desperdiciar menos material.

Por otra parte, existen varias técnicas y formas para unir las reglillas de bambú. La disposición de las tablillas es diversa y determinará la resistencia y apariencia del tablero. Algunas de ellas son:

a) *Tejido o entrelazado*. Generando reglillas muy delgadas que permitan tejerse o entrelazarse sin utilizar ningún medio químico. (Imagen 36)

Imagen 36. Tableros elaborados sin adhesivo.



O utilizando algún adhesivo, gran presión y temperatura. (Imagen 37)

Imagen 37. Tableros elaborados con adhesivo, presión y temperatura.



b) Unión por cara. (Imagen 38) En este caso la unión de las regillas se realiza por la cara o la parte más ancha de esta. Generalmente se utiliza un agente químico no contaminante para realizar esta unión, y dependiendo del adhesivo utilizado tam-

bién puede requerir determinada humedad, temperatura y presión. Es muy común utilizar como medio de unión Urea-Formaldehído o Acetato de Polivinilo.

Imagen 38. Tablero elaborado con adhesivo y unión por cara.



c) Unión por canto. (Imagen 39) Las reglillas se unen por la parte más larga y delgada de la reglilla. Se utiliza un adhesivo, presión y en su caso, temperatura y humedad.

Imagen 39. Tablero elaborado con adhesivo y unión por canto.

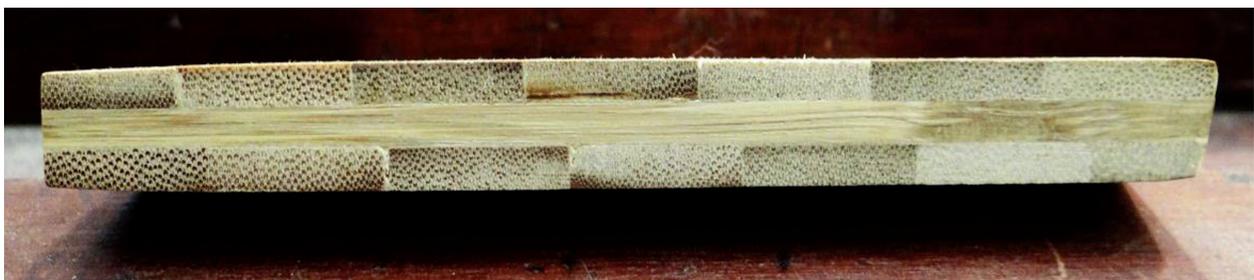


d) Unión transversal. (Imagen 40) Este tipo de tablero se conforma con dos o más laminados dispuestos de forma transversal uno con otro, lo cual proporciona al tablero mayor resistencia que las otras uniones. (Imagen 41) Generalmente unidos con resinas sintéticas mediante presión y calor.

Imagen 40. Tablero elaborado con adhesivo y reglillas perpendiculares.



Imagen 41. Tablero de tres laminados contrapuestos.



e) Reglillas superpuestas. Al igual que el anterior se conforma con al menos dos niveles de reglillas dispuestas una sobre otras dos pero con la misma dirección de las fibras (Imagen 42). Es una forma de unión muy usual para la elaboración de pisos de bambú laminado.

Imagen 42. Tableros de reglillas superpuestas.



2.1.2. Quién los produce actualmente.

Como lo mencionamos anteriormente, los principales países que producen los tableros laminados son China, India y Japón, incursionando actualmente Colombia, Cuba, Brasil, Perú y Ecuador, entre otros.

Como ejemplos se pueden mencionar el estudio realizado en Cuba que “propone el uso de bambú como una nueva tecnología de madera laminada. La tecnología usa tejidos de bambú dispuestos de manera ortogonal formando tableros que pueden reemplazar a la madera tradicional en ciertos elementos estructurales. Tableros de bambú prensados, hechos con *Bambusa Vulgaris* Schrab y diferentes presiones y temperaturas durante la fabricación, son caracterizados en el laboratorio mediante ensayos mecánicos”. (Mora, Hernández, Martirena y Jiménez, 2008, p. 179)

Otros ejemplos se presentan en el caso de Colombia, uno de los países del Continente Americano que ha incursionado en el aprovechamiento del bambú desde hace varios años,

y donde existen diversas investigaciones. “En América Latina, Colombia ha sido hasta hace pocos años el único país que ha prestado especial atención a la producción de este recurso con propósitos definidos. Al menos desde los años setenta, la investigación científica y las experimentaciones con la *Bambusa guadua* se han realizado sistemáticamente. La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, colabora y patrocina los trabajos del Centro de Estudios de la Guadua en Quindío” (Prado, 2012, p. 8). Un ejemplo de estudio elaborado en este país es el realizado por Sandra Castellanos y Diana Godoy presentado en su libro “Guadua (Lambú). Subparámetros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial”, y que ha servido como parámetro de desarrollo y comparación en la realización de esta investigación. Sin embargo, no es el único estudio. Otros especialistas en el tema como Hormilson Cruz o Ximena Londoño, también ha generado información importante referente a la elaboración y propiedades de los tableros de bambú laminado. Esta última ha cooperado con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) para generar Normas Técnicas para el uso y aplicación del bambú.

Las asociaciones y organismos que se desenvuelven alrededor del bambú en México, tienen conocimiento de la posibilidad de fabricar tableros con láminas de bambú, pero requieren apoyos económicos, técnicos y científicos para estar en posibilidades de desarrollar estos nuevos productos.

En México algunas industrias están experimentando en su elaboración (Imagen 43), pero aún se presentan diversos problemas como el comportamiento del adhesivo, la resistencia al maquinado, tipo de bambú, falta de tecnología, mano de obra especializada, normatividad y respaldo científico.

Imagen 43. Tablero elaborado en Bambuver.



2.1.3. Normas para la fabricación de laminados

Como lo mencionamos anteriormente, en México aún no se producen los tableros de laminados de bambú certificados y normalizados. Ya se comienzan a hacer pruebas, pero aún no se logran los resultados óptimos. Por esta razón aunada a otras de diversos tipos como lo vimos en el apartado 1.2.2, no existen normas oficiales referentes. Se buscaron normas internacionales para la aplicación de ensayos físicos en tableros de bambú laminado y no se lograron encontrar, por lo que se decidió realizar las pruebas de laboratorio considerando la Norma Internacional ASTM D-143, norma que cubre pruebas en pequeñas muestras de madera y se aplica para proporcionar datos para la comparación de las propiedades mecánicas de varias especies, y los procedimientos para la evaluación de las diferentes propiedades mecánicas y físicas.

Es necesario e indispensable generar la normatividad correspondiente que respalde esta nueva presentación del bambú para estar en posibilidades de ampliar el abanico de aplicaciones en ambientes donde es obligatorio cumplir con ciertos requisitos por la función que realizarían, como puede ser la ingeniería, la arquitectura y algunas áreas del diseño, pero también es importante regular su fabricación y aplicación desde el punto de vista ecológico.

2.1.4 Pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio se realizaron en la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, lugar donde cuentan con una Máquina Universal de Ensayes, de la marca SATEC Systems, Inc. (Imagen 44 y 45), gracias al apoyo del Maestro en Ingeniería José Juan Guerrero Correa, profesor investigador que está a cargo del Laboratorio de Estructuras, y quién me apoyó en la asesoría y realización de ensayos, así como en la obtención y procesamiento de datos.



Imagen 44. Especificaciones de Máquina Universal para Ensayos.

Imagen 45. Máquina universal para ensayos.



2.1.5. Proceso de producción

Como ya se ha dicho, los laminados de bambú pueden ser aprovechados para la elaboración de diversos tipos de objetos como pueden ser muebles, artesanías, utensilios, cocinas, herramientas, e inclusive para diversos usos arquitectónicos, por lo que debemos contar con una materia prima de excelente calidad.

En este documento se propone un proceso para la producción de los tableros que se aplica en algunas industrias de países sudamericanos, sin embargo se realizan diversas adecuaciones y propuestas que pueden ser aplicadas en nuestro país. El proceso que se describe es viable tanto económica como tecnológicamente, no se requiere tecnología especializada y se realiza con herramientas que ya existen para la madera.

Cabe mencionar que se comentaran todos los pasos, desde la cosecha hasta la conformación del tablero, sin embargo, si el interés es únicamente la elaboración de los tableros, es posible obtener las reglillas ya elaboradas por parte de los productores.

Es necesario recordar que un mal aprovechamiento del bambú, puede tener graves consecuencias ambientales y ecológicas y como resultado, problemas económicos y sociales, por lo que se recomienda contar con asesoría de especialistas cuando se desee incursionar en la producción de bambú y no se cuente con experiencia. Es una gramínea muy noble, resistente y con propiedades y características propias, pero a su vez puede ser vulnerable a diversos factores como la sobreexplotación, o puede convertirse en un problema cuando no se conoce y no se consideran sus capacidades de adaptación y reproducción o cuando su pro-

ducción considera un cambio de uso de suelo que puede alterar drásticamente el ecosistema de un lugar.

A continuación se realizará la descripción de uno de los procesos productivos que se realiza con mayor frecuencia en el eje cafetero de Colombia para la fabricación de tableros de laminado de bambú y que consta de tres etapas: Aprovechamiento, producción y transformación (Castellanos, Godoy, 2007).

La primera etapa de la producción considera desde la cosecha del bambú hasta la obtención de las primeras tablas de bambú, también denominadas latas, las cuales se convertirán en la materia prima para la elaboración de los tableros.

1) Cosecha

Se realiza en el bambusal donde previamente hubo un trabajo de clasificación por tipo de bambú y edad y posteriormente de selección de plantas que serán cortadas. El corte se realiza arriba del primer nudo con una inclinación como de 30° cuidando que no haya forma de que se almacene agua, ya que esta podría provocar que la planta completa se pudra y muera. (Imagen 46)

Imagen 46. Corte de bambú arriba del primer nudo.



Algunos autores comentan que el corte debe realizarse de preferencia en un horario entre la 1:00 y 4:00 hrs en luna menguante, en virtud que en ese momento la guadua pierde una importante cantidad de agua.

Después del corte es importante transportar inmediatamente la guadua al lugar donde se procesará para comenzar su tratamiento y evitar que comience a contaminarse y generar hongos.

2) *Traslado a la planta industrial*

El traslado se realiza por culmo completo o se puede realizar un primer corte transversal a la longitud del culmo, con el fin de facilitar el traslado. Se recomienda que la distancia entre el bambusal y la planta industrial no sea muy grande, para evitar en lo posible el consumo de energía, ahorrando tiempo para poder realizar el proceso de preservado lo antes posible. (Imagen 47)

Imagen 47. Corte de bambú arriba del primer nudo.



3) Selección de la materia prima

Al llegar la materia prima a la planta, pasa por un proceso de selección teniendo en cuenta las siguientes características: madurez, rectitud, espesor de pared, diámetro, tiempo desde el corte, etc. (Imagen 48). Si el bambú no cumple con la totalidad de las características y criterios que se han definido, de control de calidad, ésta se reclasifica para otro fin.

Previamente se realizó una clasificación por tamaños y por estado físico, esto es, supervisando su estado de salud, si presenta alguna enfermedad o descomposición y si está completamente maduro, esto es, que se deben observar líquenes blancuzcos en el tronco. Para la obtención de las latas se requieren preferentemente troncos con un diámetro mayor a 12 cm y un espesor de la pared mayor a 1.5 cm.

Imagen 48. Almacenamiento de diversos tipos de bambú.



4) Dimensionamiento longitudinal o Troceo

Una vez clasificada y seleccionada la guadua, se realizan cortes transversales para obtener trozos de una misma medida. Este corte puede ser realizado con sierra circular de mesa, sierra de inglete, sierra circular de brazo radial, o si es posible, con tecnología de punta especial para esta labor. (Imagen 49)

Imagen 49. Corte transversal con Sierra de Inglete.



La medida longitudinal de los trozos de guadua dependerá del tamaño que tendrán los tableros a elaborar o del diseño y medidas del producto.

5) Corte longitudinal

La siguiente parte del proceso consiste en realizar cortes longitudinales a cada trozo obtenido en el paso anterior con el fin de obtener las latas. Dependiendo del ancho de la reglilla que se deseé, se realizarán alrededor de seis cortes, los cuales pueden ser realizados con una sierra estrella, una sierra circular de dos discos o, en su caso, con nuevas tecnologías especializadas en la producción de tableros de laminado de bambú. (Imagen 50, 51 y 52)

Imagen 50. Corte longitudinal con Sierra de doble disco.



Imagen 51. Corte longitudinal con Sierra de Estrella o Cortadora de Cuchillas Radiales.



Imagen 52. Corte para obtener ocho latas.



6) *Denudado*

Como su nombre lo dice, con este paso se elimina el sobrante de los nudos que quedaron por medio de una máquina Denudadora, que es similar a una sierra circular con cortadores especiales que sobresalen de la sierra (Imagen 53). También se puede realizar con una Sierra Circular de Mesa.

Imagen 53. Denudadora.



Antes de continuar con la producción de reglillas es necesario realizar una nueva supervisión para eliminar las latas defectuosas o enfermas, así como las que no fueron correctamente descortezadas. Estas últimas deberán devolverse al paso anterior y las enfermas se desechan para ser utilizadas como combustible u otra aplicación.

7) *Proceso de preservación.*

Este proceso tiene como objetivo modificar la constitución química de los tallos, elimina gran parte de azúcares y almidones, sustancias principales que atraen a los insectos, y al mismo tiempo evita su desarrollo.

Existen diversos tratamientos que se pueden aplicar. Uno de los más comunes es aplicar una solución inmunizadora preparada con Bórax y Ácido bórico en una relación de 1:1 por medio de inmersión, por aspersion o por presión. Por inmersión es el método más utilizado por su efectividad, simplicidad y economía (Imagen 54).

El método de inmersión consiste en sumergir las latas durante ocho horas en una solución salina llamada pentaborato, la cual se prepara mezclando un kilo de Ácido Bórico, un kilo de Bórax y 100 litros de agua. Posteriormente se dejan escurrir. La cantidad preparada de pentaborato rinde aproximadamente 240 metros lineales de latas de guadua.

Imagen 54. Tina con pentaborato para proceso de preservación.



Es muy importante realizar este proceso en los primeros días, después de haber sido cosechado el bambú para evitar ser consumido por insectos xilófagos o evitar el ataque de hongos, ya que el bambú es muy apetitoso para ellos. El proceso de transformación del bambú definirá de alguna forma, el momento en que se aplicará este proceso. Si el bambú se utiliza de forma rolliza y con grandes dimensiones, generalmente se somete a la preservación inmedia-

tamente después de ser cortado, principalmente si se utiliza el método denominado Boucherie (Imagen 55), método que consiste en inyectar el pentaborato por medio de presión, el cual al ir entrando en las paredes del bambú va eliminando azúcares y almidones, a la vez que se va impregnando para conservar el bambú, protegiéndolo contra hongos e insectos, incrementando de manera significativa la vida útil del material. Si este método se aplica días después de haber sido cortado, las paredes del bambú se comienzan a colapsar evitando de esta forma el paso de la solución. Este método a pesar de ofrecer muy buenos resultados, en muchas ocasiones no es muy aceptado debido a que se debe tratar culmo por culmo, mientras que en el método de inmersión se procesan al mismo tiempo varios culmos, disminuyendo tiempo y mano de obra requeridos para aplicar adecuadamente este proceso.

Imagen 55. Sistema Boucherie para preservación.



8) Secado

Después de retirar las latas de la solución de preservación, se someten a un proceso de secado, el cual puede ser de diversas formas, entre las que encontramos: (Imagen 56)

Imagen 56. Proceso de secado por aire y cámara.



- a) Secado por aire. Es un proceso natural donde simplemente se exponen las latas al viento y al sol.
- b) Secado con horno o cámara. Las latas se introducen a una cámara donde se puede controlar el flujo de aire, la temperatura y la humedad. (Imagen 57)

Imagen 57. Acomodo de tablillas en cámara de secado.



9) *Dimensionado de caras y cantos*

Una vez secas las latas, se procede a nivelar y dimensionar las caras y los cantos para obtener medidas y calibre uniforme. Si no se cuenta con maquinaria especializada para este proceso, se puede realizar con una canteadora y un cepillo para madera, auxiliándose de escantillones para lograr una mejor calidad en el momento de emparejar y dimensionar las reglillas.

Se nivelan las cuatro caras, logrando una dimensión final homogénea en ancho y espesor. Podemos decir que hasta esta etapa se finaliza un primer proceso, en el que las latas se convierten en reglillas, y estas podrían ser vendidas para continuar con el proceso de laminado en otra empresa o para ser utilizadas para otras aplicaciones, para lo cual simplemente se empaquetan.

10) *Homogenizar color*

Se introducen las reglillas en agua con peróxido de hidrógeno a una temperatura entre 80 y 100°C hasta lograr un color claro homogéneo de todas ellas. Este proceso también contribuye para homogeneizar la humedad y eliminar el almidón y azúcar de las reglillas, favoreciendo su preservación y a la preparación de las fibras para su posterior proceso.

Las reglillas se pueden blanquear o carbonizar. Estos acabados se pueden lograr de diversas formas: (Imagen 58)

Imagen 58. Tabla de cocina para picar alimentos.



a) Blanqueado. Se cosen las tablillas durante una o dos horas en un tanque con peróxido de hidrógeno al 3%, a una temperatura de 80°C. A continuación se dejan secar por un tiempo aproximado de 48 h, dependiendo del proceso de secado seleccionado, hasta lograr un contenido de humedad cercano al 14%. Porcentaje sugerido para lograr el fraguado y una buena adhesión ya que de contener más humedad el secado del adhesivo llevaría más tiempo y disminuiría la fuerza de adhesión, además para que los tableros no se deformen al perder humedad.

