

Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa Ecuatoriana



RED INTERNACIONAL DE BAMBÚ Y RATÁN, INBAR

Oficina para América Latina y El Caribe
Av. Eloy Alfaro y Amazonas, Edificio MAGAP. Piso 11.
Quito-Ecuador

Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la Costa Ecuatoriana

Elaborado por:

Nicolás van Drunen en colaboración con Alexandra Cangás, Sebastián Rojas (consultores INBAR) y Sebastian Kaminsky del Grupo ARUP.

Con los aportes de:

Juan Francisco Correal, Presidente de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS)
Alex Albuja, Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) y el apoyo de:
Milton Cedeño de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM),
Manuel Querembas del Cuerpo de Ingenieros del Ejército del Ecuador (CIE), y
Guillaume Roux-Fouillet (Shelter Cluster)
En coordinación con Paulina Soria (INBAR)

Quito, noviembre del 2015

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican por parte de la Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR) juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que INBAR apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en esta publicación son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista de INBAR.

INBAR fomenta la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. Las solicitudes de autorización para reproducir o difundir material de cuyos derechos de autor sea titular INBAR y toda consulta relativa a derechos y licencias deberán dirigirse por correo electrónico a info@inbar.int

La Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR) es una organización intergubernamental establecida en 1997, que cuenta con 41 estados miembros, dedicada a promover el desarrollo social, económico, y ambiental del bambú y ratán.

INBAR juega un rol fundamental en la búsqueda y demostración de formas innovadoras para usar el bambú a través de proyectos para proteger el paisaje, la biodiversidad, reducir la pobreza, y facilitar un comercio responsable entre los actores de la cadena. INBAR conecta una red global de plataformas público-privadas, a través de aliados gubernamentales, iniciativas privadas y sectores sin fines de lucro en más de 50 países para definir y poner en práctica una agenda global para el desarrollo sostenible a través de bambú y ratán.

International Network for Bamboo and Rattan (INBAR) P. O. Box 100102-86
Beijing 100102, P. R. China
Tel: 00 86 10 64706161 Fax: 00 86 10 64702166
Email: info@inbar.int <http://www.inbar.int>

Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR

Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa Ecuatoriana

Quito, Noviembre del 2016

Contenidos

Resumen ejecutivo	6	
1. Introducción	7	
1.1 Objetivo del reporte	7	
1.2 Contexto	8	
1.2.1 Terremoto del 16 de abril 2016 en la costa del Ecuador		8
1.2.2 Riesgo de sismos en la región costera del Ecuador		9
1.2.3 Potencial del bambú como una alternativa para construcción de viviendas		10
2. Diseño y construcción de vivienda con bambú	11	
2.1 ¿Cómo se comporta el bambú frente a un sismo y viento?	11	
2.2 Viviendas con estructura de bambú existentes	12	
2.3 Limitantes al desarrollo de buenas prácticas de construcción con bambú en el Ecuador	13	
2.4 Fallas comunes de estructuras de bambú	13	
2.5 Diseño de estructuras sismo resistentes	14	
2.6 Diseño para durabilidad	16	
2.6.1 Causas de deterioro		16
2.6.2 Protección contra el deterioro		18
2.6.3 Tipos de preservación		19
2.6.4 Resumen de recomendaciones de diseño para durabilidad		19
2.7 Garantizar una construcción de calidad	20	
2.8 Estudio de caso de una vivienda de bambú con técnicas modernas	20	
3. Disponibilidad de bambú en el Ecuador	23	
3.1 Producción de bambú	23	
3.1.1 ¿Dónde está el recurso?		23
3.1.2 ¿En qué condiciones se encuentra el recurso luego del terremoto?		24
3.1.3 ¿Qué disponibilidad tienen los bambusales para producir materia prima garantizada para la reconstrucción?		24
3.1.4 ¿Qué acciones se pueden realizar para mejorar las existencias de bambú?		25
3.1.5 ¿Cuál es la capacidad proyectada para los próximos años?		26
3.1.6 ¿Cuáles son los actores de este circuito?		26
3.1.7 ¿Cuáles son las acciones para incrementar la disponibilidad de bambú preservado y seco?		27
3.1.8 ¿Cómo se distribuye el precio entre los actores?		27
4. Conclusiones y recomendaciones	29	
4.1 Fomentar buenas prácticas (incentivar, documentar, difundir)	29	
4.2 Formalizar la construcción	29	
4.3 Cultura del mantenimiento	29	
4.4 Preparación académica y práctica para mano de obra calificada	29	
4.5 Mejorar implementación de las normas de construcción	30	
4.6 Garantizar un material de calidad a pie de obra	30	
4.7 Resumen de hallazgos a ser considerados	30	
5. Lectura adicional	31	
6. Referencias	32	
Apéndice 1. Mensajes claves y recomendaciones para la auto-construcción	34, 35, 36	

Resumen ejecutivo

El bambú es un material abundante en Ecuador, empleado tradicionalmente desde hace cientos de años en las zonas costeras del país, tanto para vivienda formal como informal. Con bambú se pueden construir estructuras muy sostenibles y de bajo costo para vivienda formal. Las estructuras de bambú, cuando están bien detalladas y ejecutadas, pueden emplearse para vivienda sismo-resistente, como se ha podido observar tras varios terremotos en Latinoamérica.

Esta memoria describe el potencial que el bambú tiene para ser empleado de manera más amplia en Ecuador (y en otros países) para la construcción de vivienda de bajo costo. Los temas tratados incluyen el buen comportamiento del bambú bajo cargas sísmicas, como se puede construir viviendas en bambú para ser sismo-resistentes y cómo se puede lograr que las viviendas construidas en bambú tengan larga durabilidad. También se describe la disponibilidad de existencias de bambú y cómo se podrían mejorar.

1. Introducción

1.1 Objetivo del reporte

Este reporte tiene como objetivo presentar información recolectada y levantada tras el terremoto del 16-04-2016 en Ecuador. En específico la información que es relevante para estructuras construidas con bambú. A continuación de presentar información clave sobre estructuras de bambú en relación al sismo y la reconstrucción, se presenta información sobre la disponibilidad del recurso en el Ecuador. A modo de conclusión se formulan recomendaciones a ser consideradas para un uso efectivo del bambú en el proceso de reconstrucción post-sismo y el desarrollo de buenas prácticas en general.

Este reporte fue preparado en colaboración entre los siguientes actores:

- La Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR por sus siglas en Inglés) – Organización intergubernamental establecida en 1997 que actualmente cuenta con 41 países miembros. Tiene como misión mejorar el bienestar de los productores y usuarios de bambú y ratán en el contexto de una base sostenible de recursos de bambú y ratán, consolidando, coordinando y apoyando la investigación y el desarrollo estratégicos y adaptativos.
- Equipo de Investigación de Ingeniería Sísmica del Reino Unido (EEFIT por sus siglas en Inglés) – Organización formada en 1982 de manera conjunta entre la industria y las universidades. La actividad principal de EEFIT es la de llevar a cabo investigaciones de campo después de grandes terremotos e informar de sus conclusiones a la comunidad de ingeniería.
- El grupo Arup – Organización fundada en 1946 que opera como una firma independiente de diseñadores, planificadores, ingenieros, consultores y especialistas técnicos que ofrecen una amplia gama de servicios profesionales.
- Shelter Cluster – es una entidad coordinadora del Comité Permanente entre Agencias (Inter-Agency Standing Committee o IASC) dedicada al Sector Vivienda, que apoya a las personas afectadas por desastres naturales y desplazados internos afectados por conflictos con los medios para vivir en refugios seguros, dignos y apropiados.
- ULEAM – La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- El Cuerpo de ingenieros del ejército del Ecuador.
- PUCE – La Pontífice Universidad Católica del Ecuador.
- AIS – La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

1.2 Contexto

1.2.1 Terremoto del 16 de abril 2016 en la costa del Ecuador

El 16 de Abril de 2016 a las 18:58 (hora local) la costa norte del Ecuador fue sacudida por un terremoto con una de magnitud 7.8Mw. El epicentro se ubicó 29Km al sur-sureste de la ciudad de Muisne, al Norte de la provincia de Manabí, a una profundidad aproximada de 19km.

Las provincias de la costa ecuatoriana fueron las más afectadas. En Manabí las ciudades de Pedernales, Bahía de Caráquez y Manta sufrieron los daños más extensos. El colapso de estructuras durante el terremoto y replicas causo la muerte de alrededor de 650 personas en esta provincia.

El terremoto del 16 de Abril y consiguientes réplicas de hasta 6.8Mw causaron daños a una gran cantidad de viviendas. Según un informe al 22 de abril de 2016 realizado por la Oficina de las Naciones Unidas para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, se ha informado que hay más de 1.125 edificios destruidos y más de 829 están afectados, incluyendo 281 escuelas. Adicionalmente, hay 25.376 personas refugiadas en albergues colectivos.

Según el último levantamiento de información son 35.198 las edificaciones evaluadas como inseguras o de uso limitado (MIDUVI, 15 julio).

Según la Oficina de la ONU para la Coordinación de Asuntos Humanitarios, más de un millón de personas fueron afectadas, las labores de reconstrucción se mantienen y los habitantes de las zonas buscan rehacer sus actividades productivas.

De acuerdo a datos del INEC alrededor del 35% del total de las viviendas en la provincia de Manabí son de madera y bambú. Según la información levantada en los refugios por medio de entrevistas a familias afectadas, el 30% de las familias entrevistadas habitaba en una casa de madera o bambú. Las viviendas construidas con madera y bambú se encuentran en mayor proporción en áreas rurales.

La tragedia dejó varias lecciones relacionadas con los sistemas constructivos y la importancia de establecer condiciones que disminuyan la vulnerabilidad de los habitantes que viven en zonas de incidencia sísmica.

Este estudio nace con esta finalidad, la de establecer parámetros que permitan:

- Analizar el comportamiento del bambú en las zonas afectadas, considerando su uso tradicional en el territorio
- Determinar principios constructivos que generen mayor seguridad ante posibles eventos climáticos extremos, y
- Delinear estrategias que puedan disminuir la vulnerabilidad de los pobladores

Algunas cifras importantes:

- El sismo ha generado más de 2.256 réplicas hasta el 21 de julio, de las cuales 40 han sido mayores a los 5 grados de magnitud.
- Más de 230.000 personas han sido reconocidas como “damnificadas” por el Estado
- Más de 11.000 personas desplazadas continúan residiendo en refugios espontáneos sin servicios básicos,
- Hasta ahora se han identificado y notificado a un total de 9.375 familias para recibir los incentivos, de los cuales 7.113 en Manabí y 1.181 en Esmeraldas.
- El programa contempla construir alrededor de 4.500 viviendas principalmente en zonas urbanas y peri-urbanas antes del final de 2016.
- Cerca de 35.000 viviendas son calificadas como destruidas o dañadas dejando alrededor de 140,000 personas sin vivienda adecuada.

Hasta el 15 de julio, MIDUVI ha evaluado y calificado 24.692 edificaciones en áreas urbanas y 10.506 en áreas rurales como colapsadas, por demoler o inseguras (Shelter Cluster, 2016a).

1.2.2 Riesgo de sismos en la región costera del Ecuador

Los fenómenos sísmicos en el territorio son el resultado de la interacción de grandes placas que forman parte del Círculo de Fuego del Pacífico. Desde el principio del siglo XX, la región costera del Ecuador ha sufrido varios terremotos con magnitudes de momento superiores a 5.0. El epicentro del terremoto del 2016 se encuentra en el extremo sur de la zona de ruptura de 400-500km de largo del evento de 1906 Mw8.8 que generó un tsunami que mató a cientos de personas (Franco et al, en prensa). Más cerca del epicentro del evento del 2016, un terremoto de Mw7.8 se produjo en 1942 43km al sur del reciente evento de abril, y un evento Mw7.2 en 1998 cerca de Bahía de Caráquez.

