

TEMA: Arquitectura - durabilidad del bambú en edificaciones.

Inspección y estado de conservación de edificaciones de bambú en el litoral de Santa Catarina - Brasil

Andrea Jaramillo Benavides. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC - Brasil) / Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE - Ecuador). E-mail: andresalome@gmail.com
Ângela do Valle. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: angeladovalle@gmail.com
Lisiane Librelotto. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: lisiane.librelotto@gmail.com

Resumen

El bambú es un material atractivo para los diseñadores que se preocupan con la sustentabilidad y dentro de este contexto, su durabilidad es aún un tema fundamental para el área de la construcción. Este trabajo es parte de la fase inicial de una investigación de doctorado en el área de Arquitectura que está siendo desarrollada en la región sur de Brasil, cuyo objetivo es estudiar el estado de integridad de edificaciones de bambú por medio de estudios de caso. Debido a la falta de una metodología consolidada para inspección y diagnóstico de construcciones con bambú, se adaptó un conjunto de procedimientos que es usual para edificaciones de madera. La primera etapa consistió en entrevistas a los diseñadores y propietarios, análisis de documentos de proyecto e informaciones disponibles sobre el proceso de construcción. Posteriormente se usaron técnicas de inspección visual no destructivas para identificar el estado de conservación interno y externo de las piezas de bambú. En los resultados se presentan las características arquitectónicas y constructivas de cada caso, los problemas patológicos encontrados, sus posibles causas y la relación, existente o no, con los detalles constructivos.

Palabras Clave: Arquitectura. Bambú. Diagnóstico. Conservación. Durabilidad.

Abstract

Bamboo is an attractive building material for designers who care about sustainability. In this context, durability is still an essential topic for construction industry. This work is part of the beginning of a PhD research in the area of Architecture that is being developed in the southern region of Brazil. Its objective is to study the state of the integrity of bamboo buildings through case studies. Faced with the absence of a consolidated methodology for inspection and diagnosis of bamboo constructions, a set of usual procedures for wooden buildings was adapted. The first phase consisted in interviews with designers and owners, analysis of available project documentation and information of the construction process. Subsequent non-destructive visual inspection techniques were used to identify the internal and external status of preservation of bamboo pieces. The results show the architectural and constructive characteristics of each case, the pathological problems encountered, their possible causes and the relationship, existing or not, with the constructive details.

Keywords: Architecture. Bamboo. Diagnosis. Conservation. Durability.

1 Introducción

La búsqueda de una Arquitectura Sustentable implica optar por materiales económicamente accesibles, socialmente aceptados y que tengan un ciclo de vida de bajo impacto ambiental. En este contexto, el bambú gana protagonismo porque es un recurso abundante en la naturaleza, de rápido crecimiento, que no precisa ser plantado de nuevo después de la colecta y cuyo procesamiento puede

ser realizado incluso con herramientas o equipos menos tecnológicos.

La sustentabilidad está directamente relacionada con la durabilidad de los materiales de construcción. Por ejemplo, en Brasil la norma de desempeño NBR 15575 (2013) presenta a la durabilidad como una de las exigencias de los usuarios relacionadas con la sustentabilidad.

La durabilidad no es una característica intrínseca de los materiales de construcción, pues depende de las interacciones del material con el ambiente en que está localizado. Por este motivo, al conocer que el bambú es un material orgánico y biodegradable, su durabilidad es un tema inquietante cuando será aplicado en la construcción, donde cada elemento constructivo tiene un requisito mínimo de vida útil que debe cumplirse y está establecido en las normativas.

Los cuidados con el bambú que será utilizado en la construcción comienzan en la plantación con el manejo de las macollas, continuando con la colecta, transporte, secado, preservación, transformación, aplicación en la edificación, uso y mantenimiento. En cada una de estas fases pueden desarrollarse actividades específicas que buscan aumentar la durabilidad del material.

Si bien ya han sido realizadas muchas investigaciones sobre la durabilidad del bambú en casi todas las fases mencionadas: manejo de las plantaciones, tratamiento y técnicas constructivas; son escasos aún los estudios sobre las condiciones de conservación del bambú que está aplicado en edificaciones en servicio.

Actualmente esta investigación es viable porque, a diferencia de años anteriores, ya existen diversas construcciones con bambú en la región sur de Brasil que tienen varios años en servicio y también poseen algún tipo de registro de las fases de proyecto y construcción.

Este trabajo presenta dos estudios de caso de edificaciones construidas con bambú en el litoral del Estado de Santa Catarina – Brasil que están en fase de uso: el primero es un caso institucional que está ubicado en la ciudad de Florianópolis, el segundo es un caso residencial localizado en Garopaba. El objetivo fue estudiar el estado de integridad del bambú en cada edificación, identificando las manifestaciones patológicas e indicando sus posibles causas y relación con los detalles constructivos.

2 Revisión teórica

Entre los trabajos que abordan el tema de sustentabilidad del uso de bambú en la Arquitectura está Sampaio (2006), que identifica dos puntos negativos del bambú en relación a la sustentabilidad: 1) los impactos socio ambientales producto del uso de tratamientos químicos y 2) las barreras culturales que no le permiten ganar espacio en relación a otros materiales más popularizados en la sociedad. Entre estas barreras culturales está el desconocimiento del bambú como material de construcción y su forma de aplicación buscando una mayor durabilidad.