Este proceso además de homogenizar a un color claro, descompone el almidón que haya quedado, ablanda las fibras y libera tensiones de las tablillas, por lo que permite una mejor densidad en el prensado final. (Imagen 59)

Imagen 59. Reglillas blanqueadas.



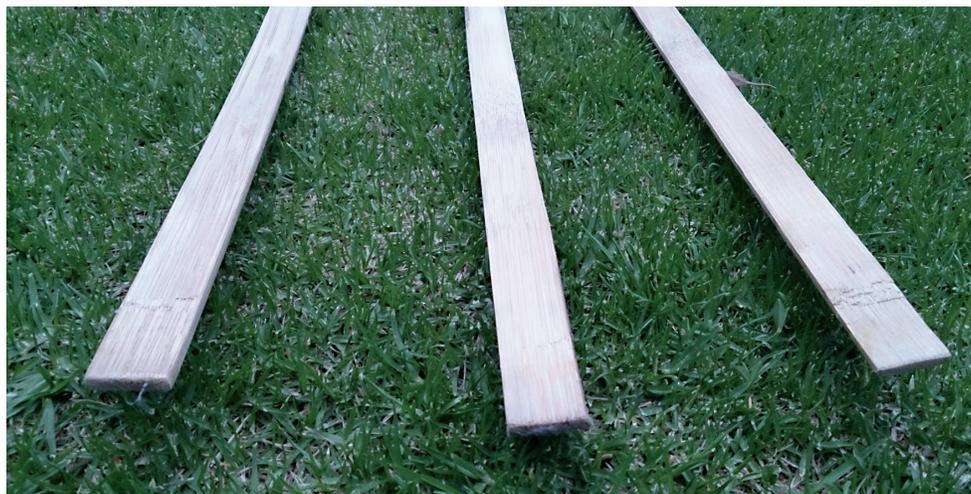
b) Carbonizado. Se realiza utilizando una autoclave donde se introducen las tablillas con vapor de agua a 150°C durante 30 minutos. Este tratamiento modifica la tonalidad de las tablillas a un ámbar oscuro. Al igual que con el tratamiento anterior, se ablandan las fibras.

11) Elaboración de Laminado

Un último proceso del que se obtendrá como resultado el tablero de laminado de bambú. Cabe mencionar que en la actualidad ya existe en otros países maquinaria especializada para elaborar los tableros de laminado de bambú, tecnología que no existe en nuestro país, por lo que el proceso que se recomienda es con herramientas que existen en la industria de la transformación de otros materiales, como la madera.

- a) Preparación de reglillas. Las reglillas deben estar limpias, sin polvo y totalmente secas para facilitar y obtener una buena adherencia entre estas. (Imagen 60)

Imagen 60. Reglillas listas para recibir el adhesivo.



- b) Aplicación de adhesivo. En esta etapa se unen las tablillas para formar los tableros. La unión entre estas puede ser por canto o por cara. Esta última es más utilizada para la elaboración de tableros y ofrece mayor resistencia a la tensión.

Existen diversos adhesivos que pueden ser utilizados para este objetivo, sin embargo debemos considerar que algunos dañan más el ambiente que otros, por lo que se aconseja analizar los componentes de los adhesivos que tenemos accesibles y utilizar el que menos contamine y que nos ofrezca mejores ventajas.

Uno de los adhesivos más utilizado para este proceso es el PVA o acetato de polivinilo también conocido como “cola o adhesivo vinílico”. Este es un polímero,

obtenido mediante la polimerización del acetato de vinilo. Lo podemos encontrar comercialmente en forma de emulsión, como adhesivo para materiales porosos, en especial para madera. En la actualidad se ofrecen en el mercado nuevos adhesivos que podrían presentar mejores resultados, pero hay que realizar investigación en este sentido.

Se aplica el adhesivo en ambas caras o en el canto, dependiendo de nuestro tipo de adhesivo o unión, lo cual se puede realizar manualmente con una espátula o brocha, o se puede utilizar una máquina encoladora (Imagen 61).

Para la aplicación del adhesivo puede utilizarse desde una brocha para pintura hasta una máquina encoladora que aplicará el producto más fácil, rápido y uniforme.

Imagen 61. Aplicación de adhesivo con máquina encoladora.



Es importante tomar en consideración que el adhesivo es pieza clave en la elaboración de los tableros. De este dependerá en gran parte su duración y resistencia, así como el impacto que pueda tener el proceso en el medio ambiente.

La unión de canto puede mejorarse utilizando un tipo de ensamble por traslape, esto es, se rebaja una cuarta parte de una de las caras, longitudinalmente, y otra cuarta parte por la otra cara, también longitudinalmente, de modo que viendo la pieza por la cabeza forma un tipo de “S”. Este ensamble ofrece una superficie mayor de contacto entre tablillas, ofreciendo mayor resistencia al tablero.

c) Prensado. Las tablillas se van uniendo, ya sea por cara o por canto hasta lograr la medida deseada y se prensan, ya sea con prensas sargento o con una prensa hidráulica (Imagen 62). El prensado deberá durar aproximadamente dos horas, dependiendo del tipo de adhesivo y lograr una presión de 1-10 kg/cm² para Urea-Formaldehido. Preferentemente la temperatura ambiente deberá estar entre 15 y 80°C. Debe haber presión de arriba hacia abajo y de un lado al otro.

Imagen 62. Prensa hidráulica para elaboración de tableros.



d) Acabado. Ya formado el tablero se deberá revisar y en caso necesario cepillar y dimensionar para nivelar las caras y cantos y obtener la medida deseada. (Imagen 63)

El acabado y recubrimiento final lo dará el cliente en el objeto final que elabore considerando su uso y función. Se pueden considerar acabados similares a los que se aplican en la madera. (Imagen 64)

En este momento está listo el tablero para su venta, transformación o uso final.

Imagen 63. Tablero de bambú laminado listo para su venta o aplicación.



Imagen 64. Aplicaciones del laminado de bambú.



2.2. Elaboración de probetas

Como lo hemos comentado en el desarrollo de este documento, los tableros elaborados con laminados de bambú son un producto prácticamente nuevo en nuestro país y en gran parte de nuestro continente, motivo por el cual no existen normas específicas para la realización de ensayos físicos en estos productos. Por ello y considerando que es un material natural similar a la madera por provenir de una planta perene de tallo leñoso y estar constituidos principalmente por celulosa, lignina y hemicelulosa, además de ser un material que también se está proponiendo como alternativo a esta en diversas aplicaciones, se consideró tomar como referencia la norma ASTM D-143 que indica los métodos de ensayo a seguir para determinar propiedades físicas y mecánicas en pequeñas muestras claras de madera. Una norma internacional que considera el tiempo, fechas, adecuación de materiales (características de cada probeta), cantidad de probetas y equipo e instrumentos de medición que serán utilizados.

“La guadua se comporta similar a la madera y por esta razón se ha referenciado con los estudios de la madera para la determinación de propiedades físicas y mecánicas para la guadua” (Gonzalez, 2001).

Para la fabricación de las probetas requeridas para los ensayos se utilizó principalmente herramienta y maquinaria especializada para la transformación de la madera debido a tres factores: En primer lugar, por ser los tableros de bambú laminado un producto que aún se encuentra en investigación y experimentación en nuestro país, no es posible encontrar en el mercado laminados hechos en México, aunado a esto y por la naturaleza de este proyecto, se prefirió elaborarlos de forma manual con el fin de controlar cada paso de todo el proceso de producción y poder ofrecer resultados más precisos, sin embargo, el proceso de elaboración de probetas lo comenzamos a partir de reglillas que se adquirieron en Bambuver, A.C. y en la Cooperativa Tosepan ubicada en Cuetzalan, Puebla.

A continuación se detalla el proceso realizado para la elaboración de probetas.

2.2.1 Obtención de tablillas

Las probetas de ensayos se elaboraron con culmos de *Bambusa oldhamii*, con edad de entre cuatro y seis años, procedentes de diversos guaduales del municipio de Huatusco, Veracruz y de Cuetzalan, Puebla. Las latas se obtuvieron de la parte basal y media del culmo.

El corte de culmos, la preservación, el secado y la elaboración de reglillas los realizó la empresa Bambuver, A. C. ubicada en el municipio de Huatusco, Veracruz y la Cooperativa Tosepan de Cuetzalan, Puebla.

En Bambuver se utilizó maquinaria especializada como la Cortadora de Estrella para obtener las Latas y la Dimensionadora de Caras y Cantos importada de la India para lograr Reglillas de 120 cm de largo x 3 cm de ancho x 8 mm de espesor. (Imagen 65)

En la Cooperativa Tosepan se utilizó la Cortadora de Estrella para la obtención de Latas, el Cepillo para dimensionar y emparejar las Caras y la Canteadora para nivelar los Cantos. En ambos lugares se realizó el dimensionamiento longitudinal con el auxilio de una Sierra Circular de Inglete y antes de realizar el corte para obtener las Latas.

Posteriormente las reglillas se trasladaron a la unidad Xochimilco de la Universidad Autónoma Metropolitana, ubicada en el Distrito Federal donde se detalló el dimensionado en todas sus caras y se lijaron para lograr superficies totalmente planas para obtener un óptimo resultado en el proceso de adhesión y elaboración de las probetas.

Imagen 65. Proceso de elaboración del laminado de bambú en Bambuver, A. C.



2.2.2 Aplicación de adhesivo

El adhesivo fue seleccionado considerando aspectos como su fácil disponibilidad en el mercado, su utilización en materiales similares como la madera, su fuerza de adhesión, sus propiedades físicas y químicas, así como sus impactos ambientales.

Se utilizó como aglomerante el compuesto Poli-Vinil Acetato (PVA) conocido comúnmente como pegamento blanco, en virtud de que este adhesivo se encuentra debidamente caracterizado y forma uniones rígidas de alta resistencia, no contiene solventes, resiste más de 80°C y es muy fácil de usar. Y a diferencia del pegamento blanco que comúnmente se utiliza, el adhesivo utilizado especialmente en este proyecto de investigación contiene un endurecedor que lo hace resistente al agua a diferencia del pegamento blanco tradicional que es hidrosoluble.

Otras ventajas del PVA es que para su aplicación no se requiere tecnología especializada ni temperatura y humedad ambiental especiales, y además de ser de fácil aplicación presenta la gran ventaja de no ser tóxico para el ser humano y es poco agresivo con el medio ambiente, especial diferencia con la Urea-Formaldehído, resina sintética muy utilizada como adhesivo en la elaboración de tableros y paneles de madera.

Es recomendable aplicar el adhesivo a una de las superficies formando una capa uniforme y delgada, usando rodillo, brocha o si es posible con máquina encoladora. La cantidad a aplicar depende de la capacidad de absorción de las tablillas de bambú, en promedio el rendimiento aproximado es de 180 a 220 g/m².

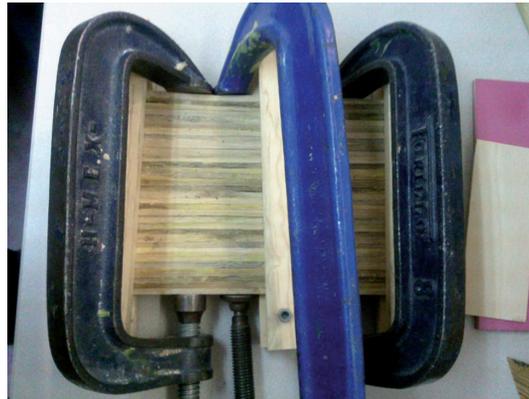
En la elaboración de las probetas y debido a las dimensiones y cantidad del material necesario se aplicó el adhesivo de forma manual con el auxilio de una espátula y en ocasiones con una pequeña brocha, en una sola cara del material y dejando una película delgada de adhesivo.

Es importante recordar que el contenido de humedad del material puede influir en la calidad de la adhesión y en el tiempo de secado. Cada fabricante recomienda el porcentaje de humedad que debe contener el material para una mejor adhesión según su producto. Para el adhesivo utilizado en este proyecto, se recomienda que el contenido de humedad del material sea al rededor del 14%. El material utilizado en este proyecto contaba con una humedad de entre 12 y 16 %.

2.2.3 Prensado

En la elaboración de las probetas se utilizaron Prensas Manuales tipo C (Imagen 66) y Prensas de Banco, y a pesar de que el fabricante del adhesivo menciona que en 30 minutos seca el adhesivo, las piezas se dejaron prensadas por al menos cuatro horas.

Imagen 66. Prensado de material de bambú con adhesivo.



2.2.4 Acabado

A continuación se lijaron ligeramente las caras y los cantos para nivelar y dejar una superficie fina y totalmente lisa.

No se aplicó ningún producto para el acabado.

Se elaboraron un total de 84 probetas para los diferentes ensayos que se realizaron, considerando la norma ASTM D-143.

2.3. Pruebas de materiales

2.3.1. Propósito

Tienen por objeto determinar diversos tipos de resistencia y propiedades de los tableros laminados de bambú mediante la aplicación de cargas y esfuerzos en probetas diseñadas especialmente para este fin. La forma, el tamaño y las características de cada probeta se elaboraron

siguiendo las indicaciones de la norma ASTM D-143, y la realización de los ensayos se efectuaron en una Máquina Universal para Ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, en la Ciudad de México, siguiendo el procedimiento que marca dicha norma.

Una vez que se obtienen los datos, se realiza la interpretación y caracterización de las propiedades físico-mecánicas de los laminados de bambú. Además se realiza la comparación de los resultados con las propiedades que presenta la madera de pino y con trabajos realizados en otros países con laminados de bambú.

Imagen 67. Ensayo de compresión en probeta de bambú.



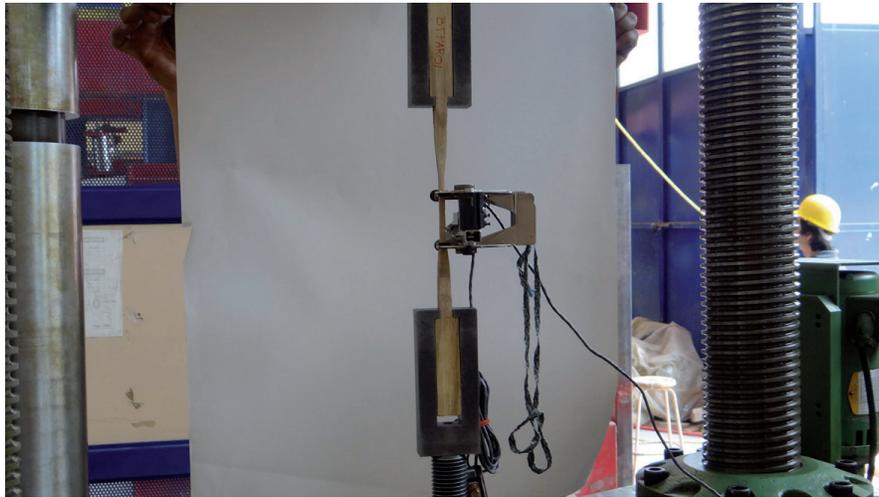
2.3.2 Estímulos físicos

Se realizaron diversos ensayos en los tableros (Imagen 67) para determinar sus propiedades mecánicas o valores de resistencia y contar con la información necesaria para respaldar el uso de los tableros de bambú laminado en aplicaciones como la fabricación de muebles, objetos

decorativos, artículos de uso común y acabado de muros en el área de la construcción. Los ensayos realizados fueron:

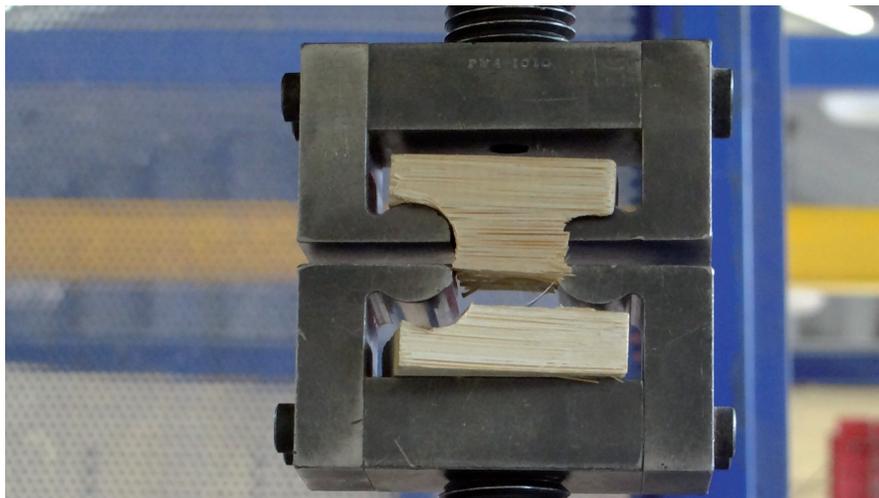
A) Tensión Paralela a la Fibra. (Imagen 68)

Imagen 68. Ensayo de Tensión Paralela a la Fibra.



B) Tensión Perpendicular a la Fibra. (Imagen 69)

Imagen 69. Ensayo de Tensión Perpendicular a la Fibra.