El grado de vulnerabilidad de viviendas frente a un sismo depende de los siguientes factores: el riesgo sísmico en la zona, el tipo de suelo, y la resistencia y comportamiento de la estructura.

Toda la costa es considerada de amenaza sísmica alta y puede sufrir terremotos de magnitudes considerables en cualquier momento. Sin embargo estudios específicos de las actividades sísmicas permiten ubicar con más precisión las zonas con mayor riesgo sísmico.

El tipo de suelo, su capacidad de resistencia y el nivel de la capa freática pueden cambiar el movimiento del suelo en un terremoto, y pueden aumentar o disminuir el nivel de agitación. Como regla general, la construcción sobre un suelo firme y denso o rocoso es favorable, mientras que un suelo altamente saturado con agua se debe evitar. Por lo tanto, siempre es muy recomendable llevar a cabo una investigación geológica del suelo antes de empezar la construcción.

La resistencia de las viviendas frente a los movimientos sísmicos depende del tipo de sistema estructural utilizado para resistir fuerzas inerciales producidas durante el evento. Es decir, la estructura debe ser diseñada para resistir las cargas horizontales que experimenta durante un sismo, para esto se pueden utilizar muros de corte o elementos diagonales de arriostramiento.

Aunque el peligro sísmico en el área no puede cambiarse, el efecto del tipo de suelo puede ser mitigado por una buena selección del sitio y una investigación geológica apropiada, y el edificio puede ser diseñado apropiadamente para resistir las cargas producidas durante un terremoto.

1.2.3 Potencial del bambú como una alternativa para construcción de viviendas

El bambú es una solución constructiva que responde a las exigencias del contexto: zona sísmica, baja capacidad portante del suelo, urgencia de la construcción y bajos recursos económicos. Adicionalmente, es un material que aporta en términos de sustentabilidad por tener una huella de carbono reducida entre otras bondades (Kaminski et al., 2016b).

Técnica y económicamente, no hay duda que el bambú es un material alternativo para la construcción de viviendas totalmente adaptado a nuestro ámbito de estudio. Su proximidad como materia prima es una garantía de su bajo costo, y sus propiedades físico mecánicas son idóneas para zonas costeras de alta peligrosidad sísmica. Aun con esas dos cualidades primordiales, su aplicación en las viviendas sigue siendo marginal y asociada a la autoconstrucción de baja calidad. Hoy en día el bambú necesita reconquistar su papel de material de calidad, rentable y sostenible dentro del mundo de la construcción.

Junto al adobe y a la quincha/bahareque, el bambú es uno de los materiales ancestrales de construcción que aún se encuentra en uso. Es de bajo costo y de fácil accesibilidad ya que se puede encontrar comunidades locales. Hoy en día las estructuras de bambú en el ámbito de estudio son generalmente "autoconstruidas" o construidas por albañiles y carpinteros sin mayor capacitación, porque la técnica constructiva actual es sencilla y no ha requerido de herramientas complejas.

En el Ecuador la especie más comúnmente usada para la construcción es la *Guadua angustifolia* Kunth, también conocida como "Guadua" o "Caña". También se evidencia el uso de *Dendrocalamus Asper* conocido como "bambú gigante". En este reporte se refiere de manera genérica a todas las especies que se utilizan en la construcción bajo el nombre bambú.

2. Diseño y construcción de vivienda con bambú

2.1 ¿Cómo se comporta el bambú frente a un sismo y viento?

Las cargas procedentes de un sismo y de viento son relativamente similares en que ambas aplican efectivamente una carga horizontal al edificio la cual tiene que ser transmitida hasta los cimientos de la estructura. Las principales diferencias son:

- Las cargas sísmicas son proporcionales al peso propio de la estructura, mientras que las cargas del viento son independientes de ésta.
- Las cargas sísmicas son cíclicas, lo que puede causar fallas de fatiga en las conexiones.
- Hay una mayor incertidumbre sobre la magnitud de las cargas sísmicas, por lo tanto es posible y aceptable que se produzcan algunos daños, siempre y cuando estos daños se produzcan de manera controlada. Bajo las cargas de viento no debe ocurrir ningún daño.

Es un error común pensar que el bambú como material es de alguna manera "milagrosamente" bueno en terremotos y vientos fuertes. De hecho, como elemento individual, posee varios modos de falla repentina que pueden afectar su comportamiento frente a cargas sísmicas y de viento. Históricamente los edificios tradicionales de bambú y quincha / bahareque han tenido un buen desempeño en terremotos por dos razones clave (Figura 1 y Figura 2):

- Su ligereza (alta resistencia en relación a su peso), lo que resulta una edificación ligera en general.
- Su ductilidad (esencialmente la capacidad de absorber energía) en las conexiones y uniones/empalmes, especialmente cuando se usan clavos. Esto se ha evidenciado después de terremotos en edificios vernáculos construidos con técnicas como el bahareque (Kaminski, 2013; Franco et al., en prensa; López et al., 2004), que normalmente utilizan conexiones con clavos metálicos. Una parte de la energía es absorbida también por el agrietamiento del barro que conforma el cerramiento en viviendas tradicionales del bahareque.



Figura 1: Vivienda tradicional en bahareque tras el terremoto de El Salvador 2001. El daño se limita al desconche del mortero, mientras que la estructura resiste intacta y segura.



Figura 2: Vivienda tradicional en bahareque tras el terremoto de Ecuador 2016. El daño se limita principalmente al desconche del mortero, mientras que la estructura resiste intacta y segura.

2.2 Viviendas con estructura de bambú existentes

Las viviendas de bambú en el Ecuador pueden ser agrupadas de manera general dentro de dos tipologías:

1. Chozas informales (Figura 3). Se trata generalmente de viviendas de población con un nivel de ingresos muy bajo que consisten en un marco de madera o bambú y bambú partido o abierto (caña picada o latillas) para las paredes. A este tipo de viviendas se las encuentra principalmente en la región costera.
2. Vivienda bahareque / quincha semi-formal o formal (Figura 4). Se trata de una técnica vernácula que típicamente consiste en un marco de madera o bambú, revestido con una matriz de caña picada, latillas, bambúes delgados, ramas o tiras de madera, que finalmente es cubierto con una mezcla preparada a base de barro, a veces se le añade paja para darle una mayor resistencia. A este tipo de vivienda se la puede encontrar tanto en la sierra como en la costa.

A menos que se indique lo contrario, todas las referencias a las viviendas de bambú existentes en este informe se refieren a ambas tipologías descritas anteriormente.

La Provincia de Manabí que en el censo del 2001 acusaba 93.550 de viviendas de bambú, al censo del 2010 ha disminuido a 88.744 unidades. El total de casas de bambú en todo el país alcanzó en el 2001 a 254.152 unidades mientras que en el 2010 sumó a 329.416 unidades es decir se presentó un incremento de 75.264 viviendas.



Figura 3: Chozas informales en Manabí, Ecuador



Figura 4: Viviendas bahareque/quincha formal en Bahía, Ecuador

Capitales de Provincias	Capitales de provincias 2001	Capitales de provincias 2010	Aumentos y Disminuciones
Guayaquil	No. de viviendas 40055 39,80%	No. de viviendas 60521 60,20%	Aumentó de 20466 viviendas - el 20,4%
Portoviejo	No. de viviendas 15792 52,60%	No. de viviendas 14218 47,40%	Disminuyó 1574 viviendas - el 5.2%

Cuadro 1: Viviendas de bambú en Guayaquil y Portoviejo, capitales de las Provincias de Guayas y Manabí, respectivamente (Ubidia, 2012)

2.3 Limitantes al desarrollo de buenas prácticas de construcción con bambú en el Ecuador

El bambú ha sido estigmatizado como un material para pobres principalmente por dos razones: es susceptible al deterioro por la pudrición y al ataque de insectos, y es ampliamente usado en la auto-construcción informal.

Sin embargo, a partir del terremoto existe en la consciencia general de las zonas afectadas una revaloración del bambú como un material que puede salvar vidas. Alrededor de un 68% de familias entrevistadas en los refugios por pérdida o inhabilitación de su vivienda a causa del terremoto consideran una vivienda de madera o bambú como la opción más segura para su futura vivienda.

Hasta hace poco el bambú no era reconocido por la normativa nacional de construcción NEC como un material para uso estructural lo que ha frenado el desarrollo de proyectos e innovación con este material. Hay excepciones como las investigaciones dirigidas por el Arq. Jorge Morán de la Universidad Católica de Guayaquil, un pionero a nivel mundial. Pero, la reciente aprobación de la NEC-SE-GUADUA forma una base técnica para el desarrollo de proyectos con bambú como un material estructural. A partir de esto se abre el campo al desarrollo de mejores prácticas de construcción. La aprobación de la norma también trae beneficios a personas que desean una casa de bambú y necesitan aplicar a bonos para financiar la construcción.

Si bien existen propuestas de diseños de edificaciones de bambú, existe una cantidad reducida de mano de obra especializada en construcción con bambú en el país. Esto contrasta con la cantidad de material apto para construcción que es en parte exportado a países vecinos como Perú.

2.4 Fallas comunes de estructuras de bambú

Las fallas más comunes con las estructuras existentes de bambú se pueden resumir de la siguiente manera (Kaminski, 2013; Franco et al., en prensa; Kaminski et al., 2016d):

1. Falta de un sistema estructural para resistir cargas de terremotos y vientos: todos los edificios requieren de muros de corte o de elementos de arriostramiento para resistir las cargas de terremotos y el viento, y muchas de las estructuras de bambú existentes no los tienen.
2. Elementos mal conectados: las conexiones son típicamente las áreas más débiles de una estructura, y muchas estructuras existentes usan juntas tradicionales débiles.
3. Bambú no tratado o tratado incorrectamente: el bambú es muy susceptible tanto a las termitas como a los escarabajos, ambos muy comunes en Ecuador, por lo que necesita ser tratado para protegerse contra ellos. Muchas estructuras de bambú existentes utilizan bambú no tratado, o bambú tratado con productos químicos ineficaces.
4. Detalles que comprometen la durabilidad: el bambú es muy susceptible a la putrefacción y por lo tanto debe mantenerse seco durante toda su vida. Muchas estructuras existentes de bambú no están diseñadas para proteger el bambú de la putrefacción.

