

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente**

**Dependencia de adscripción al PAP**

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**

**Nombre de la APUESTA**

Vivienda Emergente y Sustentable con Sistemas Estructurales de Bambú

**Nombre del PROGRAMA**

PAP Programa de Edificación y Vivienda I, PAP1F01



**ITESO**  
Universidad Jesuita  
de Guadalajara

**Nombre del PAP y clave**

Laboratorio de Innovación y Diseño Sustentable Para la Vivienda

**“Nombre del Proyecto y del reporte en específico”**

Vivienda Emergente: El proyecto inició en otoño 2015 y continúa en primavera 2016

**PRESENTAN**

**Programa educativo.**

Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Arquitectura.  
Lic. en Ingeniería Civil  
Lic. en Ingeniería Civil

**Nombre completo del alumno.**

Gabriela Serrano Barba  
Juncal Gómez Sainz Díaz  
Ricardo Pérez Reyes  
Hugo Ernesto Zamora  
Hans Richard Valencia Neufeld  
Krishan Emanuel Rajdev  
Pablo Orozco Canales  
José Barraquán Ramos

**Profesor(es) PAP:** Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo; Alejandro Mendo Gutiérrez;  
David Vargas Del Rio; Gabriela Nizarindani Gallegos Romero

**Tlaquepaque, Jalisco, lunes 16 de mayo de 2016.**

## ÍNDICE

Presentación de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen ejecutivo (abstract)	4
Introducción	6
Capítulo I. Identificación del origen del proyecto, de la problemática y de los involucrados	8
1.1 Antecedentes del proyecto	8
1.2 Identificación del problema. Problemática atendida	10
1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto	13
Capítulo II. Marco conceptual o teórico del proyecto. Palabras clave (tesauro de la UNESCO)	15
Capítulo III. Diseño de propuesta de mejora	36
3.1 Enunciado del proyecto. Localización geográfica	36
3.2 Objetivos y alcances del proyecto	36
3.3 Metodología	40
3.4 Cronograma o plan de trabajo	41
Capítulo IV. Desarrollo de propuesta de mejora	44
Capítulo V. Productos, resultados e impactos generados	58
5.1 Productos obtenidos	58
5.2 Resultados alcanzados	59
5.3 Impactos generados	60
Capítulo VI. Aprendizajes individuales y grupales	62
6.1 Aprendizajes profesionales. Competencias reforzadas. Conocimientos adquiridos	62
6.2 Aprendizajes sociales	63
6.3 Aprendizajes éticos	64
6.4 Aprendizajes en lo personal	65

Capítulo VII. Conclusiones y recomendaciones	70
7.1 Conclusiones	70
7.2 Recomendaciones	72
7.3 Retroalimentación por parte de la organización	74
Referencias Bibliográficas (sistema APA)	75
Anexos. (Respetar confidencialidad)	77

## **REPORTE PAP**

### **Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) del ITESO**

Los Proyectos de Aplicación Profesional son una modalidad educativa del ITESO en la que los estudiantes aplican sus saberes y competencias socio-profesionales a través del desarrollo de un proyecto en un escenario real para plantear soluciones o resolver problemas del entorno.

A través del PAP los alumnos acrediten tanto su servicio social como su trabajo recepcional, por lo que requieren de acompañamiento y asesoría especializada para que sus actividades contribuyan de manera significativa al escenario en el que se desarrolla el proyecto, y sus aprendizajes, reflexiones y aportes sean documentados en un reporte como el presente.

## **Abstract**

En Jalisco y en todo nuestro país existe un grave problema en materia de vivienda. Muchas personas, sobre todo las de bajos recursos, no tienen acceso a ella ya que no cuentan con el apoyo ni los recursos necesarios para solventar los gastos que conlleva una vivienda de interés social. Hasta ahora la única alternativa para este sector de la población era vivir en lugares indignos, en casas mal construidas y en situaciones precarias en la calle y las periferias de las ciudades. Es por esto que el principal objetivo del proyecto fue proveer una vivienda emergente y sustentable como respuesta a las necesidades de las personas más necesitadas de nuestro estado.

La edificación planteada fue un prototipo de vivienda emergente, que se resolviera y construyera de manera eficiente, con un mínimo de confort básico y calidad de diseño. La investigación se desarrolló en el área del desarrollo técnico constructivo y el caso de estudio fue la utilización del bambú como material en la construcción. Cabe mencionar que dicho proyecto se pensó para presentarse en este año en el concurso perteneciente a la CONACYT, Primer Concurso Nacional: Soluciones de Vivienda Sustentable con el Sistema prefabricado de bambú - biba®.

In Jalisco and throughout our country there is a serious problem related to housing. Many people, specially the poor, do not have access to a decent home because they do not have the support or resources to cover the expense involved with social housing. So far the only alternative for this sector of the population is to live in unworthy places, in poorly constructed houses, and in precarious situations on the streets and the outskirts of cities. This is why the main objective of this project was to provide an emergent and sustainable shelter in response to the needs of the low economic sector of our state.

The project proposed was a prototype of emerging housing, resolved and built efficiently, with a minimum of basic comfort and design quality. The research was unfolded in the area of construction and technical development and the case study was the use of bamboo as material for construction. It is worth mentioning that the project was intended to be presented this year in the contest from the organization named CONACYT, First National Contest: Housing Sustainable Solutions with the bamboo - biba® prefabricated system.

Palabras clave: vivienda emergente, construcción con bambú, vivienda sustentable, sistemas estructurales prefabricados.

## Introducción

*“Se habla de dos millones de créditos para vivienda por parte del gobierno federal y, curiosamente, si revisamos los presupuestos federales para los últimos cinco años, justamente para lo que menos se ha destinado recursos a nivel federal es para vivienda. Dentro de todo el análisis de la vivienda, de lo que menos se habla es de los más pobres. ¿Será porque en última instancia no tienen vivienda ni acceso a ella?”<sup>1</sup>*

Probablemente ningún tema de desarrollo urbano es tan complejo y sensitivo como el que se refiere a la vivienda. En él se reflejan los cambios económicos y sociales de las formas de vida de la población. La vivienda como elemento de estudio tiene muchas facetas, entre ellas su geografía, que corresponde al tamaño de las unidades, la densidad y tipología; sus condiciones en materia de tenencia, infraestructura, materiales y de antigüedad; el mercado en el que se estudia la demanda a partir de los cambios en la formación de hogares, las edades y los requerimientos familiares, así como el incremento en la población, los escenarios socioeconómicos, las capacidades de pago y la oferta a través del análisis de precios, es decir el financiamiento; su diseño, en el que se observan sus tipologías y la problemática energética y ambiental; y finalmente lo relacionado a la legislación y normatividad.

La vivienda representa, en cuanto a utilización de suelo urbano, aproximadamente 70% de los usos y destinos de las metrópolis y los centros de población. A escala nacional, ésta se dedica en un 70% también a la construcción de vivienda en las categorías de social (12%) y económica (60%), y el restante 28% distribuida entre las categorías de media y residencial. El 66.8% de los hogares en México reporta cifras menores a cuatro salarios mínimos mensuales, de aquí que se reconozca la importancia de atender la producción social de vivienda y la generación de programas con atención preferente a la población en situación de pobreza.

Partiendo de esta idea, está claro que se necesitan proponer proyectos para atender la problemática actual de la vivienda social, tanto en Jalisco como en todo el país. Se vuelve necesario contar con proyectos de vivienda con sistemas constructivos de fácil montaje, desarrollados con materiales sustentables, como son el caso del bambú y la madera, para

---

<sup>1</sup> Meave G, Alejandro (2006). “La vivienda en México: construyendo análisis y propuestas”, Legislando la agenda social. (página 259, El derecho a la ciudad)

satisfacer las necesidades de una vivienda emergente y evitar que la población, sobre todo la de bajos recursos, quede desprotegida.

El presente trabajo buscó exponer las principales características del bambú como material estructural y sustentable, sus usos y sus competencias en general. A través de la propuesta de vivienda emergente, se centró la atención en la aptitud estructural mediante la aplicación práctica al estudio y análisis de distintos sistemas constructivos. De este modo, este documento buscó profundizar en el conocimiento existente de las técnicas constructivas a través de los usos estructurales de este material, a la vez que buscó vislumbrar su mayor utilización, potencial y difusión internacional de acuerdo a las nuevas tendencias y mayor sensibilidad medioambiental de la arquitectura e ingeniería de estructuras.

Todas las conclusiones y propuestas se generaron de forma indirecta con nuestra participación en el concurso de la CONACYT<sup>2</sup> para hacer vivienda sustentable con bambú.

Dicho concurso plantea un programa delimitante con un área mínima construida, un costo máximo, entre otros requisitos específicos que le dieron dirección y un sentido más claro a nuestro proyecto. Debido a eso, se realizaron una serie de análisis económicos, sociales y técnico-estructurales para lograr tomar las decisiones más acertadas a nivel de proyecto y pensando en su futura construcción a escala real, en caso de ganar dicho concurso.

---

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



## Capítulo I. IDENTIFICACIÓN DEL ORIGEN DEL PROYECTO Y DE LOS INVOLUCRADOS

### 1.1 Antecedentes del proyecto

Actualmente en México, el bambú es un material poco aprovechado en la construcción, pese a que la arquitectura con bambú en el continente americano se remonta a milenios. Este material ha sido preferido sobre la madera debido a que el bambú es abundante, fácil de cortar, resistente, y a que no es necesario volver a sembrarlo una vez aprovechado, como en el caso de la madera.

En México, el bambú se encuentra presente desde la época prehispánica, en la que varios grupos sociales lo usaron y continúan usando, como recurso para la construcción de casas, cubiertas, puentes y utensilios, ya sea aprovechando el culmo de bambú en forma de postes o vigas, para formar marcos o en conjunción con otros materiales, o como parte de sistemas constructivos tradicionales como el “bahareque”.

El bahareque es una técnica tradicional de construcción de muros estructurales, que combina diferentes materiales como la madera, la tierra, el bambú, y en su versión contemporánea, también incluye cemento. Este sistema, en general, busca aprovechar los recursos locales y por lo tanto tiene la ventaja de ser económico, sustentable, fácil y rápido de hacer, además de tener un excelente desempeño sísmico y eólico. No obstante, los sistemas tradicionales de construcción con materiales no industrializados, involucran procesos artesanales realizados in situ, lo cual no es compatible con los estándares actuales de vivienda, que exigen un diseño arquitectónico e ingenieril validado, que garantice la habitabilidad y la seguridad estructural de la edificación, así como su factibilidad económica y constructiva.

Con esto en mente, las empresas Kaltia Consultoría y Proyectos S. A. de C. V y Bambuterra S.A.P.I. de C.V., han concebido el sistema constructivo BiBa®, a partir del uso de los sistemas prefabricados de construcción con bambú Biopanel® y Bambulosa®.

El sistema Bambulosa® consiste en una solución estructural para la construcción de losas de entresijos y cubiertas, a base de viguetas de bambú presforzadas con elementos de acero. Biopanel® es un sistema modular para la construcción de muros estructurales a partir paneles modulares prefabricados que usan bambú y otros materiales; es un sistema de fácil ensamblaje y de bajo costo; con capacidad para resistir cargas verticales y acciones horizontales dinámicas

(originadas por sismo o viento). Ambos sistemas han sido validados experimentalmente bajo estándares internacionales y su diseño se adapta a los requisitos de los actuales reglamentos de diseño y construcción vigentes.

Además, los sistemas están diseñados bajo estándares de ecodiseño y han sido monitoreados a lo largo de su cadena de valor, identificando sus impactos ambientales potenciales, por medio de métodos de análisis de ciclo de vida del producto; cabe resaltar que los sistemas están en procesos de Ecoetiquetado.

El sistema BiBa® para la edificación de vivienda, aprovecha todas las ventajas inherentes al uso del bambú como material de construcción, como sus capacidades físico mecánicas, su ligereza y su carácter renovable; proponiendo sistemas estructurales prefabricados que disminuyen tiempos de ejecución, costos de construcción, y garantizan un mejor control de calidad en la ejecución. El sistema BiBa®, se presenta como una alternativa viable y sostenible para contribuir a la resolución de los graves problemas de déficit de vivienda que sufre México, mediante un modelo de negocio que involucra a toda la cadena productiva del bambú, a través de procesos de transferencia tecnológica para los sectores menos favorecidos de la sociedad.

Es así, como el sistema BiBa®, requiere nutrirse de ideas creativas e innovadoras, a partir del uso de los sistemas Bambulosa® y Biopanel®, para la generación de soluciones arquitectónicas apropiadas, para casos reales de comunidades mexicanas con problemas sociales, específicamente en materia de vivienda.

Para ello, Kaltia y Bambuterra, en conjunto con la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, convocan al PRIMER CONCURSO NACIONAL DE “SOLUCIONES DE VIVIENDA SUSTENTABLE CON EL SISTEMA PREFABRICADO DE BAMBÚ - BiBa®”.

Un ejemplo reciente donde impulsan vivienda sustentable con bambú y en especial con el sistema prefabricado de Bambú BiBa, fue en Santiago de Querétaro, Querétaro. Se llevó a cabo el 19 de enero del 2016, (Agencia Informativa Conacyt). Cumplió con el objetivo de promover proyectos de viviendas sustentables, las cuales minimicen el impacto ambiental que actualmente genera el sector vivienda. Cabe destacar que, el doctor Toledano Ayala, quien es el jefe de la División de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), mencionó que la utilización del bambú, una planta que, a pesar de no usarse en

la construcción en México, ofrece múltiples ventajas en cuanto a resistencia, economía y sustentabilidad, y que gracias a este tipo de concursos nacionales estamos impulsando la construcción sustentable en nuestro país.

Además de nuestro trabajo en la implementación del bambú en la construcción y de la participación del proyecto en el concurso anteriormente mencionado, se realizó una minuciosa investigación acerca de la madera como material en la construcción para complementar los saberes adquiridos el semestre pasado. Se investigó sobre los árboles maderables nacionales y principalmente que se encuentran en nuestro campus, para de esta manera estar más familiarizados con las especies regionales que son excelentes opciones como material estructural, entre ellas el pino, el mezquite, el guamuchil y el cedro.

Se tomó en cuenta que, además de promover materiales aptos para la vivienda sustentable, tanto para mitigar la contaminación que se genera día con día, también se buscó mejorar la calidad de vida de las personas de bajos recursos en México, mediante la investigación, el desarrollo y la innovación de procesos constructivos para una vivienda sustentable, emergente y de calidad.

## **1.2 Identificación del problema. Problemática atendida**

Actualmente, el problema de la vivienda es provocado, una parte por la falta de recursos económicos que una gran sección de la población lamentablemente no tiene posibilidades de obtener una, ya sea por propiedad o arrendamientos; por otro lado, la otra gran parte de la población que vive en malas condiciones, inadecuadas, deterioradas y con pésimas condiciones de habitabilidad. Hablamos de viviendas que carecen de los estándares de calidad básicos, los cuales son: a) la calidad física e instalaciones de la vivienda, b) calidad sobre uso del espacio y hacinamiento y c) la calidad de los servicios que cuenta la vivienda.

México es un país joven en el cual la mitad de la población nació después de 1975. Son estos habitantes los que requerirán de vivienda durante la próxima década, pudiéndose estimar, con base en el crecimiento demográfico del país y en el mercado potencial de vivienda del año pasado (1,000,000 unidades), que para el año 2000 la demanda de vivienda será de 1,300,000

unidades. Lo anterior es equivalente a construir las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara más de 2 veces en los próximos 10 años.

La problemática de la vivienda se agudiza debido a factores como la complejidad en trámites administrativos, procesos tecnológicos deficientes, falta de acceso a créditos inmobiliarios, deficiencias en la legislación sobre uso de suelo y vivienda y azote de fenómenos naturales como sismos, incendios y huracanes en las comunidades, entre otros. De entre estos factores destaca el problema de los fenómenos naturales, el cual ha provocado severos daños a las comunidades durante los últimos años, como lo muestran el huracán Paulina que azotó las costas de Guerrero, el huracán Lester en Chiapas, el huracán Mitch en Nicaragua y recientemente, el sismo de Armenia, Colombia.

El proyecto se delimitó en la zona geográfica que comprende el estado de Jalisco, territorio que cuenta con 7'351,000 habitantes en toda su extensión. El 13% de la población del estado se localiza en zonas rurales, gran parte ubicada en zonas de asentamientos irregulares.<sup>3</sup> Estos asentamientos pueden resultar gravemente dañados en situaciones de emergencia, ocasionada por desastres naturales. Por tal motivo, se tomó en cuenta la posibilidad de que tanto nuestro proyecto de vivienda emergente en madera como en bambú pudiera responder a cualquier necesidad o situación de emergencia en cualquier otra parte de la república dada su versatilidad constructiva y funcionalidad espacial.