Considerando la vulnerabilidad del material ante ataques de agentes bióticos, las normas de construcción con bambú (ISO 22156 2001; NSR-10 2010; Norma técnica E-100 2012; BIS 2012; NEC-SE-*Guadua* 2016) indican que el material siempre debe ser tratado antes de su aplicación. En relación a los tratamientos y métodos de aplicación existe un gran número de investigaciones, algunos ejemplos de tratamientos naturales – tradicionales y contemporáneos – pueden ser encontrados en Morán (2002), Liese e Tang (2015) y Kaur *et al.* (2016); por otro lado están los tratamientos químicos que son abordados en los estudios de Hidalgo-López (2003), Pereira e Beraldo (2008), Kleine (2010), Gnanaharan (2010) e Liese e Tang (2015). Estos autores también profundizan en los métodos de aplicación de esos tratamientos.

En relación a los tratamientos, Ghavami (2014) afirma que una durabilidad adecuada del bambú aplicado en la construcción como componente estructural es uno de los principales problemas – que aún no tiene solución definitiva – y explica la dificultad de impregnación de los fluidos de los

tratamientos en los culmos al comparar el proceso con el tratamiento de maderas, indicando que esto se debe a las diferencias anatómicas entre estos materiales.

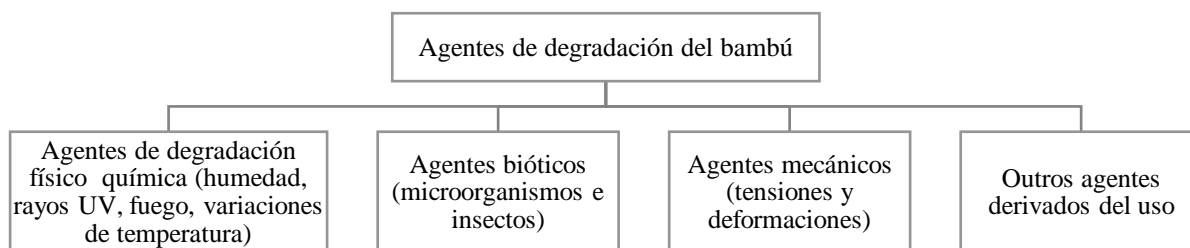
En relación al diseño arquitectónico y constructivo, publicaciones como Hidalgo-López (1981; 2003) y Morán (2005) muestran compilaciones y estudios propios sobre las posibilidades de aplicación del bambú en varios elementos constructivos, ya sea en formato rollizo, de tiras, caña picada, esteras, laminados, etc. En esos trabajos destacan las diferentes formas de utilizar el material y las especificidades de los detalles constructivos en varias regiones del mundo.

Las recomendaciones de diseño arquitectónico con bambú que se relacionan directamente con la durabilidad pueden resumirse en: uso de bambú tratado, protección de la humedad y de la exposición directa a los rayos ultravioletas. Estas indicaciones también son válidas para la fase de uso de las edificaciones, donde el mantenimiento tiene gran importancia.

John y Sato (2006) indican que la durabilidad no es una propiedad inherente a un material sino el resultado de su interacción con las condiciones del medio. En este sentido, es evidente que para el caso del bambú existen varias posibilidades sobre el origen de su deterioro en las edificaciones; principalmente considerando que hay diferentes factores que podrían influir en la conservación del material durante la fase de uso.

La degradación del bambú es causada por varios tipos de agentes, que para este estudio fueron agrupados según muestra la Figura 1. El bambú rollizo tiene más resistencia natural a la acción de estos agentes por la protección de la corteza; mientras que las latillas, caña picada, esteras y laminados sin tratamiento son más vulnerables.

Figura 1



Fuente: Elaborada por las autoras.

Las normas ISO 15686 (2012) y NBR 15575 (2013) definen a la degradación como el proceso en que una o más acciones sobre un ítem causa deterioro de al menos una de sus propiedades, reduciendo su desempeño. El origen de estas acciones es diversa: ambiente, cargas de la construcción, incompatibilidad entre materiales, efectos del uso y mantenimiento, organismos vivos, etc. Consecuentemente, con el paso del tiempo las edificaciones presentan manifestaciones patológicas aunque en su proyecto y construcción se hayan seguido las recomendaciones de manuales o normas técnicas.

En condiciones normales de uso, los agentes de degradación actúan simultáneamente sobre los componentes de la edificación y esto dificulta muchas veces la interpretación de los resultados relacionados con el origen de las manifestaciones patológicas. (JOHN y SATO 2006).

Con el objetivo de facilitar el proceso de identificación de estas manifestaciones patológicas, su análisis y solución de los problemas que las originan, Lichtenstein (1986) propuso la estructura genérica de un método que contiene tres etapas: 1) levantamiento de subsidios, 2) diagnóstico de la situación y 3) definición de la conducta. Durante la fase de levantamiento de subsidios deben ser recogidas todas las informaciones que permitan comprender los fenómenos, en la etapa de