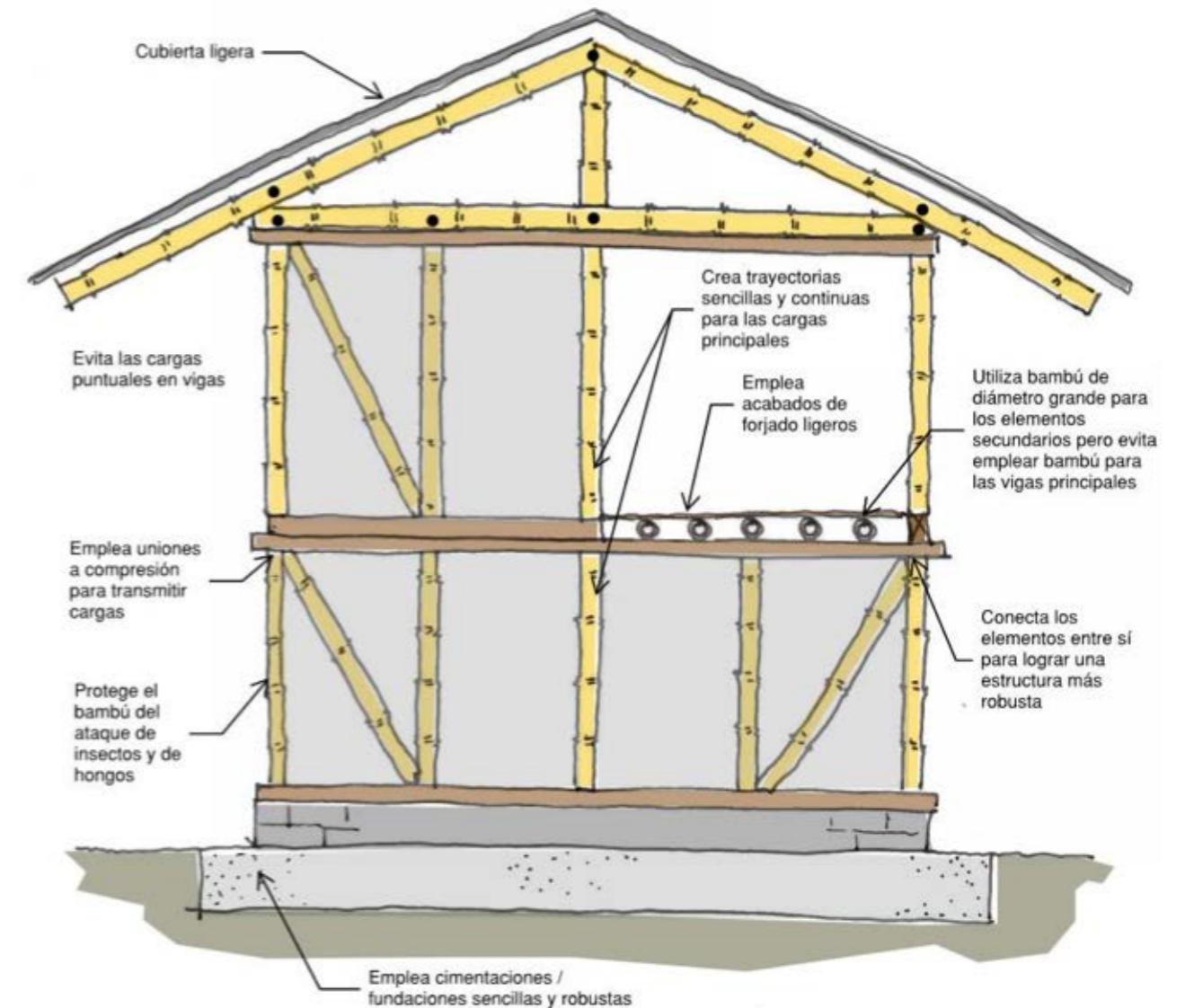
5. Mantenimiento inadecuado: debido a la susceptibilidad del bambú a la putrefacción, las termitas y los escarabajos, las casas construidas a partir de bambú generalmente requieren más mantenimiento que otras. Sin embargo, a menudo los propietarios no pueden permitirse el mantenimiento o no son conscientes de su importancia.
6. Albergar bichos: el bahareque / quinche tradicional es propenso a albergar insectos, en particular “el insecto besador” o chinche como se lo conoce en América Latina (OMS, 2016).

Los puntos (1) y (2) pueden tratarse mediante un buen diseño y construcción de edificios de bambú (Sección 2.5). Los puntos (3) y (4) pueden tratarse mediante un buen diseño y tratamiento (Sección 2.6). El punto (5) se puede afrontar con un buen mantenimiento (Sección 4.3). Y el punto (6) se puede tratar asegurando un ambiente limpio y libre de grietas en el interior del hogar, evitando el mortero de barro y evitando los techos de paja.

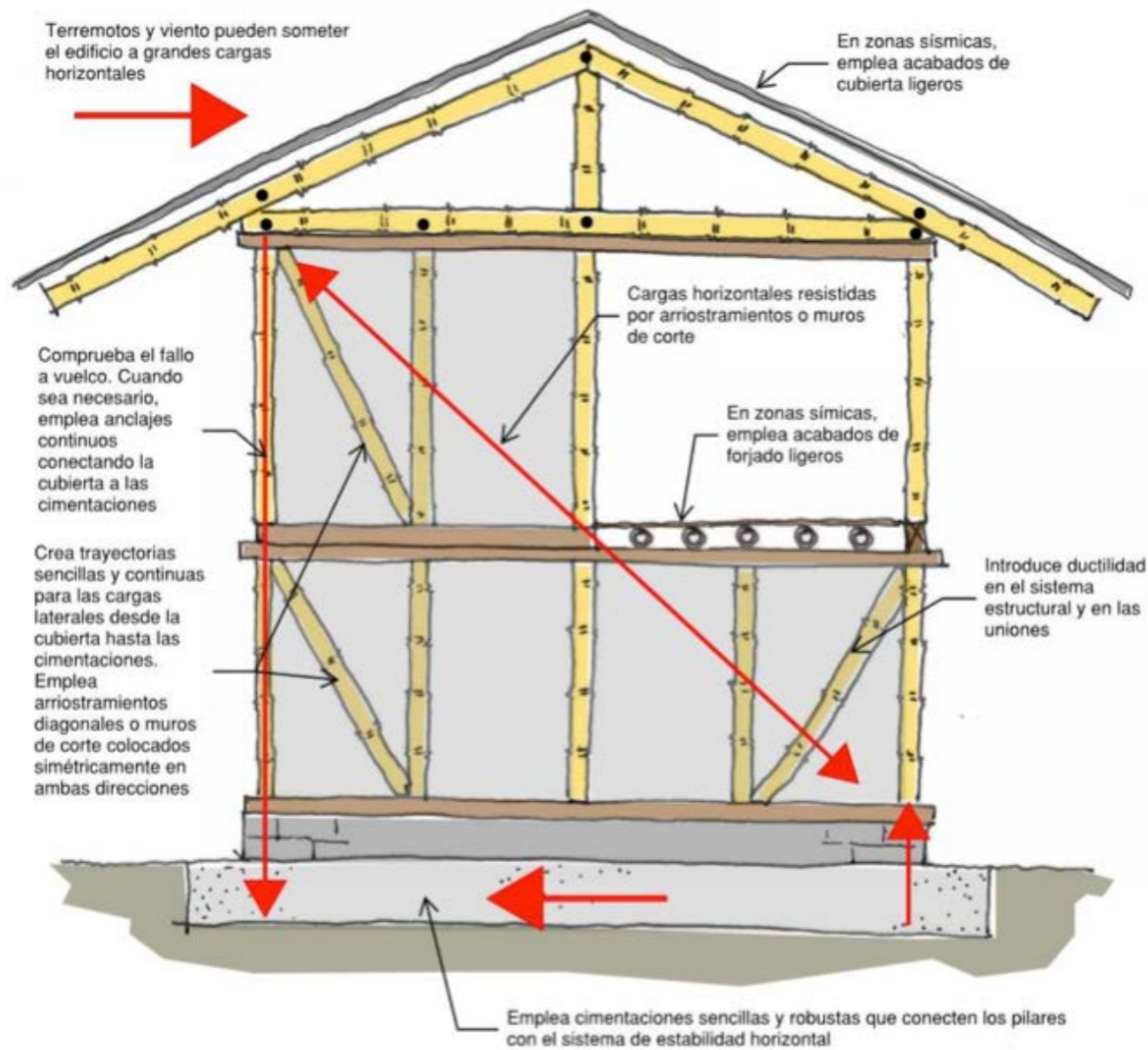
2.5 Diseño de estructuras sismo resistentes

Las siguientes recomendaciones se proporcionan para el diseño de estructuras que resistan a las cargas de sismos y vientos (Figura 5 y Figura 6):

- Mantener la estructura lo más ligera posible, minimizando los acabados de techos y pisos y diseñando una estructura eficiente con paredes ligeras.
- Asegurarse de que hay paredes de refuerzo regulares y uniformemente espaciadas en ambas direcciones ortogonales y ampliamente simétricas en ambos lados del edificio a través de toda la altura del edificio.
- Asegurarse de que las columnas sean continuas desde el techo hasta el suelo - evitar transferir las cargas de la columna.
- Las cargas se deben transferir a través de las conexiones de rodamiento/apoyo siempre y cuando esto sea posible, ya que se trata de una trayectoria de carga más fuerte, más rígida y más fiable.
- Proporcionar cimentaciones sencillas y robustas que aten efectivamente a las columnas y los muros de corte o elementos de arriostramiento.
- Proporcionar conexiones fuertes usando pernos y entrenudos llenos de mortero.
- Proporcionar uniones de sujeción vertical para resistir el volcamiento del marco y la estructura.
- Aleros de mayor longitud
- Colectores o canalones, ubicados en la parte mas baja de las cubiertas, para recoger el agua lluvia y mediante bajantes.
- Canales de captación de agua, en la pendiente de mayor cota y en la inferior. Estos canales hechos de bloques o de suelo-cemento, permiten colectar el agua de las bajantes de la cubierta y de las partes superiores de la pendiente.
- Los canales antes mencionados permitirán derivar lateralmente el agua hacia colectores mayores o a las cunetas y sumideros de calles.
- Esta solución demanda decisión y trabajo comunitario.



Tal como cualquier estructura, la vivienda de bambú requiere un sistema estructural dedicado para resistir las cargas horizontales de origen sísmico y de viento. Esto puede ser proporcionado por elementos de arriostramiento o paredes cortantes.



2.6 Diseño para durabilidad

2.6.1 Causas de deterioro

Debido a una carencia de toxinas naturales el bambú no posee una durabilidad natural para frenar su deterioro (Janssen, 2000). Adicionalmente, sus paredes típicamente delgadas significan que una cantidad pequeña de afectación puede tener un porcentaje significativo de pérdida de capacidad de carga estructural. Las dos principales causas de deterioro para el bambú son: el ataque de insectos (escarabajos (Figura 7 y Figura 8) y termitas (Figura 9 y Figura 10)) y de hongos (Figura 11 y Figura 12) (Kaminski et al., 2016c; BRE, 2003).



Figura 7: Daño causado por escarabajo en el bambú, Ecuador – los agujeros de salida son claramente visibles.



Figura 8: Daño causado por escarabajo en el bambú, Colombia – los agujeros de salida son claramente visibles



Figura 9: Daños severos a madera y caña en bahareque tradicional causados por termitas, El Salvador



Figura 10: Daño severo causado por termitas en el bambú, Costa Rica



Figura 11: Daño por hongos, desarrollo de fisuras y blanqueamiento de bambú tratado con boro expuesto al sol y la lluvia después de alrededor de 10 años, Colombia



Figura 12: Pudrición del bambú en paredes, Costa Rica. Fijarse en el moho visible en la base de las paredes debido a salpicado de agua lluvia proveniente del techo

2.6.2 Protección contra el deterioro

La manera más eficaz de proteger el bambú de la descomposición es construyendo con bambú preservado y seco, y adoptando un diseño y detalles apropiados (Figura 13), de la siguiente manera:

1. Se debe mantener al bambú seco a lo largo de la vida de la estructura, esto se puede lograr:
 - Colocándolo siempre debajo de un techo impermeable con un buen volado para protegerse contra la lluvia soplada por el viento.
 - Proporcionando buenos detalles de goteo y evitando las trampas de agua, particularmente en las bases de las paredes y columnas - esto evitará la putrefacción y también disminuirá la tasa de ataque de escarabajos y termitas.
 - Protegiendo las paredes exteriores con un recubrimiento impermeable. Es probable que los edificios de bambú de un solo piso experimenten menos daños por la putrefacción que los de varias plantas, ya que generalmente un área menor de la pared está expuesta a la lluvia (Kaminski, 2013).
 - Permitiendo siempre que “respire”. Por ejemplo, cualquier cavidad en la pared debe tener orificios de ventilación para permitir la circulación del aire, especialmente en paredes externas. Además, nunca se debe colocar el bambú directamente dentro de la mampostería o en cimientos de concreto ya que no puede “respirar” y es muy probable que se pudra, incluso si el bambú está cubierto con bitumen o un producto químico similar.
2. El bambú debe ser separado de la tierra con una buena barrera, preferiblemente una losa de concreto sobre el suelo, forzando así a las termitas hacia fuera al aire libre.
3. Adquiriendo bambú preservado y seco desde un principio.