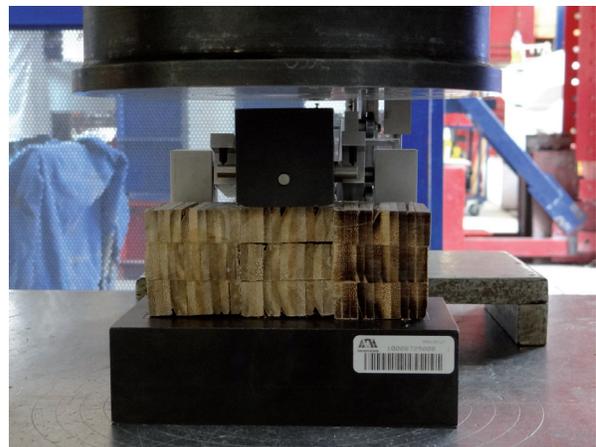
C) Flexión. (Imagen 70)

Imagen 70. Ensayo de Tensión Paralela a la Fibra.



D) Compresión Paralela a la Fibra. (Imagen 71)

Imagen 71. Ensayo de Compresión. Paralela a la Fibra



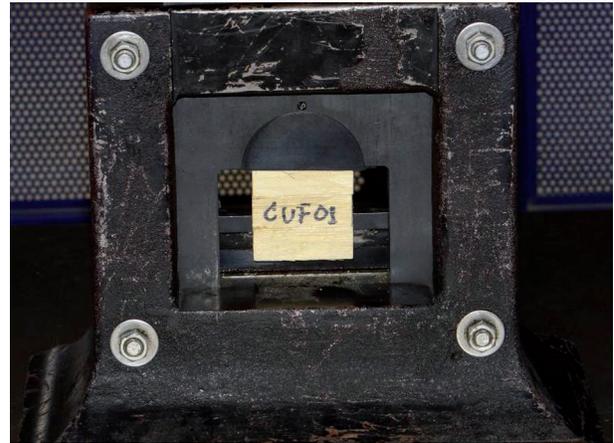
E) Compresión Perpendicular a la Fibra. (Imagen 72)

Imagen 72. Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra.



F) Cortante Directo. (Imagen 73)

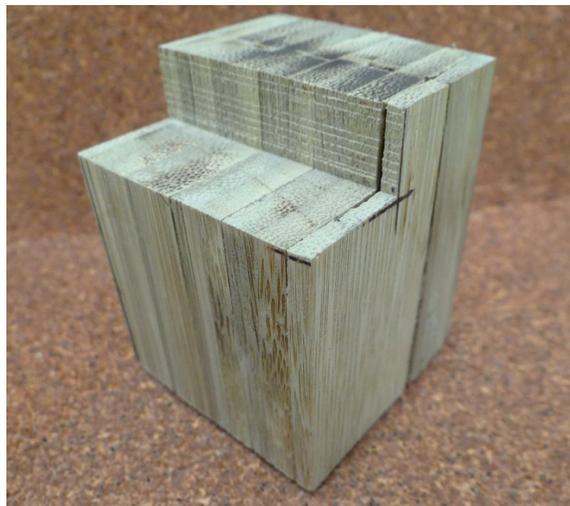
Imagen 73. Ensaye de Cortante Directo.



2.3.3. Definición de variables

Como se mencionó anteriormente, la elaboración de los tableros de bambú laminado puede realizarse de diversas maneras. Esto es, una variante es el tipo de bambú, otra, la forma como se colocan las reglillas entre sí, el tipo de adhesivo y el acabado principalmente cuando este contempla un estímulo físico o químico como la exposición al calor, flama, hervor y químicos como el Peróxido de Hidrógeno.

Imagen 74. Probeta para ensaye de Cortante Directo.



En algunos proyectos de investigación realizados en Colombia se han llevado a cabo diversos ensayos en tableros de bambú laminado elaborados con otro tipo de adhesivos, como la Urea-Formaldehído y Urea-Melanina-Formaldehído. En el capítulo donde se muestran los resultados de esta investigación, se realiza una comparación con los resultados que se obtuvieron en los estudios de laboratorio, donde se podrán observar tanto las diferencias de resistencia de los diferentes adhesivos como del tipo de bambú, ya que los ensayos colombianos se realizaron con *Guadua angustifolia* kunt.

2.3.4 Preparación de probetas

Las probetas se prepararon con las siguientes características:

- Tipo de bambú: *Bambusa oldhami*.
- Edad: 4 a 8 años.
- Procedencia: Huatusco, Veracruz y Cuetzalan, Puebla.
- Humedad: El contenido de humedad de las probetas al momento de la aplicación del adhesivo y de la realización de ensayos se encontraba entre 14% y 16%.
- Tipo de ensamble: Unión de las reglillas a tope por cara y canto. Se aplicó adhesivo tanto en las caras como en los cantos de las reglillas debido a las dimensiones y forma de las probetas.
- Adhesivo: Acetato de Polivinilo con un polímero resistente al agua.
- Acabado: Ninguno.
- Preservación: Después de la cosecha, los culmos fueron tratados con una solución de Pentaborato.
- Forma: Indicada por la norma internacional ASTM D-143.
- Dimensiones: Con base en la norma internacional ASTM D-143.
- Fecha: Los ensayos se realizaron del 26 de marzo al 20 de junio de 2013.

No se realizó ningún tipo de acabado ni homogenización del color de las reglillas porque existe la posibilidad de alterar las propiedades físico-mecánicas naturales del bambú al momento de aplicar estímulos físicos o químicos como los que requiere el blanqueado o carbonizado, lo

cual se podrá comprobar en un siguiente proyecto de investigación que contemple esta hipótesis en sus objetivos.

Las formas y dimensiones de las probetas que se utilizaron y que contempla la norma mencionada, son las siguientes:

- a) Probeta para ensayo de tensión paralela a la fibra. (Imagen 75)
- b) Probeta para ensayo de tensión perpendicular a la fibra. (Imagen 76)

Imagen 75. Probetas para Ensayo de Tensión Paralela a la Fibra.

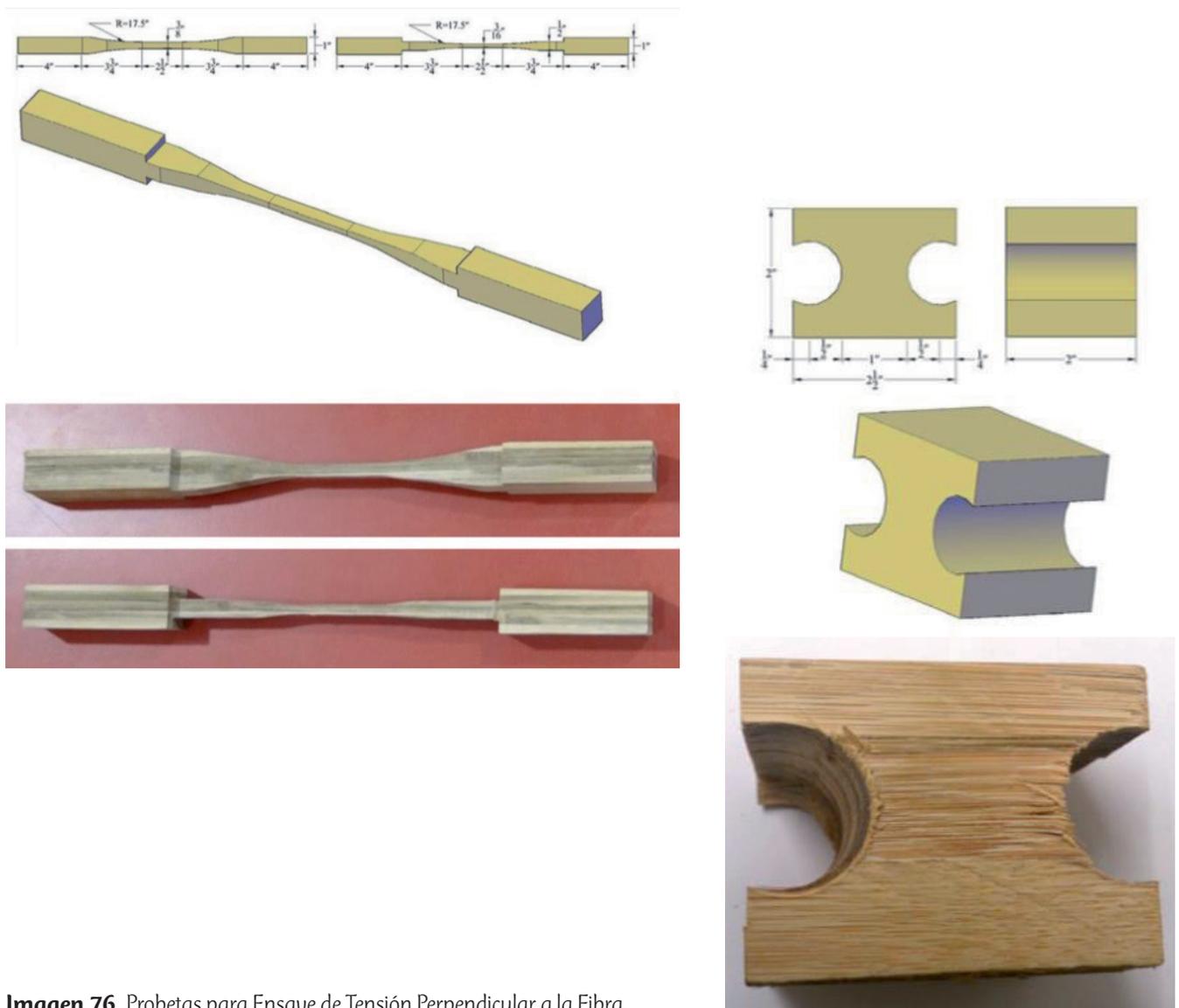
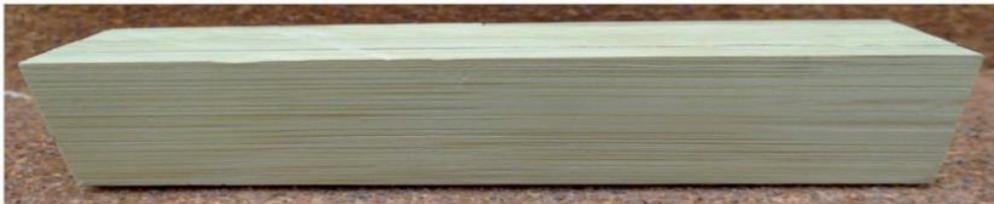
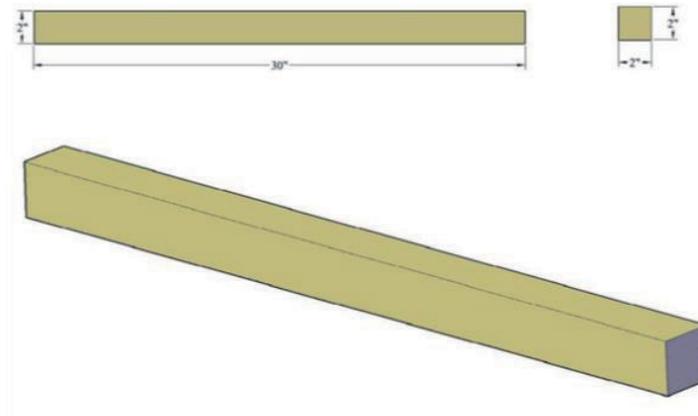


Imagen 76. Probetas para Ensayo de Tensión Perpendicular a la Fibra.

c) Probeta para ensayo de flexión. (Imagen 77)

Imagen 77. Probetas para Ensayo de Flexión Paralela a la Fibra.



d) Probeta para ensayo de compresión paralela a la fibra. (Imagen 78)

Dimensiones:

Largo: 203 mm Ancho: 50 mm Espesor: 50 mm

Imagen 78. Probeta para Ensayo de Compresión Paralela a la Fibra.



e) Probeta para ensayo de compresión perpendicular a la fibra. (Imagen 79)

Dimensiones:

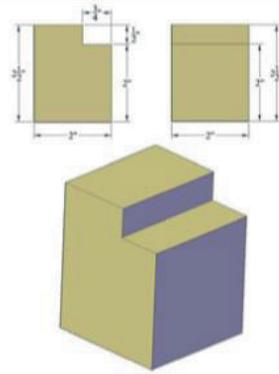
Alto: 152 mm Ancho: 50 mm Espesor: 50 mm

f) Probeta para ensayo de esfuerzo cortante paralelo a la fibra. (Imagen 80)

Imagen 79. Probeta para Ensayo de Compresión Perpendicular a la Fibra.



Imagen 80. Probetas para Ensayo de Cortante Directo.



2.4. Propiedades de los tableros de bambú laminado

Además de la realización de los ensayos físicos en laboratorio, durante la elaboración de las probetas y los diferentes prototipos, también se observaron diversos comportamientos de los laminados de bambú al exponerlos a diversos tipos de maquinado, con resultados muy interesantes y diferentes a los que se obtienen con la madera de pino, los cuales se mencionan en este apartado.

2.4.1. Resistencia a estímulos físicos

Se realizaron pruebas de materiales en los tableros de bambú laminado con el fin de obtener datos de laboratorio y conocer sus características físico-mecánicas, como su resistencia a diversos estímulos físicos y así contar con un respaldo científico que permita definir sus posibles usos y aplicaciones.

Las pruebas, como ya se ha comentado, se realizaron bajo la norma internacional ASTM D-143. Cada uno de los ensayos se aplicó a ocho probetas diferentes en una Máquina Universal para Ensayes modelo 400WHV. (Imagen 81)

Imagen 81. Máquina Universal para Ensayes. UAM Azcapotzalco.



Durante los ensayos se registró la carga aplicada y las deformaciones correspondientes, así como el comportamiento mecánico del material. Para cada ensayo se determina la resistencia a la falla correspondiente. La humedad de las probetas se situó en el rango de 14% a 16%.

2.4.1.1 Tensión Paralela a las fibras

Se llevaron a cabo dos variantes en este tipo de ensaye, carga de tensión con reglillas de bambú paralelas al borde de agarre (OLLTAA, imagen 82), seis probetas, y carga de tensión con reglillas de bambú perpendiculares al borde de agarre (OLLTAM, imagen 83), cinco probetas.

En la tabla 01 se indican las características geométricas de las probetas y la carga máxima obtenida durante el ensaye, así como el esfuerzo normal a tensión determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

donde:

$F_{\text{máx}}$ es la carga máxima soportada por la probeta.

A es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración.

Imagen 82. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLTAA.

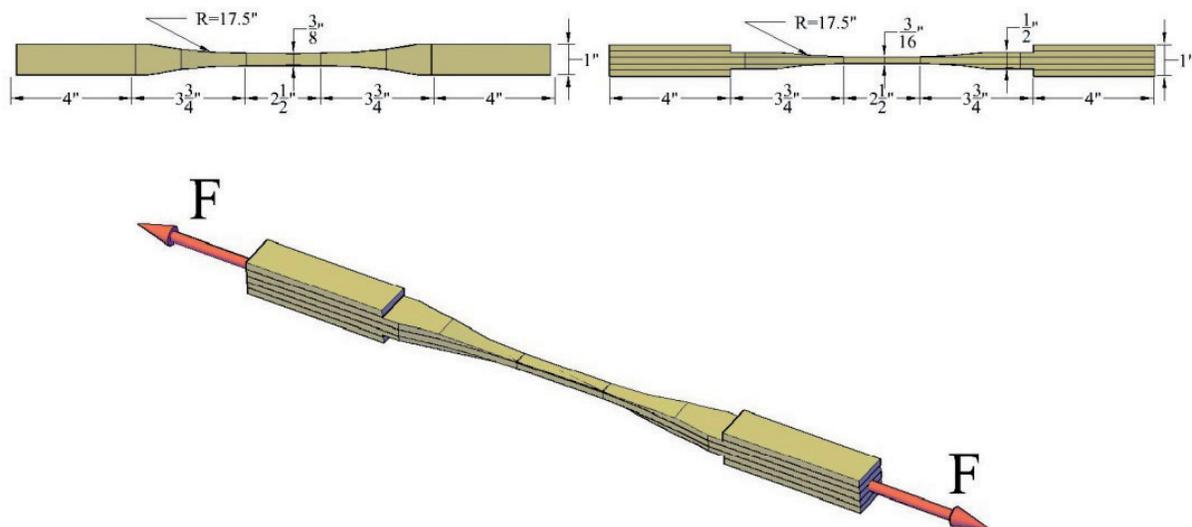
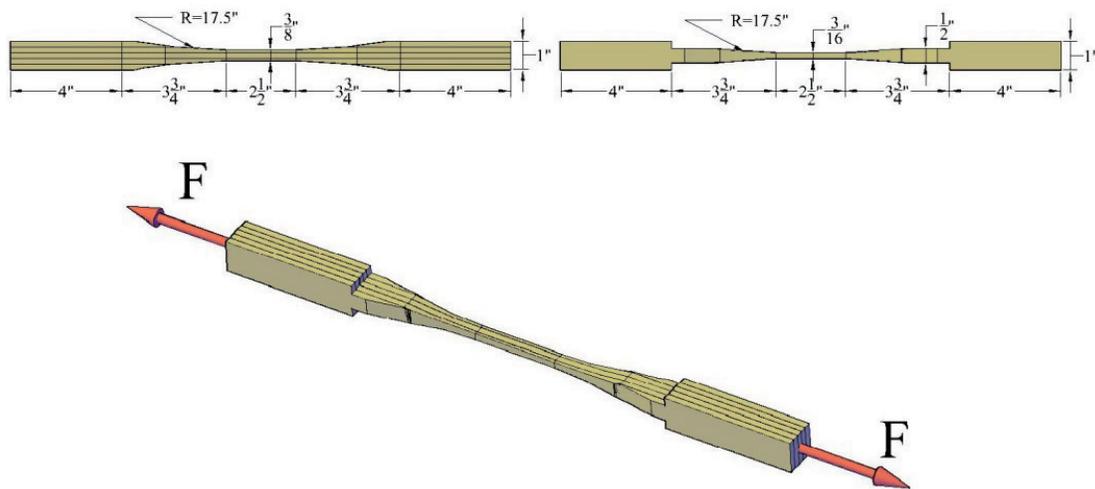


Imagen 83. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLTAM.**Tabla 2.** Resultados de ensayos a tensión paralela a la fibra.