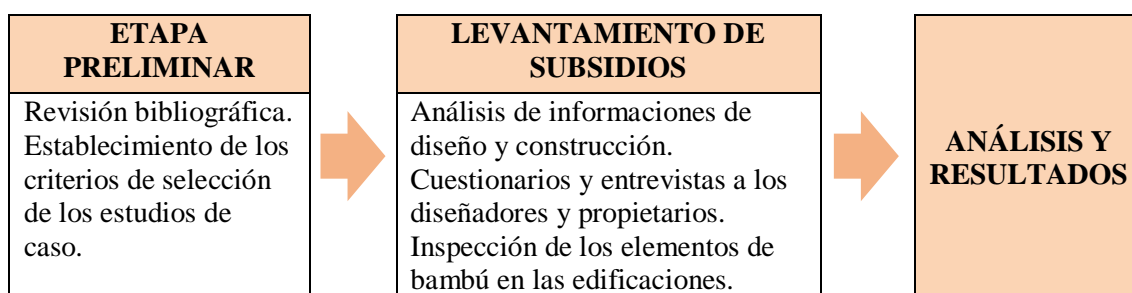
diagnóstico son determinadas las relaciones causa – efecto que caracterizan el problema patológico y, en la etapa de definición de la conducta, se decide si es necesaria alguna intervención para resolverlo.

La presente investigación está ubicada en la primera y segunda etapa de la propuesta metodológica de Lichtenstein (1986). Está basada en la identificación y análisis de las manifestaciones patológicas de edificaciones de bambú para comprender las causas que las originaron, esto permitirá optimizar la aplicación de este material y prolongar su durabilidad. Este artículo presenta los resultados parciales de la investigación, sobre los dos estudios de caso iniciales.

3 Materiales y métodos

Este trabajo tiene un abordaje cualitativo y fue realizado por medio de estudios de caso que facilitaron la observación del estado de integridad del bambú por medio de la identificación de manifestaciones patológicas en las edificaciones. La Figura 2 muestra sus etapas:

Figura 2



Fuente: Elaborada por las autoras.

3.1 Etapa preliminar

Consistió en la revisión bibliográfica y el establecimiento de los tres criterios de selección de los casos:

- Accesibilidad a la información de diseño y construcción del edificio (ya sean documentos de obra, registros gráficos u orales – entrevistas)
- Que los usuarios y propietarios de la edificación estén dispuestos a permitir las inspecciones y participar de las entrevistas y cuestionarios.
- El edificio debe tener al menos un año de uso (después que la construcción haya finalizado) y estar en uso actualmente.

La estrategia para localizar edificaciones construidas con bambú en el Estado fue entrar en contacto con la Asociación Catarinense del Bambú (BambuSC), resultando en datos de proyectistas y constructores con bambú. Posteriormente fueron contactados tres profesionales en el Estado, uno de ellos accedió a participar de esta investigación y ofreció una lista con sus obras. De esa lista fueron seleccionados los dos casos que cumplían con los criterios de selección.

3.2 Levantamiento de subsidios

En la primera parte de esta etapa se hicieron cuestionarios y entrevistas con el arquitecto y los propietarios, también se analizaron las informaciones disponibles sobre el diseño y construcción. En la segunda parte se hicieron las inspecciones de los elementos de bambú en las edificaciones.

3.2.1 Cuestionarios y entrevistas

Los cuestionarios se enviaron al arquitecto por correo electrónico e incluían los siguientes temas:

datos generales de la edificación, ubicación, año de construcción, origen del bambú utilizado, especie, edad de corte y garantías (en caso de existir) del material al momento de adquisición, tratamiento y secado, fotografías del proceso de construcción, técnicas usadas, disponibilidad de planos, detalles constructivos y datos sobre el mantenimiento.

Los cuestionarios enviados a los propietarios trataban sobre: año de construcción y ocupación, uso de los espacios y posibles cambios en relación al proyecto original, problemas que el bambú haya tenido durante el tiempo de uso y mantenimiento.

Una vez llenos, los cuestionarios fueron devueltos vía correo electrónico y posteriormente se realizaron entrevistas personalmente con el arquitecto y los usuarios con el objetivo de profundizar sus respuestas y aclarar dudas; estas entrevistas fueron grabadas.

3.2.2 Inspección de las edificaciones

Para esta fase fueron adaptados algunos procedimientos usuales para las edificaciones de madera. Considerando la necesidad de intervenir lo menos posible en las edificaciones, se planteó el uso inicial de dos técnicas de inspección no destructivas para identificar el estado de conservación de las piezas de bambú: inspección visual y ensayo de percusión con un martillo de goma.

Para la inspección visual se elaboraron fichas de levantamiento y mapas de los elementos de bambú que orientaron la colecta de los datos. Antes de iniciar el trabajo con los elementos de bambú se hizo una observación general de la edificación, analizando las características del entorno e identificando los puntos críticos probables que podrían favorecer la aparición de manifestaciones patológicas.

Durante la inspección visual de los elementos de bambú se registraron las observaciones relacionadas con: fisuras, deformaciones, posibles degradaciones biológicas (características y extensión), estado de uniones y apoyos, cambios en el aspecto de los elementos de bambú y cualquier otra manifestación que pueda limitar su desempeño.

Los materiales y equipos utilizados para estas inspecciones fueron: cinta métrica, pincel, martillo de goma, cámara de fotos, escalera para acceder a lugares altos, nivel, lápiz, papel y tabla portanotas con pinza metálica. Los registros fotográficos fueron numerados, lo que facilitó su registro y localización en los mapas usados para el registro de los levantamientos.

El ensayo con martillo de goma fue usado para intentar interpretar las diferencias entre los tipos de sonidos emitidos en las regiones sanas del bambú y las que presentan vacíos en su interior; también para buscar diferencias entre los diferentes tipos de sonidos emitidos entre las regiones sólidas y huecas del bambú.