Debido al alto riesgo de ataque de termitas de madera seca y escarabajos presente en Ecuador, el bambú estructural debe ser tratado con preservante si se requiere una vida útil considerable – aunque esto aumentará ligeramente el costo inicial del bambú, reducirá el costo general durante la vida útil de la estructura.

	Sin preservación	Tratado con boro
Interior	2-6 años	30+ años
Exterior aislado del suelo	0.5-4 años	2-15 años
Exterior en contacto con el suelo	<0.5 años	< 1 años

Cuadro 2: Durabilidad aproximada del bambú hasta que necesite ser reemplazado en las regiones cálidas del Ecuador donde hay un riesgo de ataque de termitas y escarabajos.

La cantidad de tiempo que el bambú durará antes de que necesite ser reemplazado dependerá del ambiente en el que se use y del tipo de tratamiento; el Cuadro 2 presenta la durabilidad aproximada del bambú en las regiones cálidas de Ecuador e indica claramente por qué debe ser tratada, como también por qué debe usarse preferiblemente sólo en un ambiente interior seco. Hay que tener en cuenta que la variación en durabilidad depende de la presencia de termitas en áreas cercanas.

2.6.3 Tipos de preservación

Preservación tradicional

Existen varias opciones simples de preservación tradicionales las cuales son comúnmente utilizadas en los países en desarrollo (Liese y Kumar, 2003). Sin embargo, estas no son recomendadas ya que su eficacia no ha sido verificada científicamente y algunas pueden ser nocivas para los seres humanos. Sin duda se necesita investigación para determinar la efectividad de métodos de preservación tradicionales.

Preservación con boro

En casi todos los casos, el boro es el químico más adecuado para tratar el bambú (Liese y Kumar, 2003), y tiene un buen historial (Kaminski, 2013). El boro es barato lo que hace que su aplicación sea asequible, además de esto es muy eficaz. Sin embargo, debido a que es soluble los elementos tratados con boro no se pueden utilizar en exteriores, es decir, donde se exponen a la lluvia. El boro está ampliamente disponible en Ecuador como un fertilizante, sólo necesita ser disuelto en agua.

Existen varias técnicas para aplicar el boro al bambú, entre ellas están: boucherie modificado, baño / inmersión, difusión vertical de inmersión (Environmental Bamboo Foundation, 2003) y en cámara a presión (Liese y Kumar, 2003; Kaminski et al, 2016c).

2.6.4 Resumen de recomendaciones de diseño para durabilidad

La Figura 13 proporciona un resumen de las recomendaciones clave para diseñar y detallar una vivienda de bambú para mayor durabilidad.

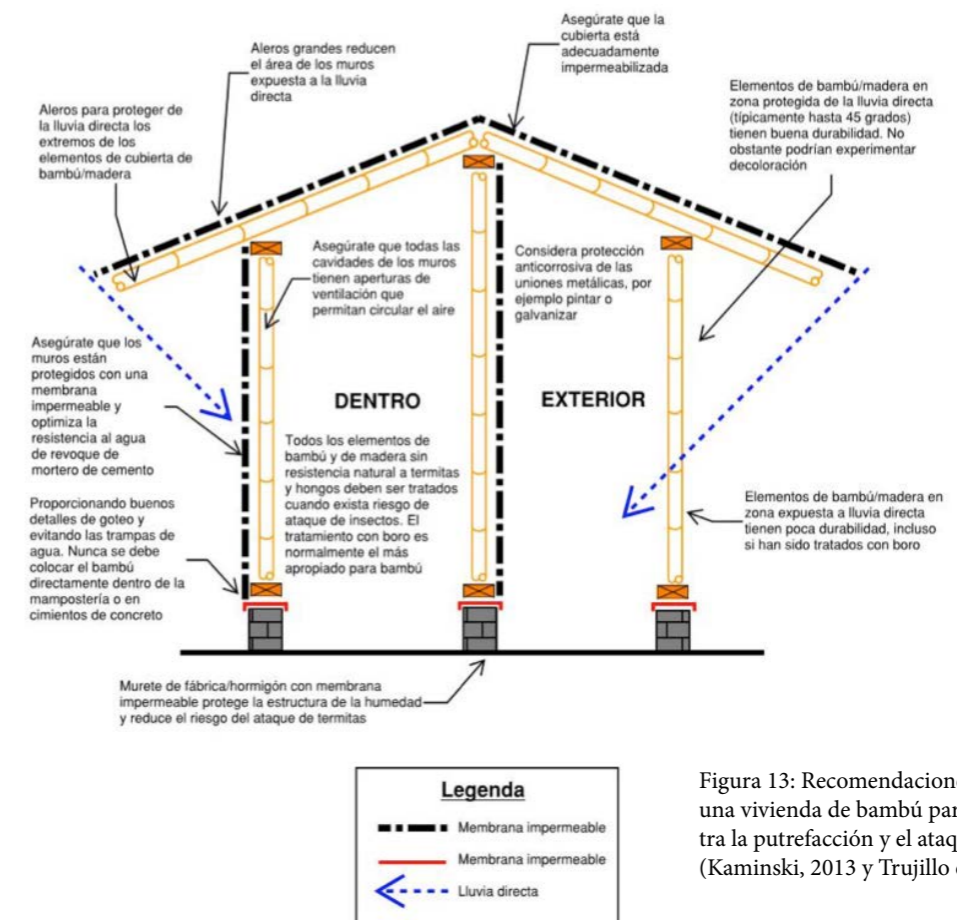


Figura 13: Recomendaciones para detallar una vivienda de bambú para proteger contra la putrefacción y el ataque de insectos (Kaminski, 2013 y Trujillo et al., 2013)

2.7 Garantizar una construcción de calidad

Una mano de obra calificada es esencial para garantizar estructuras de calidad. En el país existen muy buenos profesionales con experiencia en construcción con bambú. Se los podría denominar carpinteros especializados en estructuras de bambú. Si bien este grupo es reducido, el conocimiento está ahí y puede ser difundido.

Es importante apoyar el desarrollo del conocimiento práctico y teórico sobre la construcción con bambú con el fin de contar con una mano de obra bien preparada al momento de construir.

2.8 Estudio de caso de una vivienda de bambú con técnicas modernas

Un sistema de construcción en bambú altamente recomendado es el “bahareque encementado” (Figura 14). El bahareque encementado es una forma constructiva vernácula mejorada, que utiliza el sistema estructural tradicional del bahareque y lo mejora por medio de materiales, conocimiento y técnicas constructivas modernas. El bahareque encementado generalmente consiste en: cimentación de concreto (hormigón) reforzado soportando un sobre-cimiento de mampostería reforzada o confinada sobre el cual se construye un esqueleto estructural de bambú y/o madera. Una matriz orgánica de caña, bambú de diámetros pequeños, tablillas de bambú o esterilla se fija por medio de clavos a la armadura; una malla de gallinero se clava a la matriz para que actúe como refuerzo. Los muros se terminan con un revoque (o enlucido) de mortero de cemento para formar muros sólidos. El techo (o cubierta) se construyen normalmente de tejas de fibro-cemento o de barro (arcilla).

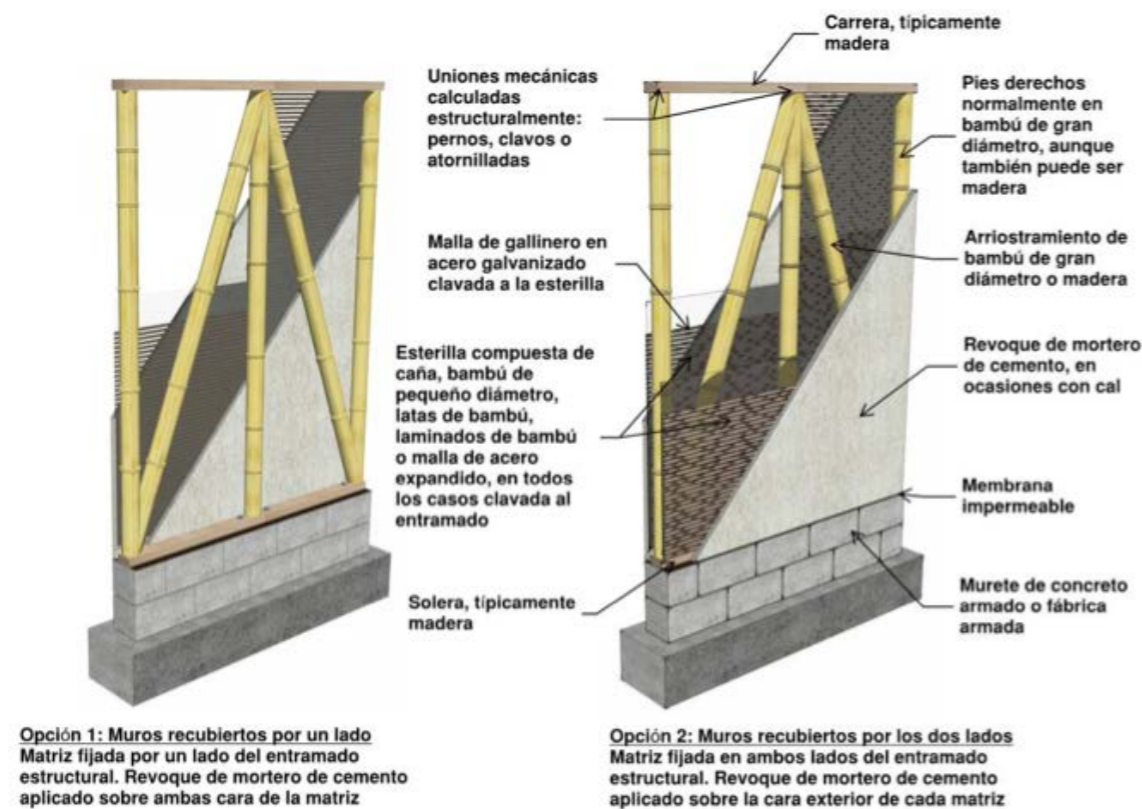


Figura 14: Características de una vivienda moderna de bahareque encementado bien diseñada: detalles del sistema de muros.

El bahareque encementado ha sido utilizado exitosamente en varios países alrededor del mundo, incluyendo: Costa Rica, Colombia, Ecuador, El Salvador y Las Filipinas (Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20). Cuando se diseña y construye correctamente, ha demostrado que puede ser usado para vivienda asequible, segura, durable y resistente a las amenazas ambientales. El bahareque encementado tiene un potencial importante en muchos países del mundo en los que crezca el bambú, especialmente Ecuador, y es particularmente apropiado para unidades de vivienda de uno y dos pisos.



Figura 15: Casas de bahareque encementado en Costa Rica



Figura 16: Casas de bahareque encementado en Colombia



Figura 17: Casas de bahareque encementado en Colombia



Figura 18: Casas de bahareque encementado en Colombia



Figura 19: Casas de bahareque encementado en El Salvador (antes de aplicar el revoque de mortero)



Figura 20: Casas de bahareque encementado en El Salvador

La vivienda de bahareque encementado es segura de construir y utiliza químicos no tóxicos, se pueden construir por los propios beneficiarios, no requiere mucho mantenimiento y ha demostrado ser muy popular con beneficiarios en muchos estudios. Puede brindar una vivienda higiénica, segura, durable y térmicamente confortable.

INBAR publicó recientemente una guía de diseño para bahareque encementado (Kaminski et al., 2016d), que puede encontrarse en su sitio web <http://www.inbar.int/>. Más información sobre bahareque encementado ha sido publicada por Kaminski et al. (2016a).

3. Disponibilidad de bambú en el Ecuador

3.1 Producción de bambú

El bambú nativo *Guadua angustifolia*, y otras especies introducidas como el *Dendrocalamus asper* y a menor escala el *Phyllostachys aurea* pueden ser un material que utilizado en forma técnica es ideal para construcciones sismo-resistentes.