Probeta	Ancho a (cm)	Espesor t (cm)	Área A (cm ²)	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo normal a tensión σ (kg/cm ²)
OLLTAA01	0.74	0.47	0.35	577.12	1,659.34
OLLTAA02	0.86	1.36	1.17	694.37	593.68
OLLTAA03	0.87	0.52	0.45	445.11	983.89
OLLTAA04	0.76	0.50	0.38	294.49	774.96
OLLTAA05	0.82	0.67	0.55	729.89	1,328.53
OLLTAA06	0.67	0.54	0.36	718.52	1,985.95
OLLTAM01	0.62	1.18	0.73	246.76	337.28
OLLTAM02	0.62	0.94	0.58	424.20	727.86
OLLTAM03	0.74	1.05	0.78	1,124.04	1,446.64
OLLTAM04	0.62	1.13	0.70	482.47	688.65
OLLTAM05	0.69	1.22	0.84	940.16	1,116.85

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

Imagen 84. Ensayo de Tensión Paralela a la Fibra.



La falla en las probetas se presentó en la zona central debida al esfuerzo normal a tensión inducido en esta zona, la cual se presenta de manera súbita con una deformación muy pequeña antes de que esta ocurra. El esfuerzo normal a tensión promedio para las probetas OLLTAA y OLLTAM fue de $1,058.51 \text{ kg/cm}^2$ con desviación estándar de 481.72 kg/cm^2 . (Imagen 84 y 85)

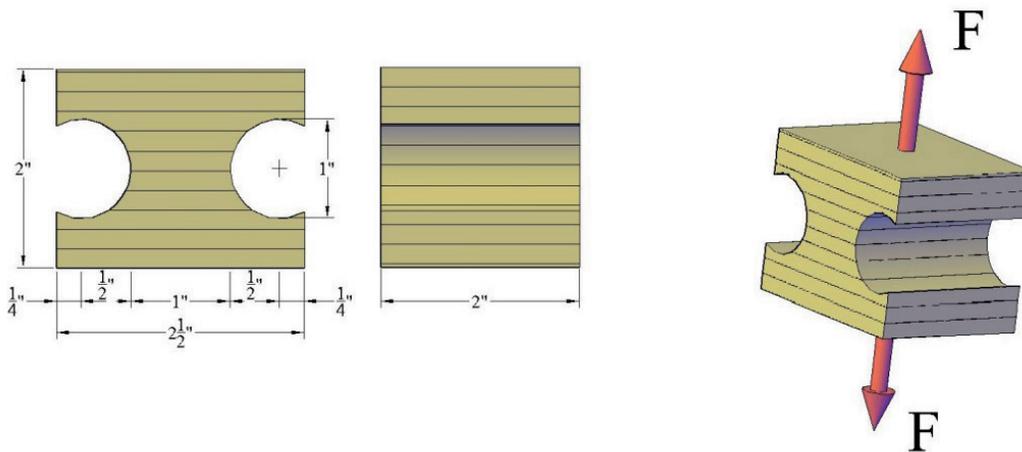
Imagen 85. La falla se presenta en la zona central de la probeta.



2.4.1.2. Tensión Perpendicular a las fibras

Se llevaron a cabo ensayos a tensión perpendicular a la fibra en 8 probetas (OLLTE, imagen 86). El área de la zona calibrada de falla es rectangular de aproximadamente 12.5 cm². Se aplica carga de tensión hasta la falla.

Imagen 86. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLTE.



Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

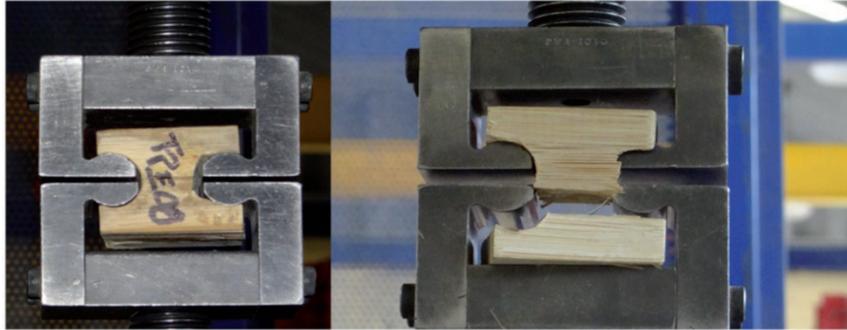
En la tabla 02 se indican la carga máxima obtenida durante el ensayo y el esfuerzo normal a tensión determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

dónde:

F_{máx}: es la carga máxima soportada por la probeta.

A: es el área de la sección transversal de la probeta en la zona central de calibración.

Imagen 87. Ensaye de tensión perpendicular a la fibra.

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

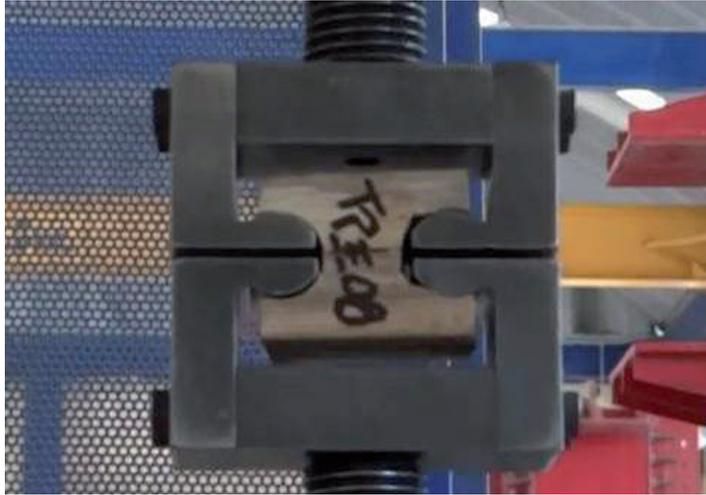
Tabla 3. Resultados de ensayos a tensión perpendicular.

Probeta	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo normal a tensión σ (kg/cm ²)
OLLTE01	654.80	52.38
OLLTE02	322.30	25.78
OLLTE03	299.70	23.98
OLLTE04	281.80	22.54
OLLTE05	722.80	57.82
OLLTE06	161.60	12.93
OLLTE07	394.70	31.58
OLLTE08	237.00	18.96

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

La falla en las probetas se generó en la zona central (Imagen 87) debida al esfuerzo normal a tensión inducido en esta zona, la cual se presenta de manera súbita con una deformación muy pequeña antes de que esta ocurra. El esfuerzo normal a tensión promedio fue de 30.75 kg/cm² con desviación estándar de 16.02 kg/cm². (Imagen 88)

Imagen 88. Ensaye de tensión perpendicular a la fibra.

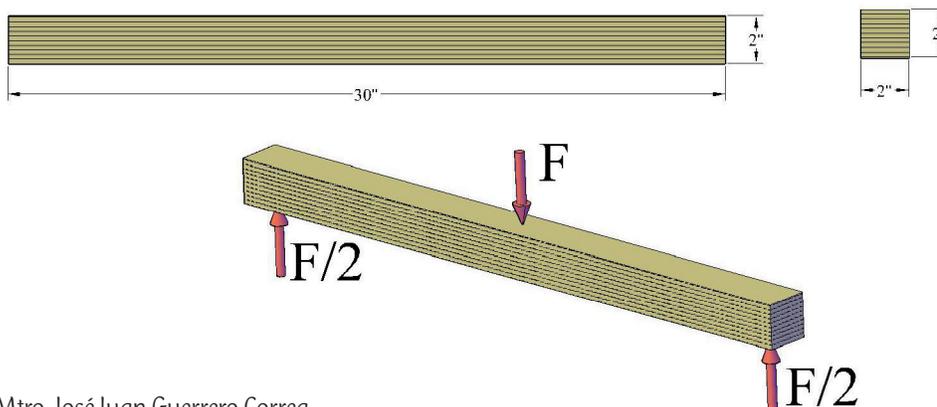


Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

2.4.1.3. Flexión

Se llevaron a cabo ensayos a flexión debida a carga transversal perpendicular a la fibra en cinco probetas (OLLF, imagen 89). Se aplica carga hasta la falla de la probeta y se registra durante el ensayo la carga y el desplazamiento en la zona central correspondiente. La sección transversal de la probeta es de aproximadamente cinco cm de base y cinco cm de peralte, la longitud entre apoyos de la viga es de 71.12 cm.

Imagen 89. Geometría y esquema de ensayo de probetas OLLF.



Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

En la imagen 93 se indica la carga máxima obtenida durante el ensaye, así como el esfuerzo normal determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{3 F_{\text{máx}} L}{2 b h^2}$$

donde:

F_{máx}: Es la carga máxima soportada por la probeta.

L: Es la longitud entre apoyos de la viga.

b: Es el ancho de la sección transversal.

h: Es el peralte de la sección transversal.

Tabla 4. Resultados de ensayos a flexión.

Probeta	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo normal σ (kg/cm ²)
OLLF01	336.80	287.44
OLLF02	169.52	144.68
OLLF03	313.56	267.60
OLLF04	596.23	508.85
OLLF05	384.10	327.81

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

El esfuerzo normal promedio fue de 307.28 kg/cm² con desviación estándar de 131.77 kg/cm². (Imagen 90)

2.4.1.4. Compresión paralela a las fibras

Se llevaron a cabo ensayos a compresión paralela a la fibra en cinco probetas (OLLCA, imagen 91). Se aplica carga de compresión hasta la falla de la probeta y se registra durante el ensaye la carga y la deformación correspondiente. El área de la sección transversal es cuadrada de aproximadamente 25 cm².

Imagen 90. Ensaye de flexión.

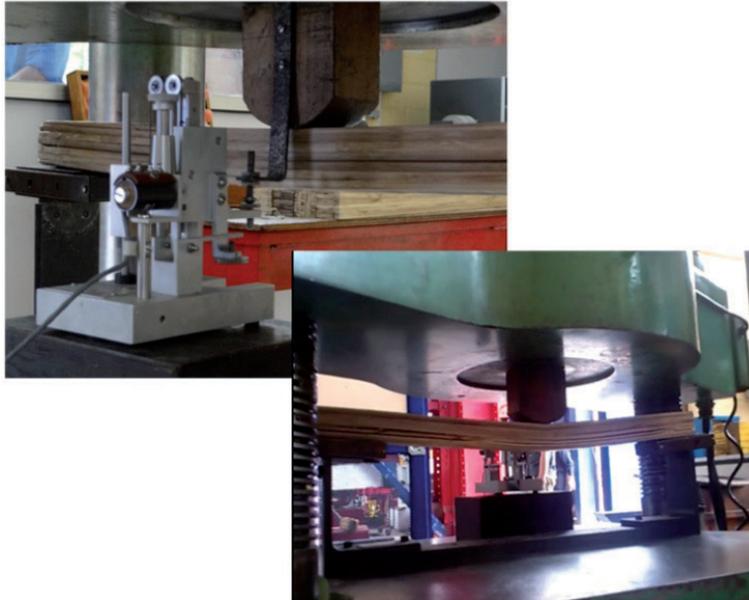
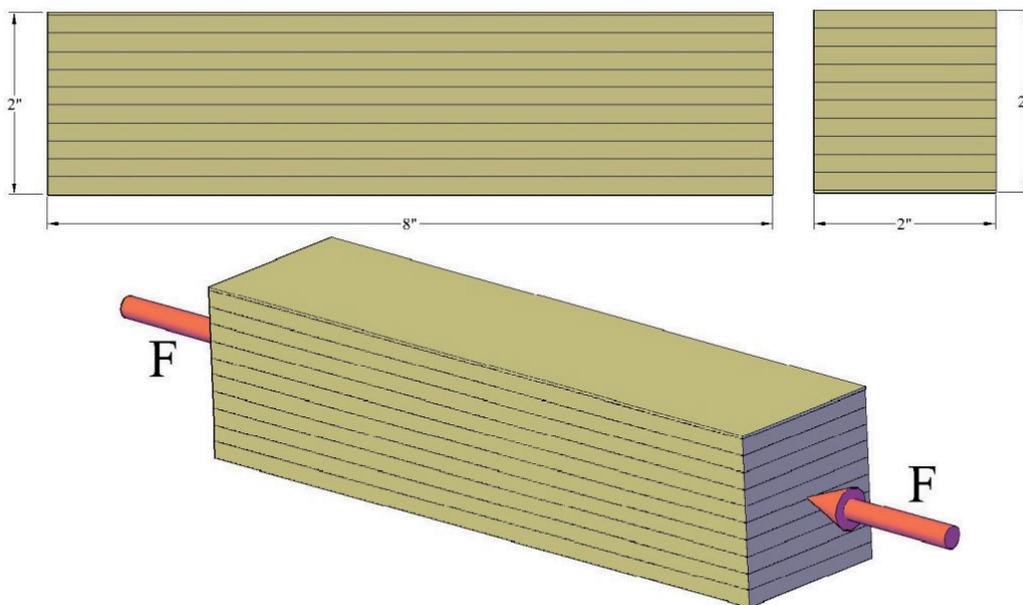


Imagen 91. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLCA.



Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

Imagen 92. Ensaye de compresión paralela a la fibra.

En la tabla 03 se indica la carga máxima obtenida durante el ensaye, así como el esfuerzo normal a compresión determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

donde:

F_{máx}: es la carga máxima soportada por la probeta.

A: es el área de la sección transversal de la probeta.

Tabla 5. Ensayes a compresión paralela a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo normal a compresión σ (kg/cm ²)
OLLCA01	16,365.14	654.61
OLLCA02	15,137.52	605.50
OLLCA03	8,089.28	323.57
OLLCA04	15,032.63	601.31
OLLCA05	19,935.96	797.44

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

La falla en las probetas se presentó en la zona central debida al esfuerzo normal a compresión inducido en esta zona. El esfuerzo normal a compresión promedio fue de 596.48 kg/cm^2 con desviación estándar de 172.01 kg/cm^2 . (Imagen 92 y 93)

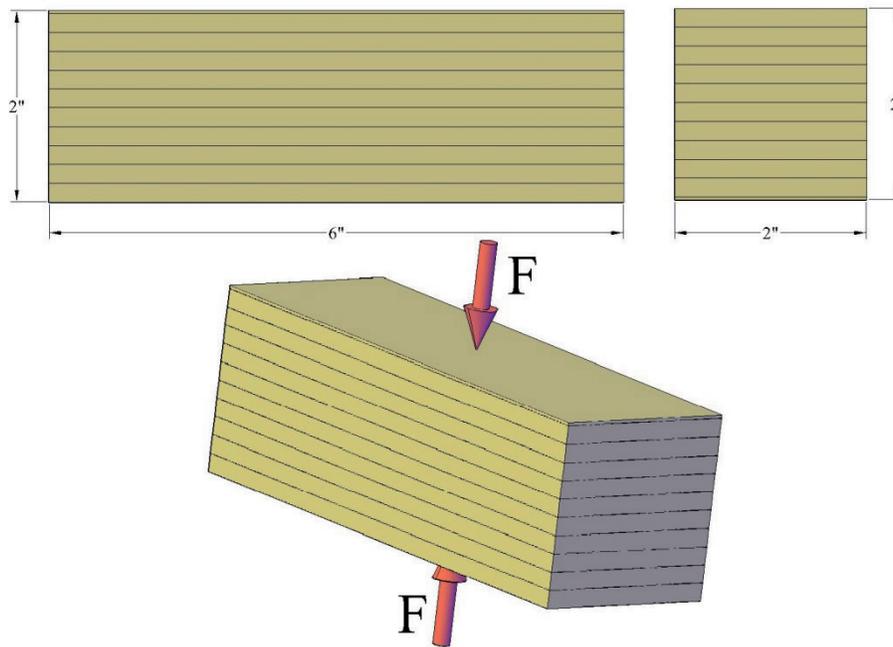
Imagen 93. Ensayo de compresión paralela a la fibra.



2.4.1.5. Compresión perpendicular a las fibras

Se llevaron a cabo ensayos a compresión perpendicular a la fibra en cinco probetas (OLLCE, imagen 94). Se aplica carga de compresión hasta la falla de la probeta y se registra durante el ensayo la carga y la deformación correspondiente. El área de la sección transversal es cuadrada de aproximadamente 25 cm^2 .

Imagen 94. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLCE.



Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

En la tabla 06 se indica la carga máxima obtenida durante el ensaye, así como el esfuerzo normal a compresión determinado con la expresión:

$$\sigma = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

donde:

$F_{\text{máx}}$: Es la carga máxima soportada por la probeta.

A : Es el área de la probeta en la zona central de calibración.