4 Resultados y análisis

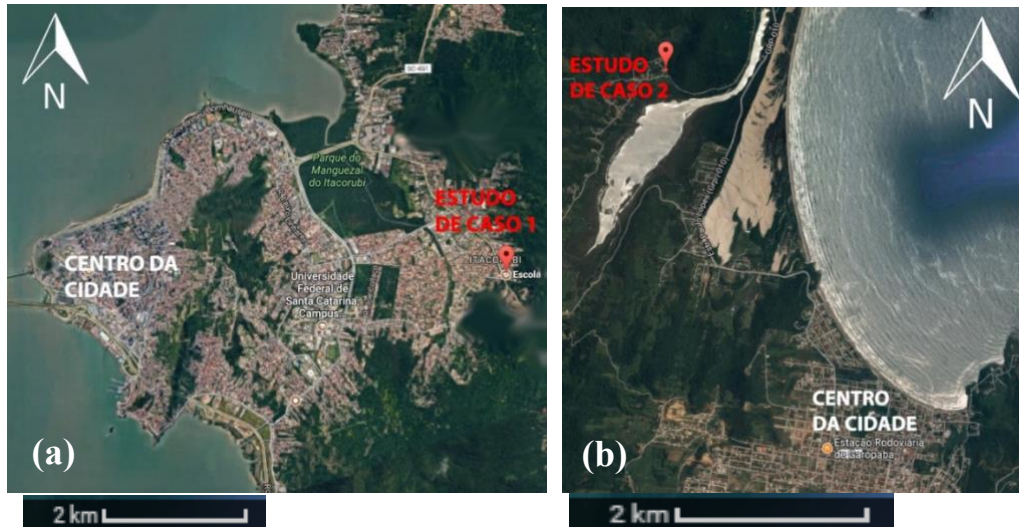
Durante los levantamientos de información, el registro fotográfico de los elementos de bambú de las dos edificaciones llegó a 1120 fotografías en total. Esto ayudó en la identificación y observación de algunas características de aplicación del bambú en cada caso. También se realizó un tratamiento de los datos sobre manifestaciones patológicas que fueron levantados por medio de una clasificación visual y descripción de las observaciones en cada edificación. Finalmente se hicieron los análisis para identificar las posibles causas y su relación con los detalles constructivos.

4.1 Características de las construcciones de bambú

Los dos casos están localizados en el litoral del Estado de Santa Catarina. El primero fue denominado caso institucional y corresponde a tres edificaciones pequeñas de bambú ubicadas en una unidad

educativa del barrio Itacorubi en la región central de la ciudad de Florianópolis, aproximadamente a 5 Km al Este del centro de la ciudad (Figura 3a). El segundo fue denominado caso residencial, es una construcción de bambú en una chacra ubicada en Garopaba, 3 Km al Norte del centro de la ciudad, en las proximidades de una laguna (Figura 3b).

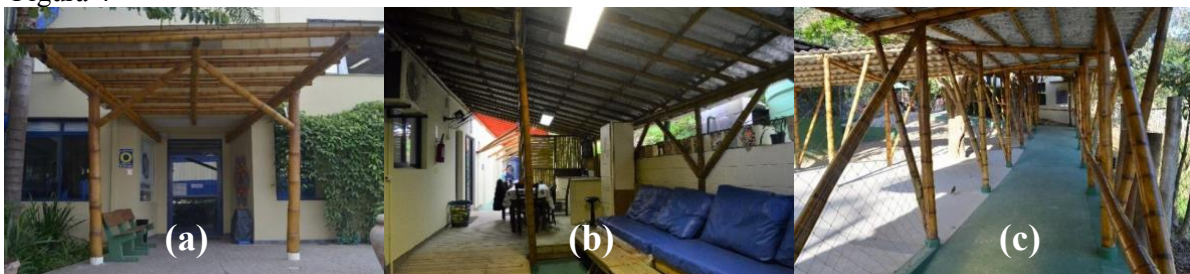
Figura 3



Fuente: Google maps (2017).

Las tres edificaciones de bambú del caso institucional en Florianópolis fueron construidas hace ocho años. La primera, denominada estructura A, está construida con bambú rollizo, tiene una cobertura de vidrio y sirve de portal de acceso al edificio administrativo, su área es de 16 m² (Figura 4a). La segunda edificación de bambú de este caso, llamada estructura B, está localizada en el área de los trabajadores, posee 65 m² (Figura 4b) y está compuesta por dos espacios con cubiertas onduladas: una de material reciclado para el área de descanso y otra translúcida para un corredor. En el área de la estructura B también se identificaron dos paneles de bambú cuyas estructuras son de madera: el primero tiene bambú rollizo de pequeño diámetro y el segundo esteras tejidas con latillas. La tercera edificación de bambú de este caso, denominada estructura C, es un corredor externo con cubierta ondulada de material reciclado, su estructura es de bambú rollizo y tiene un área aproximada de 110 m² (Figura 4c).

Figura 4



Fuente: autoras.

Por otro lado, la edificación del caso residencial ubicado en Garopaba es una estructura de bambú rollizo que constituye el porche de una pequeña casa construida con materiales convencionales. La cubierta del porche es de vidrio y su área es de 31 m² (Figura 5).

Figura 5



Fuente: Autoras.