El crecimiento en las ciudades dirigido por el capital industrial e inmobiliario ha llevado al arrinconamiento de ciertos sectores de la población a las periferias, lo que tiene como consecuencia asentamientos urbanos generalmente mal situados, propensos a inundaciones, derrumbes, riesgos sísmicos, entre otros desastres naturales, por dejar a un lado una infinidad de problemas socio-culturales que también afectan a estos asentamientos. Por otro lado, existe la problemática de casas mal construidas, la insuficiencia e ineficiencia de los materiales empleados y la autoconstrucción de viviendas sin un conocimiento previo de diseño eficiente y seguro generan riesgos importantes y una vulnerabilidad considerable en casos de desastre.

---

<sup>3</sup> Dato recabado del INEGI en el último censo 2010 en [www.inegi.gob](http://www.inegi.gob)

Por los puntos anteriormente mencionados, es claro que las soluciones al problema de la vivienda social no se han resuelto correctamente, es por ello que surgió la oportunidad de implementar nuevos modelos arquitectónicos emergentes, autoconstruibles y sustentables que pudieran responder de una manera más acertada a este grave problema, modelos que a su vez ayudarán a que el tejido social de las zonas afectadas se viera beneficiado.

Por otra parte, la falta de familiaridad sobre las propiedades y alcances de los materiales de la región y la incompleta legislación referente al tema, da como resultado una mala imagen sobre estos materiales y las técnicas tradicionales de construcción, fomentando una falta de confianza y seguridad en la población que habita estas zonas de riesgo así como una connotación peyorativa hacia el término.

Esta problemática no sólo se presenta en el lado del usuario o consumidor, sino que también en el ámbito de la construcción en México y, específicamente, en la etapa de proyecto. Existe escepticismo sobre el comportamiento de materiales alternos como pueden ser la madera o el bambú por el hecho de no ser recursos históricamente usados en México. Se consideró pertinente realizar la investigación idónea para identificar los aspectos más importantes sobre el comportamiento de estos materiales en elementos estructurales, elementos ligeros de cubierta y recubrimientos.

Desde el aspecto técnico del diseño estructural, la elección de un material poco utilizado culturalmente en el país, como lo es en este caso la madera o el bambú, representa una incertidumbre en el proyectista y desconocimiento sobre el adecuado modelaje de dicho material. A lo largo del proyecto nos surgieron preguntas sobre el manejo de las proporciones transversales y longitudinales de dichos materiales, sobre qué elementos estructurales se pueden construir con ellos (vigas, travesaños, cubiertas, columnas, armaduras), qué conexiones y ensambles son adecuados, entre muchas otras. Todas estas preguntas pudieron llegar a desalentar el uso de estos materiales como base, a pesar de poder llegar a ser una respuesta a muchas otras problemáticas que requieren de nuestra atención.

### **1.3 Identificación de la(s) organización(es) o actores que influyen o son beneficiarios del proyecto**

Al haber decidido participar en el Primer Concurso de Vivienda con Bambú, el principal actor beneficiario de nuestro proyecto del Sector Gubernamental fue el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Este es un organismo se dedica a promover y estimular el desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestro país. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología fue creado por disposición del H. Congreso de la Unión el 29 de diciembre de 1970, como un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal, integrante del Sector Educativo, con personalidad jurídica y patrimonio propio. También es responsable de elaborar las políticas de ciencia y tecnología en México. Desde su creación hasta 1999 se presentaron dos reformas y una ley para coordinar y promover el desarrollo científico y tecnológico y el 5 de junio del 2002 se promulgó una nueva Ley de Ciencia y Tecnología.

La Universidad Autónoma de Querétaro fungió también como una institución pública que colaboró con dicho concurso y está enfocada a la formación integral de profesionistas y ciudadanos. Algunos otros actores como la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), el Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (FOVISSSTE), el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT), el Fideicomiso Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO), la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) y el Consejo Nacional de Organismos Regionales de Vivienda (CONOREVI), también son organismos que pueden beneficiarse con propuestas y proyectos como el presentado en este documento.

En relación al Sector Privado y como uno de los puntos principales que se planea concretar este semestre, es el inicio de un proyecto interdisciplinario entre el Huerto Agroecológico Universitario, el PAP y la clase de Jardinería y Paisajismo, el cual, como también se revisará más adelante dentro del apartado que refiere a los alcances de los proyectos, este tiene como finalidad destinar un espacio dentro del Huerto destinado específicamente al estudio de árboles maderables y especies vegetales que tengan alguna aplicación directa en el sector de la construcción. Esta información en relación con el PAP podrían significar a futuro la base para generar nuevas propuestas referentes a sistemas alternativos de construcción empleando materiales naturales

buscando con esto una arquitectura eficiente y sustentable y la oportunidad de investigar más a fondo estos materiales, así como sus procesos de crecimiento, necesidades particulares y viabilidad en su implementación.

Los patrocinadores del concurso de Vivienda con Bambú son:

Kaltia Consultoría y Proyectos S.A. de C.V., una empresa que desarrolla proyectos de ingeniería, arquitectura y diseño para la industria de la construcción, con alto contenido de innovación tecnológica. Buscamos el equilibrio entre el desarrollo económico, el respeto a la tierra y el impacto social y cultural, bajo los principios de la construcción sustentable. Sus proyectos optimizan costos para lograr construcciones durables, seguras y en armonía con su entorno.

Bambuterra S.A.P.I. de C.V., una empresa de arquitectura y construcción que busca generar soluciones innovadoras de bajo impacto ambiental y alto impacto social, utilizando bambú como principal materia prima y combinando técnicas artesanales con tecnologías de ingeniería y diseño, para ofrecer productos y servicios que satisfagan de manera sustentable necesidades sociales de construcción.

## Capítulo II. MARCO CONCEPTUAL O TEÓRICO DEL PROYECTO

Aparte de algunas excepciones aisladas, el hombre ha dedicado su atención a las “condiciones peligrosas” como lo son: una rápida urbanización, casas mal situadas, casas mal construidas, un elevado nivel de pobreza, insuficiencia de materiales locales (por ejemplo la madera o bambú), y construcciones con techos pesados.

Cuando consideramos las viviendas de una localidad vulnerable, reconstruir una casa de una forma segura puede exigir técnicas y materiales no disponibles en un contexto inmediato. Es muy fácil para los equipos de expertos y especialistas que visitan estos sitios mover la cabeza y escribir satisfechos <<fallos muy difundidos en la construcción doméstica>> motivados por la falta de techos ligeros y <<miembros que soporten tracciones>>. Sin embargo, desde el punto de vista de las personas afectadas, estas palabras casi no tienen sentido, ya que supondría gastar más dinero del que tiene para construir su casa o para soportar un techo ligero.

Estos factores, entre muchos otros, le dieron sentido a nuestro proyecto. Aunado a esto, se plantea la utilización del bambú como materia prima de nuestra edificación y módulos de vivienda emergente, con la capacidad de resolver cualquier necesidad relacionada con la vivienda social.

Actualmente el uso del bambú puede ser de vital importancia debido a que se utiliza relativamente poca energía para producirlos, lo que coadyuva a la conservación del medio ambiente. Sin embargo, para poder proporcionarle un buen y correcto uso es necesario conocer sus características y propiedades.

La palabra *bambú* fue introducida por Carl von Linné en 1753 en su obra *Species Plantarum*. Es una herbácea como el arroz, el maíz o la caña de azúcar. Pero a diferencia de estas plantas, la lignina de sus tejidos se convierte con el paso del tiempo en una estructura tan dura como la madera, pero más flexible y ligera. Esto hace del bambú un material muy interesante para muchísimos usos, entre ellos el estructural.



El bambú ha sido desde hace siglos una planta muy importante para muchos pueblos del mundo en su proceso de desarrollo, debido a su abundancia, su facilidad de trabajarlo y a sus más que competentes características para todo tipo de usos.

Aunque se tenga referencia sobre su uso principal en territorios menos desarrollados, normalmente empobrecidos y zonas rurales, cada vez encontramos más construcciones en áreas urbanas y desarrolladas sustentadas con este material, natural y ecológico, denominado por algunos como el acero vegetal debido a sus cualidades. En ocasiones el bambú actúa como único elemento y resiste el todas las cargas, pero en otras ocasiones puede aparecer con un papel secundario, formando parte de elementos estructurales que no están sometidos a cargas elevadas pero no por ello son considerados menos importantes.

En el mundo de la arquitectura de vanguardia, y en el resto de ámbitos, está cobrando cada vez más importancia y se valora cada vez más este material debido a su estética, a su facilidad de trabajo y a su valor medioambiental, ya que es un excelente sumidero de carbono y un recurso forestal con gran capacidad que todavía no se ha explotado acorde a sus posibilidades.

A continuación la Tabla 1 expone una lista de los bambúes más comúnmente utilizados en la construcción así como sus principales características. Se clasifican según los distintos géneros a los que pertenecen.

<b>Genero</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Origen</b>
<b><i>Bambusa</i></b>	6 a 30	3 a 18	China, India, Birmania y Taiwán
<b><i>Chusquea</i></b>	4 a 6	2 a 4	Chile y Argentina
<b><i>Dendrocalamus</i></b>	20 a 35	20 a 30	India, Birmania, Sri Lanka y Taiwán
<b><i>Gigantochla</i></b>	10 a 16	8 a 15	Malasia, Indonesia y Filipinas
<b><i>Guadua</i></b>	10 a 30	5 a 15	Colombia, Ecuador, México, Bolivia y Panamá
<b><i>Phyllostachys</i></b>	5 a 22	2 a 17	China y Japón

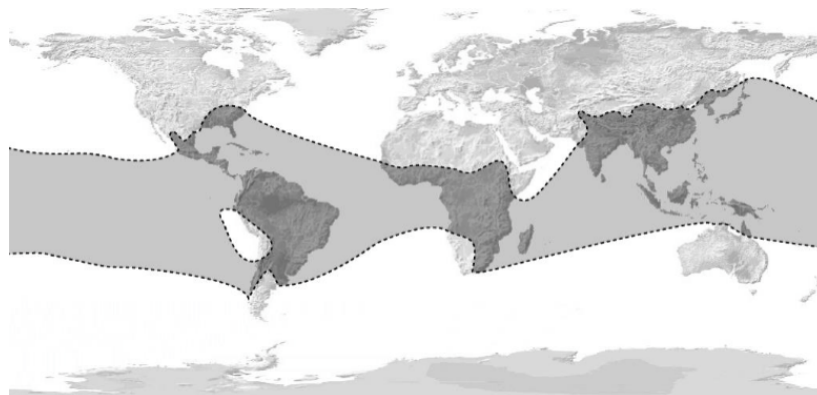
Géneros y características. Adaptación de American Bamboo Society.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, predominan claramente dos zonas en el mundo en lo que a uso de bambú estructural se refiere. Por un lado, tenemos los países del Sureste Asiático, y por otro la zona de América del Sur.

En la zona Asiática, el principal género de bambú utilizado con fin estructural es el *Dendrocalamus*, dentro del cual, la principal especie es *Dendrocalamus giganteus*. Se trata de una de las especies más grande que existe, con diámetros superiores a los 30 cm. Es capaz de crecer a una velocidad de más de 30 cm por día alcanzando holgadamente los 30 metros de altura. También es muy utilizado para la producción de papel y la elaboración de muebles.

Al otro lado del Pacífico, en el continente americano, el género predominante es la *Guadua*, concretamente la especie *Guadua angustifolia*. Presenta un diámetro de entre 9 y 15 cm aunque excepcionalmente, si se halla en buenas condiciones puede alcanzar hasta los 21 cm. Su crecimiento diario en altura ronda los 12 cm, alcanzando el 80-90% de su altura máxima en tan solo 3 meses. Llega a medir entre 15 y 30 metros.

El bambú pertenece a la gran familia de las gramíneas. Son plantas que crecen usualmente en selvas de clima cálido, en bosques mesofítico caducifolio y xerfítico caducifolia de Asia, así como en los bosques tropicales lluviosos o, en el caso de los bambúes herbáceos, en la sombra de los bosques cálidos; también a lo largo de corrientes o en áreas descubiertas, algunas veces en la sombra de la vegetación baja. Usualmente dependen de la humedad, la sombra y una temperatura cálida. Abundan en los trópicos y subtrópicos y solo algunas especies leñosas se encuentran en zonas de temperaturas más frías. (Álvarez Castilla, 2012). En la Figura 3 podemos observar su área de distribución a nivel global. Únicamente está ausente en el continente europeo y en la Antártida.



Distribución del bambú a nivel global. Fuente: *Wikipedia*

Para que la recolección del bambú sea sostenible debe ser “selectiva”. Si se trata de especies monopodiales (cañas separadas uniformemente), la misma se realiza cortando solamente las que están maduras. Si se trata de especies que forman matas, la recolección selectiva se realiza cada 2 - 4 años recortando hasta un 30% del cultivo.

En ambos casos, las estaciones adecuadas para la recolección son el otoño y el invierno. Se aconseja no cortar las cañas por encima de los 30 cm del suelo y no usar la sierra porque impide a la raíz pudrirse, evitando el crecimiento de nuevos brotes.

La mejor herramienta es el machete. Para acelerar la putrefacción de la raíz de la caña cortada, lo ideal es quebrar el muñón de la misma con un corte en cruz. De este modo el agua pluvial penetrará más fácilmente.

La poda se tiene que realizar poniendo cuidado de no impedir que las cañas se sujeten una con otra, de lo contrario crecerán encorvándose. Por cada 4 cañas maduras se genera una nueva. Por lo tanto, se tardan 4 años para reemplazar las quitadas. Dentro de una mata la producción de cañas varía con la especie entre 10 y 38%. El método ideal para asegurar una producción continua es determinar la producción en un año sobre la base del promedio deducido en los últimos 15 años. La primera recolección puede empezar cuando la mata llegue a su completa madurez, es decir alrededor de los 6 años después de su plantación.

En la India se abaten matas cada 3 - 4 años y se dejan aproximadamente 10 cañas por mata manteniendo las jóvenes en la periferia. Estas cañas sirven para sujetar las nuevas y mantener la completa potencia germinativa de los rizomas. Las cañas de bambú de 2 - 5 años son las más adecuadas para generar materia prima.

Con un período de rotación de 3 años, se pueden recoger entre 3.000 a 15.000 cañas por hectárea, que equivale a 7,5 - 38 ton/ha. Para comprender mejor este dato, en Alemania la productividad de leña seca es de 1,4 ton/ha de bosque (Barbaro, 1997).

Tras el abatimiento de las cañas, las ramas se tienen que quitar con cuidado para no dañar la "corteza" que protege contra la humedad y los microorganismos nocivos.

Las cañas tienen que ser colocadas horizontalmente y con apoyos frecuentes, de modo que no se encorven.

Deben estar protegidas del sol, la lluvia y la humedad del terreno. El secado al aire necesita de un período de 6 a 12 semanas, mientras que en el horno tarda solamente 2 o 3 semanas. Algunas especies de bambú no toleran un secado rápido y desarrollan grietas o quebraduras axiales.

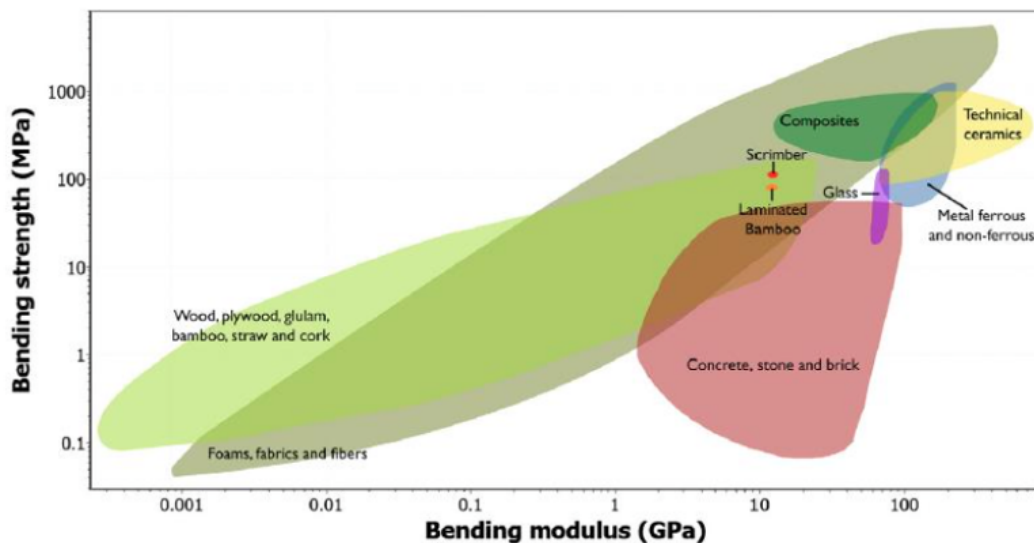
La forma ideal de almacenarlas es dentro estantes, donde la primera capa no tiene que estar a menos de 50 cm. del terreno. Eso garantiza una buena circulación del aire y la posibilidad de inspeccionar cada una. Las cañas afectadas por hongos o insectos se tienen que eliminar o tratar inmediatamente.