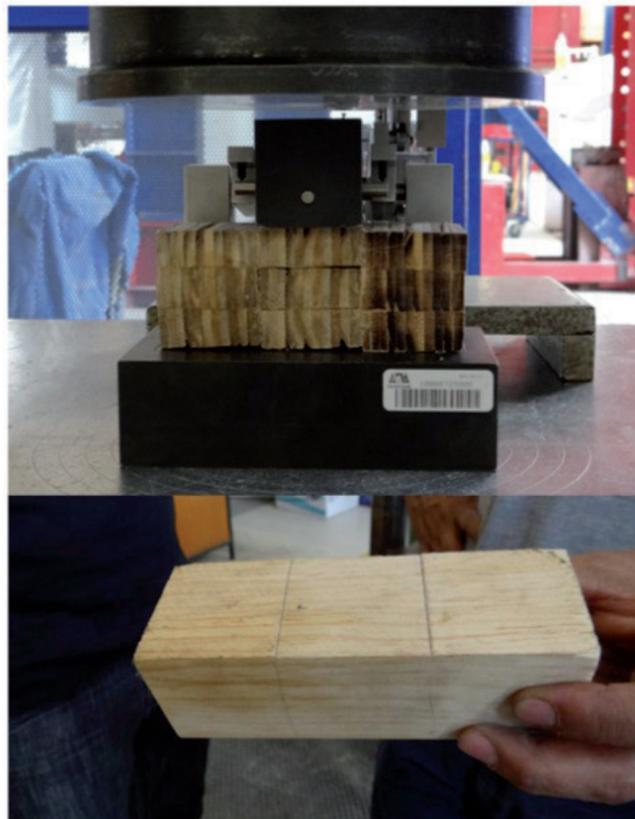
La falla en las probetas se presentó en la zona central debida al esfuerzo normal a compresión inducido en esta zona. El esfuerzo normal a compresión promedio fue de 56.58 kg/cm² con desviación estándar de 36.39 kg/cm². (Imagen 95)

Tabla 6. Ensayes a compresión perpendicular a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo normal a compresión σ (kg/cm ²)
OLLCE01	1,675.96	67.04
OLLCE02	964.44	38.58
OLLCE03	2,699.39	107.98
OLLCE04	239.05	9.56
OLLCE05	1,493.20	59.73

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

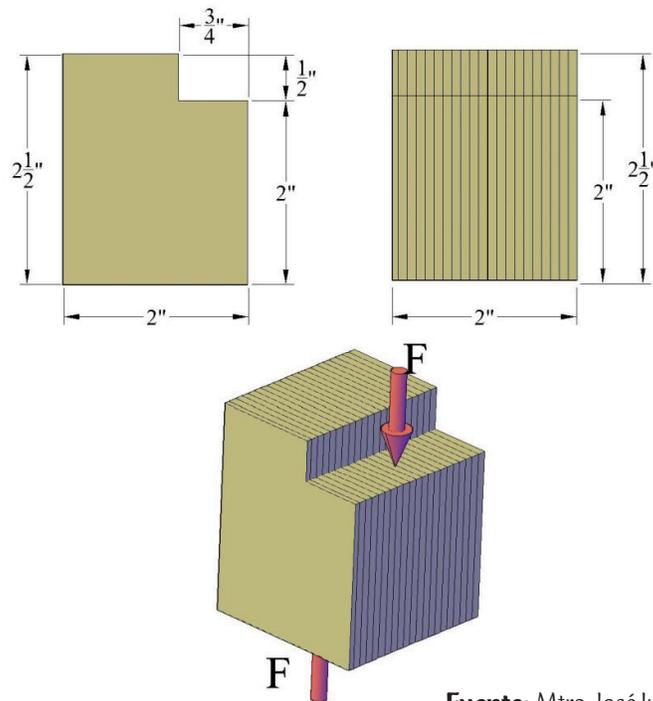
Imagen 95. Ensaye de compresión perpendicular a la fibra.



2.4.1.6. Fuerza Cortante

Se llevaron a cabo dos variantes en este tipo de ensaye, carga de corte directa sobre la probeta con material perpendicular a la zona de falla (OLLVME, imagen 96), cinco probetas, y carga de corte directa sobre la probeta con material paralelo a la zona de falla (OLLVMA, imagen 97, 98), cinco probetas. El área de la zona de falla es aproximadamente rectangular.

Imagen 96. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLVME.

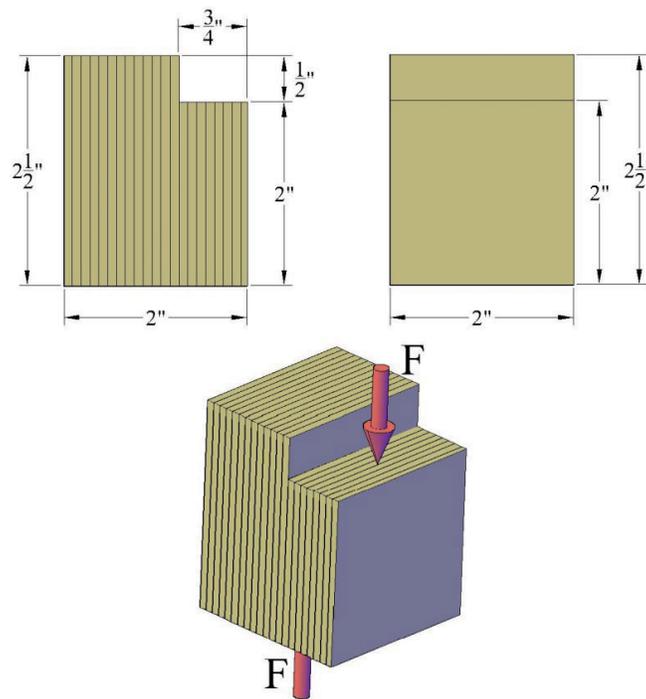


Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

Imagen 97. Probetas para ensaye de fuerza cortante.



Imagen 98. Geometría y esquema de ensaye de probetas OLLVMA.



Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

En la tabla 07 se indica la carga máxima obtenida durante el ensaye, así como el esfuerzo cortante determinado con la expresión:

$$\tau = \frac{F_{\text{máx}}}{A}$$

donde:

$F_{\text{máx}}$: es la carga máxima soportada por la probeta.

A : es el área de la zona de falla.

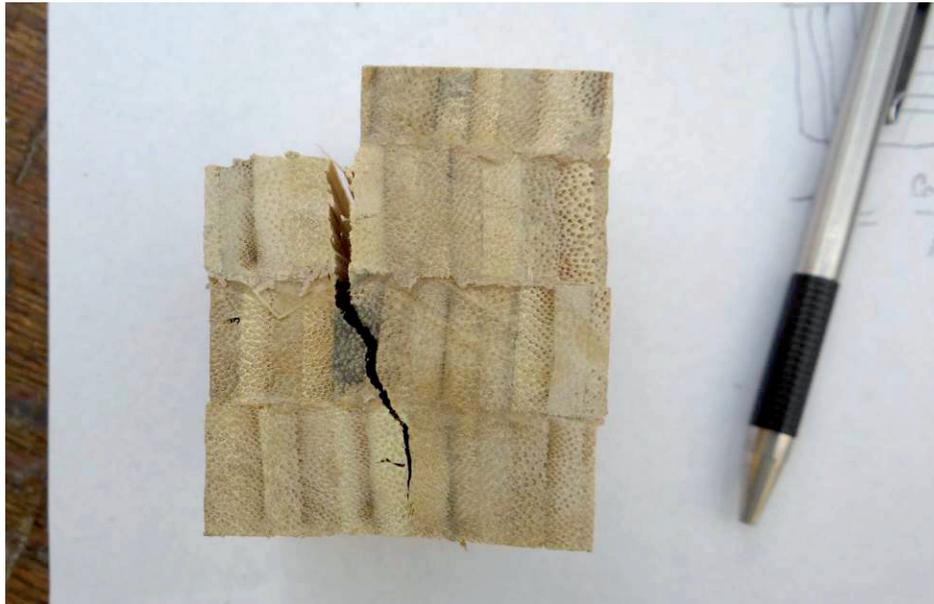
El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVME fue de 46.40 kg/cm² con desviación estándar de 6.23 kg/cm². El esfuerzo cortante promedio de las probetas OLLVMA fue de 25.65 kg/cm² con desviación estándar de 3.68 kg/cm². (Imagen 100)

Tabla 7. Ensayes a cortante paralela a la fibra en probetas de bambú laminado.

Probeta	Ancho a (cm)	Peralte h (cm)	Área A (cm ²)	Carga Máxima F _{máx} (kg)	Esfuerzo cortante τ (kg/cm ²)
OLLVME01	5.17	4.76	24.61	1,027.80	41.76
OLLVME02	5.20	4.76	24.75	1,317.70	53.24
OLLVME03	5.20	5.03	26.16	1,357.70	51.91
OLLVME04	5.17	4.80	24.82	964.60	38.87
OLLVME05	5.18	5.17	26.78	1,238.10	46.23
OLLVMA01	4.94	4.91	24.26	498.40	20.55
OLLVMA02	5.06	4.96	25.10	667.60	26.60
OLLVMA03	4.95	4.97	24.60	621.10	25.25
OLLVMA04	5.03	4.97	25.00	625.80	25.03
OLLVMA05	5.04	4.89	24.65	759.50	30.82

Fuente: Mtro. José Juan Guerrero Correa.

Imagen 99. Probetas para ensaye de fuerza cortante.

Imagen 100. Falla en probeta por ensaye de fuerza cortante.

2.4.1.7. Comparativa de resistencias entre Bambú, Bambú-Guadua y Madera

Tabla 8. Comparación de resistencias entre Bambú, Guadua y Madera.

	Tablero de bambú laminado (Bambusa oldhamii) (Acetato de Polivinilo)	Tablero de bambú laminado (Guadua angustifolia Kunt) (Melamina-Urea-Formaldehído)	Tablero de madera terciada (Pino) (Urea-Formaldehído)
Tensión paralela a la fibra	1,058.51 kg/cm ²	1,650 kg/cm ²	150 kg/cm ²
Tensión perpendicular a la fibra	30.75 kg/cm ²	135 kg/cm ²	90 kg/cm ²
Flexión	307.28 kg/cm ²	366 kg/cm ²	170 kg/cm ²
Compresión paralela a las fibras	596.48 kg/cm ²	1,716 kg/cm ²	160 kg/cm ²
Compresión perpendicular a fibras	56.58 kg/cm ²	-	25 kg/cm ²
Fuerza Cortante	46.40 kg/cm ²	-	25 kg/cm ²

Esta tabla muestra las diferentes resistencias entre tres tipos de materiales. El primer material que se presenta es el tablero de bambú laminado elaborado con *Bambusa oldhamii*, con datos obtenidos en esta investigación.

La siguiente columna muestra las diferentes resistencias que presenta el tablero laminado elaborado con *Guadua angustifolia* Kunt y los datos se obtuvieron del libro “*Guadua (Lambú), Subparámetros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial*”, editado en Bogotá, Colombia. (Castellanos, Godoy, p. 72 y 74)

Por último, se muestran las resistencias de los tableros de madera contrachapada de pino que solicitan las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera, publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, Tomo I No. 103-BIS, el 6 de octubre de 2004. (p. 62)

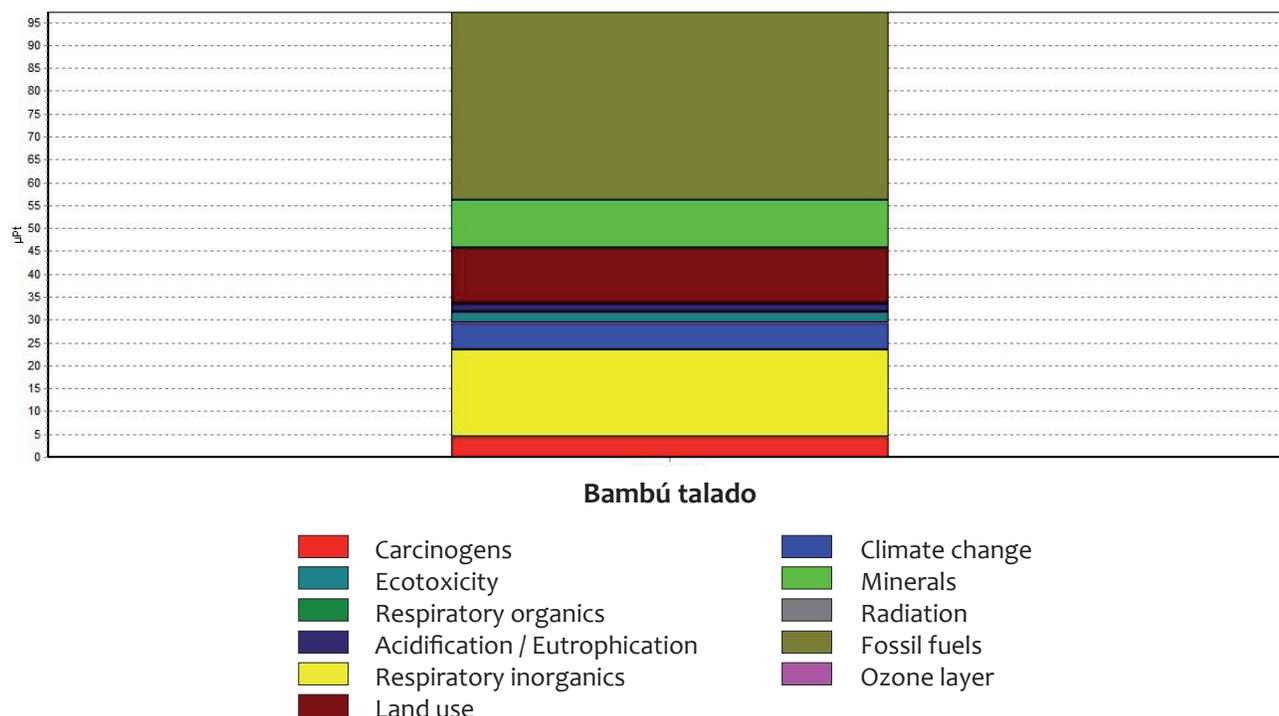
2.4.2 Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida que se presenta en este apartado, fue realizado por el Mtro. Fausto Fabrizio Marin Robles, en su tesis de Maestría “Evaluación Ambiental del laminado de Bambú, empleando la metodología del ACV”. Estudio que se realizó con los datos generados en esta investigación, y proporcionados por el Mtro. José Luis Gutiérrez Sentés.

La gráfica muestra que el impacto más alto se genera en la categoría de utilización de combustibles fósiles (color verde militar), esto debido a que en el proceso productivo del laminado de Bambú se utiliza gas en la parte del secado y cocción, además de la utilización de energía eléctrica generada por combustibles en la parte del aserrado, troceo y denudado.

Otra de las afectaciones importantes en el proceso productivo del laminado de Bambú es en la categoría de partículas respiratorias inorgánicas que se encuentra en la categoría de daños a la salud humana, esto debido a que el Bórax utilizado en el proceso de Preservación causa daños a la salud por respirarse y además es un agente cancerígeno (Colores amarillo y rojo). Dentro de la categoría de la explotación del suelo (color café oscuro), marca una amplia afectación debido a que el Bambú ocupa varias hectáreas de suelo agrícola y al mismo tiempo consume minerales de la tierra fértil es por ello que marca también una afectación en ese rubro (color verde).

Gráfica 1. Evaluación del daño ambiental del laminado de Bambú.
Análisis de impacto Puntuación Única.



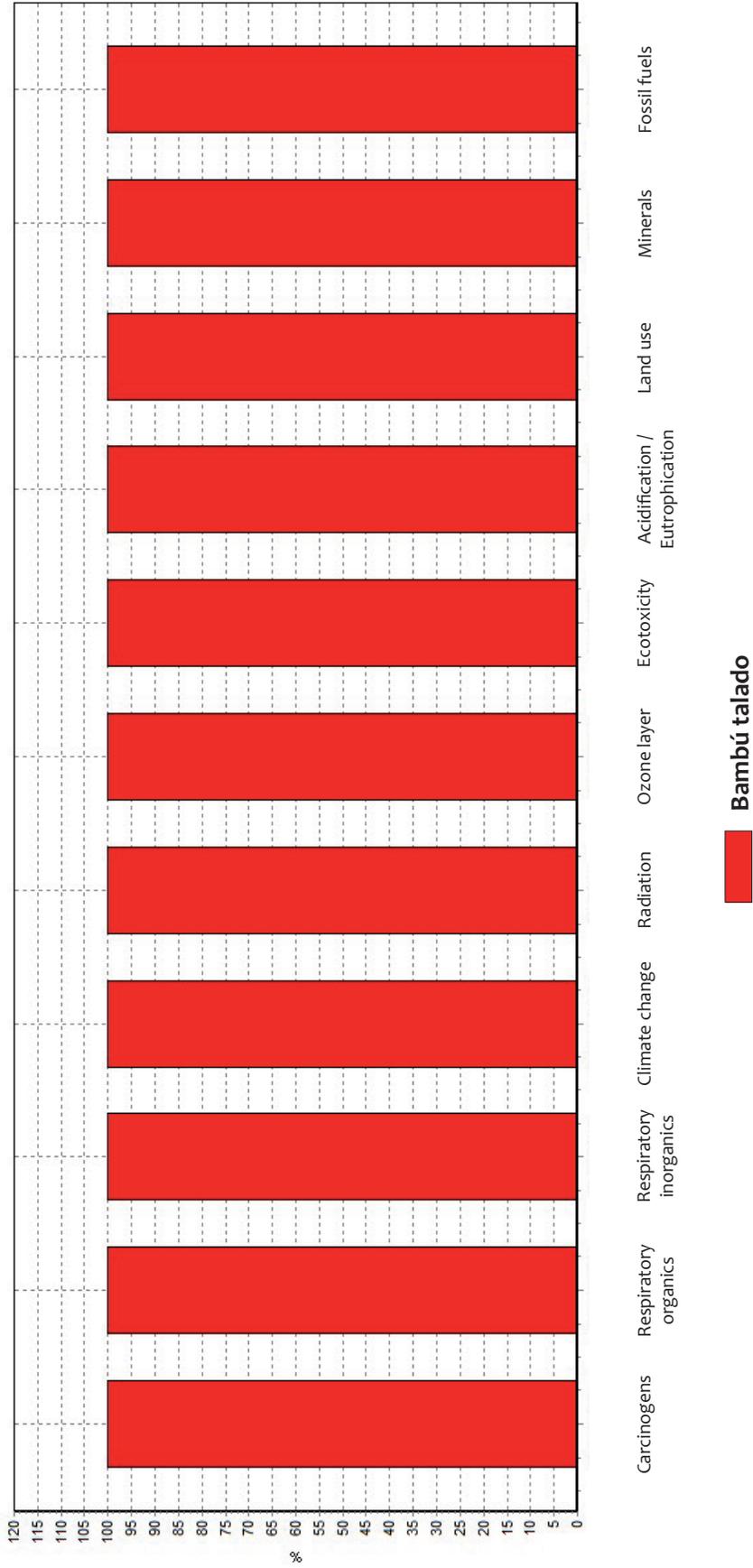
Analizando 2.98 m2 material “Bambú talado”; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.03 / Europe El 99 E/E / puntuación única

Fuente: Marín Fabrizio

En cuanto a las afectaciones de escala global como lo es el Cambio Climático, la acidificación y la aportación al adelgazamiento de la capa de ozono, no son tan relevantes las afectaciones en comparación con las escalas Regional y local que se mencionaron con anterioridad.