4.1.1 Características del bambú utilizado en los estudios de caso

Según informaciones ofrecidas por el arquitecto, los culmos de bambú usados en los estudios de caso tenían cinco años de edad, su origen era Maringá (Estado de Paraná) y São Paulo, el tratamiento se hizo en autoclave con arseniato de cobre cromatado (CCA)¹; que es el mismo método usado para el tratamiento de maderas en la región. El secado del bambú se hizo en un lugar ventilado y con sombra, donde los culmos no estaban en contacto directo con el suelo.

La Tabla 1 muestra las diferentes especies de bambú que fueron usadas en los elementos constructivos de las edificaciones analizadas.

Tabla 1 – Especies de bambú usadas en las edificaciones de los estudios de caso.

Elementos constructivos	Caso Institucional			Caso Residencial
	Estructura A	Estructura B	Estructura C	
Pilares	<i>Dendrocalamus asper</i>	<i>Phyllostachys pubescens</i>	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Guadua angustifolia</i> e <i>Phyllostachys pubescens</i>
Vigas	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Phyllostachys pubescens</i>	-	-
Viguetas	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Phyllostachys pubescens</i>	<i>Guadua angustifolia</i> e <i>Phyllostachys pubescens</i>	<i>Phyllostachys aurea</i>
Correas	-	<i>Phyllostachys aurea</i>	<i>Phyllostachys aurea</i>	<i>Phyllostachys aurea</i>

Fuente: Elaborada por las autoras.

Se observó que para columnas y vigas fueron utilizadas los culmos de bambú de las especies de mayor diámetro como *Guadua angustifolia* o *Dendrocalamus asper*, mientras que para las correas de la cubierta se usó la especie de menor diámetro, en este caso *Phyllostachys aurea*, ésta también es la utilizada en los paneles presentes en la estructura B del caso institucional.

4.1.2 Características constructivas

Los dos casos analizados son estructuras pequeñas que complementan edificios construidos con materiales más convencionales (concreto armado y ladrillo). El bambú fue usado principalmente en

formato rollizo, aplicado como elemento estructural visible y su apariencia natural es parte de la estética de los espacios.

En cada una de las edificaciones, el bambú fue protegido del contacto directo con la humedad, que proviene de las lluvias o del suelo, por medio de aleros y bases de hormigón, respectivamente. Ninguno de los extremos de los culmos de bambú de viguetas y correas fue protegido, lo que ocasiona que el interior de los culmos esté permanentemente expuesto a las condiciones del medio.

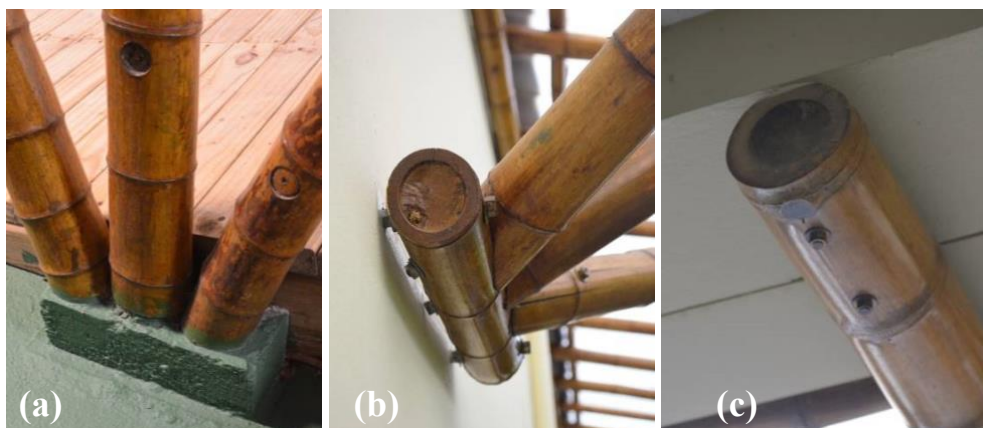
Para proteger al bambú de la incidencia de los rayos UV se aplicó *Polisten* sobre el material, un producto químico comercializado en la región y que se usa para la madera, que tiene acción insecticida, fungicida e hidrófuga. Las recomendaciones del arquitecto relacionadas con el mantenimiento consisten en la aplicación de este producto anualmente en cada uno de los elementos de bambú.

En relación a la técnica, se observaron varios detalles constructivos para los diferentes tipos de unión de los elementos de bambú, que fueron clasificados en tres grupos: uniones entre bambú y concreto, uniones entre bambú y las cubiertas, uniones entre elementos de bambú.

Las uniones de los elementos de bambú con las estructuras de concreto fueron realizadas usando elementos metálicos y concretando el interior de los entrenudos. Durante las inspecciones se usó el martillo de goma para verificar, por medio de las diferencias de sonido, cuales entrenudos de los culmos tienen hormigón dentro.

La Figura 6a muestra la unión entre columnas y cimientos, donde de las bases de concreto salen chicotes de acero a los que fueron fijadas las bases de los culmos, que después fueron perforadas e concretadas. En la Figura 6b está la unión entre una columna de hormigón y la estructura de bambú que sustenta una de las cubiertas por medio del anclaje del bambú al hormigón con varillas metálicas en algunos puntos; en esta unión, el interior de la pieza de bambú también fue concretada. La Figura 6c muestra la unión entre una viga de bambú y una de concreto, en este caso también fueron usados elementos metálicos y concreto al interior del culmo.

Figura 6



Fuente: autoras.