La comercialización del bambú inicia en la finca donde los productores la venden “en pie” o “cortada a filo de carretera”, los agricultores que valoran el bambú en su finca tanto por sus usos, valor comercial o servicios ambientales principalmente la protección de fuentes de agua; prefieren ser ellos los que cortan su caña para comercializarla a “filo de carretera”, de esta forma obtienen un mejor precio (aproximadamente \$0,5 más por cada troza), además de que garantizan el cuidado de su bambusal, pues según ellos expresan cuando un comprador se encarga de cosechar sobreexplota la mancha y no realiza adecuadamente los cortes, por lo que el bambusal tarda más tiempo en recuperarse. Estos compradores transportan el recurso a centros de acopio en las ciudades de la región sierra y costa, o la llevan a los depósitos en Huaquillas para ser vendidas en Perú a un mejor precio.

3.1.1 ¿Dónde está el recurso?

El recurso bambú se encuentra distribuido en todo el país, los principales bambúes utilizados para la construcción (*Guadua angustifolia* y *Dendrocalamus asper*), crecen hasta los 1500 msnm (rango ideal para plantaciones de 400 hasta 1200 msnm).

La caracterización de los productores de bambú en el país es muy diversa la figura 21 indica una clasificación de los productores de acuerdo al volumen de producción. Como podemos observar en la mayoría de las provincias incluyendo Manabí la oferta de bambú está en manos de los pequeños productores.

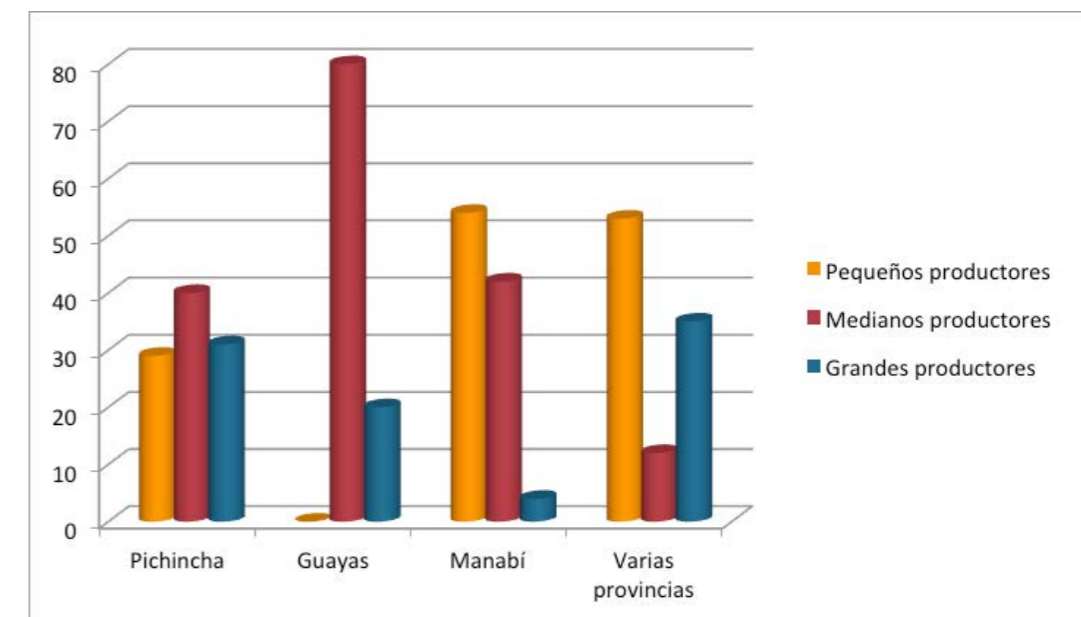


Figura 21: Tipo de productores de bambú por provincial. Fuente: Alfaro (2010), Rojas (2013), Rojas (2014)

Ecuador no posee un registro de superficie exacta de bambú en su territorio, pero se han realizado varias investigaciones principalmente de las dos especies más utilizadas para construcción que son *G. angustifolia* y *D. asper*. A partir de las investigaciones mencionadas Añazco 2015 indica que en el país hay un total de 14.984, 59 ha de bambú, de las cuales 8'908,43 ha (60%) corresponde a manchas naturales; 6'076,16 ha (40%) son plantaciones, de estas *G. angustifolia* abarca el 67.69%, *D. asper* el 32.17% y el restante 0.14% especies como *B. vulgaris* y *P. aurea*.

Es importante señalar que la superficie de bambú que se expresa, no contempla especies bambú nativas como las del género *Chusquea* (con 18 especies presentes en el país), la cual a pesar de no tener una gran importancia comercial es ampliamente utilizado en zonas rurales de la sierra para construcción de infraestructura agropecuaria y servicios eco sistémicos. Se estima que al incluir las demás especies nativas la cifra señalada de superficie de bambú, fácilmente se duplicaría.

3.1.2 ¿En qué condiciones se encuentra el recurso luego del terremoto?

Según entrevistas realizadas a productores de bambú de las principales zonas productoras en Manabí, como San Plácido y 24 de Mayo, la demanda de bambú se ha incrementado considerablemente, esto ha incidido en el incremento del precio del bambú sobre todo en los centros de abastecimiento y en menor incidencia a nivel de finca.

Como mencionamos anteriormente cuando la caña es comercializada en pie los intermediarios cosechan todos los tallos, generando un deterioro del bambusal, además de que muchos de los tallos son tiernos y no poseen aún las propiedades físico químicas para su durabilidad y resistencia estructural.

Estudios realizados evidencian a través de imágenes satelitales una reducción del 4% del área de bambú durante los últimos 5 años en la cuenca del río Portoviejo. Un posible incremento de la demanda requiere de una intervención técnica para que la cosecha no afecte al bambusal.

Según los productores de bambú entrevistados que realizan un manejo técnico a su plantación y venden bambú preservado mencionan que la demanda por su producto no ha crecido ya que existe un desconocimiento acerca del uso apropiado del bambú para construcción por lo que muchas personas compran el bambú fresco y sin preservar en depósitos que no garantizan la madurez necesaria para ser utilizada en la construcción.

A diferencia del exhaustivo control por parte de las autoridades, estos productores manifiestan que en zonas como Pedro Vicente Maldonado varios intermediarios han comprado bambusales y han realizado una tala raza, sin que haya un control por parte de las autoridades.

3.1.3 ¿Qué disponibilidad tienen los bambusales para producir materia prima garantizada para la reconstrucción?

La cantidad de bambú existente en el país tiene la capacidad suficiente para abastecer de materia prima a los proyectos de construcción planificados, tomando en cuenta que se pueden obtener alrededor de 500 tallos por hectárea por año.

Considerando que la demanda de bambú para otras actividades anual es de aproximadamente 20'903.800 de tallos (cuadro 3) este valor incluye la demanda constante para construcción a nivel nacional.

Sector	Nº de cañas enteras	Nº de hectareas
1.- Bananero	5'544.000	4.620
2.- Tabacalero	268.400 <i>G. angustifolia</i> 5'372. 400 <i>Gynerium</i> <i>sagittatum</i>	223.67 <i>G. angustifolia</i> 1074.48 <i>Gynerium sagittatum</i>
3.- Vivienda (solo Hogar de Cristo)	199.000	166
4.- Depósitos de caña	4'800.000	4.000
5.- Comercialización con Perú y otros	7200.000	600
6.- Consumo local	4'000.000	3.333,33
Total	20'903.800	14.017, 48

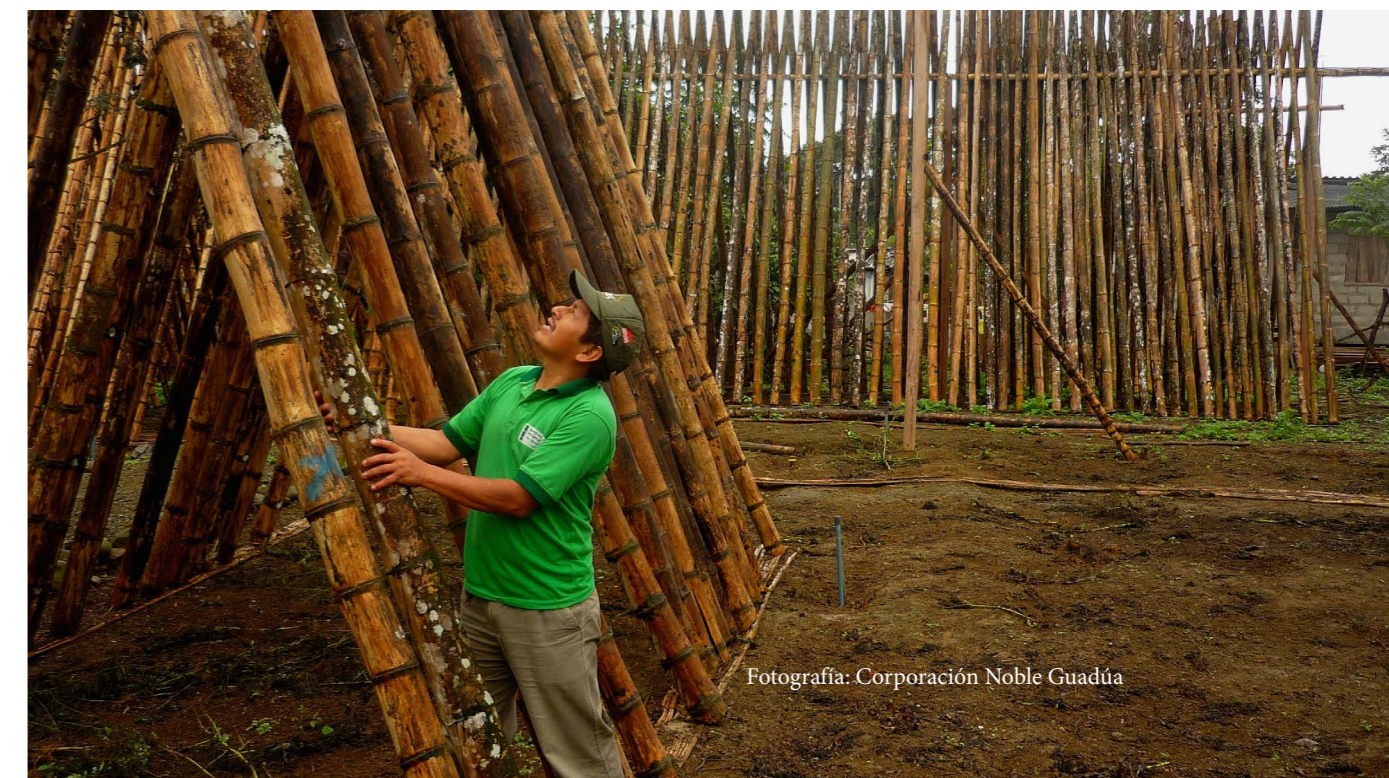
Cuadro 3. Demanda de bambú en Ecuador. Fuente: Añazco, 2015

Tomando en cuenta la superficie registrada de bambú bajo parametros técnicos de cosecha existe una disponibilidad anual de 7'500.000 tallos de guadua por año. Esta cifra indica que existe una demanda insatisfecha que esta generando una sobreexplotación de los bambusales tanto naturales como de plantaciones.

El cuello de botella no está en la producción sino en la post-cosecha ya que para que un culmo de bambú sea apto para la construcción requiere de un proceso de preservación y secado lo cual toma alrededor de un mes y medio, además del tiempo actualmente no existen suficientes centros de preservado capaces de producir bambú apto para la construcción y satisfacer la creciente demanda.

3.1.4 ¿Qué acciones se pueden realizar para mejorar las existencias de bambú?