La gráfica muestra que en el rubro de la normalización, el proceso productivo del laminado de Bambú, es decir el un análisis de la importancia relativa de cada impacto del cálculo de la contribución relativa del total de las cargas del producto – proceso, en estudio del impacto del área del Municipio del Tosepan se mantiene estable en todas las categorías de impacto, debido a que el proceso productivo del laminado se da de manera constante en todos los eslabones de la cadena productiva.

Gráfica 2. Caracterización



Analizando 2.98 m2 material “Bambú talado”; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.03 / Europe El 99 E/E / Caracterización

Fuente: Marín Fabrizio.

Normalización

La gráfica de la normalización es donde los valores que se obtienen durante la caracterización están expresados en diferentes unidades y la normalización hace posible su traslado a unidades que permitan su comparación e interpretación. Aquí las afectaciones calculadas después de la homologación de unidades muestran que en la categoría del uso de combustibles fósiles dentro del proceso productivo del laminado de Bambú es donde se genera mayor afectación al medio ambiente. Seguido de la generación de partículas respirables inorgánicas que afectan a la salud humana.

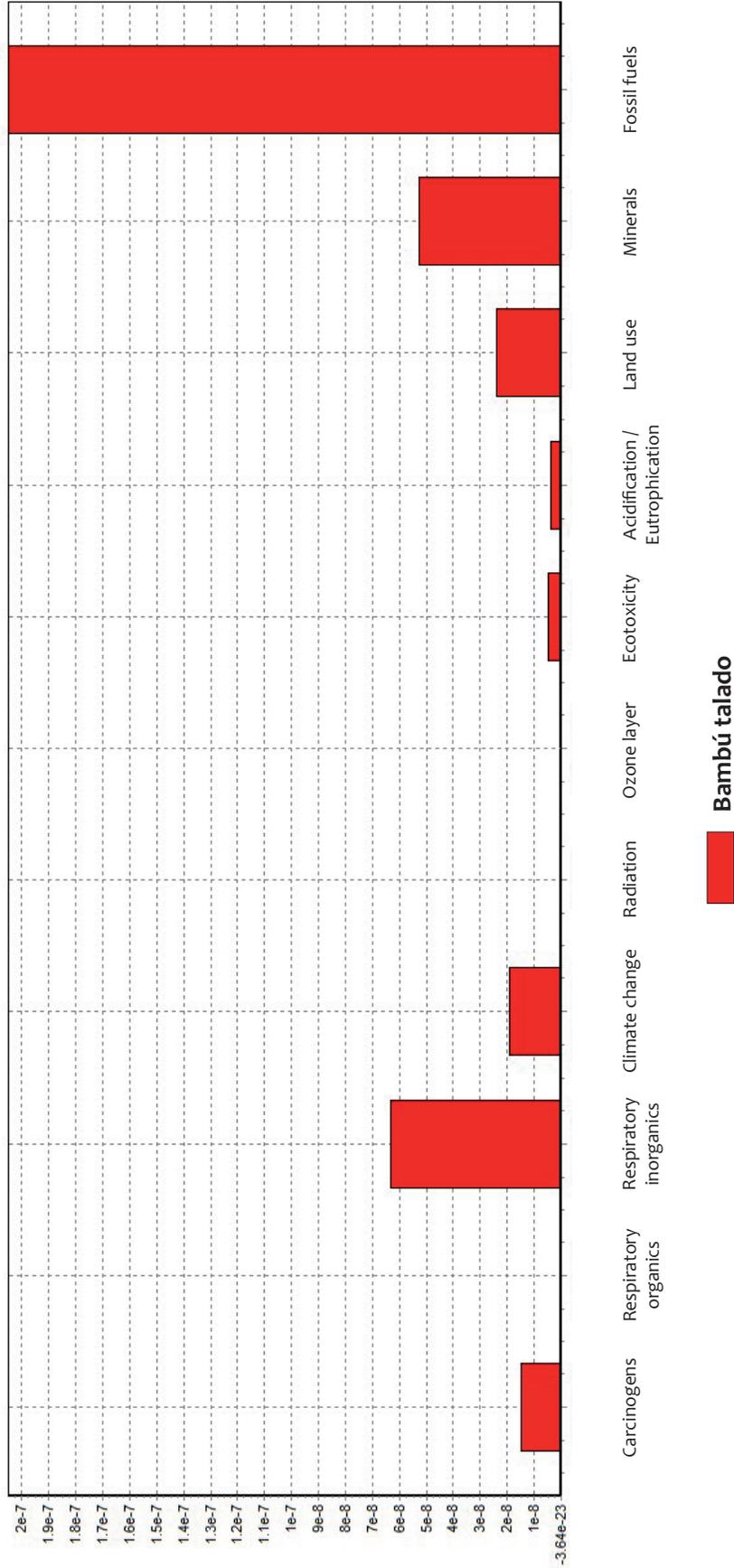
De igual forma el consumo de minerales por el uso agrícola del suelo para la siembra del Bambú y el uso del suelo tienen una aportación a los impactos ambientales en este proceso productivo.

Por último en los rubros de la Ecotoxicidad, el Cambio Climático y la Acidificación muestran afectaciones en menor medida en comparación con las demás categorías que son de diferente escala, es decir las afectaciones con mayor índice se presentan en el sitio donde se realiza el proceso productivo en estudio ya sea Local o Regional y teniendo muy poca afectación en la escala Continental.

2.4.3. Análisis ambiental del proceso de producción

Debido a que uno de los principales objetivos de promover el desarrollo de la industria bambusera y la utilización del bambú, en nuestro caso a través de laminados, es la protección al medio ambiente, por ello es necesario cuidar que durante la reproducción de la planta como en el proceso de fabricación de los tableros, se evite generar alteraciones ambientales. Por ello en este proyecto se presenta un análisis ambiental mencionado por Sandra Castellanos y Diana Godoy en su libro *Guadua (Lambú)* (Castellanos, Godoy, p.56). Dicho análisis utilizó la Matriz “MET”, la cual es una herramienta de análisis ambiental que muestra en forma de matriz los impactos ambientales por consumo de materiales (M), consumo de energía (E) y emisiones tóxicas (T), generadas durante las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto. (Ver imagen 101). Los aspectos que fueron considerados son:

Gráfica 3. Normalización.



Analizando 2.98 m2 material “Bambú talado”; Método: Eco-indicator 99 (E) V2.03 / Europe El 99 E/E / Normalización

Fuente: Marín Fabrizio.

Materiales

Desechos

Entradas

Salidas

Proceso

Maquinaria

Energía

Como se puede observar en la Matriz, aún los procesos que se realizan para la obtención de los laminados de bambú no utilizan tecnologías de alta producción como podrían ser las automatizadas o de control numérico, por lo que pueden ser mejorados considerablemente si se desarrollan o contemplan nuevas tecnologías o algunas que ya han sido desarrolladas en otros países para una producción más estandarizada con menos procesos, mayor volumen de producción en menos tiempo, menor costo, mejor calidad sobre todo, menos gasto de energía y contaminación.

Por otra parte se comprueba que el laminado presenta grandes ventajas y posibilidades para el aprovechamiento industrial, y no solo artesanal como se ha venido utilizando hasta nuestros tiempos.

Los residuos del proceso pueden ser aprovechados de diversas maneras, como combustible para generar energía, la elaboración de aglomerados o como abono, entre otros.

2.4.4 Respuesta al maquinado

Es importante mencionar que los tableros de bambú laminado responden al maquinado de manera diferente a la que presentan los tableros de madera de pino, a pesar de que ambos contienen celulosa, hemicelulosa y lignina. Durante la elaboración de las probetas fabricadas para los ensayos de materiales de esta investigación, así como en la fabricación de los prototipos que se presentan, se observó el comportamiento de los tableros de bambú al ser expuestos a diferentes procesos de maquinado, comportamiento que se describe en este apartado.

Con el fin de ubicar y entender de mejor manera la respuesta al maquinado, se proponen cuatro niveles de calificación: Excelente, Bueno, Regular, Malo, calificación que se otorgó

Tabla 9. Matriz MET Proceso de Elaboración de reglillas.

PROCESO	MATERIALES			ENERGÍA		DESECHOS				
	ENTRADA	SALIDA	MÁQUINA	ENTRADA	Ruido	Salud humana	Sobranante	Reciclaje o reutilizable		
Extracción de materia prima una hectárea		1350 culmos de guadua con su ramaje	Sierra eléctrica portátil	Eléctrica				Ramaje		
			Machete	Manual						
Corte de culmos	1350 culmos de guadua limpia	4050 trozos de guadua	Sierra de disco desplazable	Trifásica				Viruta		
Rajado de trozos	4050 trozos	24300 latas	Tambor chino	Trifásica	Motores			Viruta		
			Sierra de disco paralelo	Trifásica						
Rebajado de curvaturas int. y ext.	24300 latas	24300 latas rebajadas	Sierra de disco paralelo	Trifásica	Motor			Viruta		
Rebajado de curvaturas 2.	24300 latas rústicas	24000 latas canteadas	Canteadora	Eléctrica	Motor			Viruta		
	24000 latas canteadas	24000 latas pulidas	Cepilladora	Eléctrica	Motor			Viruta		

Fuente: Castellanos, S. y Godoy, D.: "Guadua (Lambú), Subparámetros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial, pag.56".

considerando aspectos como la calidad del acabado, desprendimiento de material e impacto al contacto.

2.4.4.1. Corte

El corte realizado con Sierra Circular de Mesa (Imagen 102), de Brazo Radial (Imagen 101), Sierra Cinta (Imagen 103) y de Inglete (Imagen 104), se dificultó en los cortes transversales a la fibra y en tableros de espesores mayores a 0.5". En este caso se registró fuerte impacto al tocar la sierra con el material, provocando que la pieza de bambú brincara o que el corte no lograra ser limpio y preciso, dejando un acabado burdo, con exposición de fibras y en ocasiones desprendiendo material.

En espesores menores a 0.5" y corte transversal a la fibra, el impacto es menor y el corte es más limpio, sin embargo llega a haber exposición y desprendimiento de fibras en algunas ocasiones.

Por dicho comportamiento se puede calificar como "Regular" la respuesta al corte perpendicular a la fibra".

El corte realizado en la misma dirección de las fibras, es mejor y la calidad del acabado es aceptable pero hay necesidad de lijar para mejorarlo ya que llegan a desprenderse algunas fibras, el impacto al tocar la sierra con el material es menor, sin embargo también influye el espesor del tablero, por ello se considera buena la respuesta a este maquinado.

2.4.4.2. Barrenado

El barrenado se realizó en un taladro de banco con velocidades de giro regulables y avance manual. Se utilizó una broca de 1/2" afilada para metal o madera, la velocidad de giro fue de 1,330 rpm. El tablero se despostilla ligeramente alrededor del barreno, dejando un acabado aceptable un tanto burdo por lo que se califica como "Bueno". (Imagen 105)

Cabe mencionar que el contenido de sílice del bambú disminuye notablemente el filo de las herramientas de contacto, por lo que es necesario afilarlas continuamente para lograr un mejor maquinado.

Imagen 101. Corte transversal de tablero de bambú laminado con Sierra de Brazo Radial.



Imagen 102. Corte de tablero de bambú laminado con Sierra Circular de Mesa.



Imagen 103. Corte de tablero de bambú laminado con Sierra Cinta.



Imagen 104. Corte de tablero de bambú laminado con Sierra de Inglete.



Imagen 105. Barrenado de tablero de bambú con Taladro de Banco.



2.4.4.3. Cepillado

El cepillado realizado en dirección de las fibras del tablero se califica como “Excelente” ya que el acabado que presenta es aceptable, las fibras que se desprenden son mínimas y el impacto del árbol de corte con el tablero es ligeramente más fuerte que el presentado con la madera de pino. (Imagen 106)

No se recomienda cepillar el tablero de bambú laminado con dirección transversal a las fibras ya que el golpe de las cuchillas del árbol de corte en las uniones de las reglillas comúnmente provoca separación de estas rompiendo el tablero.

Imagen 106. Cepillado de tablero de bambú con Cepillo Griggio.



El comportamiento del tablero al cepillado se dificulta cuando se realiza de forma transversal a las fibras, principalmente en las uniones entre reglillas, por lo que se califica como “Malo” esta forma de cepillado. (Imagen 107)

Imagen 107. Respuesta al cepillado transversal a las fibras.



Imagen 108. Cepillos para madera.



2.4.4.4. Maquinado con Router

Como se observa en las imágenes el comportamiento del tablero al routeado se dificulta por la disposición de las fibras, principalmente cuando se realiza de forma transversal a estas, el impacto es fuerte y en el caso de los tableros elaborados utilizando como adhesivo la Urea-Formaldehído, se llegan a despostillar o incluso a partir. Sin embargo el acabado cuando no se desprenden las fibras es aceptable, por lo que se califica como “Regular” este maquinado. (Imagen 109 a 110)

Imagen 109. Maquinado con router.



Imagen 110. Respuesta al maquinado con router en dirección a las fibras.



Cabe mencionar que algunas pruebas que se realizaron en Router de Control Numérico, arrojaba gran cantidad de viruta y el cortador se desplazaba de la trayectoria original.

Imagen 111. Respuesta al routeado del tablero de bambú.



Imagen 112. Desprendimiento de fibras en corte 45° con Router.



2.4.4.5. Lijado

El lijado acepta diferentes tamaños de grano y permite obtener superficies totalmente lisas y tersas, por lo que se califica este proceso como “Excelente”. (Imagen 113 y 114)

Imagen 113. Lijado de tablero con Lijadora Circular.



Imagen 114. Superficie de tablero lijado.



2.4.4.6. Corte Láser

Máquina “Universal Laser Systems, PLS 3.6”, con un rango de potencia de entre 10 y 75 vatios.

Se han realizado pruebas con tableros de bambú laminado de diferentes espesores, elaborados con uniones de canto o cara y se han aplicado diversas variantes entre la relación tiempo-potencia. (Imagen 115)

Obteniendo: cortes de hasta 0.5 mm de ancho, sin exposición de fibras con marca superficial de quemado en los cantos. (Imagen 116 y 117)

Imagen 115. Corte Láser en tableros de bambú.

Imagen 116. Respuesta al corte Láser.

Imagen 117. Corte Láser en tablero de bambú.



2.4.4.7. Hidrocorte

Una de las mejores tecnologías que ofrece un maquinado prácticamente perfecto en el corte del tablero de bambú laminado es el Corte con Chorro de Agua. Al igual que en el mecanizado con láser, el corte no se realiza con un material sólido por lo que el impacto es mucho menor, no hay desprendimiento de fibras y el acabado es muy fino. Sin embargo, a diferencia del corte laser, esta tecnología no quema el material por lo que no deja ninguna marca. (Imagen 118)

Tanto el Hidrocorte como el Corte con Laser ofrecen una serie de ventajas en comparación con las máquinas herramientas de impacto que vale la pena considerar en la industria. Dichos beneficios son:

- Menos desperdicio de material.
- Sin desgaste de herramientas.
- Alta precisión al realizar el corte.
- Superficies lisas, sin astillas.
- Menos daño a la salud.
- Poca exposición a partículas suspendidas.
- Disminuye accidentes.

Imagen 118. Corte de bambú con Chorro de Agua.



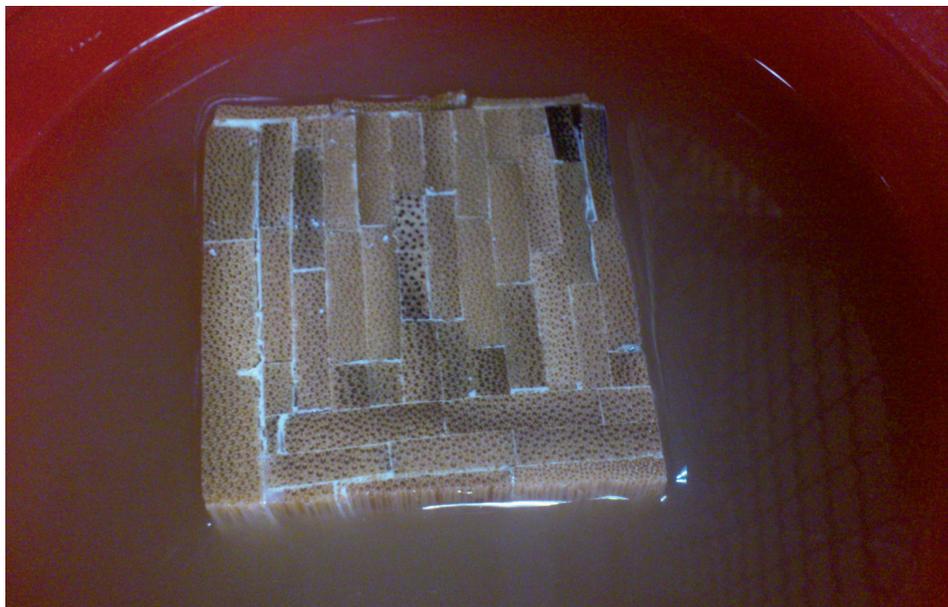
Fuente: Mtro. Héctor Gutiérrez Zapién

2.4.5. Respuesta a la humedad

En este apartado podemos considerar dos aspectos: el adhesivo y el material en sí.