Se identificaron tres tipos de unión de los elementos de bambú con las cubiertas: la primera es la más común y consiste en fijar directamente la cubierta, en este caso de material reciclado, a las correas por medio de elementos metálicos (Figura 7a); la segunda fue observada en la estructura A del caso institucional y fue realizada con la ayuda de un taco de madera al que se fijó la cubierta de vidrio (Figura 7b) que después fue ocultado con dos medios culmos de bambú; en la tercera unión se utilizó una pieza auxiliar que sigue la forma de la ondulación de la cubierta y da continuidad entre la cubierta y la correa de bambú por medio de la unión con elementos metálicos (Figura 7c).







Figura 7



Fuente: autoras.

Finalmente en estas estructuras se observaron varios tipos de uniones entre elementos de bambú, en la Tabla 2 están resumidos los principales. Todas las uniones tienen en común el uso de varillas roscadas, arandelas y tuercas metálicas. En el caso residencial los elementos metálicos son galvanizados y en el caso institucional son galvanizados o de acero inoxidable.

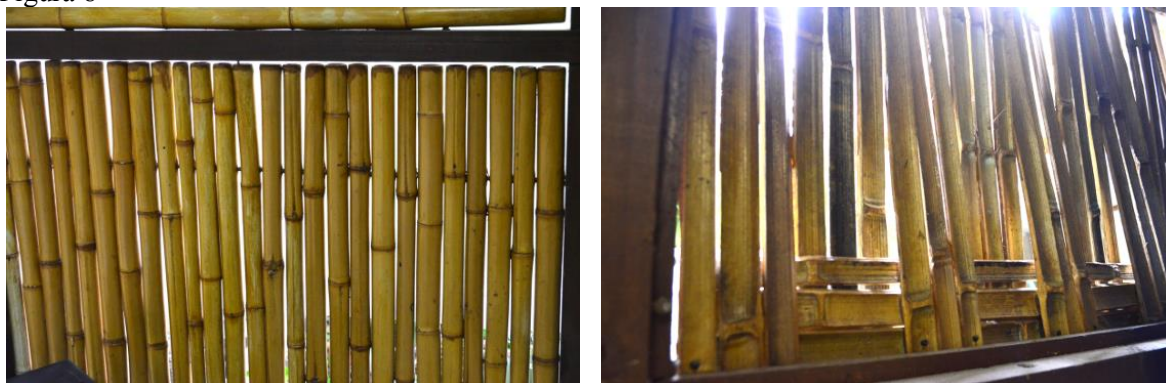
Tabla 2 – Uniones entre elementos de bambú en los estudios de caso

Imagen	Descripción	Imagen	Descripción
	Unión entre columna y viga - que puede ser simple o doble. El acople se hizo por medio del corte boca de pescado en la columna y uniones con elementos metálicos empernados.		Uniones entre vigas u viguetas / viguetas y correas. Generalmente el apoyo es directo uno sobre otro y en sentido perpendicular entre ellos. Están fijados con un elemento metálico y no se usó concreto al interior de los culmos.
	Unión entre columna y diagonal. El elemento diagonal acaba con un corte pico de flauta apoyado en la columna. La fijación se hizo por medio de elementos metálicos y fue concretada.		Prolongación de las correas colocando una junto a otra, con un traslape de 2m entre ellas y unidas con elementos metálicos.
	Viguetas empernadas a las laterales de la parte superior de una columna de bambú. En este caso no se concretaron las partes internas de los entrenudos.		Prolongación de las vigas dobles de bambú. Para esto se usó un elemento de bambú de menor diámetro, ubicado en el interior de los culmos que fue fijado con elementos metálicos.

Fuente: Autoras.

En los paneles de la estructura B del caso institucional fue utilizado bambú rollizo en uno de ellos y latillas en otro (Figura 8). En el primer panel los culmos rollizos están dispuestos uno al lado del otro y unidos entre sí por dos varas de acero que también los anclan a la estructura de madera. En el caso del segundo panel las latillas fueron entretejidas en grupos de tres para formar la estera que fue fijada a la estructura de madera con clavos y marcos de madera.

Figura 8



Fuente: Autoras.

4.2 Manifestaciones patológicas en el bambú y su origen

Las manifestaciones patológicas identificadas en los elementos de bambú se clasificaron según su apariencia: manchas, fisuras, grietas, perforaciones, pérdida de densidad, afectaciones por elementos externos, entre otros.

En la Figura 9 son mostrados los tipos de manchas observados durante las inspecciones: a) mancha azulada con forma irregular bajo el producto usado para dar el acabado; b) manchas blancas y verdes de textura áspera mezcladas con puntos negros; c) decoloración continua de la corteza del culmo; d) manchas oscuras y ásperas; e) manchas blancas que sobresalen de la superficie, tienen una textura suave y son de fácil remoción.

Figura 9



Fuente: Autoras.

Las posibles causas de estas manchas se establecieron después del análisis de las informaciones recogidas. La mancha tipo (a) probablemente es causada por el tratamiento químico; las manchas (b) y (d) aparecen en lugares que podrían estar expuestos a lluvias, ya sea por la dirección del viento o por la proximidad al piso; la mancha tipo (c) aparece en lugares donde hay mayores probabilidades de contacto directo con los usuarios, como un desgaste ocasionado por uso continuo; la mancha tipo (e) solamente apareció dos veces en las inspecciones y fue asociada inicialmente con un microorganismo, pero podría también ser el capullo de algún insecto.