Comparando el bambú frente a otros materiales para la construcción, desde el punto de vista mecánico, frente a requerimientos energéticos, constructivos, de resistencia y rigidez por unidad de área, facilidad y seguridad de uso, etc, el bambú se puede comparar de manera favorable con materiales de uso común como el hormigón, el acero y la madera.

La gran versatilidad del bambú se debe en gran parte a su estructura anatómica y morfológica. La sección circular ahuecada presenta algunas ventajas estructurales en comparación con secciones macizas o rectangulares de otros materiales. "El bambú requiere solo el 57% de su

masa cuando es usado como viga y solo un 40% cuando es usado como columna” (Janssen, 1988).

Aunque la composición química de la madera y del bambú no difiere demasiado, el bambú es dos veces más resistente que la madera frente a la tracción uniaxial. La razón de esto es aún desconocida y la hipótesis más creíble es la diferencia entre el ángulo de disposición de la celulosa, las microfibrillas y la célula-eje, siendo 20° para la madera y solo 10° para el bambú. La Figura 5 nos permiten comparar el bambú con algunos materiales muy conocidos y utilizados en nuestro día a día.



Comparativa de materiales. Resistencia a flexión frente a su módulo de flexión. Fuente: The Royal Society.

Gracias a todas las características nombradas en los apartados anteriores, desde hace muchos años, los humanos hemos sabido darle multitud de utilidades al bambú. Cuando el nuevo brote de bambú asoma en la tierra, ya trae todo su calibre. Nunca engrosará más. Por esto, es fácil saber qué destino se dará a cada vara con bastante tiempo de antelación, aunque aún tengan que pasar algunos años para que esté listo para su uso.

Dependiendo de la edad a la que se decida cortar el bambú, podemos darle multitud de aplicaciones sin transformarlo considerablemente. Como podemos observar en la Figura 6, desde el comienzo de la vida del bambú podemos darle distintos usos.



Distintos usos del bambú en crudo dependiendo de la madurez a la que se tala. Fuente:

fao.org

Hasta los primeros 30 días es comestible ya que aún es tierno y se puede masticar sin problemas. Además, al no estar endurecido es posible deformarlo con facilidad sin romperlo. Esto es muy útil para la elaboración de utensilios y productos de artesanía.

Entre los primeros seis meses y el primer año la planta ha crecido y se ha endurecido, por lo que ya no es utilizada para consumo humano. Sin embargo, aún es posible deformarla y en mayor medida tejerla.

A partir de los dos años, el bambú ya es bastante rígido y su uso se va enfocando a aplicaciones que requieren más resistencia y dureza. Es empleado para hacer esterillas (resistentes a la abrasión y la humedad), recipientes de almacenamiento, muebles y diversos útiles.

A partir del tercer año, al bambú ya es lo suficientemente rígido como para emplearlo en la construcción. Puede aparecer como elemento auxiliar de otros materiales, o bien como elemento principal de la estructura. También se alcanza un alto grado de dureza y es por esto que se utiliza como pavimento mediante la elaboración de laminados (Álvarez Castilla, 2012).

El uso del bambú es apto para casi la totalidad de las partes de una estructura. Al tratarse de un material natural de origen biológico puede presentar problemas en lo referente a la durabilidad si no se adoptan ciertas medidas. Al igual que la madera, es deseable evitar el contacto directo con el agua. Si es posible se debe aislar las partes de bambú del suelo para evitar humedades y el ataque tanto de insectos como de hongos. Y por último, se recomienda evitar la exposición directa a la radiación solar, aunque sus repercusiones no son tan importantes como las del agua.

Por todo esto, los lugares menos indicados para el bambú en cuanto a lo que la durabilidad se refiere serán los cimientos y las cubiertas, aunque estas últimas sí es habitual encontrarlas de este material ya que es muy abundante y la durabilidad, aunque se ve reducida por los factores nombrados, sigue siendo aceptable. Además, la forma de las varas del bambú es aprovechada para facilitar el desagüe de los tejados y evitar acumulaciones de humedad.

En lo referente a su comportamiento como elemento estructural, se habla sobre qué esfuerzos se comporta mejor para así seleccionar las zonas óptimas de trabajo dentro de una estructura.

### **Propiedades físico-mecánicas**

Es sabido que el bambú es un material muy resistente y algunas de sus cualidades están por encima de las de la madera, con la gran ventaja de que la edad de explotación de esta gramínea viene siendo la quinta parte del tiempo que necesitan algunas especies maderables para su uso. Existen muchos motivos para estudiar con más detalle las propiedades físicas y mecánicas de este vegetal, y analizar los puntos débiles que presenta para proponer mejoras que contribuyan al comportamiento óptimo estructural y al acercamiento entre los modelos matemáticos y reales.

A continuación se presentan algunas propiedades físicas y se analizan los distintos esfuerzos a los que puede ser sometido el bambú durante su vida como elemento de una estructura, y para finalizar una tabla con los datos objetivos de las distintas propiedades.

Peso Específico:

Varía con la humedad, pero para cañas secadas al aire (18% de humedad), oscila entre 700 y 850 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo de si se tiene en cuenta solo la pared. El peso específico depende también de la porción de caña analizada: a la base ronda los 0,57 kg/dm<sup>3</sup> (mayor volumen hueco) y en la cima 0,76 kg/dm<sup>3</sup> (Barbaro, 1997).

#### Conductividad Térmica:

Expresa el poder aislante de un material: cuanto más baja es, más poder aislante tiene. En el bambú depende del sentido de propagación del flujo de calor y del elemento que se esté ensayando. Por ejemplo, la propagación en sentido perpendicular a las fibras en material secado en horno es de 0.088 Kcal/m·h·°C para el bambú frente a 0.104 Kcal/m·h·°C que presenta el abeto común, o en sentido paralelo en el cual la diferencia es mayor obteniéndose valores de 0.143 Kcal/m·h·°C frente a las 0.191 Kcal/m·h·°C respectivamente (Bárbaro, 1997).

#### Compresión:

Gran parte del bambú empleado en construcción está sometido a compresión paralela a la fibra, por ejemplo, en columnas, vigas, soportes, montantes y otros, los cuales están sujetos a cargas que tienden a aplastar o a acortar los miembros longitudinalmente.

La resistencia del bambú a la compresión es relativamente alta, pero carece de significado si no se especifica el grado de sazónamiento y la relación entre la longitud y el diámetro de la pieza. Dicho de otra forma, si no se conoce la esbeltez de la pieza a estudiar y no se define la curación del bambú, no se podrá precisar correctamente la resistencia frente a este esfuerzo ya que sus características varían. A mayor humedad tenemos peores prestaciones. Además, la relación longitud-sección mínima también es de vital importancia para prevenir el pandeo. La normativa colombiana (NSR-10, 2010) es de especial relevancia para estudiar el comportamiento del bambú en estructuras ya que nos diferencia tres tipos de restricciones distintas para el pandeo en función de la esbeltez de la pieza a estudiar.



Tracción:

Depende del elemento de la caña ensayado (base, centro o cima), del % de humedad, del elemento a ensayar y de la presencia o no de nudos.

Se trata del esfuerzo más complicado de todos a los que se enfrentan las estructuras de bambú. Los métodos mediante los cuales se unen las diversas piezas hacen que al aparecer esfuerzos de tracción, estas se rajen debido a los herrajes. Es por esto que no es fácil encontrar valores de la resistencia del material frente a este tipo de cargas.

Módulo de elasticidad:

Es un coeficiente adimensional y se define como la relación lineal, conocida como la Ley de Hooke, entre la tensión debida a la carga aplicada al material y su deformación.

Al igual que en la madera tradicional, decrece de un 5 - 10% con el aumento de la carga. Depende del tipo de esfuerzo aplicado, y del tipo de fibra (interna o externa de la sección solicitada). Desde un punto de vista estructural, para cañas enteras sometidas a flexión se puede adoptar el dato promedio reflejado en la siguiente tabla.

Cortante:

El esfuerzo cortante es una medida de la capacidad de resistir fuerzas que tienden a producir deslizamiento de una porción del material con relación a otra porción adyacente. El corte es una fuerza que actúa paralelamente a un plano, en contraste a las de tensión y compresión que son perpendiculares al área considerada. La fractura por corte es muy diferente de la tensión o compresión puesto que no hay reducción localizada del área, ni tampoco alargamiento.

Este esfuerzo tendremos que tenerlo muy en cuenta especialmente en el diseño de las uniones o juntas. La mayoría de estos componentes constructivos están sujetos a corte paralelo a la fibra. En culmos con paredes de 10 mm de espesor, el esfuerzo cortante es aproximadamente un 11 % más bajo que para culmos con paredes de 6 mm de espesor debido a la distribución y mayor porcentaje de fibras fuertes en la sección transversal (Rodríguez y Morales, 2008).

La siguiente tabla muestra el orden de magnitud de los valores numéricos de la guadua para las propiedades mecánicas más significativas vistas anteriormente según el estudio (López y Correal, 2009). Por otro lado, en sentido perpendicular a la fibra, la resistencia del bambú es menor y más penalizada que la madera estructural.

Propiedades Mecánicas	Promedio (MPa)	D.E. (MPa)	C.V.
Compresión paralela a la fibra.			
Esfuerzo máximo	48.0	3.0	5%
Esfuerzo en el límite proporcional	36.0	2.0	6%
Módulo de elasticidad	19137	1625	9%
Compresión perpendicular a la fibra			
Esfuerzo máximo radial	5.0	0.6	12%
Esfuerzo máximo tangencial	6.8	0.9	13%
Tracción paralela a la fibra.			
Esfuerzo máximo	132.0	24.1	18%
Módulo de elasticidad	17468	3655	21%
Tracción perpendicular a la fibra			
Esfuerzo máximo radial	1.1	0.3	22%
Esfuerzo máximo tangencial	1.8	0.4	21%
Corte paralela a la fibra			
Esfuerzo máximo	9.4	1.2	13%
Flexión			
Esfuerzo máximo radial	74.0	10.6	14%
Módulo de elasticidad radial	9523	1100	12%
Esfuerzo máximo tangencial	87.0	12.8	15%
Módulo de elasticidad tangencial	11456	1450	13%

Propiedades Mecánicas del Bambú

Uniones y conexiones:

El cálculo de elementos con bambú, al igual que con madera puede llevar a una situación muy peligrosa: que los elementos sean suficientemente fuertes para el trabajo deseado, pero que las uniones sean débiles. Gracias a todo lo que se ha trabajado hasta el momento, se sabe que las uniones requieren de mucho cuidado y son el punto más débil.

La madera cuenta con múltiples tecnologías para solucionar las uniones. Por lo contrario, para el bambú existen soluciones tradicionales, pero la dificultad se manifiesta cuando se trata de hacer uniones que soporten esfuerzos a tracción. Las cerchas que se han construido realmente no funcionan como tal, pues las uniones trabajan pobremente a tracción ya que generalmente son unos pocos clavos que terminan por rajar los elementos.

Uno de los primeros en realizar un estudio académico de las cerchas de bambú fue el ingeniero holandés Dr. Jules Janssen quien en 1974 probó en la Universidad Tecnológica de Eindhoven (Países Bajos) más de 50 uniones diferentes con bambú filipino, con base en las cuales construyó 5 cerchas de 8 metros de luz, a las que sometió a esfuerzos. Las cargas eran análogas a las de una cubierta en asbesto cemento o zinc. Estas cerchas se probaron acostadas en el piso del laboratorio. Los diseños propuestos por Janssen son simples, y satisfacen las necesidades de una comunidad que necesita una cubierta (ProNAP, 2013).

El planteamiento general para el diseño de conexiones debe tener como referente evitar al máximo la presencia de esfuerzos que provoquen la rajadura en las piezas de bambú. También se hace hincapié en la simplificación de las uniones para lograr los objetivos que se plantean, atendiendo principalmente a la arquitectura con estructuras ligeras.



Unión cónica con esfera, J. Stamm. Fuente: bambumex.org

En México existen 8 géneros y 36 especies nativas (que son aquellas que crecen de manera silvestre) de bambúes leñosos, de las cuales 30 son endémicas (es decir, aquellas especies que crecen únicamente dentro del territorio nacional). También se han introducido cerca de 30 especies, principalmente de California y de Colombia (Cortes, 2007: 1).

Un análisis por estado de especies de bambúes nativos, señala a Chiapas como el estado de mayor importancia, aunque es Oaxaca el estado con el mayor número de especies endémicas y escasas poblaciones.

En Veracruz se han sido realizados numerosos trabajos de campo, sobresaliendo la zona montañosa de los alrededores de Orizaba y Xalapa (Cortes, 2007: 1). Es precisamente aquí donde más se ha avanzado en el cultivo de bambú más adecuado para la construcción: la guadua.

La guadua es un bambú, que puede alcanzar alturas hasta de 25 metros, con diámetros entre 10 y 20 centímetros. Sus entrenudos tienen paredes hasta de 2 centímetros de espesor. El nombre genérico "guadua" derivó del nombre vernáculo o común dado por las comunidades indígenas de Colombia y Ecuador (Rubio, 2007: 17,18). El 45 por ciento de las especies del género son de origen amazónico y se distinguen por sus cúmulos gruesos, largos y espinosos, por las bandas de pelos largos en la región del nudo y por las hojas caulinares de forma triangular, sin embargo la característica más importante, es la presencia de quillas aladas en la palea del flósculo de espiguilla, la presencia de 3 estigmas plumosos al final del estilo, de 6 estambres, de estomas en ambas superficies de la lámina del follaje y de un número cromosómico  $2n=46$  (Villegas,

2003:25). Se clasifica dentro de la familia de las Poáceas, subfamilia Bambusoideae, subtribu Guaduinæ y género *Guadua*. De este género *Guadua* existen 26 especies en América, desde el centro de México hasta el norte de Argentina y Uruguay, Perú, Cuba, Puerto Rico y Trinidad. Pueden encontrarse entre los 0 y los 2,200 metros sobre el nivel del mar, aunque son más abundantes por debajo de los 1,500 msnm (Rubio, 2007: 17,18).

Las cinco especies del género *Guadua* que habitan en México, son las más grandes y frondosas de los bambúes mexicanos. Estas son la *G. aculeata*, la *G. amplexifolia*, la *G. longifolia*, la *G. paniculata* y la *G. velutina*.

En particular, la *Guadua aculeata* llega a medir 25 m de alto y sus tallos tienen un diámetro de 25 cm en la base; ha sido utilizada tradicionalmente en la construcción de viviendas rurales, principalmente en el norte del estado de Veracruz y Puebla. La presencia de espinas en los nudos de tallos y ramas es una característica para distinguir las especies de *Guadua* de los otros bambúes nativos. *Otatea* tiene dos especies, y es el bambú leñoso y nativo de México más abundante en cuanto a sus poblaciones; ocupa grandes superficies en donde muchas veces es la única planta que crece.

*Otatea acuminata* es la especie más utilizada por las poblaciones rurales de México, pues con sus tallos se construye el bajareque (mezcla de tallos de esta especie con lodo y zacate) que sirve como paredes de viviendas tradicionales principalmente en los estados de Jalisco y Veracruz (Cortés, 2007: 3,4).

Además de las cinco especies nativas de *Guadua*, existe una especie introducida, que es la *Guadua angustifolia*. A continuación describimos de manera más extensa, las principales especies de bambú adecuados para la construcción que existen en México:

*Guadua angustifolia*. Fue descubierta por el botánico alemán Karl Sigmond Kunth en 1822, quien utilizó el vocablo indígena “*Guadua*” como lo llamaban las comunidades nativas de Colombia y Ecuador y designa a esta *Guadua angustifolia* como la especie tipo (Villegas, 2003: 26). Se caracteriza por una banda blanca bien marcada sobre y en ambos lados de los nudos. Hojas caulinares tempranamente caedizas, espinas presentes.