- a) Se realizaron algunas pruebas con el laminado de bambú con el fin de probar la resistencia al agua del adhesivo utilizado en la elaboración de probetas y prototipos de este proyecto, que consistieron en sumergir diversas probetas en agua durante siete días (una semana). Diez probetas se elaboraron con el tradicional Acetato de Polivinilo, también conocido como el nombre de la marca “Resistol blanco”, y otras diez probetas se unieron con el adhesivo Acetato de Polivinilo resistente al agua. A ninguna de las probetas se les aplicó algún tipo de acabado.

Imagen 119. Probeta de laminados de bambú sumergida en agua.



Las diez probetas elaboradas con PVA tradicional, ya se habían despegado completamente a las 24 h de haber sido sumergidas en agua.

Las diez probetas elaboradas con el adhesivo resistente al agua, seguían fuertemente unidas después de los siete días. (Imagen 120)

Imagen 120. Probeta de laminados de bambú después de siete días de estar en agua.



Sin embargo, después de retirarlas del agua, se les comenzó a formar hongos, ya que no tenían ningún recubrimiento. Así mismo, el material se hincho ligeramente debido a la absorción de agua. (Imagen 121)

Imagen 121. Probeta 24 h después de ser retirada del contenedor con agua.



b) Para comparar la capacidad de absorción de la viruta de bambú Oldhamii con la de madera de Pino, se realizó una prueba en la que se colocó la misma cantidad de viruta de madera y de bambú en seis contenedores. Tres con viruta de madera y tres con viruta de bambú.

Se le agregó la misma cantidad de agua a cada uno de los contenedores y se dejaron reposar por 24 hrs. Una vez transcurrido el tiempo, se retiró y midió el agua que quedo libre, y se pesó el material. Dicho proceso se repitió en cada uno de los seis contenedores.

Los contenedores con viruta de madera absorbieron en promedio el 90% del agua agregada.

Los contenedores con viruta de bambú absorbieron en promedio el 65% del agua agregada.

En estas pruebas, la viruta de madera de Pino presentó mayor absorción que la de bambú Oldhamii, una característica que puede ser buena o mala según la aplicación que se le vaya a dar.

2.4.6. Respuesta al acabado

Es importante mencionar que no se encuentran disponibles en el mercado en nuestro país productos para dar acabado, desarrollados especialmente para el bambú o tableros de bambú laminado, Los que se utilizan en bambú rollizo, son principalmente productos para madera, sin embargo una gran parte de estos no presentan resultados óptimos.

En los prototipos elaborados en esta investigación se utilizaron diferentes productos para dar el acabado final, los cuales hasta el momento han presentado buenos resultados.

Los productos utilizados fueron: Aceite de linaza, sellador de nitrocelulosa al 48% (Imagen 122), tintes al alcohol y barniz de poliuretano.

2.5. Diseños con bambú laminado

2.5.1. Tabla de corte para cocina. (Imagen 123)

a) Modelo Huatusco.

b) Modelo Cuetzalan. (Imagen 124)

Imagen 122. Recubrimiento de tablero con sellador de nitrocelulosa al 48%.



Imagen 123. Tabla para cortar alimentos.

Imagen 124. Tabla para cortar alimentos o plato para Sushi.



2.5.2 Base para mouse doble vista. (Imagen 125 y 126)

Imagen 125. Pad mouse vista bambú.



Imagen 126. Pad mouse vista bambú y vista madera.



2.5.3 Base para Computadora Portátil. (Imagen 127 y 128)

Imagen 127. Vista superior de base para Laptop.



Imagen 128. Vista posterior de base para Laptop.



2.5.4 Base para trastes calientes. (Imagen 129 y 130)

Imagen 129. Base ensamblada para trastes calientes.

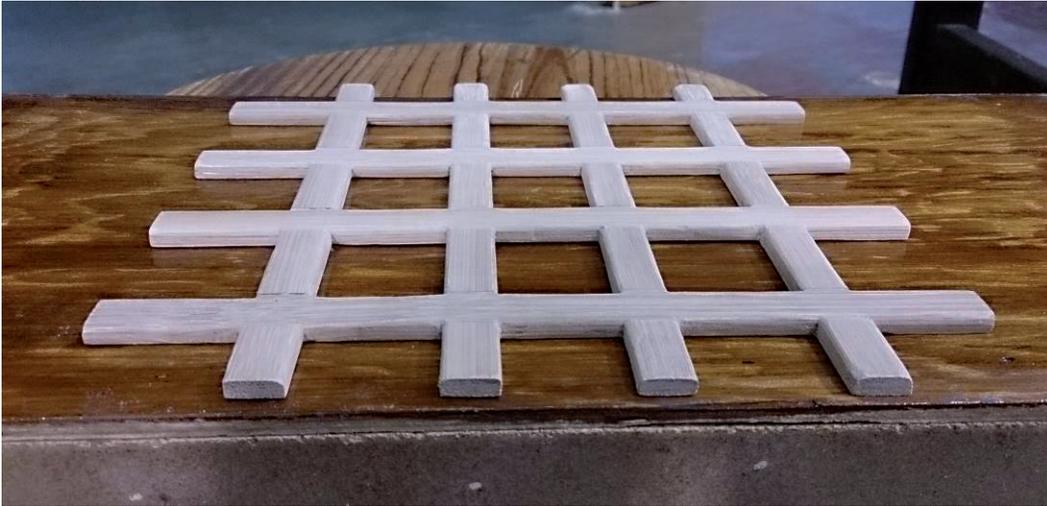
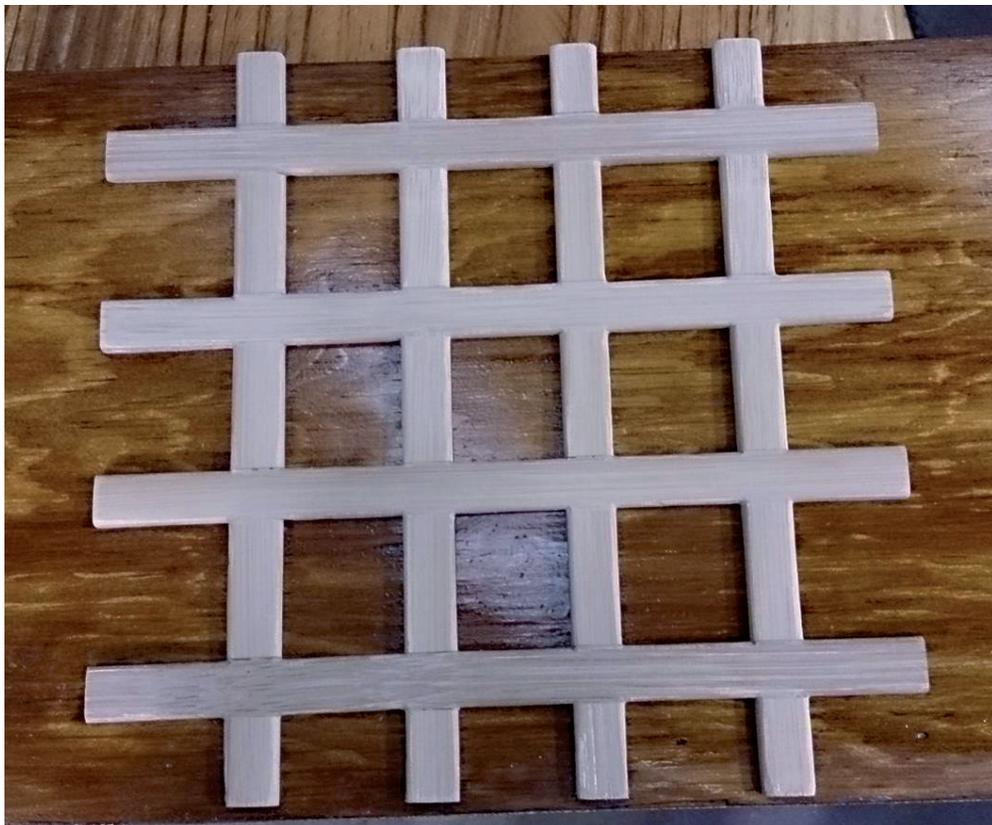


Imagen 130. Vista superior de base para trastes calientes.



2.5.5 Mesas de servicio. (Imagen 131 y 132)

Imagen 131. Mesa de servicio Cosco.



Imagen 132. Mesa de servicio Oriental.



Discusión de resultados

Los tableros de bambú laminado ya se producen en países como China, India y Japón, pues cuentan con tecnología desarrollada para este proceso. Si bien, algunos países latinoamericanos como Colombia y Cuba ya comenzaron a fabricarlos, su producción aún es de manera semi-industrial y con tecnología adaptada en su gran mayoría.

En esta investigación se muestra un proceso de fabricación con tecnología que fue diseñada e interviene en la transformación de la madera, ya que hay muy pocas herramientas y máquinas-herramientas disponibles que se hayan diseñado especialmente para la elaboración de tableros de bambú; es mínimo el desarrollo de tecnología específica para la transformación del bambú en México, por lo tanto el proceso de producción, hasta el momento, es artesanal o semi-industrial, en tanto no se genere la tecnología necesaria o se recurra a su importación; esta última opción provoca la dependencia tecnológica y las repercusiones que esto conlleva, por lo cual no se recomienda, pues hay que entender que la tecnología importada generalmente está diseñada para las condiciones del país que la genera y no para las necesidades del país que la adquiere.

Por otra parte, un problema similar al tecnológico ocurre con la normatividad. En este ámbito, podemos decir que no existen normas técnicas mexicanas que refieran los tableros de bambú laminado, e incluso tampoco existen a nivel internacional, posiblemente por ser un producto prácticamente nuevo, razón por la cual en este proyecto se tomó como referencia una norma técnica elaborada para los tableros de madera. No obstante, como ya mencionamos, la constitución morfológica de la madera es diferente a la del bambú: la disposición de las fibras y el contenido de sílice, celulosa, hemicelulosa y lignina son distintos, así mismo el proceso de elaboración de los tableros contrachapados de madera es muy diferente a la elaboración de los tableros de bambú laminado, por lo cual los resultados de los ensayos de laboratorio podrían tener un margen de error mayor al que se hubiera tenido de realizarse las pruebas

de materiales bajo normas técnicas diseñadas especialmente para el estudio de tableros de bambú. Sin en cambio, se consideró dicha norma por ser la más cercana a las características y objetivos de este proyecto, en tanto que los resultados y experiencias obtenidas en esta investigación pueden ser un referente para las posibles aplicaciones de los tableros de bambú, así mismo para la generación de la normatividad requerida, tal como normas oficiales, mexicanas e internacionales, donde se haga mención a las regulaciones técnicas que se deban contemplar, así como la información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología que deban cumplir los Tableros de Bambú Laminado para ser comercializados en el país.

De la misma forma, los resultados de laboratorio mostraron, en general, que la resistencia de los tableros de bambú laminado elaborados con *Bambusa oldhamii* es claramente mayor que la mínima solicitada para los tableros de madera terciada que puede ser utilizada para el diseño y construcción de estructuras de madera, excepto en lo correspondiente a la resistencia a la Tensión perpendicular a la fibra, donde resultó menor. Así mismo, comparando los resultados obtenidos en Colombia con la *Guadua angustifolia* Kunt, la *Bambusa oldhamii* mostró menor resistencia.

Cabe mencionar que en la elaboración de las diversas probetas se observó que el corte del bambú con las sierras circulares es más complicado que en la madera de pino, principalmente cuando se realiza de forma transversal a las fibras. En este último caso, el contacto de la sierra con las fibras del bambú es muy fuerte, por tanto, si no se sujeta el material de forma adecuada al momento del corte, el material puede salir proyectado, además de que en la zona de corte las fibras quedan separadas. El uso de nuevas tecnologías como el Corte Láser y el Corte con Chorro de Agua, conocido como Hidrocorte, pueden mejorar y optimizar este proceso, dejando un mejor acabado, disminuyendo notoriamente el desperdicio de material con cortes más precisos, minimizando el desgaste de herramientas, eliminando prácticamente las partículas respirables y dando mayor seguridad al personal que lo realiza, al mismo tiempo, contribuye para que el proceso de producción sea más amigable con el medio ambiente, en virtud de que el Análisis de Ciclo de Vida y el Análisis Ambiental del Proceso de Producción arrojaron que uno de los principales impactos ambientales generados en la producción de los tableros de bambú con herramientas tradicionales, se debe principalmente a la utilización de combustibles fósiles por el uso de energía eléctrica y gas, seguido de la generación de partículas inorgánicas respirables. Sin embargo, los principales inconvenientes para el uso de las

nuevas tecnologías es el costo, la necesidad de mano de obra especializada y el desarrollo de tecnología especializada en el bambú.

A pesar de todo ello, y aún con el uso de herramientas tradicionales, los dos análisis muestran que la producción de tableros de bambú laminado es viable, y lo es más, trae consigo grandes beneficios ambientales durante su cultivo.

Por lo que se refiere a las diferentes respuestas que presenta el tablero de bambú cuando se expone al maquinado, es necesario considerar la máquina o herramienta, el tipo de unión con el que se fabricó el tablero, así como la dirección de las fibras cuando se requiere lijar, cortar o moldurar, pues dependiendo de estas tres variables será su comportamiento. No obstante, y tomando en cuenta lo antes mencionado, es posible transformarlos de forma sencilla, logrando el diseño y la elaboración de una gran cantidad de objetos con formas y acabados muy atractivos. Considerando también que el área de acabados para el bambú requiere de atención y desarrollo, en virtud de que no hay disponibilidad de productos comerciales especializados para este material en México; y a pesar de ser muy similar a la madera no todos los acabados para ésta funcionan en el bambú.

De la misma manera, los resultados de adhesión con el Acetato de Polivinilo, resistente al agua, fueron muy aceptables, pero es necesario seguir investigando, experimentando y creando nuevos productos accesibles económicamente, y que ofrezcan uniones resistentes y sean amigables con el medio ambiente.

En general, los Tableros de Bambú Laminado presentaron resultados positivos a las diferentes pruebas y análisis a los que fueron sometidos en esta investigación, por lo que se concluye que son una Tecnología Ambiental viable para ser utilizada en diversas aplicaciones, además de ser un nuevo material biodegradable, amigable con el medio ambiente y dadas sus características es capaz de ofrecer múltiples beneficios, tanto en la zona de estudio, como en las diferentes regiones del país que producen o comercializan el bambú.

Sin duda el ser humano depende del medio ambiente para sobrevivir, razón suficiente para protegerlo y evitar dañarlo. Es por ello que se hace indispensable encontrar alternativas que reduzcan o eviten la contaminación y explotación indiscriminada de los recursos naturales, es necesario adoptar medidas inmediatas para un aprovechamiento racional de la naturaleza.

Conclusiones

Las Tecnologías Ambientales pueden contribuir a detener el deterioro ambiental y a disminuir la contaminación, siempre y cuando los recursos naturales se aprovechen de forma sustentable. Una tecnología ambiental que presenta grandes ventajas ambientales son los tableros de bambú laminado, considerando que la materia prima básica para su elaboración es el bambú, una gramínea de crecimiento acelerado que ofrece múltiples beneficios al medio ambiente desde el momento mismo de su reproducción. Ya cosechado, se puede convertir en un material de origen natural biodegradable que, una vez que cumple su vida útil, puede ser reutilizado o reintegrado a la naturaleza y, por otro lado, su utilización puede contribuir para satisfacer las necesidades de productos forestales en México, y por tanto, ayuda a evitar la tala clandestina de los bosques que tanto daño hace a los ecosistemas y al medio ambiente. Hay que recordar que el bambú no es una madera, pero por sus características, puede ser una alternativa de ésta, además de tener muchas otras aplicaciones.

México cuenta con la fortuna de tener diversas especies de bambú, y es uno de los países que poseen las características ambientales necesarias para su producción y desarrollo, tanto natural como comercial. Cuenta con especies nativas e introducidas que presentan excelentes características para su aprovechamiento en múltiples áreas como: la arquitectura, la salud, la alimentación y la elaboración de diversos objetos como muebles, herramientas, papel y diversas artesanías, entre muchos otros. No obstante, es necesario y apremiante superar todos esos factores y barreras que obstaculizan la industrialización de sus productos y subproductos en México, para estar en posibilidades de aprovechar el potencial económico, social y ambiental que ofrece dicha planta,

Los Tableros de Bambú Laminado abren oportunidades para la industria bambusera, la industria artesanal y la industria del diseño, entre otras. Una nueva presentación del bambú tan versátil que permite aplicaciones en diversas áreas y la elaboración de numerosos objetos

con estilos diferentes, resistentes y ecológicos, además es posible su elaboración artesanal o industrial, con tecnología tradicional o de punta.

Una Tecnología Ambiental que desde la producción de su principal materia prima puede ofrecer beneficios ambientales, económicos y sociales. Un nuevo material con características particulares y amigable con el medio ambiente, ya que al final de su vida útil puede reciclarse o reincorporarse al ciclo natural.

Los Tableros de Bambú Laminado conjuntan una serie de conocimientos y técnicas que logran generar una trascendental tecnología que aunado a sus grandes bondades ambientales, ofrece otra alternativa en la lista de materiales biodegradables que pueden ser utilizados en la industria sin el riesgo de dañar al medio ambiente, además de aprovechar un recurso natural renovable, nativo y que puede reproducirse en diversos estados de la República Mexicana.

El proceso de producción puede realizarse con tecnología tradicional para la transformación de la madera, pero sería más eficiente si se desarrolla tecnología especializada considerando las necesidades y posibilidades económicas, sociales y ambientales que se presentan en cada región de nuestro país, así como las características propias de las especies de bambú que aquí crecen y se cultivan.

Considerando los resultados obtenidos en el desarrollo de esta investigación, es posible utilizar los tableros de bambú laminado como un material alternativo a la madera en gran cantidad de usos, proporcionando, muchas veces, mejores resultados, o inclusive podrían ser utilizados en otras aplicaciones.

Asimismo, el desarrollo de la industria bambusera tiene la posibilidad de generar fuentes de empleo, activar la economía regional y, a su vez, contribuir para que la población no migre a otros lugares en busca de mejorar sus ingresos y calidad de vida, colaborando, al mismo tiempo, con el mejoramiento del medio ambiente.

México cuenta con al menos tres especies de bambú que pueden ser aprovechadas para la fabricación de tableros. Dos de ellas, la *Bambusa oldhamii* y la *Guadua angustifolia*, que si bien no son originarias del país, han demostrado una excelente adaptación y desarrollo; y la *Guadua aculeata*, nativa de diversos estados de la República Mexicana.

Debido a la gran respuesta de reproducción, por sus características morfológicas y fisiológicas y por la cantidad de plantas que podemos encontrar en México, en esta investiga-

ción se estudió y se propuso a la especie *Bambusa oldhamii* como la más viable para ser utilizada en la fabricación de tableros de bambú laminado. Además de que esta especie se puede reproducir en diversas regiones de México.

Los resultados en los ensayos de laboratorio arrojaron que el tablero laminado de *Bambusa oldhamii* presenta similares o, incluso, mejores propiedades físicas y mecánicas que la madera terciada de pino, excepto en lo correspondiente a la resistencia a la Tensión Perpendicular a la Fibra, donde el resultado fue menor.

La *Bambusa oldhamii* mostró menor resistencia a la Tensión Paralela a la fibra, a la Tensión Perpendicular a la fibra, a la Flexión y a la Compresión Paralela a las fibras, que la *Guadua angustifolia* Kunt.

El Acetato de Polivinilo con un polímero resistente al agua, además de ser de fácil aplicación y no tóxico para el ser humano, demostró una excelente adhesión y resistencia.

La respuesta al maquinado es buena, pero es necesario tomar en cuenta las máquinas herramientas que se utilicen, el tipo de unión y la dirección de las fibras.

Es imprescindible generar la normalización necesaria para respaldar la producción y el uso de los Tableros de Bambú Laminado.

En resumen, los objetivos propuestos se lograron. Fue posible conocer el proceso de elaboración de los laminados de bambú, su ciclo de vida, el análisis del proceso de producción, así como sus propiedades físicas y mecánicas. Resultados que indican que en la región de Huatusco, Veracruz es viable la producción y uso del tablero de bambú laminado elaborado con *Bambusa oldhamii*, en la elaboración artesanal e industrial de diversos objetos ambientalmente sustentables. De esta forma, los tableros de bambú podrán contribuir para el bienestar regional del medio ambiente, así como para el desarrollo de las regiones, de los artesanos, organizaciones, personas e industrias relacionadas con la cadena productiva del bambú, a través de la producción, transformación y comercialización del tablero de bambú laminado.

De la misma forma, se comenzó con la difusión de los conocimientos generados por medio de cursos y conferencias impartidos, sin embargo, esta tarea no ha finalizado, se continuará con esta difusión a través de los mismos canales y también por medio de manuales técnicos y libros, además de realizar nuevas investigaciones relacionadas, pero con nuevos productos y objetivos, ya que aún falta mucha información, normatividad y tecnología al respecto.

Se presentaron también diferentes productos que son elaborados con bambú en otros países y se comentaron distintas ventajas que puede presentar la producción y transformación del bambú en México.

Por último, se presentaron diversos productos elaborados en esta investigación que sirven para demostrar las múltiples aplicaciones que pueden tener los tableros de bambú laminado.

Para lograr un verdadero y eficiente desarrollo de la industria bambusera, es necesaria la integración de todos los eslabones de la cadena productiva del bambú, así como la intervención y apoyo de organismos de gobierno, instituciones educativas y entidades particulares, ya que de continuarse trabajando aisladamente, el avance seguirá siendo muy lento, y en ocasiones improductivo.

Glosario

LATA: resultado del corte longitudinal de un culmo de bambú.

LÁMINA, REGLILLA o LAMINILLA: lata perfectamente dimensionada por cara, canto y espesor.

MONOPODIAL: es cuando el tallo primario o culmo es de crecimiento indeterminado y un sistema subordinado de ramas. Generalmente crecen culmos separados.

SIMPODIAL: es cuando el tallo primario o culmo es de crecimiento determinado y generalmente forma una mata definida.

Imagen 133. *Guadua angustifolia* Kunt.



Fuentes de Referencia

- Álvarez, E.** (2008): “*Ingeniería del bambú*”, 2da Conferencia Nacional del Bambú, Puebla, México.
- Arango, M., Benítez, J., Camargo, J. y Feijoo, A.** (2004): “*Macroinvertebrados del suelo en coberturas de guadua en dos sitios de estudio del Eje Cafetero colombiano*”, Simposio Internacional Guadua 2004, Colombia.
- Arias, A.** (2011): “*2do. Congreso Internacional del Bambú-Guadua y Exposición de Fibras Naturales*”, Armenia, Quindío, Colombia.
- Arias, I., Hoyos, D., Camargo, J.** (2004): “*El Almacenamiento de CO₂ Atmosférico, un Servicio Ambiental Prestado por los Suelos Bajo Rodales de Guadua angustifolia Kunth en el Eje Cafetero de Colombia*”, Simposio Internacional Guadua 2004, Colombia.
- Bambuver, A. C.** (2010). Consultado el 20 de febrero de 2010, en <http://www.bambuver.com/>
- Bambumex** (2014): Consultado el 10 de abril de 2014, en <http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>
- Bambumex** (2014): Consultado el 10 de abril de 2014, en <http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm>
- Castañeda, A.** (2008): “*Captura de carbono en plantaciones de bambú*”, 2da conferencia nacional del bambú, Puebla, México.
- Castellanos, S. y Godoy, D.** (2007): “*Guadua (Lambú), Subparámetros de producción y transformación de la guadua laminada aplicados al diseño industrial*”, Ecoe ediciones Ltda., Bogotá, Colombia.
- CEGESTI**, (n. d.): “*¿Qué es Ecodiseño?*”. Obtenido el 15 de marzo de 2011, en http://www.cegesti.org/ecodiseno/que_es.htm
- CEGESTI** (n. d.): “*Análisis de Ciclo de Vida*”. Obtenido el 20 de marzo de 2011, en <http://www.cegesti.org/ecodiseno/ciclo.htm>

Diccionario de Arquitectura y Construcción (2009): Ed. Parro, Argentina.

Elizondo, A. (n. d.): “*El mercado de la madera en México*”, Obtenido el 25 de febrero de 2010, de http://www.ine.gob.mx/dgipea/descargas/maderas_02_elizondo_study.pdf

Frías, J. y O’Brien, C. (2005): “*La administración del diseño y la mercadotecnia, ¿Un mismo objetivo?*”, Obtenido de <http://www.dis.uia.mx/conference/2005/HTMS-PDFs/Admondel-DisenoyMerca.pdf>

Giraldo, E. y Sabogal, A. (1999). “*Una Alternativa Sostenible: La Guadua*”, Corporación Autónoma Regional del Quindío (C.R.Q.). Colombia.

González, C. (2008): “*Deterioros al medio ambiente por tala clandestina*”. Obtenido el 25 de febrero de 2010, de <http://www.reforestamosmexico.org/blog/amigos-raiz/deterioros-al-medio-ambiente-por-tala-clandestina>.

González, E. (2001): “*Ecodesign, product design engineering and the green market challenges*”, Universidad EAFIT, Medellín.

Huber, J. (2004): “*New Technologies and Environmental Innovation*”, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, USA.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2011): “*Compendio de Guadua*”, ICONTEC, Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Ecología (2014): Obtenido el 26 de abril de 2014, en <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/comprendercc/queeselcc/comoseproduceelcc.html>

IPTS, (2002): “*Assessing the environmental potential of materials technologies*”, IPTS Report Series, Sevilla.

Londoño, Ximena (2004): “*La Subtribu Guaduinae de América*”, III Congreso Colombiano de Botánica, Popayan, Colombia.

Londoño, X. y Clark, L. (2004): “*Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del Nuevo Mundo*”, III Congreso Colombiano de Botánica, Popayan, Colombia.

Londoño, X. y Peterson (1991): “*Guadua sarcocarpa (Poaceae: Bambuseae), a new Amazonian bamboo with fleshy fruits*”. *Syst. Bot.* 16:630–638

Mejía, Nohelia (2004): “*La guadua con enfoque de cadena, una alternativa ambiental, económica y social*”, Simposio Internacional Guadua 2004, Colombia.

- Mora, L., Hernández, J., Martirena, J. y Jiménez, S. (2008):** “*El tablero de bambú prensado, una nueva propuesta tecnológica*”, Estudio realizado en Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Villa Clara. CUBA, y publicado en la Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 23, No. 3, Diciembre 2008, Chile.
- Prado, J. (2012):** “*Perspectivas para la industrialización de bambú en las regiones de la Sierra del Perú*”, Organismo Público Sierra Exportadora, Perú.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012):** “*Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2012*”, México, D. F.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2009):** “*Impacto Ambiental y Tipos*”. Obtenido el 28 de marzo de 2011, de <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos>, modificada el 01 de diciembre de 2013 a <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos>.
- Soderstrom, T. (1987):** “*Guía para coleccionar Bambúes*”, Colciencias-Inciva, Cali.
- Stamm, J. (2008):** “*La Evolución de los Métodos constructivos en Bambú*”, Segundo Congreso Mexicano del Bambú, México.
- Stamm, J. (2004):** “*Bamboo boosted Historic Climate Change*”, Simposio Internacional Guadua 2004, Colombia.
- Stamm, J., Faust, F., Gnecco, C. y Mannstein, H. (2004):** “*Expansión de la guadua y cambios climáticos*”, Informe del Departamento de Antropología, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- Van den P. y Andy (2004):** “*Bamboo as an alternative building material in Western Europe?*”, Simposio Internacional Guadua 2004, Colombia.
- Weber, Mathias (2007):** “*Tecnologías Ambientales*”, Informe de vigilancia tecnológica de la Comisión Europea, Circulo de innovación en tecnologías medioambientales y energía, Madrid, España.
- Widmer, Y. (1990):** “*Los bambúes: biología, cultivo, manejo, usos.*” Revisión bibliográfica. El Chasqui 23: 5-42, CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Bibliografía

- Bandy, D., Garrity, D. y Sánchez, P. (1994):** “El Problema Mundial de la agricultura de tala y quema”, en *Agroforestería en las Américas*. julio-septiembre.
- Bessant, J. (2002):** “Why design? In: Bruce Margaret and John Bessant”, ed. *Design in Business Strategic Innovation Through Design*, Prentice Hall, Inglaterra.
- Bonsiepe, G. (1985):** “El diseño de la periferia: debates y experiencia”, Editorial Gustavo Gilli, S.A., España.
- Cortés, G. (2000):** “Los bambúes nativos de México”, en *Boletín Botánico*, No. 30, Universidad Veracruzana, México.
- Cortés, G. (2005):** “Bambúes de México”, en *Bio Bambú revista electrónica*,
- Chávez, C. (1985):** “Informe de investigación sobre: cultivo y explotación del bambú en México”, SEP, FONART, PACUP, México.
- COVECA-Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (2004):** “Perfil de bambú”, *Boletín Informativo*, Septiembre 2004.
- Cruz, Hormilson (1994):** “La Guadua: Nuestro Bambú”, FUDEGRAF-Armenia, Colombia.
- De Garmo, P. (1994):** “Materiales y procesos de transformación”, Editorial Reverté, Barcelona, España.
- De Teresa A. P., y Toledo, C. (1992):** “Medio Ambiente, Economía Campesina y Sistemas Productivos en Tuxtepec Oaxaca”, Proyecto Multidisciplinario, Departamentos de Antropología y Biología de la UAM-Iztapalapa, México.
- Elliot, D. (1980):** “Diseño, Tecnología y Participación”, *Textos de la Open University*”, Colección Tecnología y Sociedad, Editorial Gustavo Gilli, S. A., Barcelona.
- Farrelly, D. (1984):** “The Book of Bamboo, a comprehensive guide to this remarkable plant, its uses, and its history”, Sierra Club Books, EUA.
- Flusser, V. (1993):** “Filosofía del diseño, la forma de las cosas”, Editorial Síntesis, Madrid, España.
- Frias, J. (2005):** “The strategic role of industrial designers developing innovative products” PhD thesis, Nottingham University Business School, Inglaterra.

- Guillén, J.** (1995): “*El Bambú en Chiapas, su explotación e industrialización como elemento arquitectónico estructural prefabricado*”, Tesis, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Arquitectura, UNAM, México.
- Hernández, P.** (2005): “*Monte Blanco, un pueblo de bambú*”, en Bio-Bambú, Revista Electrónica, www.bambumex.org.
- Hernández, C.** (1998): “*Diagnóstico Ambiental y del Deterioro en la Chinantla*”, en Reporte de Investigación No I. UAM-I, México.
- Heskett, J.** (2002): “*Toothpicks and Logos, Design in Everyday Life*”, Universidad de Oxford, Inglaterra.
- Hidalgo, O.** (1978): “*Nuevas Técnicas de Construcción con Bambú*”, Estudios Técnicos Colombianos Ltda., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Hidalgo, O.** (1982): “*Manual de Construcción con Bambú*”, Estudios Técnicos Colombianos Ltda., Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Lebeuf, J. P.** (1961): “*L habitation des fali, montagnards du Cameroun Septentrional*”, Librairie Hachette, Paris, Francia.
- Limosa, E.** (2004): “*La industrialización del bambú en México: Perspectivas*”, en Bio-Bambú, Revista Electrónica, www.bambumex.org
- Londoño, X.** (2002): “*Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del Nuevo Mundo*”, en Textos del Módulo Guadua, Maestría en Construcción, Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Mayorga, C.** (2002): “*Metodología de la investigación*”, Panamericana Editorial; Colombia.
- Moya, V. J.** (1982): “*La vivienda indígena de México y del mundo*”, Universidad Nacional Autónoma de México, D. F., México.
- Musalem, O.** (1989): “*Innovación Tecnológica y Parques Científicos*”, Nacional Financiera, México.
- Nebel, B.J. y Wrigth, R. T.** (1999): “*Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible*”, Prentice Hall, EUA.
- Olac, R.** (2004): “*Las 7 M de todo proceso productivo*”, Editorial Roca, México.
- ONU** (1972): “*Utilización del bambú y la caña en la construcción*”, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Nueva York.

- Ordoñez, V.** (1999): “*Perspectivas del bambú para construcción en México*”, en *Madera y Bosques* Vol. 5 No. 1, Departamento de Asuntos Forestales y Conservación de Bosques, Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, México.
- Proyecto M. A.** (1978): “*Vivienda Campesina en México*”, Secretaria de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México.
- Rapoport, A.** (1969): “*House form and culture*”, Prentice Hall, N. J., EUA.
- Ruiz, J. I.** (1999): “*Metodología de la investigación cualitativa*”, Bilbao, Universidad de Deusto.
- Taylor, S. J.** (1987): “*Introducción a los métodos cualitativos de investigación*”, Ediciones Piados Ibérica, S. A., Barcelona.
- Valenzuela, T.** (2007): “*El Bambú: tan fuerte como el acero*” en *México forestal: selvas y bosques para siempre*, Revista Electrónica No. 54, sección nuestros árboles, Comisión Nacional Forestal, www.mexicoforestal.gob.mx
- Villegas, M.** (2003): “*Guadua: Arquitectura y Diseño*”, Villegas Editores, Bogotá, Colombia.
- Vanden, F.** (n. d.): “*El Diseño de la Naturaleza o la Naturaleza del Diseño*”, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Fuentes electrónicas

<http://blog.reforestamosmexico.org/?p=90>

<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/coah/estudios/2006/05CO2006Hoo02.pdf>

<http://www.bambumex.org>.

<http://www.dis.uia.mx/conference/HTMs-PDFs/AdmondelDisenoyMerca.pdf>

http://www.cegesti.org/ecodiseno/que_es.htm

<http://www.semarnat.gob.mx/xfocalizada/impacto/Paginas/impactoambiental.aspx>

<http://www.bambuerver.com/>

<http://www.bambooftheamericas.org/?p=47>

<http://www.nuevastecnologias.com.mx/Productos.htm>

http://www.pnuma.org/industria/produccion_cs.php

<http://web.catie.ac.cr/guadua/bambu.htm#Taxonomía>