A pesar de la demanda insatisfecha los pocos productores existentes que realizan un manejo técnico a su bambú indican que les es difícil comercializar su producto en comparación a un tallo de bambú sin garantía de calidad adquirido en un depósito; un tallo de bambú preservado y seco listo para construir puede costar hasta 6 veces más debido al costo de la mano de obra, la infraestructura necesaria, los bajos volúmenes de producción y el precio de los preservantes utilizados para su inmunización.



Fotografía: Corporación Noble Guadúa

Debido a la diferencia de precios las personas que no tienen experiencia en construcción con bambú prefieren utilizar el material más barato sin considerar el riesgo que implica desconocer la calidad del material utilizado en una construcción. Eso perjudica además a la conservación de los bambusales ya que el precio que paga un intermediario promedio es muy bajo por lo que muchos agricultores optan por cambiar sus bambusales por otro cultivo más rentable.

Por esta razón es importante trabajar en programas de promoción masivos que enseñen a las personas las características que debe tener un bambú apto para la construcción. Además es importante formalizar el sector para poder trabajar de mejor forma en el mapeo de bambusales y control sobre los precios del producto a lo largo de la cadena de valor. Una vez que los productores vean los beneficios de sembrar bambú y manejar técnicamente sus plantaciones el área plantada incrementará.

3.1.5 ¿Cuál es la capacidad proyectada para los próximos años?

Como hemos observado anteriormente la creciente demanda y la tala indiscriminada ejerce una fuerte presión sobre los bambusales principalmente en las provincias del litoral. Si no se toman medidas que formalicen el sector y mejoren los canales de comercialización principalmente a nivel local, el área de bambú en el país se reducirá.

En la región amazónica por el contrario existen grandes áreas de bambú *G. angustifolia* que no han sido explotadas ni han recibido ningún tipo de manejo, principalmente por la distancia que hay hasta las provincias costeras donde existe mayor demanda.

La aprobación de la norma de construcción, según los especialistas, incrementará considerable la demanda y el precio, por lo que es importante realizar un trabajo técnico para incrementar el rendimiento en cada eslabón de la cadena donde aparecen los cuellos de botella: manejo, preservado y el secado.

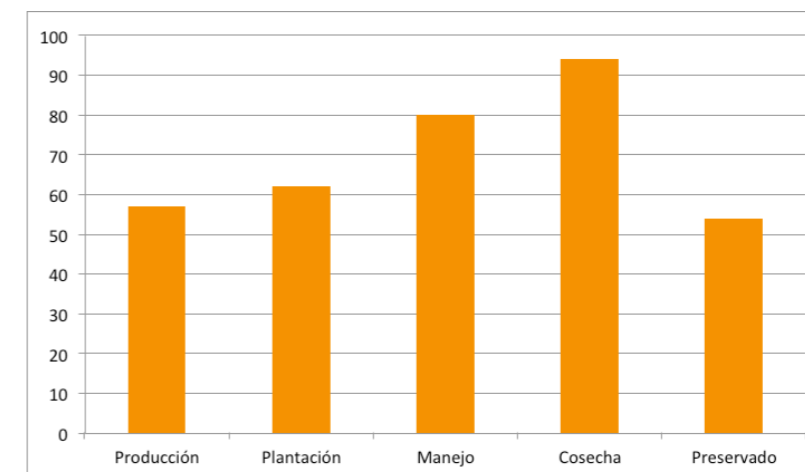
3.1.6 ¿Cuáles son los actores de este circuito?

Según Añazco 2015, la comercialización es analizada como un “sistema” donde interactúan un ecosistema denominado “bambusales naturales” y otro agro ecosistema conocido como plantación. En estos dos espacios intervienen cinco actores macro: productor, intermediario, transportista, centros de acopio y consumidor final.

Cada uno de ellos presenta características y canales de comercialización distintos de acuerdo a las condiciones de la zona del país en la que se encuentra o de acuerdo al mercado meta.

El sector bambú es una gran fuente de plazas de trabajo en la actualidad, según Añazco 2015 a nivel nacional existen aproximadamente 600000 personas involucradas directamente en el sector, en el cuadro 4 podemos visualizar que porcentaje de estos actores participan en cada eslabón de la cadena de comercialización del bambú.

A pesar de la demanda insatisfecha los pocos productores existentes que realizan un manejo técnico a su bambú indican que les es difícil comercializar su producto en comparación a un tallo de bambú sin garantía de calidad adquirido en un depósito; un tallo de bambú preservado y seco listo para construir puede costar hasta 6 veces más debido al costo de la mano de obra, la infraestructura necesaria, los bajos volúmenes de producción y el precio de los preservantes utilizados para su inmunización.



Cuadro 4: Porcentaje de mano de obra utilizada en la cadena de valor de la *G. angustifolia*. Fuente: Añazco 2015

3.1.7 ¿Cuáles son las acciones para incrementar la disponibilidad de bambú preservado y seco?

La disponibilidad de bambú preservado y seco como se mencionó anteriormente es muy limitada en comparación a la demanda, a pesar de esto las empresas que lo producen manifiestan que por desconocimiento las personas prefieren comprar bambú fresco y muchas veces tierno en los depósitos.

Las estrategias van en dos direcciones: la primera tiene que ver con la posibilidad de incrementar los centros de procesamiento y preservado y la segunda el de incentivar un manejo técnico de los bambusales existentes, acompañado de un plan de forestación que incremente las hectáreas de esta especie con criterios de aprovechamiento sostenible.

La formalización del mercado y generar conciencia acerca de la importancia de la calidad del bambú para construcción. Incrementará la demanda de bambúes manejados técnicamente.

Los altos costos de importación de preservantes utilizados pueden ser disminuidos si se promueve la asociatividad para buscar oportunidades, por ejemplo la compra de estos insumos, que pueden ser disminuidos a través de la adquisición de mayores volúmenes.

3.1.8 ¿Cómo se distribuye el precio entre los actores?

El precio del bambú a nivel de finca se ha mantenido fijo por más de 6 años, los intermediarios pagan \$ 1 por caña cortada, en el caso de los productores que manejan sus manchas y entregan su producto directamente a centros de preservado obtienen un mejor precio por su producto. Los precios en los depósitos tienen un comportamiento estacional ya que el costo de extracción se incrementa en la época lluviosa, con una variación entre \$3,25 y \$3,50, de acuerdo con los propietarios de depósitos e intermediarios entrevistados.

La demanda se incrementó considerablemente los primeros días después del terremoto ya que el bambú fue ampliamente utilizado para la construcción de refugios y apuntalamiento de viviendas que sufrieron daños. En los depósitos pequeños de grandes ciudades en la zona de desastre, se registraron incrementos de hasta \$1 por tallo.

Cabe anotar que la mayoría de los depósitos se dedican también a la comercialización de madera, la cual también tuvo un alto incremento en su demanda, pero a diferencia del bambú el recurso en las provincias afectadas es escaso.

Desde el punto de vista ambiental el bambú es un recurso útil para reducir la deforestación de otras especies. En el caso de plantaciones manejadas el precio a nivel de finca es de aproximadamente \$3 dólares, mientras que, el precio del bambú preservado y seco oscila entre \$1,25 y \$2 por metro lineal de bambú.

Para romper con el círculo en el que se encuentra el bambú, hay la necesidad de trabajar en todos los eslabones y con todos los actores de la construcción, privados y públicos. Las carencias de una sola etapa del proceso pueden afectar todas las siguientes.

Una acción concreta para romper con esta tendencia y mejorar la cadena productiva es “construir” escenarios demostrativos con tecnología apropiada y materiales de calidad. Frente a esto gobiernos como el de Pichincha, Napo, Santo Domingo de Los Táchilas, Península de Santa Elena, Manabí y Esmeraldas, están cambiando de postura, adoptando medidas que permitirán un uso diverso en distintos campos. Por otro lado, algunas empresas han invertido en áreas de cultivo mientras que otras manifiestan el interés en la fabricación de productos con valor agregado como el papel o la elaboración de laminados de bambú por ejemplo.

Es importante detectar y comunicarse con todas las iniciativas, comunidades, técnicos, particulares, profesionales, instituciones, etc. que hoy en día se encuentran relacionados o interesados en el bambú porque son primordiales en una acción de mejora global de su aplicación.

“Para utilizar la guadúa, con fines productivos y ecológicos, podemos manejar adecuadamente los bosques de bambú para mejorar su rendimiento o hacer cultivos especialmente para estos fines. En un bosque de guadúa manejado, se pueden cosechar culmos de 4 a 6 años de edad, mientras que en un cultivo, se recomienda a cosechar entre 5 a 7 años. Se pueden obtener hasta 1,400 culmos por hectárea cada año. Con una planificada administración del guadua, habrán cosechas continuas sin tener que resembrar...” “Es así, que la disponibilidad de la guadúa junto con su calidad y dimensión la hacen un recurso con gran potencial para la fabricación de cientos de productos...”

Si bien es cierto el bambú es un PRODUCTO FORESTAL NO MADERABLE, sus productos son igual que la madera; en la industrialización de tableros, madera de alta densidad, vigas, laminados de bambú se someten a una serie de procesos donde se dan intervenciones que potencializan su resistencia y propiedades físico-mecánicas. Se crea entonces mediante la tecnología moderna madera-bambú mejores propiedades mecánicas y mayor durabilidad. Permitiendo abrir nuevos campos de uso para un desarrollo sostenible del ambiente.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Fomentar buenas prácticas (incentivar, documentar, difundir)

En Ecuador existen estructuras antiguas que aprovechan el bambú como un material estructural. También existen prácticas de arquitectos contemporáneos especializados en el diseño y construcción de estructuras de bambú. Es importante dar a conocer las buenas prácticas, históricas y nuevas, para el beneficio del sector de la construcción.

4.2 Formalizar la construcción

Formalizar los procesos de construcción en las áreas urbanas es necesario para garantizar el bienestar de los ciudadanos. Por ejemplo, es muy común ver extensiones sobre estructuras existentes que crean una situación de riesgo por no ser debidamente estudiadas y planificadas.

En las áreas rurales se debe buscar la manera de mejorar las prácticas constructivas. Esto puede traer beneficios como mejorar la seguridad estructural de las viviendas, prolongar la vida útil de la vivienda previniendo el desperdicio de recursos (materiales y económicos). Está claro que zonas rurales pueden ser de difícil acceso, por lo cual se debe buscar una estrategia que se adapte a esta realidad. Por ejemplo capacitar para la construcción, referencia (iniciativa de Shelter Cluster – ver Apéndice 1).

4.3 Cultura del mantenimiento

Lamentablemente la importancia del mantenimiento de las estructuras es generalmente subestimada. Esto puede ser una herencia de productos industrializados que se promocionan como libres de mantenimiento. En cualquier caso si alguna vez hubo una cultura del mantenimiento, se ha ido perdiendo en los tiempos modernos. El mantenimiento es clave para garantizar una larga vida útil de las estructuras de bambú. Pero el mantenimiento no es solo importante para la durabilidad de las estructuras, también es un mecanismo que ayuda a mantener el conocimiento sobre las técnicas utilizadas como una memoria viva.

La frecuencia del mantenimiento depende del grado de exposición de la vivienda frente a situaciones climáticas: influencia solar, humedad, viento, salinidad, desgaste de la película protectora y del nivel de exigencia estructural de los culmos. Para garantizar la durabilidad de la construcción es necesario controlar el estado de la estructura a través de la inspección de presencia de afectaciones a causa de: hongos, termitas, humedad, aplastamiento, fisuras, entre otros; y de ser necesario, reemplazar los elementos estructurales afectados.

4.4 Preparación académica y práctica para mano de obra calificada

Si bien existen en el Ecuador un grupo de profesionales especializados en el diseño y construcción con bambú, este grupo es actualmente reducido en relación al potencial volumen de construcción. Edificaciones de calidad necesitan mano de obra calificada que conozca el material y sepa cómo trabajarlo para llegar al resultado deseado.