Por otro lado las fisuras y grietas en los elementos de bambú son las manifestaciones patológicas que aparecieron en mayor número durante las inspecciones de los casos estudiados. Algunas de ellas

probablemente tengan su origen en el proceso de tratamiento, secado y los cambios de temperatura, otras, también pueden haber sido causadas por los esfuerzos que actúan en la estructura. Además aparecieron aquellas causadas por decisiones de las fases de proyecto y construcción, como las que siguen una dirección a lo largo de las fibras uniendo perforaciones hechas durante la construcción o las que aparecen en las uniones empennadas hechas en los entrenudos sin relleno de hormigón en su interior, donde las tuercas pueden haber sido demasiado apretadas (Figura 10).

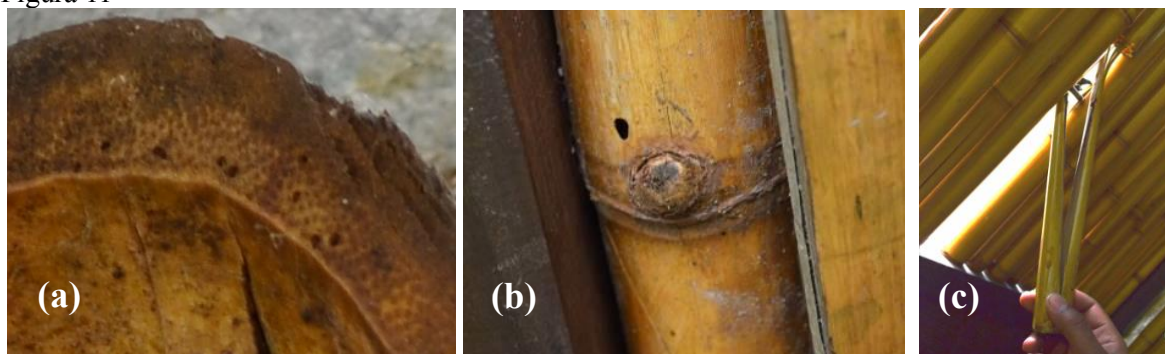
Figura 10



Fuente: Autoras.

De la misma forma, se identificaron algunas perforaciones que pueden ser agrupadas por su forma en dos grupos: unas circulares de diámetro aproximado de 3mm (Figura 11a) y otras de mayor diámetro pero de apariencia ovalada (Figura 11b). Un único caso de pérdida de masa de la pared de un culmo fue identificado en el panel construido con bambú rollizo, donde solamente quedaba la corteza del bambú y cuya textura era parecida al papel (Figura 11c).

Figura 11



Fuente: Autoras.

Estos casos fueron relacionados con posibles ataques de insectos xilófagos. En el caso de los orificios de menor diámetro se asoció al ataque de *Dinoderus minutus*, insecto conocido como el perforador del bambú (MONTEIRO et al. 2016), la Figura 12a muestra una de las perforaciones similares identificadas en bambús almacenados en el laboratorio de la universidad donde se realiza este estudio – en la ciudad de Florianópolis, así como imágenes de los insectos provenientes de los mismos (Figura 12b). Del mismo modo, el caso de pérdida de masa en el culmo se asoció a este insecto, al compararlo con otro bambú que también estaba en el laboratorio y presentó características similares tras su ataque (Figura 12c).

Figura 12



Fuente: Autoras.

Finalmente, los orificios ovalados y de mayores dimensiones fueron asociados con un posible ataque de un insecto identificado como “tigre” por productores y constructores que trabajan con bambú en la región, su nombre científico es *Chlorophorus annularis* (KLEINE, 2010) y es necesario hacer más investigaciones sobre este tipo de ataque.

En un intento por identificar mayores pérdidas de densidad interna de los culmos que tenían agujeros, bajo la sospecha de la presencia de galerías internas, se aplicó el ensayo de percusión con martillo de goma, pero no fue posible detectar diferencias de sonido a lo largo de los elementos de bambú, mostrando que este método no fue efectivo para este fin.

También se identificaron algunos puntos donde el bambú se veía afectado por la corrosión de los elementos metálicos y dos casos de ruptura de los culmos ocasionados por compresión perpendicular a las fibras de las viguetas, cuyos entrenudos internos no fueron concretados.

5 Consideraciones parciales

El análisis de las manifestaciones patológicas observadas durante las inspecciones visuales del bambú en los estudios de caso proporcionó algunos indicios de las posibles causas de deterioro. Sin embargo, aún es necesario ampliar la muestra y realizar más estudios de caso para identificar semejanzas o patrones de comportamiento del material frente a sus agentes agresores y establecer posibles relaciones con las condiciones del ambiente en que están localizadas.

En relación a las manifestaciones patológicas que podrían estar asociadas al proyecto arquitectónico hay algunas observaciones: algunas manchas de microorganismos encontradas probablemente tuvieron origen en descuidos de la protección del bambú de la humedad; ningún extremo de los culmos de bambú fue cerrado, lo que puede facilitar el ingreso de insectos; algunos agujeros hechos durante la construcción tampoco fueron cerrados y ocasionaron otros problemas. Sin embargo, estas observaciones aún son preliminares y es necesario profundizar más en los estudios de caso.

Del mismo modo se debe ahondar en los análisis de cada manifestación identificada, por ejemplo, haciendo inspecciones detalladas de los elementos afectados que permitan saber la magnitud de los daños que ha tenido el bambú. Para esto es necesario buscar otros ensayos no destructivos de inspección que puedan adecuarse a este caso, ya que el ensayo de percusión con martillo de goma no fue efectivo para identificar posibles pérdidas de masa internas.

Notas de pie de página

¹ Producto de uso restringido en varios países por su alta toxicidad.

Agradecimientos

A la *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior* - CAPES (Brasil) y a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación - SENESCYT (Ecuador) por las becas de estudio que permiten la realización de esta investigación de doctorado.

Referencias

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. NSR-10. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá: AIS, 2010.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 15575. Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

Bureau of Indian Standards -IS. Structural Design Using Bamboo – code of Practice. New Delhi, 2010. Ghavami, Khosrow. Materiais e Tecnologias não convencionais para o Século XXI. En: Congresso Luso-Brasileiro de Materiais e Construção Sustentáveis, Guimarães. 2014. Disponible en: <<http://www.clbmcs2018.uc.pt/projectos/clbmcs2018/index.php?module=news&id=101>>. Acceso en: 13 nov. 2017.

Gnanaharan, R. Preservative treatment methods for bamboo: a review. Peechi: Kerala Forest Research Institute, 2010. Disponible en: <http://www.docs.kfri.res.in/KFRI-RR/KFRI-RR177_ii.pdf>. Acceso en: 17 jun. 2017.

Hidalgo - López, Oscar. Manual de construcción con bambú. Bogotá: Estudios Técnicos Colombianos Ltda., 1981. 87 p. Disponible en: <<https://guaduabambucolombia.files.wordpress.com/2016/02/manual-de-construccion-con-bambu.pdf>>. Acceso en: 5 oct. 2017.

Hidalgo - López, Oscar. Bamboo: The gift of the gods. Colômbia: Oscar Hidalgo López, 2003. 553p. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NEC -SE-Guadua: Estructuras de Guadua. Quito: 2016. 108 p. Disponible en: <<http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>>. Acceso en: 10 jul. 2017.

International Organization for Standardization. ISO 22156: Bamboo - Structural Design. 2004. 15 p.

International Organization for Standardization. ISO 15686 -2: Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 2: service life prediction procedures. 2 ed. Ginebra, 2012. 25 p.

John, Vanderley; Sato, Neide Matiko Nakata. Durabilidade de componentes da construção. En: Sattler, Miguel Aloysio; Pereira, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). Coletânea Habitar: Construção e meio ambiente. Porto Alegre: Antac, 2006. Cap. 2. p. 20-57. Disponible en: <http://www.habitar.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_comp.pdf>. Acceso en: 11 jun. 2017.

Kaur, Perminder Jit et al. Eco-friendly preservation of bamboo species: traditional to modern techniques. Bioresources, Raleigh, v. 11, n. 4, p.1-21, ene. 2016b. Disponible en: <http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_11_4_Kaur_Review_Ecofriendly_Preservation_Bamboo_Species>. Acceso en: 25 ago. 2017.

Kleine, Hans. Bambu: Tecnologia da durabilidade. Florianópolis: BambuSC, GIEM/UFSC., 2010. 38p.

Lichtenstein, Norberto B.. Patologia das Construções. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986. 35 p. Disponible en: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00006.pdf>. Acceso en: 26 ago. 2017.

Liese, Walter; Tang, Thi Kim Hong. Preservation and drying of bamboo. en: Liese, Walter; Kohn, Michael (Ed.) Bamboo: the plant and its uses. Hamburgo: Springer, 2015. p. 257-297.

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma Técnica E.100: Bambú. Lima: 2012. 58 p. Disponible en: <<https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=180>>. Acceso en: 24 jun. 2017.

Monteiro, Marcelo et al. Occurrence of *Dinoderus minutus* (Fabricius, 1775) in the Northern State of Mato Grosso, Brazil. Entomological News, [s.l.], v. 126, n. 3, p.237-240, dic. 2016. American Entomological Society. <http://dx.doi.org/10.3157/021.126.0310>

Morán, Jorge. Traditional bamboo preservation methods in Latin America. INBAR technical report 25, 2002, 72p.

Morán, Jorge. Construir con *Guadua*: manual de construcción. Quito: International Network of Bamboo and Rattan, 2005. 40 p.

Oliveira, Thaisa Francis; Sampaio, César. Sustentabilidade e Arquitetura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programas de Pós-graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponible en: <http://www.ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/Artigos/Sustentabilidade_e_Arquitetura_Uma_Reflexão_Sobre_o_Uso_do_Bambu_na_Construção_Civil.pdf>. Acceso en: 13 nov. 2017.

Lista de Figuras

Figura 1 – Agentes de degradación del bambú.

Figura 2 – Etapas de la metodología aplicada en la investigación.

Figura 3 – Ubicación de los estudios de caso.

Figura 4 – Edificaciones del estudio de caso 1.

Figura 5 – Edificación del estudio de caso 2.

Figura 6 – Uniones del bambú con las estructuras de hormigón.

Figura 7 – Uniones del bambú con las coberturas.

Figura 8 – Bambú en los paneles de la estructura B del caso institucional.

Figura 9 – Manchas observadas en el bambú.

Figura 10 – Fisuras y grietas observadas en el bambú.

Figura 11 – Perforaciones y pérdida de masa en el bambú.

Figura 12 – Perforaciones causadas por *Dinoderus minutus* en colmos de bambú en el laboratorio.