Es la especie nativa de América más ampliamente utilizada en Colombia, Ecuador y, otros países de Centro y Sudamérica. Fue introducida en México en 1995, procedente de viveros de Colombia. Varios registros de floraciones esporádicas están documentados, que indican que es probable que el ciclo de florecimiento de esta especie sea de 32 a 35 años. Se reconoce una variedad de *G. angustifolia* llamada - bicolor – por la presencia de líneas amarillas que contrastan con el verde de los entrenudos ([www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm](http://www.bambumex.org/paginas/introducidos.htm)). Se encuentra disponible en el centro de distribución Bambuver en Huatusco, Veracruz, además de los estado de Jalisco y Chiapas, en este último producido por la empresa Agromond, S.A., que tiene su sede en Villahermosa, Tabasco.

*Guadua aculeata*. Se caracteriza porque el diámetro de sus entrenudos basales es de 25 centímetros. La presencia de espinas en todas las ramas. El principal nombre común con que se conoce esta especie es tarro, aunque recibe otros nombres. Es el más frondoso de los bambúes nativos de México, sus fuertes rizomas producen culmos robustos con entrenudos relativamente cortos en la base. No es común encontrarlo en floración; algunos ejemplares dan cuenta de floraciones únicamente a una o dos culmos del macollo. Es y ha sido una de las especies más utilizadas en México en construcción de viviendas y otros enseres domésticos, los ganaderos y agricultores de la región Huasteca de México lo han dejado en sus parcelas como sombra para el ganado. Por sus fuertes espinas presentes en todos los nudos ha sido usado como cerca viva ([www.bambumex.org/paginas/nativos.htm](http://www.bambumex.org/paginas/nativos.htm)).

*Guadua paniculata*. Se caracteriza por tener espinas en los nudos. Las láminas de las hojas caulinares prontamente caedizas. Frecuentes floraciones esporádicas han sido registradas para esta especie en México y toda la región donde crece, una floración gregaria fue reportada para Oaxaca en 1989. Hemos observado poblaciones naturales donde casi es la única planta que crece y por la presencia de espinas es difícil adentrarse dentro de la población. Los culmos secos han sido utilizados en construcción, tanto en México como en otros países. Sus rizomas paquimorfos con producción de culmos separados es determinante en el hábito de la planta, pues no se aprecia como una planta amacollada como otras Guaduas. Su nombre común es otate en Oaxaca. ([www.bambumex.org/paginas/Gpaniculata](http://www.bambumex.org/paginas/Gpaniculata). del 23 de enero del 2011).

*Guadua amplexifolia*. También es conocido como otate. Se caracteriza por su alto porte y tallos gruesos. Este bambú es espinoso, excepcionalmente no presenta espinas, se forma por grandes grupos de tallos, los tallos son sólidos. Los tallos presentan grandes vainas de color pardo que envuelven al tallo, las vainas alcanzan hasta 25 cm de largo y 20 cm de ancho, cubiertas de pelo fino y rígido. La madera se utiliza para vigas, alfardas, techo, cercas para casas, cercas vivas y para leña. Se encuentra en el sur de México, en todo Centro América, en el oriente de Colombia y en Venezuela. En México se registra para los estados de Sinaloa, Tamaulipas, Hidalgo, San Luis Potosí, Hidalgo, Veracruz, Morelos, Oaxaca, Tabasco y Chiapas ([www.verarboles.com/Otate/otate](http://www.verarboles.com/Otate/otate). del 23 de enero del 2011).

*Otatea acuminata*. Este bambú originario de México, se presenta en dos subespecies: *acuminata* y *aztecorum*. En realidad se trata de una especie pequeña que se ha utilizado frecuentemente en la elaboración del bajareque. Sus culmos son oscuros por estar completamente cubiertos de hojas. Estos culmos se encuentran separados entre 1 y 2 pies ([www.backyardgardener.com/plantname/pda\\_68ad-3](http://www.backyardgardener.com/plantname/pda_68ad-3). del 23 de enero del 2011).

En el Estado de Veracruz, Bambuver llama la atención sobre otras especies como las más numerosas, de las cuales considera la primera como la mejor desde el punto de vista estructural: *Bambusa oldhamii*, *Bambusa vulgaris vulgaris*, *Bambusa vulgaris striata*, *Bambusa aculeata* (Álvarez, 2008).

La *B. Oldhamii* es probablemente nativo del sur de China que no crece libre por cualquier parte, encontrado sólo bajo cultivo. Puede alcanzar dimensiones de 55 pies y cinco pulgadas de diámetro cuando madura. Los culmos tienen un color verde profundo y soporta temperaturas bajas.

La *B. vulgaris* tiene culmos amarillos muy atractivos que son buenos para construcciones temporales. Tiene poca tolerancia a la luz. En Cuba declaran a la *Bambusa vulgaris* (a la que llaman Caña Brava y que fué la primera especie introducida en el país en la segunda mitad del siglo XIX), como muy adecuada para la elaboración de paneles y usos estructurales para la construcción. Recomienda el acetato de polivinilo (PVC) como adhesivo (Martirena y otros, 2008).

En nuestra universidad podemos encontrar una especie de bambú llamada Oldhamii. Según sus características físicas, encontramos grandes similitudes entre esta especie de bambú y el que se encuentra en el ITESO detrás de la biblioteca. Sus cepas son bastante rectas y calculamos que del culmo que analizamos, el 10-15 por ciento está listo para ser aprovechado estructuralmente. Además existe una gran cantidad de bambú en el culmo que se encuentra en el proceso de maduración. Su altura es considerable ya que alcanzan hasta los 10 a 15 metros de altura. Si utilizamos este material para construir una cuarto o espacio de 3x3, podríamos alcanzar a edificar tres ejemplares a lo mucho.

Además del bambú y para completar un poco más la investigación sobre materiales de construcción sustentables, la madera es un material natural, biológico, renovable, orgánico, poroso, higroscópico, anisotrópico y heterogéneo; que se divide en 2 grandes y distintos grupos, que son:

- Coníferas: se caracterizan por sus hojas en forma de aguja y por la falta de vasos en la madera. Ejemplos comunes en México de coníferas son los pinos, el oyamel, el cedro, el ciprés, el sabino o ahuehuete, la picea y la pseudotsuga.
- Latifoliadas o frondosas: que son plantas de hoja ancha que pueden ser perennes o caedizas y con presencia de vasos en su madera. Ejemplos comunes en México de latifoliadas comerciales son los eucaliptos, la caoba, el cedro rojo y muchas más.

El objetivo de la madera estructural en la construcción es como en el caso de los demás materiales, garantizar unas prestaciones mínimas relacionadas con los siguientes requisitos esenciales del Código Técnico de la Edificación:

- Seguridad en las estructuras
- Seguridad contra incendio
- Seguridad de utilización
- Salubridad
- Protección contra el ruido
- Ahorro energético



Uno de los productos más habituales de utilización estructural es la madera aserrada, la cual consiste en piezas de madera obtenidas a partir de trozos u otras piezas de madera de mayores dimensiones, por arranque de serrín o partículas en sentido longitudinal, con posibilidad de sufrir un retestado y/o mecanización suplementaria, para obtener el nivel de acabado requerido.

Para la utilización de madera como sistema estructural existe la madera laminada encolada, que son elementos estructurales formados por la unión encolada de láminas de madera con la fibra orientada básicamente de forma paralela. Los elementos tienen un espesor de lámina cepillada menor o igual a 45 mm, y en función de la calidad de las láminas, podemos dividir la madera laminada de la siguiente manera:

- Madera laminada encolada homogénea: dispone de una sección transversal en la que todas las láminas son de la misma calidad (clase resistente), y a la misma especie (o combinación de especies).
- Madera laminada encolada combinada: dispone de una sección transversal en la que láminas interiores y exteriores son de calidades diferentes (clases resistentes) o a especies (o combinaciones de especies) diferentes.

La madera de uso estructural se encuentra situada en una posición competitiva frente a los demás materiales enfocados a la construcción, disponiendo de una amplia gama de productos y soluciones estructurales derivadas de la madera, con características como su alto rendimiento, bajo peso y alta densidad que posibilita su uso en múltiples especificaciones.

Las crecientes innovaciones en la industria de la madera y las características intrínsecas de este material estimulan a replantearse los sistemas constructivos típicos a la vez que favorecen una construcción más eficiente energéticamente y más sostenible.

Existe una vasta variedad de maderas con propiedades estructurales significativas que nos permiten la implementación de la madera como un sistema constructivo de alto desempeño, con distintas opciones según el alcance del proyecto y ventajas sobre la resistencia en comparación con los sistemas constructivos tradicionales como lo son el acero y el concreto, además de ser un producto renovable.

La utilización de la madera como sistema constructivo o como elemento estructural ha acompañado al hombre a lo largo de toda la historia. Al principio, junto a la piedra, era el principal elemento constructivo. Posteriormente aparecieron nuevos materiales que relegaron su utilización. Actualmente la evolución de su tecnología permite obtener productos estructurales más fiables y económicos, y su mejor conocimiento, tanto desde el punto de vista estructural como ecológico y medioambiental, la permite competir con el resto de los materiales estructurales.

Desde el punto de vista ecológico, la energía necesaria para la fabricación de la madera es nula (el árbol utiliza la energía solar) y la energía consumida en el proceso de su transformación es muy inferior a la requerida por otros materiales:

- 1 tonelada de madera: 430 Kwh
- 1 tonelada de acero: 2.700 Kwh
- 1 tonelada de aluminio: 17.000 kwh

Si se comparan las propiedades de la madera como material estructural con las del acero o el hormigón, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- A. Elevada resistencia a la flexión, sobre todo en relación a su peso propio (la relación resistencia/peso es 1,3 veces superior a la del acero y 10 veces la del hormigón).
- B. Alta capacidad de resistencia a tracción y compresión en dirección paralela a la fibra.
- C. Escasa resistencia a cortante. Esta limitación se presenta también en el hormigón pero no en el acero.
- D. Escasa resistencia a compresión y a tracción en dirección perpendicular a la fibra. Sobre todo en tracción, lo que supone una característica muy particular frente a los otros materiales.
- E. Bajo módulo de elasticidad, mitad que el del hormigón y veinte veces menor que el del acero. Los valores alcanzados por el módulo de elasticidad inciden sustancialmente sobre la deformación de los elementos resistentes y sus posibilidades de pandeo. Este valor neutraliza parte de la buena resistencia a la compresión paralela a la cual se ha hecho referencia anteriormente.

#### F. Buen comportamiento en situación de incendio.

Como parte de la experiencia del proyecto se supone un proceso de descubrimiento del material, ninguno de nosotros teníamos experiencia en utilizarlo. Fue durante este proceso cuando aprendimos las propiedades y bondades de la madera. Es un material modular, isotrópico, continuo, con cierto grado de elasticidad, sustentable, renovable, y con una resistencia al fuego mucho mayor que el acero estructural.

Sin embargo, a pesar de sus bondades había que estudiar más variables. Si de algo se caracteriza este material estructuralmente, es de la cantidad de variables que uno tiene que tomar en cuenta, por ejemplo humedad, temperatura, y la dirección de las fibras para recibir los tres esfuerzos simples (compresión, tensión y cortante).

Uno de los puntos de quiebre en la utilización de este material es su control de calidad, en específico su secado. Es necesaria una industria adecuada, infraestructura adecuada, el mercado adecuado, y una serie de estándares de calidad que garanticen un buen comportamiento del mismo. Existen dos clases de madera en función de su calidad, acomodo de las fibras, betas, ojos, color:

- Clase A: mayor calidad, madera de primera
- Clase B: menor calidad, madera de segunda

## PRINCIPIOS CLAVE:

- **Vivienda emergente:**  
Abarca el diseño y construcción del prototipo de vivienda y el planteamiento de un asentamiento urbano dependiente de las condiciones geográficas particulares de cada lugar donde se construya este tipo de vivienda.
- **Sustentabilidad:**  
Es un proceso que tiene por objetivo encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales.
- **Sistemas estructurales prefabricados:**  
Conjunto de elementos que soportan demandas mecánicas para resistir cargas internas y externas cumpliendo una o más funciones.
- **El bambú de plantaciones sustentables:**  
Como tecnología para producir bambú de forma eficiente, la explotación de las plantaciones debe realizarse de forma sostenible. México es nuevo en bambúes y solo lleva 20 años trabajando con ellos, pero el crecimiento es acelerado y el futuro se vislumbra muy positivo debido a que cuenta con excelentes tierras para hacer plantaciones y capacidad empresarial para desarrollar industria en torno a estas plantas. Hoy se percibe un fuerte interés por parte de inversionistas, empresarios y gobierno al ir descubriendo paulatinamente lo que se puede hacer con ellas, desde el punto de vista masivo y empresarial, ligado al medio ambiente. Integrar las plantaciones en un contexto social y económico más amplio favorece su sostenibilidad. La sostenibilidad en sentido estricto no debe ser un obstáculo para conseguir esos objetivos más amplios.
- **Ecotecnias:**  
Es un instrumento desarrollado para aprovechar eficientemente los recursos naturales y materiales y permitir la elaboración de productos y servicios, así como el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y materiales diversos para la vida diaria.

## **Capítulo III. DISEÑO DE PROPUESTA DE MEJORA**

### **3.1 Enunciado del proyecto**

Con este proyecto se busca lograr un modelo de vivienda emergente tomando en cuenta al bambú como material estructural a utilizar, esto para cumplir con la convocatoria del concurso de la CONACYT. Se tomaron en cuenta las bases de dicho concurso y los sistemas estructurales recomendados para lograr la mayor eficiencia y practicidad posible en la construcción de dicha vivienda. Todos los elementos estructurales fueron previamente diseñados, así como las conexiones y ensambles pertinentes. Asimismo se buscó implementar una serie de ecotecias para poder considerar el proyecto como una solución sustentable.

### **3.2 Objetivos y alcances del Proyecto**

Los alcances propuestos para el curso Primavera 2016 del PAP del Laboratorio de Innovación y Diseño Sustentable para la Vivienda se concentran principalmente en 3 puntos principales.

El primer punto dentro de los alcances que contempla el PAP refiere a la participación en el Primer Concurso Nacional de Vivienda con Bambú. Para dicho concurso, al contrario del caso anterior, la propuesta no ha sido desarrollada aún por lo que la primer parte del semestre será dedicada a generar una propuesta para dicho concurso, la cual debería de resultar de los trabajos de investigación realizados en el PAP, que justamente tienen como finalidad estudiar el material y los sistemas constructivos que lo utilizan para así familiarizarnos con sus bondades y limitaciones para poder así proponer un nuevo modelo de vivienda con bambú que responda de la mejor forma a las necesidades específicas de la arquitectura emergente en México.

Además del desarrollo de dicha propuesta, el cual debe cumplir con los lineamientos impuesto, también se contempla la construcción de una estructura de bambú escala 1:1 como parte de las prácticas relacionadas con el estudio y experimentación con el material. Esta estructura se habilitará en el vivero del ITESO para ser utilizada como invernadero para un huerto ecológico.

La participación del equipo representativo del ITESO utiliza como base el estudio realizado el semestre pasado en el PAP, el cual tuvo como resultado el desarrollo de un sistema estructural de alto desempeño o por sus siglas SEAD, el cual representa una alternativa eficiente y sustentable a la demanda de vivienda en el país y específicamente enfocado a resolver el problema de la vivienda emergente en zonas de alto riesgo. Dicho sistema ofrece una respuesta inmediata a dicho problema, con la posibilidad de convertirse en una solución permanente.

Se tomaron en cuenta cinco aspectos importantes para que el proyecto se considerara viable:

1. Viabilidad económico-financiera
2. Correspondencia social-cultural
3. Responsabilidad ambiental-sustentable
4. Eficiencia técnico-constructiva
5. Congruencia normativa-legal

Este proyecto fue desarrollado desde un principio con la intención de participar en dicho concurso por lo que el proceso de adecuación de dicho modelo a los lineamientos del concurso constituye la segunda etapa del desarrollo del proyecto, contemplado así desde el inicio.

Los objetivos secundarios del proyecto fueron:

1. Resolver las cuestiones técnicas del proyecto con propuestas estructurales y de sistema constructivo, tomando en cuenta la construcción con materiales ligeros y autoportantes.
2. Descubrir los alcances del bambú estructuralmente, propiedades térmicas, acústicas, plásticas, físicas y mecánicas.
3. Resolver las necesidades específicas del contexto en donde se podría ubicar el proyecto.
4. Ofrecer soluciones sustentables y sistemas pasivos para promover el ahorro de energía.

El segundo punto dentro de los alcances principales contemplados para el presente curso en el laboratorio de innovación y diseño sustentable para la vivienda es el inicio de un proyecto

interdisciplinario entre el Huerto Agroecológico Universitario, el PAP y la clase de Jardinería y Paisajismo, el cual tiene como finalidad iniciar un espacio de investigación dentro del Huerto destinado específicamente al estudio de árboles maderables y especies vegetales de aplicación directa en la construcción, las cuales en relación con el PAP podrían significar a futuro la base para generar nuevas propuestas referentes a sistemas alternativos de construcción empleando materiales naturales buscando con esto una arquitectura eficiente y sustentable.

Para que nuestro proyecto fuera considerado sustentable debía abarcar las siguientes tres esferas: ambiental, social y económico.

- Esfera ambiental: el proyecto debe privilegiar el uso del bambú y de otros materiales de origen natural que se encuentren en la localidad en la que se propone situar el proyecto; debe seguir criterios de diseño bioclimático, es decir, debe considerar el entorno climático para el que se diseña (por lo que el proyecto debe estar situado en un lugar específico con un clima determinado, o en el caso de un prototipo establecer para qué tipo de clima y cómo se ve reflejado en el diseño); y debe incorporar eco tecnologías para el ahorro y/o la generación de energía así como el manejo apropiado de los recursos.
- Esfera social: el proyecto de vivienda debe responder a una problemática social específica de la localidad en que se sitúa, así como al perfil predominante familiar y a la situación socio-cultural; a un nivel superior puede incorporar un plan de creación de cooperativas para el manejo y producción de recursos, la autoproducción y/o la autoconstrucción.
- Esfera económica: la vivienda debe ser de un costo accesible a la población objetivo, esto tomando en cuenta los costos de construcción, de operación y de desmantelamiento; adicionalmente, el diseño bioclimático así como el uso de energías renovables repercute también en un ahorro económico; al igual que la generación de cadenas productivas para la producción de las soluciones de vivienda genera impactos positivos en la economía local.

En resumen, en cuanto al proyecto de bambú, el propósito es diseñar un proyecto arquitectónico de vivienda cómoda, segura, y que esté conforme a las normativas locales, con énfasis en las demandas de funcionalidad desde la perspectiva de los residentes. La propuesta

deberá tener carácter programático, conjugando la argumentación conceptual y la viabilidad constructiva; de igual forma el proyecto deberá cumplir los siguientes requerimientos. Dar respuesta a un programa de necesidades arquitectónico específico a partir del análisis sociocultural de la población objetivo de una localidad.

Utilizar en primer lugar el Sistema BiBa® o en su defecto alguno de los dos productos (Bambulosa® y Biopanel®); en segundo lugar cualquier especie de bambú estructural; en tercer lugar materiales naturales locales; y en cuarto lugar materiales convencionales como el concreto y el acero, siempre que estos aporten rapidez y economía a la construcción y demuestren ser imprescindibles.

El costo de la vivienda deberá encontrarse en un rango acorde al poder adquisitivo de la población objetivo. La propuesta deberá anexar un presupuesto general que contenga: catálogo de conceptos, análisis de precios unitarios, explosión de insumos con costos de materiales, especificar el origen de los materiales, favoreciendo el uso de los materiales y proveedores locales, etc.

La vivienda deberá ser ambientalmente sustentable: deberá considerar criterios de diseño bioclimático, integración de ecotecnologías, buscar el confort térmico y lumínico de forma pasiva y demás consideraciones que reduzcan el impacto ambiental de la edificación durante su ciclo de vida (extracción de materia prima, transporte, fabricación, uso y estrategias de fin de vida útil), todo lo cual debe verse reflejado en el diseño de la vivienda y explicado claramente en las memorias del proyecto.



### 3.3 Metodología

Antes de proyectar, para poder abordar la problemática, se generó un sistema de preguntas descriptivas, explicativas e implicativas que nos ayudaron a darle una dirección definida a la etapa de análisis. Este sistema de preguntas rondaron alrededor de cinco ejes principales:

- Económico financiero
- Social-cultural
- Ambiental-sustentable
- Técnico-constructivo
- Legal-normativo

Se recabó información tanto cualitativa como cuantitativa de una investigación, se ordenó y se analizó la realidad estudiada, y obtuvimos como resultado cuestiones y problemas. Una vez generadas las preguntas, la etapa de análisis de las posibilidades comenzó para así poder resolver los problemas, partiendo de bases bibliográficas, reglamentos y antecedentes históricos, todo esto para tener la información necesaria para poder tomar las mejores decisiones y lograr una justificación válida y sustentada.

Al tener nuestra propuesta a nivel proyecto terminada, se pretendió hacer una estructura de bambú a escala real para lograr una mayor sensibilización tanto estructural como espacial de este material en la construcción.

### 3.4 Cronograma o plan de trabajo

Para el desarrollo del proyecto fue necesario dividir el plan de trabajo en seis etapas principales que engloban los puntos fundamentales a revisar para solucionar correctamente el problema planteado sobre resolver la necesidad actual de una vivienda social emergente digna y sustentable.

Estas etapas además representan un proceso de aprendizaje necesario para contar con las herramientas y la información suficiente para tomar decisiones acertadas con respecto al desarrollo del nuevo sistema estructural representaron un orden lógico a seguir a lo largo de todo el proyecto, sin embargo no podríamos decir que repitan un orden cronológico ni lineal sino que en algunos momentos en el desarrollo del proyecto regresamos a etapas anteriores del proyecto en busca de respuestas o para formular otro tipo de preguntas.

#### ETAPA 1: Investigación sobre el uso del bambú en la construcción

Como introducción al tema y reconociendo la importancia del conocimiento técnico necesario para el manejo del bambú, se optó por dar inicio al desarrollo del proyecto analizando a profundidad todo aquello referente a dicho material y su uso en la construcción. Desde cuestiones fundamentales en su composición y su comportamiento cuando son sometidos a distintos trabajos y esfuerzos, como las posibilidades que resultan de la utilización de materiales tan nobles y sustentables, fueron analizadas antes de dibujar cualquier boceto o dejar volar la imaginación, ya que si no se conoce el material con el que se va a trabajar es imposible saber si lo que estamos proponiendo es estructural y económicamente posible, entre otro gran número de variantes que deben tomarse en cuenta a la hora de proyectar.

Al mismo tiempo que los diferentes integrantes del equipo buscamos convertirnos en “especialistas del bambú” lo más rápido posible también fue necesario familiarizarse con sistemas estructurales novedosos que tomaran en cuenta al bambú como materia prima en la construcción de los prototipos de vivienda emergente. Se buscó la implementación de nuevos principios estructurales que ofrezcan soluciones innovadoras a problemas y necesidades actuales.

Habiendo entendido tanto las bondades como las deficiencias del bambú, y después de relacionarnos con diferentes ejemplos de sistemas estructurales innovadores, buscamos cristalizar este conocimiento en un nuevo sistema estructural que englobe estos principios y signifique una opción viable para ayudar a resolver la ineficiencia detectada en los esquemas de vivienda emergente desarrollados hasta la actualidad.

#### ETAPA 2: Análisis de las convocatorias de los concursos y proyectos anteriores

Después de la interpretación documental realizada en búsqueda de poder familiarizarnos con el bambú y su uso en la construcción, consideramos pertinente analizar a profundidad propuestas de vivienda emergente a base de bambú. Así mismo, analizamos cuidadosamente la convocatoria del concurso de Vivienda emergente con Bambú para de esta forma ofrecer una propuesta bien justificada y que realmente resolviera el problema de la vivienda en México y en Jalisco de una manera más completa.

#### ETAPA 3: Generación de propuestas arquitectónicas, estructurales y técnico constructivas

Se decidió que como primer ejercicio de aproximación al tema cada uno de los integrantes del PAP propusiera un concepto del proyecto a desarrollar que cumpliera con todas las características y requerimientos del concurso.

Fue muy interesante ver cómo cada persona tiene una forma diferente de sintetizar los mismos conceptos en la búsqueda de resolver un problema en común. Después de analizar detenidamente cada una de las propuestas se buscó sintetizar los puntos más valiosos e importantes de cada una de ellas para después intentar generar una propuesta más sólida. El programa arquitectónico sobre el que se resuelve la distribución de la vivienda emergente ofrece una respuesta ambientalmente responsable y económicamente viable a una familia de bajos recursos en México.

#### ETAPA 4: Diseño estructural de la propuesta definitiva, presupuesto general y ecotecnias

Al tener ya bien definida la propuesta arquitectónica del proyecto, se optó por revisar las cuestiones estructurales problemáticas del mismo para aportar una solución viable en cuanto a la construcción de dicha vivienda. Se realizó el cálculo de las ingenierías del proyecto y del sistema

de carga del mismo. Del mismo modo, se elaboró un presupuesto acorde al poder adquisitivo de la población atendida y al lugar en el que fue destinado el proyecto. Se incluyeron catálogos de conceptos, análisis de precios unitarios, explosión de insumos (costo de materiales), especificación del origen de los materiales (proveedores locales), así como los costos de construcción y operación. Se propuso, también, la implementación de varios sistemas pasivos de ahorro de energía en la vivienda, ecotecnias. Se buscó lograr el mayor el confort térmico y lumínico, así como reducir el impacto ambiental generado en la vivienda.

#### ETAPA 5: Representación del proyecto

Posteriormente se elaboraron cuatro láminas de presentación para una mayor comprensión visual y total del proyecto. Se elaboró un modelo en sketchup y se trabajaron las vistas o perspectivas más significativas y emblemáticas del proyecto en Vray y Photoshop. Todo esto como requisito del concurso y también para la presentación final del proyecto.

#### ETAPA 6: Modelo físico a escala real

Se construyó una estructura de bambú a escala real para lograr una mayor sensibilización y comprensión de dicho material en la construcción. Se realizó un diseño previo de cómo sería la estructura. Se cortó y consiguió el material previamente cuantificado para trabajarlo de forma adecuada y se compró también todo lo necesario para el tratamiento y las conexiones de dicha estructura. Finalmente se transportó al vivero en donde cumpliría su función espacial. Se limpió y preparó el terreno para recibir la estructura de bambú y se terminó de techar con carrizo, material encontrado a tan sólo medio kilómetro del lugar en donde estuvimos trabajando.

## Capítulo IV. DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORA

### 4.1 Memoria Descriptiva del Proyecto

Zona propuesta para el proyecto y problemática social:

Mezcala, Poncitlán, Jalisco.



Poncitlán es un pueblo y municipio de la Región Ciénega del estado de Jalisco. Su extensión territorial es de 672.61 km<sup>2</sup> y tiene 13105 habitantes, 6265 hombres y 6840 mujeres con un promedio de 2.75 hijos por mujer.

El territorio que ocupa el municipio presenta una superficie regular, situación que beneficia el desplante del proyecto propuesto. Está situado en los paralelos 20° 07' y 20° 21' de latitud norte, y en los meridianos 102° 40' 45'' y 103° 25' 30'' de longitud oeste, a una altitud de 1,524 metros sobre el nivel del mar.

El clima también es factor positivo ya que es semiseco con invierno y primavera secos, y semicálidos sin estación invernal definida y tiene una precipitación media anual de 801.2 milímetros con régimen de lluvias en los meses de junio a octubre e idóneo para la captación de agua pluvial. Los recursos hidrológicos del municipio son proporcionados por los ríos y arroyos que conforman la subcuenca Lago de Chapala – Río Santiago.

La mayor parte del suelo tiene un uso agrícola. De los cultivos locales destacan alfalfa, avena, cebada, garbanzo, maíz, sorgo, trigo y frutales como el aguacate, ciruela, guayaba, lima, limón y mango. Esto permite la propuesta de hortalizas caseras para el proyecto.

En cuanto a la vivienda la mayoría cuenta con los servicios de energía eléctrica y agua entubada y en menor proporción con drenaje. El tipo de construcción es de losa de concreto, bóveda de ladrillo y teja en los techos y tabique, ladrillo, block y adobe en los muros. El municipio ofrece a sus habitantes los servicios de agua potable, alcantarillado, alumbrado público, mercado, rastros, estacionamientos, cementerios, vialidad, aseo público, seguridad pública, parques, jardines y centros deportivos. En lo que concierne a servicios básicos el 95.4% de los habitantes disponen de agua potable; el 82.7% de alcantarillado y el 96.6% de energía eléctrica. (INEGI, 2010)

A pesar de esto, la construcción de dichas viviendas es insostenible ya que no se aprovechan del todo los materiales de la región y como consecuencia se presentan problemas de deterioro al paso del tiempo. La falta de recursos económicos no permite el mantenimiento adecuado que requieren sus viviendas. La autoconstrucción es una práctica común entre los habitantes de dicha zona. Esto tiene ventajas pero a su vez presenta problemas ya que en su mayoría no cuentan con los conocimientos de construcción necesarios para una vivienda digna.

La localidad de Mezcala no cuenta con un reglamento de construcción establecido y no existen normativas locales que promuevan el uso de recursos naturales, ecotecias o sistemas pasivos para la construcción.

Materiales propuestos y sistema constructivo:

Dentro de los lineamientos y requerimientos que se especifican en las bases del concurso se especifica claramente que es imperativo utilizar en primer lugar el Sistema BiBa® o en su defecto alguno de los dos productos (Bambulosa® y Biopanel®); en segundo lugar cualquier especie de bambú estructural; en tercer lugar materiales naturales locales.

Por esta razón la propuesta desarrollada siguiendo dichos lineamientos utiliza principalmente, tanto la Bambulosa® como el Biopanel® como elementos principales para la

estructuración de la vivienda. En el caso de las losas, tanto de entrepiso como del primer nivel, el cual se encuentra desplantado 80 cm del suelo, se utilizará el sistema de Bambulosa® como elemento estructural para soportar el entablillado de madera que se emplea como acabado de piso tanto en las áreas cubiertas como las exteriores.

En cuanto a muros, se propone utilizar el Biopanel® y por este motivo, buscando generar la menor cantidad de desperdicios posible, la modulación que conforma el total de la geometría del proyecto se basa en las dimensiones del Biopanel®, y de casi todos los módulos comerciales prefabricados, que es de 1.22 x 2.44 metros.

El terminado del Biopanel® será la ancestral técnica del Bahareque, utilizada en el país desde hace miles de años y que representa una excelente solución constructiva en la zona donde se pretende emplazar la propuesta. En Mezcala, al igual que el resto de los poblados que circundan el lago de Chapala, esta técnica se utiliza actualmente por lo que la mano de obra y obtención de los materiales necesarios para su elaboración es muy fácil, y por lo tanto cumple con una de las características básicas de la vivienda sustentable y la arquitectura vernácula; que es la utilización de materiales y técnicas propias de la región.

Al mismo tiempo esto nos ayudaría a cumplir con otro de los puntos requeridos, el cual refiere que el costo de la vivienda deberá encontrarse en un rango acorde al poder adquisitivo de la población objetivo. Por lo que hablar de utilizar técnicas locales significa también utilizar técnicas que entran dentro de las capacidades económicas de la población.

Dado a que vivienda deberá ser ambientalmente sustentable se consideraron también los criterios de diseño bioclimático, integración de eco tecnologías, buscar el confort térmico y lumínico de forma pasiva, los cuales se explicaran detalladamente adelante.

Además que dentro de las consideraciones que reduzcan el impacto ambiental de la edificación está como se mencionó anteriormente el hecho de que tanto los materiales como la mano de obra del lugar conoce muy bien los procesos constructivos seleccionados, así como las técnicas propuestas. Cumpliendo así con los criterios ambientales que refieren a la extracción de materia prima, transporte, fabricación, uso y estrategias de fin de vida útil.

La estructura principal del proyecto está conformada por marcos rígidos de Guadua Angustifolia u Old Hammi dispuestos de acuerdo a la modulación principal del partido arquitectónico que corresponde a las dimensiones pre establecidas del sistema Biopanel®.

La estructura estará además reforzada por crucetas y ángulos del mismo material dispuestos donde el análisis estructural precise se debe reforzar la estructura.

La cimentación de la vivienda está conformada por una combinación de zapatas aisladas que a través de pilotes transmitirán las cargas puntuales generadas por las columnas que no descansan en el perímetro, dichas zapatas quedarán ahogadas en un basamento de mampostería de piedra caliza, material de la región, de de 80 cm de alto desplantado a lo largo del perímetro de la vivienda.

Técnicas utilizadas:

El terminado de bahareque ofrece también beneficios de aislamiento térmico permitirá una temperatura ideal y a través de la correcta colocación de ventanas en los volúmenes lograremos una ventilación cruzada ideal.

El desplante perimetral de mampostería, además de funcionar perfectamente como elemento cimentante, es también una alusión icónica al patrimonio edificado de la isla de Mezcala, famosa por sus construcciones y su fuerte de piedra. Buscando, con esto, agregar un elemento de sustentabilidad cultural a la vivienda y con esto relacionarse con el contexto propuesto y lograr la viabilidad social de la vivienda.

Es importante desplantar un proyecto de estas características ya que un material como el bambú o la madera puede absorber la humedad del suelo y esto representar un problema para el material al paso del tiempo. El piso de madera, compuesto por Bambulosa® debe también estar desplantado del suelo y contar con algún sistema sencillo de ventilación a través de rejillas de madera para que la humedad del suelo no afecte estructura o sistema de piso.

La construcción con gramíneas endémicas en la Rivera de Chapala es muy popular, tanto por la herencia constructiva como por la abundancia de materiales como otate, carrizo, vara blanca



y bambú, por lo que los marcos estructurales de dicho material no representarán ningún reto en cuanto a mano de obra, ni tampoco en la utilización de estos materiales para la manufactura de detalles de interior como biombos, mamparas divisorias, plafones, cortinas, ventanas, etc...

Debido a las precipitaciones en la zona es muy popular la utilización de techos a dos aguas, tal como los propuestos en el proyecto. El cual a través de un sistema sencillo de pendientes se convertirá en un sistema de captación pluvial que aprovechará la temporada de lluvias para captar suficiente agua para dar abasto a las necesidades hídricas de la familia durante los meses de lluvias.

Comprensión total de la idea:



El partido arquitectónico de este proyecto surge de la convergencia entre la decisión técnica de modular la vivienda a través de un programa flexible y eficiente, y la búsqueda de generar una propuesta que alude a uno de los elementos tradicionales de la arquitectura mexicana; el patio central.

Es de ahí donde nace la idea de re interpretar la vivienda mexicana a través del patio central y la utilización de mampostería de piedra de la zona tal como se hace en la Rivera de Chapala desde hace cientos de años.

Otro punto fundamental es la modulación de la vivienda respetando las dimensiones universales de la mayoría de los prefabricados comerciales y en este caso, del sistema Biopanel, el que debe de ser utilizado como material principal de la propuesta arquitectónica.

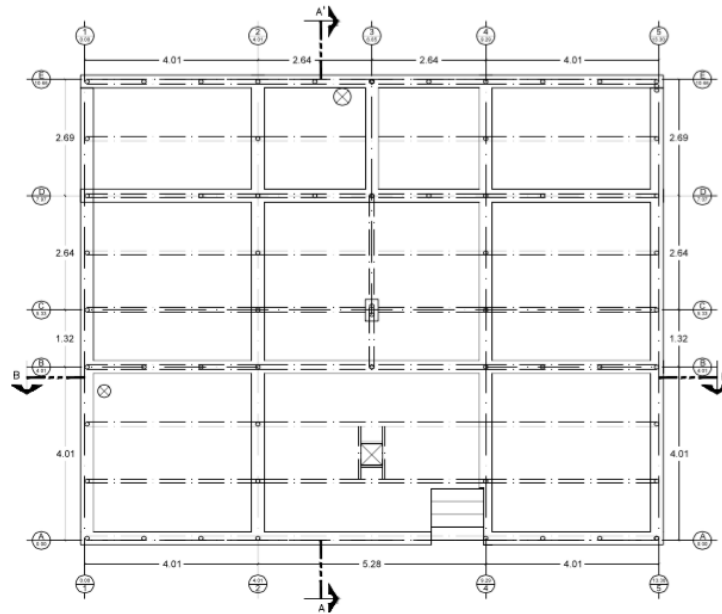
La modulación de la vivienda no solo se expresa en la decisión geométrica de sus elementos, también se presenta en la decisión de que todos los espacios sean de las mismas dimensiones por lo que en planta podríamos decir que el proyecto resuelve el programa en 4 volúmenes iguales que responden a las medidas mínimas de la ley federal para la vivienda. De estos 4 volúmenes, la mitad alberga el programa público y la otra mitad el privado. Los diferentes usos se separan por un patio central de las mismas dimensiones limitado a los lados por estas dos crujiás, al frente por el acceso principal y en la parte posterior por un volumen extra de las mismas dimensiones que se anexa y liga ambas crujiás y en este espacio encontramos los servicios de la vivienda así como las circulaciones horizontales y verticales cubiertas entre todos los espacios.

#### Técnica y modulación:

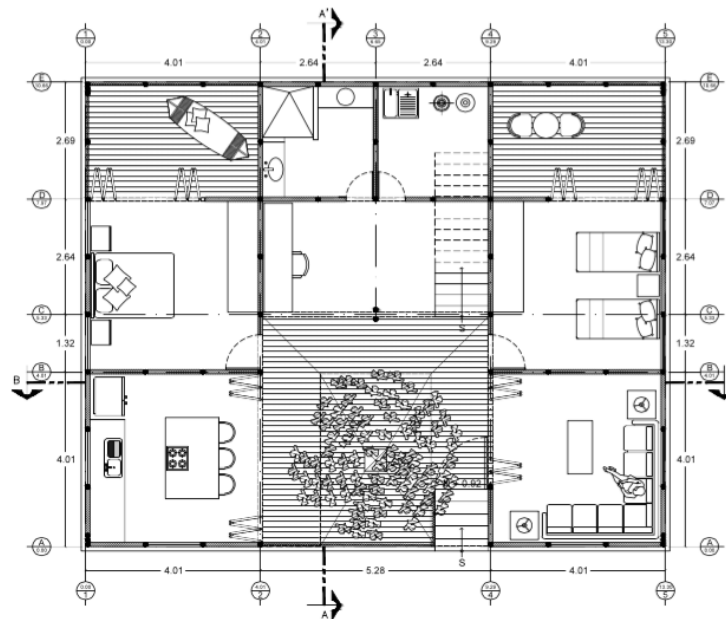
Después de haber decidido que la vivienda debería de estar modulada a las dimensiones pre establecidas, decidimos que la medida mínima de los volúmenes que conforman la vivienda debían ser de 4 x 4 m, los cuales corresponden a la medida de 3 paneles de 1.22x 2.44 más tres elementos estructurales verticales de bambú de aproximadamente 10 cm de espesor c/u. La razón por la cual ponderamos que dicha medida era la ideal fue tomar en consideración el Reglamento Federal de Vivienda, en el que dice que las medidas mínimas de una habitación para 2 personas deberán de ser de 16 m<sup>2</sup>.

Después de analizar detalladamente el programa arquitectónico y las necesidades espaciales del proyecto se calculó que serían necesarios 5 módulos para poder asegurar una distribución espacial que ofrezca una vida digna y calidad de vida para quien habite la vivienda.

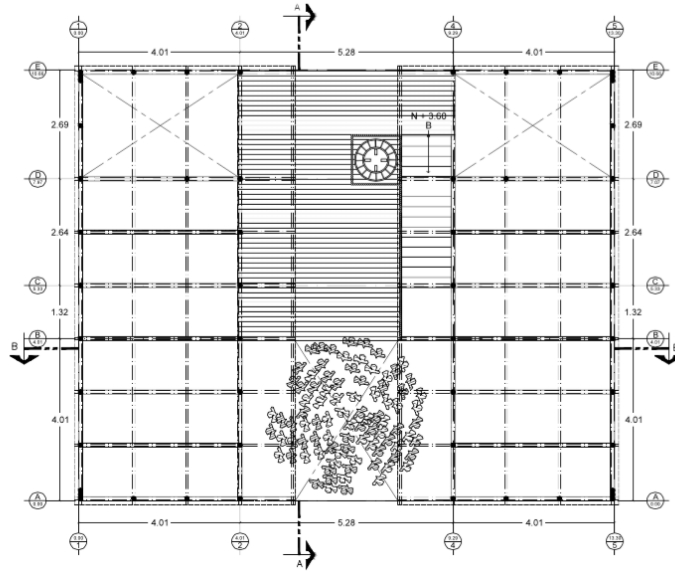
El programa entonces se resuelve en dos módulos para el área de noche, otros dos para el área de día y un volumen de servicios y vinculaciones, tanto horizontales como verticales.



Planta de cimentación



Planta baja arquitectónica



Planta alta

#### Herencia arquitectónica:

Las dos crujías que compondrían ambos tipos de vivencia espacial, tanto público como privado se separan respetando el mismo ritmo de 4x4 para generar entre ellos un patio central. En este emblemático elemento constructivo, recurrente en la arquitectura mexicana convergen los volúmenes y funge como elemento de vinculación y como espacio de encuentro en la vivienda. Pasando a ser lo que algunos refieren como “El cuarto que mira al cielo”

Este patio central, además de convertirse en una extensión del espacio público, conformado por cocina, comedor y sala es también el lugar donde se desarrollara otro elemento fundamental para el proyecto. El árbol familiar. En el centro de la vivienda un árbol endémico, el cual crecerá junto con la familia y formará con sus hojas un techo vivo para dicho patio. Este patio central sirve, además de como elemento convergente y de circulación, para iluminar y ventilar de forma natural cada uno de los espacios de la vivienda. Esto corresponde por lo tanto a uno de los puntos medulares del diseño bioclimático del proyecto.

Diseño bioclimático:

El diseño bioclimático parte sobre el concepto de “confort térmico” y que este se podría decir que existe cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. (INSHT, 2007) La temperatura y humedad que determinan la zona de comodidad o confort térmico, pueden verse modificadas por lo siguiente extracto de CONAFOVI, 2006.

- La presencia del viento, el cual incrementa el mecanismo de transferencia de calor por convección. (movimiento del aire)
- La incidencia de radiación (calor emitido por el sol o las superficies calientes), lo que dificulta la salida del calor del cuerpo humano.
- La ocurrencia de enfriamiento por evaporación en el aire que entra en contacto con el cuerpo humano, lo cual aumenta la salida de calor del mismo.
- La pérdida de radiación infrarroja del cuerpo humano debido a superficies frías que lo circundan, lo que favorece la salida del confort térmico.
- La modificación de la temperatura del aire que entra en contacto con el cuerpo humano debido a la transferencia de calor por convección con materiales que conforman el medio ambiente y que son capaces de almacenar calor de manera sensible (estos materiales pueden ser los materiales de construcción del edificio).

Es fundamental considerar la temperatura para lograr el buen diseño de un espacio. Un espacio que sea incómodo no será un buen espacio y será desperdiciado. Por eso es vital controlar el confort térmico dentro de los espacios habitables. Utilizando fundamentos simples de diseño como asoleamientos y vientos cruzados es suficiente para lograr el confort térmico.

Partiendo de este término se propusieron distintos sistemas sustentables para el proyecto que puedan ser lo más eficientes para lograr el confort térmico. El fácil manejo del bambú y los sistemas constructivos antes mencionados para la construcción de esta vivienda facilita la

adaptación de las distintas ecotecnias y se cumple con el objetivo de generar una vivienda lo más sustentable posible.

Ecotecnias aplicadas a la vivienda:

- Horno solar a base de antena de cable reciclada.
- Calentador solar de agua.
- Celdas fotovoltaicas.
- Baño seco.
- Enfriador ecológico.
- Fresquera.
- Captación de agua pluvial.
- Ventilación cruzada.



La aplicación práctica de la eco-tecnología desarrollada actualmente buscando una respuesta al inminente colapso de la sociedad y la vida como la conocemos a causa de un modelo de vida completamente insostenible son las ecotecnias.

Las ecotecnias son instrumentos desarrollados por el hombre a través del tiempo como un conjunto de técnicas aplicadas, derivadas de algunas ciencias, que integra los campos de estudio de la ecología y la tecnología. Se caracterizan por aprovechar eficientemente los recursos naturales y usar materiales de bajo impacto para dar paso a la elaboración de productos y servicios. Estos instrumentos son herramientas tecnológicas que ofrecen ventajas ambientales sobre sus contrapartes tradicionales y buscan ofrecer soluciones eficientes y ambientalmente responsables para satisfacer algunas de las necesidades básicas de los humanos.

Se considera ecotecnología a todas las formas de ingeniería ecológica que reducen el daño a los ecosistemas, adopta fundamentos permaculturales, holísticos y de desarrollo sostenible, además de contar con una orientación precautoria de minimización de impacto en sus procesos y operación, reduciendo la huella ambiental.

La eco-tecnología consiste en utilizar los avances de la tecnología para conseguir mejorar el medio ambiente mediante una menor contaminación y una mayor sostenibilidad. Todo ello puede implicar en el futuro importantes avances para frenar el deterioro de la capa de ozono y evitar que el cambio climático sea tan brusco y acelerado.

Sería imposible para las generaciones futuras soportar la insaciable demanda energética y de recursos por parte de las grandes urbes del mundo contemporáneo por lo que la aplicación de las ecotecnias, específicamente en la línea de construcción, pasa de ser un lujo para ser una necesidad y que de ser tomada en serio, podría llegar a generar un gran cambio en beneficio del planeta y de las generaciones futuras.

Dentro de las ecotecnias más conocidas y empleadas por el hombre en la actualidad se encuentran: la bio-construcción de viviendas, captación pluvial, el aprovechamiento directo de la energía solar, los biofiltros (viveros flotantes, biofiltro jardinera, etc.), hidroponía, elementos ahorradores de agua, los baños secos, biodigestores, naturación urbana, estufas ahorradores, vehículos de propulsión humana, deshidratador solar, estufas u hornos solares, lombricomposta o composta orgánica, impermeabilizantes naturales, pinturas naturales, entre otra infinidad de ecotecnias que facilitan nuestra vida diaria y son de bajo impacto al ambiente, lo cual significa para

el usuario vivir una vida responsable con su entorno y que además de representar un beneficio económico a largo plazo, representa también, y a nuestro parecer es mucho más importante que cualquier remuneración económica, un estilo de vida sano y respetuoso con el entorno que nos rodea. Al final del día una vida de estas características a gran escala representaría una solución permanente a la mayoría de los problemas ambientales de la actualidad.

Se cuestiona algunas veces que mundo le vamos a dejar a nuestros hijos para el futuro, me parece que la pregunta de entrada es egoísta y completamente equivocada. La pregunta debería de ser que hijos de vamos a dejar a este mundo para el día de mañana, siguiendo esta línea creemos que siendo nuestra obra construida el fin de la profesión que desempeñamos lo mínimo que podríamos hacer para ejercer de manera responsable y honesta que nos deje vivir con tranquilidad es cristalizando proyectos ambientalmente viables y ecológicamente responsables.

El proyecto contempló la implementación de diferentes ecotecnias con el objetivo de satisfacer las necesidades humanas, minimizando el impacto ambiental a través del conocimiento de las estructuras y procesos de los ecosistemas y la sociedad mexicana y analizando dinámicas relacionadas tanto a la vida en familia como a la situación específica de la vivienda social.

Después de un proceso analítico en el que se consideraron factores tanto sociales y culturales como económicos, discernimos cuales de las ecotecnias empleadas en la actualidad podrían funcionar de mejor manera para ser implementadas en el proyecto. Algunas de estas nuevas tecnologías pueden ser difíciles de obtener, mantener u operar pero algunas otras son realmente fáciles de utilizar y pueden ser construidas con materiales reciclados lo cual significa un acierto considerando que se busca proyectar una vivienda ambiental y económicamente viable. Dentro de las ecotecnias a utilizar después de este proceso de análisis destacan: el baño seco, calentadores solares, captación de energía fotovoltaica, captación de agua pluvial, composteo de residuos orgánicos y la implementación del sistema de enfriamiento de bajo impacto desarrollado también en el PAP de "Laboratorio para la innovación y diseño de la vivienda sustentable".



En nuestro país existe cada vez mayor generación de basura, contaminación, escasez del agua, empobrecimiento de los suelos agrícolas, mal manejo de los desechos y descontento social como resultado de la suma de todos estos problemas.

Los desechos que producimos están contaminando nuestros ríos, arroyos, el mar, los lagos, incluso las aguas subterráneas lo que significa un envenenamiento de nuestras fuentes del líquido vital para la vida simplemente por un mal manejo de los residuos y la incapacidad de tratar las aguas que se contaminan.

Un claro ejemplo de esto, lo constituye las aguas negras que generamos tan solo en los sanitarios, pues el agua que utilizamos en un año para los baños convencionales nos serviría para beber por más de 40 años además de que el mal manejo de estas aguas negras contaminan miles de litros más en su desecho y manejo ineficiente.

Una alternativa a esta insensata forma de manejo de aguas negras se han desarrollado ya hace muchos tiempo, los baños ecológicos o baños secos, cuya ventaja es el ahorro de agua, la reducción de agua negras y reducción de la contaminación del ambiente.

### **4.3 Proyecto Estructural**

A continuación se presentará la propuesta de solución como producto del trabajo de ingeniería. Aunque es importante recalcar que el proceso de proyección de la estructura y lo arquitectónico fue desarrollado de forma paralela, por lo que los resultados presentados a continuación representan un trabajo en conjunto de arquitectos e ingenieros.

Con ayuda del software STAAD Pro realizamos el análisis estructural de la casa en bambú, de donde obtuvimos los siguientes resultados, en los que se utilizaron las combinaciones de carga más críticas en los elementos estructurales más críticos.

X	Y	Z
---	---	---

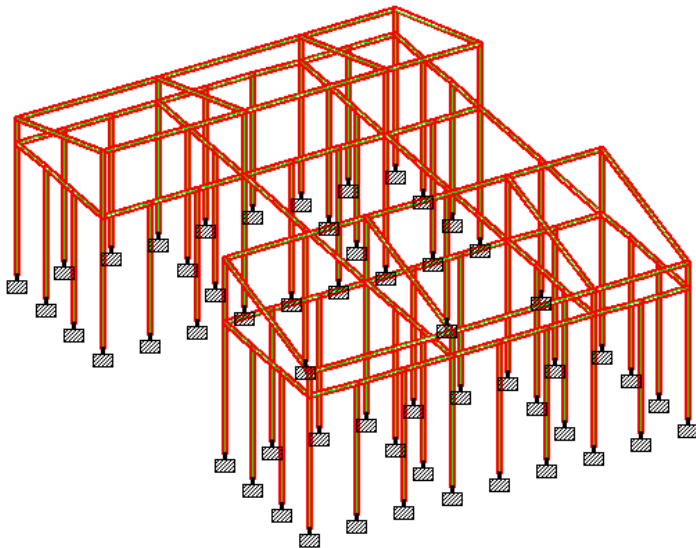
0.03 cm	0.32 cm	0.02 cm
---------	---------	---------

La deformación permisible según el Reglamento de Construcción de la Ciudad de Guadalajara es la siguiente:  $\Delta_{perm} = \frac{L}{240}$

$\Delta_{perm} =$	1.67 cm	SI PASA
-------------------	---------	---------

Comparando los resultados de STAAD con la deformación permisible que dicta el Reglamento de Guadalajara llegamos a la conclusión de que el diseño de nuestra casa está correcto, ya que estamos por debajo del valor máximo de deformación permisible, debido a al peso tan bajo de la estructura, provocando deformaciones que tienden a cero, es por eso que en la Imagen 1, no se alcanzan a apreciar las deformaciones.

Decidimos utilizar el Reglamento de Construcciones de Guadalajara, ya que el reglamento del municipio de Poncitlán, donde se encuentra la comunidad de Mezcala, se está actualizando, además de que seguramente el reglamento de Guadalajara es mucho más complejo que el de Poncitlán.



## **Reglamentación**

Los valores de las cargas vivas, propiedades mecánicas de los materiales, ecuaciones de diseño y criterios de evaluación de estados límite se utilizó:

- Reglamento de Construcción de Guadalajara
- Reglamento de Construcción de Poncitlán (en actualización)

## **Capítulo V. PRODUCTOS, RESULTADOS E IMPACTOS GENERADOS**

### **5.1 Productos obtenidos**

- Modelo en 3D de la vivienda en bambú en sketchup.
- Renders de interiores y exteriores del proyecto.
- Láminas de presentación del proyecto.
- Manual de beneficios inmediatos de aplicación de las ecotecnias propuestas.
- Presupuesto general del proyecto arquitectónico y estructural.
- Modelo estructural en STAAD Pro.
- Secciones de todos los componentes.
- Planimetría del proyecto estructural.
- Planos arquitectónicos del proyecto.
- Modelo Físico a escala real.
- Investigación sobre Sistema Agroforestal.
- Presupuesto de construcción de Casa Mezcala.

NOTA: Consultar anexos para más detalles.

## 5.2 Resultados alcanzados

- Modelo estructural en STAAD Pro.
- Deformaciones máximas y permisibles del modelo estructural.

### Resultados del análisis económico-financiero

Un punto fundamental a tener en cuenta para poder considerar nuestro proyecto económicamente era que el costo de elaboración fuera considerablemente más bajo que el de una vivienda promedio de las mismas características y dimensiones. Aunque no se presentó un tope económico para la vivienda en los lineamientos del concurso, buscamos hacer un proyecto digno y lo más accesible posible económicamente hablando.

El total del presupuesto de la obra de la vivienda en bambú es de \$141,859.35 pesos.

En el apartado de anexos se encuentra el presupuesto completo, el cual incluye:

- Catálogo de conceptos
- Análisis de precios unitarios
- Explosión de insumos (costo de materiales)
- Origen de materiales (proveedores locales)
- Costos de construcción y operación

Por último se consideró también el costo que representaría la implementación de las ecotecnias en el proyecto para ofrecer soluciones eficientes y ambientalmente responsables para satisfacer algunas de las necesidades básicas de los humanos que especialmente en una situación de emergencia podría significar un cambio radical en la calidad de vida de estas familias al mismo tiempo que ofrecen ventajas ambientales sobre sus contrapartes tradicionales y buscan minimizar el impacto en la economía familiar a corto y largo plazo.

## **Resultados prácticas de laboratorio**

Las prácticas de laboratorio nos ayudaron mucho a sensibilizarnos con los materiales y a conocer sus propiedades en el ámbito de la construcción. Aprendimos a identificar qué ejemplares, tanto de bambú como de madera, son buenos para ser utilizados en una estructura, cuales son sus características y defectos principales, y cómo debemos trabajarlos para lograr un buen resultado tanto estructural como espacial y funcional.

### **5.3 Impacto(s) generado(s).**

Uno de los motivos principales por el cual queríamos impactar directamente con este proyecto, era el ámbito social. Propusimos que la ubicación del proyecto fuera una comunidad cercana a nuestro lugar de residencia, Guadalajara. Como ya se habían realizado trabajos del PAP hace un año y de una índole similar en la comunidad de Mezcala (tomando en cuenta al bambú como material estructural), se pensó que este proyecto complementaría de muy buena forma todas las investigaciones y estudios previamente realizados del sitio. Asimismo apostamos para que la gente de esta comunidad comenzara a implementar sistemas más sustentables en la construcción y se familiarizaran con todas las posibilidades constructivas que se pueden desarrollar con materiales de su misma región.

Fue muy importante para nosotros el hecho de que la gente de la comunidad de Mezcala pudiera conocer el sistema constructivo que proponemos para que así tuvieran una opción más para construir o ampliar sus viviendas tomando en cuenta que el sistema constructivo se empleó con materiales de la región y que puede ser efectivo si se tiene buena aplicación.

Por otro lado, estamos seguros de que el haber construido la estructura de bambú en el campus del ITESO despertó mucho interés en la comunidad universitaria para participar en proyectos similares e interesarse aún más en la implementación del bambú tanto en la construcción como en cualquier otro campo de trabajo.

Otro de los impactos principales que logramos fue en la investigación del propio bambú como elemento estructural. Se logró a partir de pruebas de laboratorio en el iteso con el actuador dinámico recabar información valiosa para la creación de una ecuación por medio de un diseño experimental. Este diseño de experimentos se conformó por las variables de medición como la longitud, diámetro, área de carga, espesor, análisis de pandeo (Fe), carga de diseño. y se comparó con la carga de la prueba en laboratorio. Teniendo estas variables se hizo una regresión lineal en el programa StatGraphics; para una carga de prueba podemos calcularla con la siguiente ecuación:

$$\text{CARGA} = 285.106 \times \text{DIÁMETRO TOTAL}$$

Esta ecuación tiene un nivel del 95 % de confiabilidad siendo que el valor - P es menor al 0.05.

## Capítulo VI. APRENDIZAJES INDIVIDUALES Y GRUPALES

### 6.1 Aprendizajes profesionales: competencias reforzadas y conocimientos adquiridos.

Podemos afirmar todos y cada uno de los miembros del equipo que pusimos en práctica nuestros conocimientos y saberes profesionales adquiridos a lo largo de nuestra carreras, tanto arquitectura como ingeniería civil. Además de esto, los arquitectos tuvimos la oportunidad de aprender más sobre estructuras y su comportamiento, apoyados de nuestro asesor e Ingeniero Civil, Nayar Cuitláhuac, y los dos ingenieros miembros del equipo. Del mismo modo, los ingenieros ampliaron su conocimiento acerca de la calidad espacial de una vivienda y los requerimientos mínimos con los que debe contar la misma. Hubo una amplia experiencia interdisciplinaria a lo largo del PAP, no sólo dentro de nuestro equipo sino que también con los equipos de los otros proyectos que conforman este Laboratorio de Innovación y Diseño Sustentable para la Vivienda.

Las competencias que desarrollamos a lo largo del semestre y en este trabajo de PAP son las siguientes:

- Análisis de problemas: Eficacia para identificar un problema y los datos pertinentes al respecto, reconocer la información relevante y las posibles causas del mismo.
- Capacidad Crítica: Habilidad para la evaluación de datos y líneas de acción para conseguir tomar decisiones lógicas de forma imparcial y razonada.
- Creatividad: Capacidad para proponer soluciones imaginativas y originales. Innovación e identificación de alternativas contrapuestas a los métodos y enfoques tradicionales.
- Automotivación: Se traduce en la importancia de trabajar por satisfacción personal. Necesidad alta de alcanzar un objetivo con éxito.
- Comunicación Verbal y No Verbal Persuasiva: Capacidad para expresarse claramente y de forma convincente con el fin de que la otra persona asuma nuestros argumentos como propios.
- Delegación: Distribución eficaz de la toma de decisiones y responsabilidades hacia el subordinado más adecuado.
- Compromiso: Crear en el propio trabajo o rol y su valor dentro de la empresa, lo cual se traduce en un refuerzo extra para la compañía aunque no siempre en beneficio propio.

- Flexibilidad: Capacidad para modificar el comportamiento adoptar un tipo diferente de enfoque sobre ideas o criterios.
- Iniciativa: Influencia activa en los acontecimientos, visión de oportunidades y actuación por decisión propia.
- Liderazgo: Utilización de los rasgos y métodos interpersonales para guiar a individuos o grupos hacia la consecución de un objetivo.
- Trabajo en equipo: Disposición para participar como miembro integrado en un grupo (dos o más personas) para obtener un beneficio como resultado de la tarea a realizar, independientemente de los intereses personales.

Aprendimos también a sensibilizarnos ante las problemáticas socio-políticas, económicas y dentro de nuestro campo profesional, a través de las lecturas, análisis y seminarios que realizamos a lo largo del curso. Ahora vemos todo de una forma más real y más acercado a los problemas actuales que existen en el mundo y en nuestro país.

Fue un reto para nosotros describir nuestro proceso en el protocolo de investigación, ya que hicimos mucho trabajo de investigación, manual y de diseño muy arduo, pero nos fue complicado compilar todo esto en un documento escrito. Gracias al esfuerzo que empleamos en ello, finalmente lo conseguimos.

## **6.2 Aprendizajes sociales.**

En cuanto a los aprendizajes sociales, nos sensibilizamos como equipo para proponer un proyecto que pudiera ser funcional y adaptable a una situación real de vivienda social. Ante la problemática de la vivienda en México, las casas mal construidas y viviendas de baja calidad construidas con materiales inadecuados, se quiso ampliar la visión del proyecto y proponer una vivienda modular y emergente que pudiera resolver las necesidades de una comunidad en específico.



Mediante la elaboración de este proyecto, ahora nos es más fácil desplegar y proponer una iniciativa de transformación de la realidad, con creatividad, innovación, espíritu emprendedor y orientado a la calidad de vida social. Somos ahora más capaces de preparar un proyecto, de dirigirlo con base en objetivos, de tomar decisiones, hacer el seguimiento y evaluar su puesta en práctica de una manera más eficaz y con mayor impacto social.

Con nuestro trabajo en Mezcala contribuimos a que la comunidad se sensibilizara en el empleo de materiales regionales para la construcción de sus viviendas, siendo esto más económico y ecológico. Tuvieron la oportunidad de conocer más acerca de las propiedades y el uso del bambú como un sistema estructural confiable. Aunado a esto, buscamos cambiar el paradigma que se tiene acerca de la construcción en madera y bambú en nuestro país. Esperamos que con los resultados de nuestro trabajo la gente confíe más en la implementación de estos materiales en la construcción de sus viviendas o refugios.

Con este proyecto buscamos beneficiar principalmente al sector social bajo, es decir, a las personas de bajos recursos que no cuentan con el apoyo necesario para tener una vivienda digna. También buscamos reforzar y ampliar sus conocimientos de autoconstrucción para mejorar su calidad de vida tanto física y emocional.

En cierta medida creemos que nuestros servicios profesionales contribuyeron a mejorar la economía de nuestro país al proponer un modelo de vivienda eficiente y mucho más económico y sustentable que el ya planteado por algunos organismos gubernamentales, como Hipoteca Verde.

Creemos que los saberes aplicados que hicieron posible la aportación social sí son transferibles a otras situaciones, ya que solo es necesario un cambio mentalidad en las personas para que se preocupen más por el medio ambiente y por ofrecer unas soluciones más sostenibles y de mejor calidad. Todo está en darle seguimiento a propuestas como esta para difundir estos conocimientos y así poder conservar y ampliar su beneficio social a lo largo del tiempo. Nuestra visión del mundo ahora es mucho más amplia, más real, y más aterrizada a las problemáticas de nuestra sociedad actual.

### **6.3 Aprendizajes éticos.**

Las principales decisiones que tomamos acerca del proyecto se centraron en su diseño arquitectónico y estructural, técnico-constructivo, social-cultural, económico-financiero y ambiental-sustentable. Tuvimos mucho contacto con nuestro asesor, Nayar Cuitláhuac, quien nos guió para tomar las decisiones más acertadas y positivas para nuestro proyecto. Pensamos que estas decisiones tienen consecuencias provechosas tanto para nuestro crecimiento personal y profesional como para el desarrollo de nuestra sociedad. Nuestro objetivo más importante siempre fue encauzar nuestro proyecto a la innovación y al diseño sustentable para poder ofrecer una mejor solución y respuesta al tipo de vivienda actual.

Esta experiencia nos invita a continuar con esta línea de trabajo en favor de una mejor sociedad y un mundo con menos injusticia y desigualdad. Después de las reflexiones obtenidas de este ejercicio profesional, buscaremos ejercer nuestra profesión de una manera más consciente, buscando contribuir de manera activa a la solución eficiente de los problemas detectados y a la corrección de modelos insostenibles que saturan el mercado y nuestra sociedad.

### **6.4 Aprendizajes en lo personal [Reflexión de lo que la experiencia ha aportado en y para tu vida].**

Juncal Gómez Sainz Díaz. Me ayudó mucho este PAP a conocerme más a mí misma, en cuanto a mi capacidad de trabajar en equipo y ejercer la automotivación para lograr los objetivos propuestos. La verdad me gustó mucho trabajar con este equipo, ya que cada quien hizo aportaciones valiosas e importantes para el proyecto y el desarrollo del mismo. Todos tenemos cualidades y conocimientos especializados en distintos temas que nos pueden llevar a un resultado bastante satisfactorio al combinar los mismos. Este PAP me ayudó mucho a aprender a convivir en pluralidad y estar en favor de la diversidad, tanto de opiniones como de maneras de pensar. Aprendí también que debo organizar mejor mis tiempos para poder aportar lo mejor de mí a los demás y lograr buenos resultados en el trabajo. Me gustó mucho poder entrar a otro concurso, conocer las capacidades constructivas de un material nuevo para mí, como es el caso del bambú.

Otra de las cosas que considero sumamente valiosas, y que creo se debería continuar efectuando en el PAP, es haber tenido la oportunidad de construir una estructura a escala real de bambú, para sensibilizarme aún más y así conocer sus muchas propiedades físicas y mecánicas en el ámbito de la construcción y la sustentabilidad.

Ricardo Pérez Reyes. A través de este semestre y gracias a haber tomado la decisión en equipo de participar en el primer concurso de vivienda con bambú tuvimos la oportunidad de relacionarnos con la utilización de esta gramínea para uso estructural. No por nada la llaman el acero de la naturaleza. Revisamos no solamente viabilidad estructural del material, también revisamos viabilidad económica y socio-cultural de una vivienda de estas características. A través de diferentes prácticas con modelos escala 1:1 entendimos mucho mejor las técnicas necesarias para construir con este material.

Considero que los resultados fueron excelentes, tanto de las prácticas como de la propuesta a competir por lo que estoy muy satisfecho de los resultados y el cierre de este PAP que a partir del próximo semestre se convertirá en otro proyecto llamado Tecnologías apropiadas para la generación de sistemas constructivos, en donde podrá estudiarse estas nuevas propuestas estructurales sustentables más a detalle.

También se pretende darle continuidad al proyecto de investigación de especies nativas y endémicas de México con posible implementación en sistemas agroforestales sustentables.

Hugo Ernesto Zamora López. En lo personal el proyecto me pareció de suma importancia, tomando en cuenta las carencias de vivienda social, así como la búsqueda de un nuevo sistema constructivo que esté al alcance de cualquier persona y en muchos casos sin requerir de mano de obra especializada, esto podría tener un impacto positivo en las localidades en las que busca implementarse este sistema de construcción, regenerando el tejido social y haciendo comunidad entre los habitantes. El haber trabajado directamente con el bambú me hizo adquirir conocimientos en su manejo, ya que tuvimos la oportunidad desde ir a cortar el material, dejarlo secar y trabajarlo en la fabricación de un módulo. Este considero que es el mayor aprendizaje obtenido.

Krishan Emanuel Rajdev. Durante estos dos semestres en los que participe dentro del PAP “Laboratorio de innovación y diseño sustentable para la vivienda” he tenido un acercamiento directo con la sustentabilidad en la arquitectura así como la utilización de ecotecnias, sistemas alternativos y diferentes materiales naturales que pueden utilizarse para la construcción de vivienda.

Precisamente este semestre nuestro tema en el PAP tuvo como objetivo principal potenciar la construcción de vivienda social sustentable en México utilizando el bambú como material principal. Todo esto con la finalidad de facilitar la construcción de la vivienda y de esta manera garantizar una calidad de vida digna para el usuario utilizando recursos y esencias propias de la región. Fomentando viviendas de este tipo enfocadas ecológicamente al carácter social son lo que consideramos solución a cuestiones y problemáticas de crecimiento habitacional en México.

De igual manera, familiarizarse con un material tan noble como el bambú fue de lo que más disfrute a lo largo de este semestre y considero muy fructífero el poder tener la oportunidad de trabajar como laboratorio experimental realizando un proyecto en escala 1:1 hecho totalmente por los alumnos. La combinación de laboratorio así como el proyecto en digital para el concurso de vivienda con bambú me pareció el proceso adecuado de trabajo y vuelve el PAP un proyecto universitario aún más completo y además, las conclusiones y aprendizajes son mayores. De igual manera el trabajo de equipo se convierte en factor elemental para el proceso del proyecto.

Hans Richard Valencia Neufeld. En este semestre me parece que una de las partes más enriquecedoras fue el trabajo colectivo. Pocas veces he tenido la oportunidad de trabajar con un equipo tan funcional y que los aportes que se presentaban eran tan enriquecedores. Sin duda alguna cuando uno hace lo que le gusta y adquiere un compromiso es cuando se generan los mejores productos, tal y como opino que fue el nuestro en cuanto a la participación del concurso de Vivienda con Bambú.

Por otro lado, este semestre fue tremendamente cultivador para mí en cuanto al conocimiento captado en relación al empleamiento del bambú como elemento constructivo y todas las ventajas que este tiene, desde toda la investigación teórica que se generó hasta la recolección y manejo del bambú para la construcción de estructuras.

Me quedo con la esperanza que lo trabajado en este semestre empiece a sonar y llamar la atención, ya que la construcción de viviendas con bambú pinta como una solución a problemáticas como la vivienda para personas de escasos recursos y problemáticas ambientales siendo esta una vivienda de bajo impacto, además de que inclusive podría ser un aporte a la cohesión social de comunidades al practicarse la autoconstrucción.

Gabriela Serrano Barba. Fue una gran experiencia estar en este PAP, por todos los aprendizajes obtenidos en el mismo. Desde la oportunidad de haber sido parte de un equipo muy enriquecedor, donde cada uno de los integrantes aporta aprendizajes y experiencias propias, así como la integración de dos carreras fundamentales que son la Arquitectura e Ingeniería Civil.

Por otra parte, tuve la oportunidad de colaborar en dos nuevos acontecimientos, que fue el haber participado en el concurso de vivienda con bambú y haber construido un vivero hecho con el mismo material a una escala real; así como los conocimientos previos acerca del bambú. Referido al concurso, me ayudó a entender, investigar y estudiar la situación actual que presenta nuestro país en cuestión de vivienda de interés social, además de las cuestiones socioeconómicas y ambientales, así como conocer y aplicar todos los requerimientos que solicita el mismo. En el caso del vivero, aprendí a trabajar y relacionarme con este material, así como tener en cuenta las observaciones, materiales y herramientas que utilizamos; además de las diferentes técnicas y habilidades que fuimos adquiriendo durante el proceso de su construcción. Estoy contenta de los resultados finales, de las nuevas experiencias, y sobretodo de un buen trabajo en equipo.

Pablo Orozco Canales. El haber participado en este proyecto, fue una experiencia de aprendizaje, ya que me familiarice con un material alternativo como lo es el bambú, y de esta manera tomarlo en cuenta como un material potencial para mis construcciones futuras, pero independientemente del haber conocido un material nuevo, me ayudo a crecer en el ámbito profesional, ya que la colaboración entre personas especializadas en ingeniería civil y arquitectura, haciendo del trabajo en equipo algo esencial para lograr nuestro objetivo.

El hecho de haber construido una estructura con bambú, fue la mejor experiencia de este PAP, ya que fue la prueba en la que pusimos en práctica nuestros aprendizajes no solo de este

PAP, sino también de nuestras carreras, fue un gran trabajo por parte del equipo formado por estudiantes de Arquitectura e Ingeniería Civil.

José Barragán Ramos. En este PAP aprendí mucho sobre todo de la colaboración entre distintas disciplinas, en las que me doy cuenta de la importancia de un trabajo multidisciplinario como lo es el más simple diseño de una casa, ya que se tiene que llegar al punto medio entre lo funcional y lo estético, la colaboración de ambas profesiones para la construcción de un invernadero en donde se pusieron en práctica los sistemas de fijación, pero lo más importante es la implementación del bambú como uso estructural, dándonos cuenta de los problemas que se pueden presentar en la construcción utilizando bambú.

Me siento muy contento con los resultados de este PAP porque fue algo nuevo para mí, es por eso que continuaré el siguiente semestre participando en este proyecto, porque creo que es un proyecto muy trascendente en el ámbito cultural, económico y social.

## Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

En conclusión podemos decir que el proceso de elaboración del proyecto fue una fusión de elementos que teníamos que tener presentes; que fuera una vivienda social emergente la cual pudiera ser un modelo tipo, que utilizara al bambú como material estructural y que fuera atractivo como diseño arquitectónico empleando sistemas pasivos de energía y ecotecnologías.

Al iniciar nos enfrentamos con varios obstáculos, el primero de ellos fue que no todos estábamos familiarizados con el bambú como material estructural ni sabíamos bien cómo trabajarlo o utilizarlo. Otro obstáculo que enfrentamos al entrar al concurso fue que no teníamos acceso las fichas técnicas de los sistemas constructivos que debíamos emplear en el modelo de vivienda y esto hizo que nuestro proceso de diseño y de comprensión del material fuera aún más lento.

El proceso de diseño fue difícil, ya que para poder hacer una propuesta de vivienda social tuvimos primero que entender las propiedades físicas y mecánicas del material como tal. Otro de los temas complicados fue el diseño de las conexiones y también el hecho de tener que proyectar una propuesta que reflejara una idea conceptual potente, con la que todos los integrantes estuviéramos de acuerdo, y que tuviera la funcionalidad y espacialidad necesarias para competir en el concurso.

Sin embargo y a pesar de lo anterior, el hecho de querer resolver la problemática actual de la vivienda social a través de un proyecto con un material nuevo para la mayoría de las personas de este país, como es el caso del bambú, no fue nada fácil. A través de nuestro proyecto buscamos crear conciencia de la mucha investigación que hace falta a cerca de estos materiales sustentables y de cómo éstos pueden emplearse, de manera segura, en la construcción de viviendas de cualquier tipo. Este proyecto puede ser de interés y beneficio para muchas comunidades de escasos recursos, no sólo Mezcala.

Precisamente el tema de vivienda con bambú dentro de este PAP tiene como objetivo principal potenciar la construcción de vivienda social sustentable en México, más específicamente en el

Municipio de Poncitlán, Jalisco utilizando el bambú como material constructivo principal. Todo esto con la finalidad de facilitar la construcción de esta garantizando una calidad de vida digna para el usuario utilizando recursos propios de la región. Así mismo fomentar la participación directa por parte de los usuarios de la localidad para su construcción. La participación de las personas es de suma importancia para crear un sentimiento de pertenencia y patrimonio a partir de un estudio y diseño de espacios específicamente para el lugar respetando su historia, materiales y contexto inmediato.

Fomentando viviendas de este tipo enfocadas ecológicamente al carácter social son lo que consideramos solución a cuestiones y problemáticas de crecimiento habitacional en las periferias de grandes ciudades proponiendo una excelente calidad de vida sin la necesidad de verse obligados a dejar sus tierras natales para buscar oportunidad en otro lado. De esta manera es como el proyecto aportaría a la problemática sobre vivienda social en el país.

El prototipo de vivienda que se llevó a cabo tiene varios puntos a su favor. El hecho de ser modular y tener la posibilidad de crecimiento como una vivienda progresiva hace que muchas más personas tengan acceso a ella. Los sistemas constructivos empleados brindan la posibilidad de crecimiento a la familia y esto da una mayor estabilidad y seguridad a la misma.

El bambú como materia prima de nuestro proyecto, es un material que comparte muchas bondades al ser utilizado como material estructural. Trabajar con un material como el bambú es como ir en sintonía con la naturaleza, al igual que con la madera, ya que:

- Utiliza la gravedad a su favor
- Los espacios son orgánicos y cálidos
- Nobleza en la técnica de ensamblado
- Crecimiento rápido del material en plantaciones
- Material renovable

Al tratarse de sistemas prefabricados, como son los casos de la bambulosa® y el biopanel®, se vuelve realmente fácil y rápido construir. Estos sistemas constructivos son muy nobles ya que se desmontan y reubican fácilmente, haciendo que los proyectos tengan la opción de un carácter progresivo.



En cuanto al presupuesto pudimos concluir que el material propuesto además de ser ambientalmente sustentable, también es económicamente viable para un proyecto de estas características ya que la cotización para habilitar la estructura propuesta arrojó un número que demuestra ser mucho más accesible que una estructura de acero o de concreto.

Otra conclusión importante es que creemos muy positivo el hecho de participar en concursos de esta índole, lo que no resulta muy pertinente es que éstos no siempre coinciden con los tiempos del PAP. Como puede haber muchos tiempos muertos, puede también haber momentos en los que hay demasiada carga de trabajo y esto puede hacer que demerite el resultado de los proyectos propuestos.

## **7.2 Recomendaciones**

Para quienes continúen el siguiente curso en este proyecto les recomendamos que continúen con la investigación de ecotecnias que se puedan implementar para darle más confort a la casa de bambú, e investigación de más comunidades en las cuales se pueda implementar el diseño de nuestra proyecto de vivienda emergente.

Creemos que sería necesario que terminen el invernadero en su totalidad, para que los integrantes nuevos del PAP, se sensibilicen y se familiaricen aún más rápido con el material.

También se les recomienda que primeramente estudien e investiguen sobre las propiedades y características del bambú, conocer las ventajas y desventajas como material de construcción, así como sus procesos de secado, tratamientos y la diversidad que existe dentro de esta misma especie.

Una vez investigado esta parte fundamental, es importante tener el conocimiento claro sobre el ensamblaje de la estructura. Es decir, todo lo que conlleva a las conexiones y los materiales para su armado; así como las herramientas y diferentes técnicas que utilizarán durante el proceso de construcción.

Además sería de gran utilidad revisar manuales de construcción en bambú, para perfeccionar aún más la estructura y el diseño de las conexiones y ensamblajes para que estos funcionen correctamente a una escala real. Creemos que algo que puede mejorar en el proyecto es el nivel de detalle de las conexiones y uniones de los elementos, siendo ésta pieza clave para la estabilidad de la estructura.

En cuanto a las ecotecias, se debe realizar un análisis de viabilidad sociocultural mucho más profundo para poder saber de manera acertada cuáles de estas ecotecias al ser implementadas en una vivienda de estas características realmente significan una verdadera solución al ser correctamente utilizadas por los usuarios ya que en la mayoría de los casos el fracaso de estas técnicas a la hora de la práctica es la falta de conocimiento sobre su funcionamiento y la poca educación ambiental de los usuarios, los cuales no encuentran una satisfacción genuina a nivel personal al reconocer los beneficios ambientales que estas prácticas pueden llegar a generar a largo plazo a futuro.

### **7.3 Retroalimentación por parte de la organización.**

N/A.

No se presentó ninguna Organización que nos diera retroalimentación de la presentación.

## Referencias bibliográficas (sistema APA).

PLATAFORMA ARQUITECTURA (2013). Arquitectura en bambú: La obra de Simón Vélez. Visto el 3 de Julio de 2015. <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-265878/arquitectura-en-bambu-la-obra-de-simon-velez>.

GIOVANNA BARBARO (1997). La biónica del bambú. Tesis. Università IUAV di Venezia.

LOPEZ, L.F.; CORREAL, J.F. (2013). Exploratory study of the glued laminated bamboo *Guadua angustifolia* as a structural material. *Maderas. Ciencia y tecnología* 2009; 11(3): 171-182.

NAVAS GUTIERREZ, ELVIRA (2011). Aplicaciones estructurales de la guadua (*Guadua angustifolia kunth*). Proyecto de estructura modular multifuncional en Colombia. Universidad Politécnica de Madrid.

CHARPENTIER SALAZAR, G. (2013). El bambú como material de construcción. *Boletín del Programa Nacional Sectorial de Producción Agrícola bajo Ambientes Protegidos. ProNAP Año 7 no 39*. [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinProNAP7\(39\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinProNAP7(39).pdf)

PEREZA, J. ENRIQUE (1997). El bambú como material de construcción. *AITIM*. No185.

ALVAREZ CASTILLA, J. (2012). Comportamiento mecánico de las conexiones en los elementos de bambú para estructuras ligeras. El caso de las especies del trópico de Veracruz. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

AMERICAN BAMBOO SOCIETY. Bamboo Species Source List. Visto el 16 de Julio de 2015. <http://bamboo.org/BambooSourceList/index.php>

RODRÍGUEZ ALONSO, CESAR A.; MORALES DÍAZ, ESTEFAN (2008). El bambú como material estructural. Análisis de un caso práctico. Universidad de Girona.

NSR-10 (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. Titulo G – Estructuras de madera y guadua. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

FACULTY OF ARCHITECTURE–RWTH AACHEN. Bambus. Jörg Stamm (2002). Visto el 13 de Julio de 2015. <http://bambus.rwth-aachen.de/eng/index.html>

GUZMAN, DAVID (2005). Connections and slab for bamboo constructions. The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005.

TRUJILLO, DAVID (2007). Bamboo Structures in Colombia;. The Structural Engineer 85(6),25-30. <http://www.istructe.org/webtest/files/8b/8b5ef091-84ca-49c7-a451-d7b0ecb5f6b8.pdf>

PEREIRA, MARCO ANTONIO; BARATA, TOMAS QUEIROZ (2014). Bamboo as a sustainable material used in design and civil construction: species, management, characterization and applications. Key Engineering Materials. Vol 634 (2015). pp 339-350.

BHAVNA, SHARMA; GATOO, ANA; BLOCK, MAXIMILIAN; RAMAGE, MICHAEL (2014). Engineered bamboo for structural applications. Construction and Building Materials. Vol 81 (2015). pp 63-73.

HIDALGO LOPEZ, O. (1981). Manual de construcción con bambú. Ed. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. pp. 71

CLAVER GUTIERREZ ALIAGA, SERGIO (2010). Uniones estructurales con bambú. Tesis. Universidad Nacional de Ingeniería de Perú.

Anexos (en folder aparte)