4.5 Mejorar implementación de las normas de construcción

Cuando las normas de construcción son aplicadas ayudan a garantizar un producto seguro y de acuerdo a estándares de calidad. Mejorar su implementación implica que los arquitectos, ingenieros, y constructores las conozcan y sepan aplicarlas correctamente. Además de esto es importante que haya algún tipo de verificación no solo del diseño en papel pero también de la obra construida.

4.6 Garantizar un material de calidad a pie de obra

Para tener una estructura segura y durable se necesita buen material. Conforme se desarrolle una industria de producción de bambú para la construcción se deberá garantizar que los productos ofrecidos cumplan con estándares de calidad. Las características que el bambú debe tener para ser considerado apto para la construcción están descritas en la NEC-SE-GUADUA.

Mientras que algunas de las características de material apto para construcción pueden ser controladas a pie de obra; otras pueden resultar imposible de diferenciar en ese momento. Por ejemplo el tipo de secado y tipo de tratamiento dado pueden resultar difícil de verificar. Un sistema de certificación con controles cíclicos en las plantaciones y centros de procesamiento de bambú podría ayudar a formalizar el cumplimiento de estándares de calidad. Es decir el control de calidad debería existir en ambos procesos: de producción y construcción.

4.7 Resumen de hallazgos a ser considerados

- Ingenieros y arquitectos de la región se beneficiarían de una comprensión más amplia de criterios de diseño sísmico y buenas prácticas con bambú.
- Mejorar la aplicación de los códigos de construcción y un mejor control del uso de sistemas constructivos serían de gran beneficio para la región, garantizando la calidad del diseño y de la construcción de edificios.
- Constructores (albañiles y maestros) se beneficiarían de la formación en la aplicación de materias primas locales.
- La población se beneficiaría de un recordatorio de la importancia del mantenimiento de sus viviendas, especialmente si la casa utiliza la madera o bambú.
- La formalidad de la cadena puede beneficiar a los productores que manejan técnicamente el recurso.
- Nuevas fuentes de trabajo para las zonas afectadas se incrementarían.
- Viviendas seguras y confortables hechas con materias primas locales pueden impulsar la innovación de sistemas constructivos sismo-resistentes.

5. Lectura adicional

Guía de Shelter Cluster

El Shelter Cluster es la entidad coordinadora del Sector de Vivienda en Ecuador, liderada por el MIDUVI, apoyada por la Federación Internacional de la Cruz Roja (FICR) y con 16 agencias participantes preparadas e interesadas en apoyar las actividades de asistencia de vivienda temporal y de emergencia en las áreas afectadas.

En un esfuerzo por dar una respuesta organizada frente al terremoto, el Shelter Cluster trabajó en coordinación con los actores de vivienda a fin de que las personas que necesitan asistencia de refugio reciban ayuda rápida y apoyo adecuado.

Principios y detalles constructivos destinados a profesionales y no profesionales de la construcción fueron desarrollados para apoyar una cultura constructiva mejorada y para evitar que se reproduzcan errores en el proceso de reconstrucción, incluyendo la construcción en bambú, en colaboración con INBAR. Más información sobre otras técnicas constructivas se pueden encontrar en: <http://sheltercluster.org/response/ecuadorearthquake-2016>. En el apéndice, presentamos el resultado de este trabajo conjunto, enfocado en guadúa y bambú.

Información sobre bahareque encementado

Información sobre el sistema constructivo de bahareque encementado se puede encontrar en línea en www.inbar.int y ha sido publicada por Kaminski et al. (2016a y 2016d).

Guías técnicas sobre diseño con bambú

Una serie de artículos sobre diseño con bambú rollizo han sido publicados recientemente en la revista periódica *The Structural Engineer* (Kaminski, 2016b y 2016c). Próximamente se publicarán tres artículos más sobre el diseño de elementos y conexiones.

Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado

Este código de construcción publicado recientemente proporciona orientación sobre el diseño de estructuras con bahareque encementado (INBAR 2015).

Manual de construcción sismo-resistente para viviendas de uno y dos pisos con bahareque encementado

Esta guía ilustrada proporciona orientación para el diseño, capacidad de muros de corte, y ejemplos de detalles. Es útil para entender conceptos y detalles. (Prieto et al., 2002).

Código NEC-SE-Guadua – Estructuras de Guadua (GaK)

Esta normativa ecuatoriana que está a punto de ser publicada presenta en detalle métodos para el diseño de los elementos de bambú, los tipos de uniones y los detalles del bahareque encementado (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, en prensa).

Manual de Construcción: Construir con Bambú (caña de guayaquil). Tercera Edición. INBAR

Esta cartilla presenta paso a paso, a través de gráficos y fotografías, como construir con *Guadua angustifolia*, aplicando la Norma E.100 Bambú de Perú, de una manera técnica y eficiente para contar con edificaciones sismorresistentes, confortables, seguras y durables.

6. Referencias

Añazco Romero M. (2015) Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*. INBAR, Quito

Añazco Romero M. (2013) Proyecto “Optimización de viviendas de bajo costo de bambú, una estrategia para adaptarse al cambio climático”. INBAR, Quito

Añazco Romero M. (2014) Estudio de Vulnerabilidad del Bambú al Cambio Climático en las regiones costeras de Ecuador y Perú. INBAR-EU-CFC, Quito

Barnet Y. y Jabrane F. (2013) Estudio de vulnerabilidad de las viviendas de bambú al cambio climático en el norte del Perú: Optimización de las viviendas del norte del Perú con el uso del bambú. Unión Europea y INBAR, Quito

BRE (2003) Recognising wood rot and insect damage in buildings, 3rd edition (BR 453). Bracknell, UK, BRE

Environmental Bamboo Foundation (2003) Vertical soak diffusion for bamboo preservation. [en línea]. Recuperado de: <http://www.bamboocentral.org>. (Consulta Septiembre 2016)

Franco G., Stone H., Ahmed B., Chian S., Hughes F., Jirouskova N., Kaminski S., López J., van Drunen N. y Querembás M. (en prensa) The April 16 2016 MW7.8 Muisne Earthquake in Ecuador – Preliminary Observations from the EEFIT Reconnaissance Mission of May 24 - June 7. En 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, Santiago, Chile, January 2017

INBAR (2013) El bambú, una alternativa innovadora para la diversificación y generación de ingresos locales rurales: promoviendo la gestión de conocimiento sobre bambú en Ecuador, Colombia y Perú. INBAR-EU-CFC, Quito

Kaminski S., Lawrence A., Trujillo D. y King C. (2016c) Technical Note Series: Structural use of bamboo – Part 2: Durability and Preservation. En *The Structural Engineer*, October 2016, pp. 38-43

Kaminski S., Lawrence A. y Trujillo D. (2016d) INBAR Technical Report No. 38: Design Guide for Engineered Bahareque Housing. INBAR, Beijing

Liese W. y Kumar S. (2003) INBAR Technical Report 22: Bamboo Preservation Compendium. INBAR, Beijing

López M., Bommer J. y Méndez P. (2004) The seismic performance of bahareque dwellings in El Salvador. En 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada. Paper No. 2646

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (en prensa) Código NEC-SE-Guadua – Estructuras de Guadua (GaK). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Quito

Morán J. (2003) El Bambú en la industria de la construcción. Seminario-Taller Construcciones sismo resistentes de bambú. El bambú en la industria de la construcción. Guayaquil, Ecuador

Morán J. (2012) Estudio de Vulnerabilidad de la Vivienda de Bambú. INBAR, Quito

Morán J. (2014) Estudio de la Vulnerabilidad de la Vivienda de Bambú al Cambio Climático en la Costa del Ecuador. INBAR, Quito

OMS (2016) Nota descriptiva 340: La enfermedad de Chagas. [en línea]. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs340/es/> (Consulta Noviembre 2016)

Prieto S., Mogollón J. y Farbiarz J. (2002) Manual for earthquake-resistant construction of one and two storey houses with cemented bahareque. En *Proceedings of the International Workshop on the Role of Bamboo in Disaster Avoidance*. Guayaquil, Ecuador, 6-8 August 2001. pp.149-166

Shelter Cluster (2016a) Ecuador Terremoto 28 de julio 2016 - informe a tres meses. [en línea] Recuperado de: https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/160728_informe3m_final_es.compressed.pdf (Consulta Noviembre 2016)

Shelter Cluster (2016b) Mensajes claves [en línea] Recuperado de: http://sheltercluster.org/sites/default/files/docs/160904_sc_miduvi_mensajes_claves_2.pdf y https://www.sheltercluster.org/sites/default/files/docs/160811_sc_mensajes_claves_2_soporte.pdf (Consulta Noviembre 2016)

Trujillo D., Ramage M. y Chang W. (2013) Lightly modified bamboo for structural applications. En *Proceedings of the Institute of Civil Engineers – Construction Materials*, 166(4), pp. 238–247

INBAR (2015) Construir con Bambú, Manual de construcción. Jorge Morán Ubidia. 3ra Edición. Adaptación: Arq. Yann Barnet, Arq. Faouzi Jabrane (IVUC), Ing. Alejandro Espinoza (INBAR), Arq. Roberto Prieto Sánchez (MVCS) Lima – Perú

INBAR (2015) Norma Andina para diseño y construcción de casas de uno y dos pisos en bahareque encementado. INBAR, Beijing

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2015) Censo de Población y Vivienda 2010. [en línea]

Recuperado de: www.inec.gob.ec, 153 (Consulta Noviembre 2016)

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2015) Pobreza en Ecuador cierra el 2014 con una caída de 3,06 puntos. [en línea] Recuperado de: www.ecuadorencifras.gob.ec/pobreza (Consulta Noviembre 2016)
Janssen J. (2000) Technical Report 20: Designing and Building with Bamboo. INBAR, Beijing

Kaminski S. (2013) Engineered Bamboo Houses for Low-Income Communities in Latin America. En *The Structural Engineer*, October 2013, pp.14-23

Kaminski S., Lawrence A., Coates K. y Foulkes L. (2016a) A low-cost vernacular improved housing design. En *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Civil Engineering*: 169(5): 25–31

Kaminski S., Lawrence A. y Trujillo D. (2016b) Technical Note Series: Structural use of bamboo – Part 1: Introduction to bamboo. En *The Structural Engineer*, August 2016, pp.40-43

2A : COSECHA

Sólo se usan tallos maduros:

- de 4 a 6 años
- de color verde oscuro, los nodos apenas se ven.
- liques dispersos en el culmo



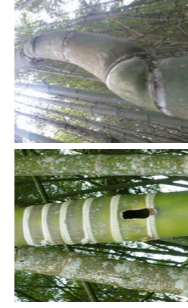
Corte de tallos y ramas:

- mejor en luna menguante y a las primeras horas del día
- los tallos seleccionados se cortan al ras del primer nodo
- hacer el corte de ramas evitanado que las fibras se desgarran
- cuidar que los extremos de los tallos no se deterioren por el arrastre



Selección de los culmos:

- sin agujeros producidos por aves e insectos
- no deben presentar bifurcaciones



2B : PRESERVACIÓN

Preservación natural o avinagrado:

- dejar la caña sobre el mismo tocón o una piedra, durante 3 semanas, dejando ramas y hojas intactas
- los almidones, azúcares y humedad, propios de la caña, se vuelven alcohol, evitando el ataque de insectos
- la caña cambia de color de verde a naranja



Preservación química:

- se realiza con cañas pre-secadas (el pre-secado se hace durante una semana como máximo)
- realizar una inmersión en sales de bórax y ácido bórico
- más eficaz, con menor costo
- más segura para el ambiente



Método:

- perforar las cañas con una varilla de acero
- lavar el tallo con materiales que no rayen la piel
- introducir las cañas en el tanque donde está el preservante
- mezcla: por cada 96 litros de agua + 2 kg de bórax + 2 kg de ácido bórico
- colocar el extremo superior del culmo cerca de la superficie del líquido para que el aire contenido salga
- sumergir en la mezcla durante 5 días a temperatura ambiente o 6 horas si se tiene una temperatura de 60°C
- sacar y colocar de forma inclinada con la base hacia arriba para que se escurra el líquido



2C : SECADO

La guadúa para la construcción debe alcanzar un contenido de humedad igual o inferior a la humedad del lugar

El secado puede hacerse al aire libre o secado al sol



Secado sobre caballete:

- apoyar las cañas sobre un caballete para aislar los culmos del contacto con el suelo
- girar diariamente las cañas para un secado uniforme (los primeros 15 días y después de manera menos frecuente)
- tiempo de secado: entre 2 y 6 meses según las condiciones climáticas



Secado y almacenamiento bajo techo:

- proteger las cañas secas del contacto directo del sol, colocando separadores para facilitar el buen flujo de aire



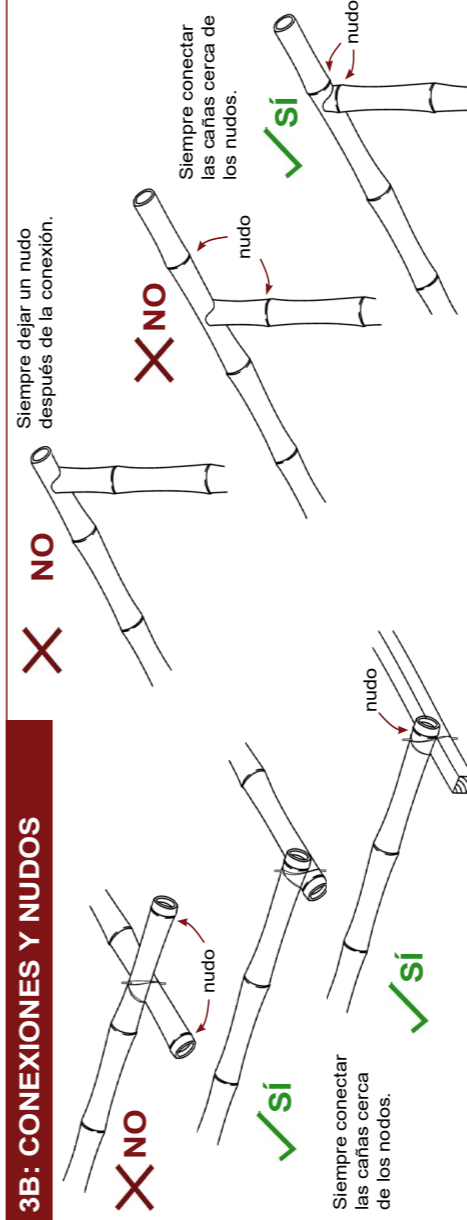
Con la colaboración de INBAR (Red Internacional de Bambú y Ratan)

3A : ELEMENTOS DE LA CASA

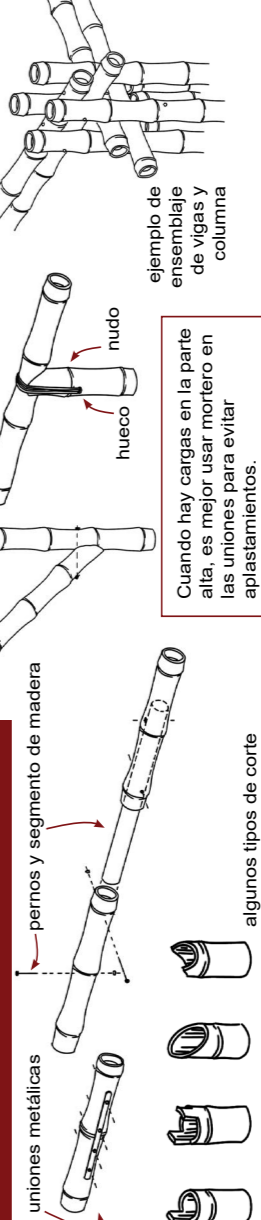


Mensajes claves y recomendaciones para auto construcción: DETALLES
3 GUADÚA : CLAVES PARA UNA CONSTRUCCIÓN DE CALIDAD

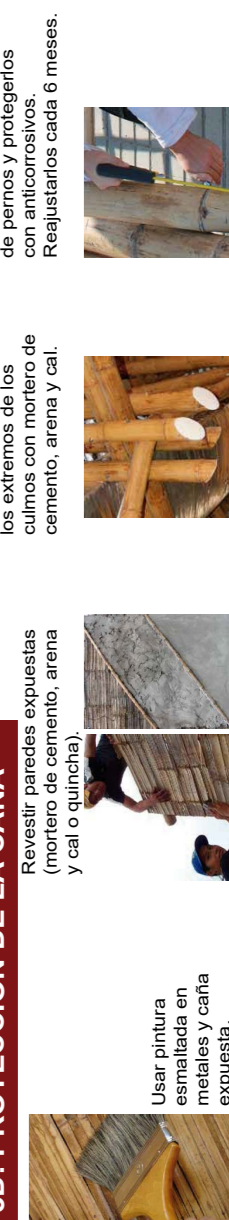
3B: CONEXIONES Y NUDOS



3C: EJEMPLOS DE ENSAMBLAJE

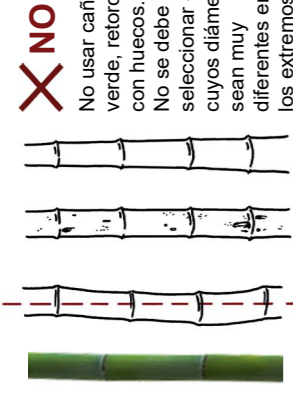


3D: PROTECCIÓN DE LA CAÑA

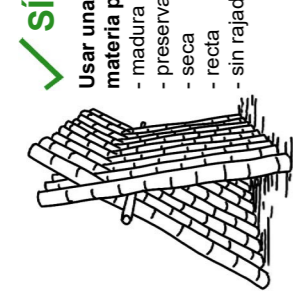


Con la colaboración de INBAR (Red Internacional de Bambú y Ratan)

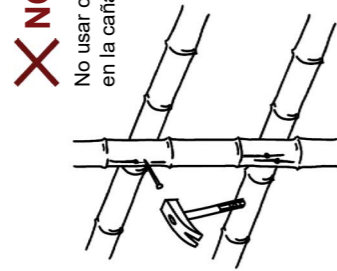
3A : CAÑA GUADÚA



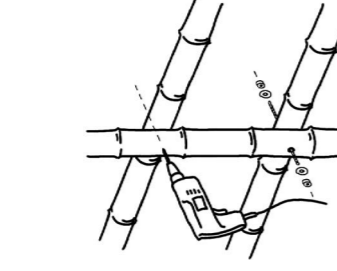
X NO
 No usar caña verde, retorcida o con huecos.
 No se debe seleccionar cañas cuyos diámetros sean muy diferentes en los extremos.



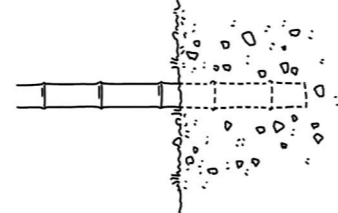
✓ SÍ
Usar una buena materia prima:
 - madura o hecha
 - preservada
 - seca
 - recta
 - sin rajaduras



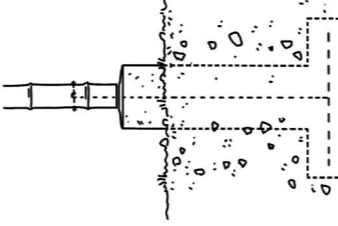
X NO
 No usar clavos en la caña rolliza.



✓ SÍ
Empernar:
 - hacer perforaciones con taladro
 - usar pernos, tarugos, arandelas, varilla enroscada
 - tapar orificios

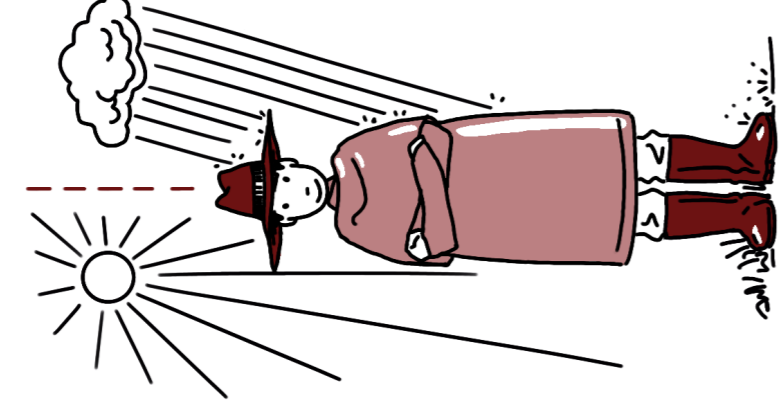


X NO
 No enterrar la caña en el suelo.

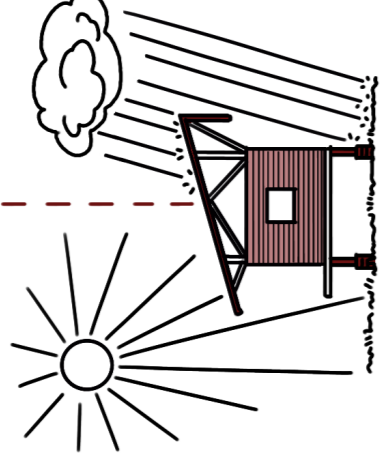


✓ SÍ
Elevar la caña sobre un cimientto:
 - resistente para soportar el peso de la casa
 - aislar de la humedad

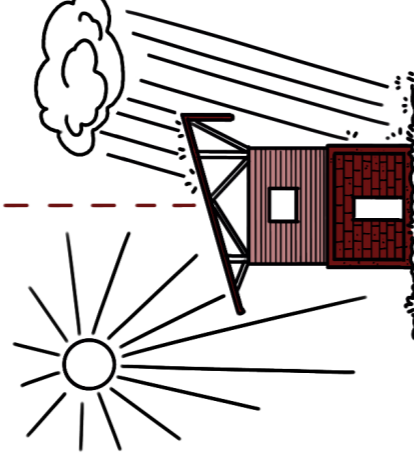
La caña debe estar protegida de la lluvia, del sol fuerte y de la humedad del suelo.
 Por eso la casa debe tener: un buen sombrero, una buena capa y buenas botas.



✓ SÍ
1. un buen sombrero:
 techos amplios.



✓ SÍ
2. una buena capa:
 paneles de caña picada, fáciles de sujetar y posibles de revestir si están expuestos.



✓ SÍ
3. buenas botas:
 cimientos para aislar de la humedad.

Con la colaboración de INBAR (Red Internacional de Bambú y Ratan)



El bambú es un material abundante en Ecuador, empleado tradicionalmente desde hace cientos de años en las zonas costeras del país, tanto para vivienda formal como informal. Con bambú se pueden construir estructuras muy sostenibles y de bajo costo para vivienda formal. Las estructuras de bambú, cuando están bien detalladas y ejecutadas, pueden emplearse para vivienda sismo-resistente, como se ha podido observar tras varios terremotos en Latinoamérica.

Esta memoria describe el potencial que el bambú tiene para ser empleado de manera más amplia en Ecuador (y en otros países) para la construcción de vivienda de bajo coste. Los temas tratados incluyen el buen comportamiento del bambú bajo cargas sísmicas, como se puede construir viviendas en bambú para ser sismo-resistentes y cómo se puede lograr que las viviendas construidas en bambú tengan larga durabilidad. También se describe la disponibilidad de existencias de bambú y cómo se podrían mejorar.



Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa Ecuatoriana

Con la colaboración de:

