



Ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú frente al sistema de hormigón armado en viviendas de interés social

Advantages and disadvantages of the bamboo construction system compared to there in forced concrete system in low-income housing

Advantages and disadvantages of the bamboo construction system compared to the reinforced concrete system in low-income housing

Jorge Arturo Bello-Zambrano ^I
jarbell-ing@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7143-7275>

Carlos Gustavo Villacreses-Viteri ^{II}
carlos.villacreses@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8276-1783>

Correspondencia: jarbell-ing@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 15 de agosto de 2021 ***Aceptado:** 08 de septiembre de 2021 * **Publicado:** 20 de septiembre de 2021

- I. Ingeniero Civil, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil, Mención Construcción de Vivienda Social, Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Diplomado Superior en Diseño de Proyectos, Ingeniero Civil, Abogado de los Juzgados y Tribunales de la República, Licenciado en Ciencias Políticas y Sociales, Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El sistema constructivo con bambú actualmente en Ecuador se está empleando como alternativa económica, técnica, ecológica y social en la construcción de viviendas. A partir, de la combinación de técnicas ancestrales y modernas se realizan diseños sismo-resistentes y duraderos, protegiéndolas de los efectos derivados a la exposición de las precipitaciones y de los rayos ultravioletas del sol. El propósito general de éste artículo científico es demostrar las ventajas del bambú en la construcción de viviendas de interés social, frente a las viviendas de hormigón armado, con la finalidad de contar con una alternativa económica, rápida, amigable al ambiente, y así mitigar el alto déficit de viviendas en la provincia de Manabí. El artículo es de tipo documental, ya que su basamento es la recopilación de información bibliográfica sobre las ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú y el sistema de hormigón armado. El análisis comparativo de la vivienda de bambú y el hormigón armado, es el corto tiempo de construcción, es antisísmico, bajo coste e impacto ambiental mínimo, posee la gran desventaja que su vida útil es corta en relación al hormigón. Actualmente, con las nuevas tecnologías de diseño y construcción se puede minimizar esta limitación. Es importante verificar los valores de las propiedades físicas y mecánicas de la GaK con lo especificado en la Norma Técnica de construcción en caña guadúa, avalada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, de igual manera los diseños y construcción deben estar inspeccionadas por mano de obra calificada como arquitectos, ingenieros y concedores del material de la zona.

Palabras clave: Sistema constructivo; alternativa ecológica; vida útil; sismo-resistente; déficit.

Abstract

The construction system with bamboo currently in Ecuador is being used as an economic, technical, ecological and social alternative in the construction of houses. From the combination of ancestral and modern techniques, earthquake-resistant and durable designs are made, protecting them from the effects derived from exposure to rainfall and the sun's ultraviolet rays. The general purpose of this scientific article is to demonstrate the advantages of bamboo in the construction of social interest housing, compared to reinforced concrete housing, in order to have an economic, fast, environmentally friendly alternative, and thus mitigate the high housing deficit in the province of Manabí. The article is of a documentary type, since its foundation is the compilation of

bibliographic information on the advantages and disadvantages of the bamboo construction system and the reinforced concrete system. The comparative analysis of bamboo housing and reinforced concrete, is the short construction time, it is anti-seismic, low cost and minimal environmental impact, it has the great disadvantage that its useful life is short in relation to concrete. Currently, with new design and construction technologies, this limitation can be minimized. It is important to verify the values of the physical and mechanical properties of the GaK with what is specified in the Technical Standard for construction in cane guadúa, endorsed by the Ministry of Urban Development and Housing of Ecuador, in the same way the designs and construction must be inspected by qualified workforce such as architects, engineers and connoisseurs of the material in the area.

Keywords: Construction system; ecological alternative; use full if e; earthquake; resistant; deficit.

Resumo

O sistema construtivo com bambu, atualmente no Equador, está sendo utilizado como alternativa econômica, técnica, ecológica e social na construção de casas. A partir da combinação de técnicas ancestrais e modernas, são feitos designs resistentes a terremotos e duráveis, protegendo-os dos efeitos derivados da exposição às chuvas e aos raios ultravioleta do sol. O objetivo geral deste artigo científico é demonstrar as vantagens do bambu na construção de moradias de interesse social, em comparação com as moradias de concreto armado, de forma a ter uma alternativa econômica, rápida e ecologicamente correta, e assim mitigar o elevado déficit habitacional na região. província de Manabí. O artigo é do tipo documental, pois tem como fundamento a compilação de informações bibliográficas sobre as vantagens e desvantagens do sistema construtivo de bambu e do sistema de concreto armado. A análise comparativa da carcaça de bambu e concreto armado, é o curto tempo de construção, é anti-sísmica, de baixo custo e mínimo impacto ambiental, tem a grande desvantagem que sua vida útil é curta em relação ao concreto. Atualmente, com as novas tecnologias de design e construção, essa limitação pode ser minimizada. É importante verificar os valores das propriedades físicas e mecânicas do GaK com o que está especificado na Norma Técnica para construção em cana-de-açúcar guadúa, endossada pelo Ministério de Desenvolvimento Urbano e Habitação do Equador, da mesma forma que os projetos

e a construção deve ser fiscalizada por mão de obra qualificada, como arquitetos, engenheiros e conhecedores do material da área.

Palavras-chave: Sistema construtivo; alternativa ecológica; uso total se e; resistente a terremotos; déficit.

Introducción

La construcción sostenible actualmente es uno de los temas más importantes en la cual el Ingeniero Civil se preocupa para que las edificaciones tengan el menor impacto sobre el medio ambiente. Por ello es que busca sistemas constructivos sencillos y a la vez tradicionales, que los materiales de construcción sean obtenidos en la zona y totalmente sostenibles, es decir, a través de un equipo calificado de profesionales se estudia el diseño y gestión de edificaciones saludables y a la vez resistentes, fundamentados en principios ecológicos y en el empleo eficiente de los recursos naturales.

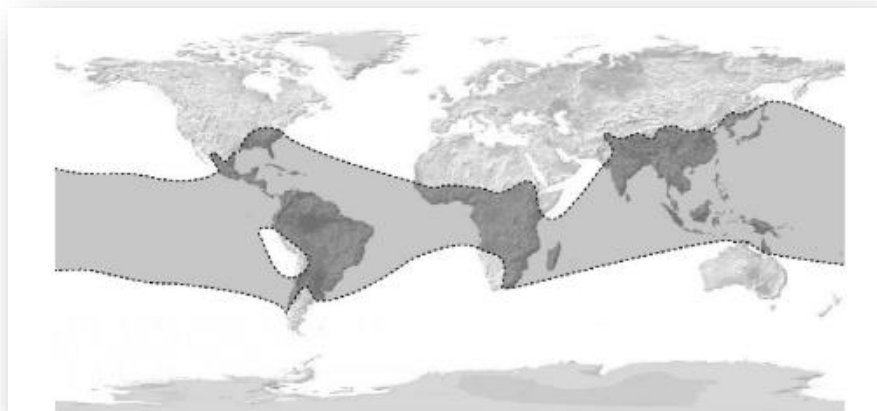
El bambú, explica Dans, Chamba y León, (2020) es un material estructural empleado para construcción sostenible, siendo una de las más sobresalientes en las edificaciones populares. Actualmente es muy empleado en la construcción de viviendas de interés social. Noticias ONU (2020) indica que “es imperativo que las familias de bajos ingresos y las poblaciones vulnerables tengan acceso a viviendas más segura y asequibles” (p.1).

Es necesario recalcar que el término bambúes, plantea la Red Internacional de Bambú y Ratán-INBAR (2015) pertenece al plural que “aglutina a un grupo amplio de géneros y especies gramíneas distribuidas en los cinco continentes, algunas de las cuales son endémicas, otras nativas de determinadas bio-regiones y varias han sido introducidas en países de América Latina, entre estos el Ecuador” (p.11). Por su adaptabilidad, los bambúes se encuentran en una amplia distribución geográfica en el mundo.

De acuerdo a Yedra, (2014), a nivel mundial existen aproximadamente 1.600 especies de bambú, donde el 64% son nativas del suroeste de Asia, el 33 % de ellas crece en Latinoamérica y el resto en África y Oceanía, a excepción de Europa la cual no se produce. En Norteamérica solo existen 3 especies nativas, cotejadas con las 440 de América Latina, es decir, crece mayormente en zonas

tropicales y subtropicales a nivel global. En la figura 1 se puede observar la distribución mundial del bambú.

Figura 1. Distribución mundial del bambú.



Fuente: Yedra, (2014).

Como se aprecia en la figura 1, Latinoamérica es el territorio más rico en términos de diversidad y número de especies de bambú leñoso, se han estudiado 20 géneros y 429 especies los cuales están distribuidos desde México hasta Chile. La siembra del bambú en una escala comercial en Latinoamérica se circunscribe a la especie *Guadúa angustifolia*, *G. amplexifolia*, además se han introducido al mercado ciertas especies asiáticas como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoidea*, *Phyllostachys aurea* y *Dendrocalamus* spp (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015).

Dentro de la diversidad ecológica, la República del Ecuador alberga un grupo significativo de géneros de bambúes, 45 especies en total, entre ellos se encuentran los géneros *Guadúa*, *Chusquea*, *Arthrostylidium*, *Moya*, *Neurolepis* (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2015). El género *Guadúa angustifolia* resalta entre los bambúes leñosos, importante por sus fibras naturales y muy fuertes, además por su relevancia social, económica y cultural, también por ser la especie más empleada en el país para edificaciones (Fernández, 2018). La *Guadúa angustifolia* es nativa de Ecuador, destaca por sus culmos que llegan hasta 30 metros de alto y 25 centímetros de diámetro. Entre todos los bambúes americanos la *Guadúa angustifolia*, se caracteriza por sus óptimas propiedades físico-mecánicas y por su empleo comprobado en la industria de la construcción.

La guadúa suele ocupar las inmediaciones de quebradas y riberas de los ríos. Castro et al. (2018) exponen que “la especie presenta pequeñas diferencias, marcadas por su coloración (bicolor o negra). En el caso ecuatoriano predomina la tonalidad verde, con franjas blancas en los nudos” (p. 82). Su geografía de cultivo es amplia, puede hallarse y producirse en áreas costeras, también en zonas por encima de 1.500 msnm. En Ecuador, el bambú se ubica en un 66.5% en la costa ecuatoriana, el 23.5% de la Amazonía y el 10% en la sierra, distribuidas en 16 provincias del país y estas especies son abundantes debido a las condiciones edafoclimáticas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018). En el cuadro 1, se puede apreciar que Manabí es la provincia donde existe más presencia del bambú (24.3%) en Ecuador:

Cuadro 1. Superficie de las principales zonas con presencia de bambú en Ecuador

Provincia	Hectáreas	%
El oro	4.370	0,7
Esmeraldas	68.546	11,4
Guayas	43.825	7,3
Los Ríos	80.763	13,5
Manabí	145.529	24,3
Santa Elena	11.872	2,0
Santo Domingo de los Tsáchilas	44.126	7,4
Bolívar	6.754	1,1
Cotopaxi	19.047	3,2
Imbabura	7.702	1,3
Pichincha	26.581	4,4
Morona Santiago	42.806	7,1
Napo	22.245	3,7
Orellana	24.879	4,1
Pastaza	23.467	3,9
Sucumbíos	27.515	4,6
Total	600.025	100%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018.

El bambú es un recurso que se encuentra de manera cuantiosa en Ecuador como lo muestra el cuadro 1, es usado tradicionalmente desde hace siglos en las regiones costeras del país, tanto para construcciones formales como informales. Por ello, es uno de los materiales de construcción ecológico muy utilizado en la provincia de Manabí. Con éste material se pueden edificar estructuras muy sostenibles y de bajo coste para vivienda formal. Con el debido diseño y ejecución, las estructuras realizadas de bambú, son sismo-resistentes, donde se han evidenciado tras varios terremotos en Latinoamérica (Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, 2016).

En la República del Ecuador, el bambú en el campo de la construcción estaba subestimado y poco conocido, sin embargo, la edificación con bambú ha reivindicado su importancia luego del terremoto del 16 de abril de 2016, que devastó las provincias de la costa ecuatoriana de Esmeraldas y Manabí, al respecto debo señalar que, quedaron destruidas las edificaciones realizadas con sistemas constructivos convencionales (estructuras de hormigón armado), y luego de las evaluaciones a las viviendas, se reportaron 70.080 unidades habitacionales afectadas de las cuales 22.426 fueron consideradas inseguras que debían ser demolidas (Cámara de Comercio de Quito, 2018). Luego del sismo, Mero (2019) expone que el gobierno y las personas "se dieron cuenta que a las construcciones en caña no les había pasado nada y ahora lo aprecian muchísimo" (p.1), es decir es un material que es sismo resistente.

En Manabí, el bambú se ha convertido en el nuevo *acero vegetal*, por su gran esbeltez y su angosto diámetro de espesor hueco, por su grado de sismo-resistencia y flexibilidad, lo que soporta edificar desde pequeñas a grandes construcciones como galpones (Camino, 2011). Es necesario e imprescindible que el empleo de éste material se realice de manera técnica y responsable, combinando lo tradicional con la ciencia y tecnologías modernas (Agencia EFE, 2019).

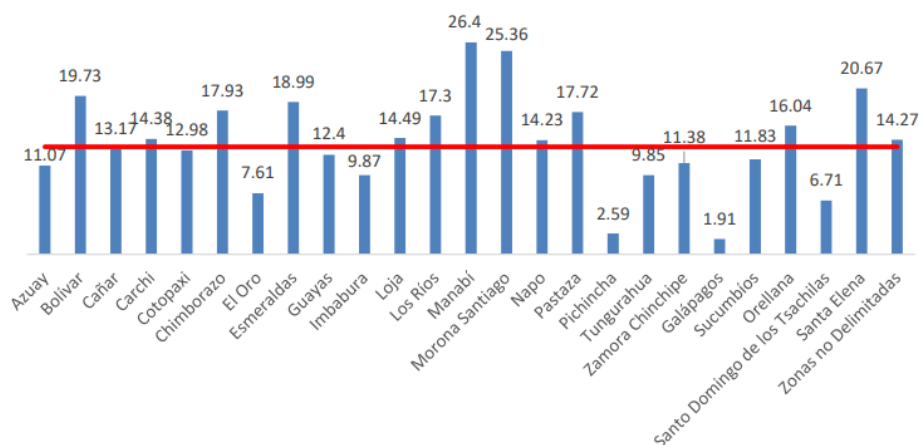
Consecuentemente, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda-MIDUVI aceptó la importancia del bambú como material de construcción sismoresistente y ésta avalada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción siendo un material ecológico, local y económico, el cual representa un ahorro de cerca del 50% en relación a construcciones realizadas con materiales convencionales (El Comercio, 2016). Actualmente, Ecuador cuenta con una Norma Técnica de construcción en caña guadúa, la cual permitirá, realizar diseños arquitectónicos y estructurales para construir con éste material de manera legal, (GADP de Santo Domingo de los Tsáchilas, 2016).

Las excelentes propiedades físicas y mecánicas del bambú de acuerdo a su relación resistencia/peso lo hace de gran resistencia. Por su flexibilidad le otorga una característica que es sismo-resistente, posee buena resistencia al corte paralelo, es resistente a la tracción y compresión, además de ser un material ecológico de bajo coste, sin embargo, su vida útil es corta comparado al hormigón armado, por lo que se debe tener en cuenta la calidad y cuidados del material.

Por consiguiente, el propósito general de éste artículo científico es demostrar las ventajas del bambú en la construcción de viviendas de interés social, frente a las viviendas de hormigón armado, con la finalidad de contar con una alternativa económica y rápida y así mitigar el alto déficit de viviendas en la provincia de Manabí.

Es de resaltar, que el déficit cuantitativo de viviendas en Manabí para el 2016 era del 26,4%, cuando el promedio nacional era del 12,3% siendo una diferencia alta en el ámbito habitacional de la provincia, principalmente por la precariedad de las condiciones de construcción, los materiales inadecuados y la informalidad en la planificación, entre otros (Cámara de Comercio de Quito, 2018). A continuación, en el gráfico 1, se muestra el déficit habitacional cuantitativo por provincia, donde se describe que Manabí posee el índice más alto del todo el territorio ecuatoriano, por lo que es necesario encontrar soluciones constructivas con materiales resistentes, amigables al medio ambiente, con baja huella de carbono y económicos.

Gráfico 1. Déficit habitacional cuantitativo por provincia



Fuente: NEC-ENEMDU, 2009 – 2017, citado por Empresa Pública para Todos (2018).

Materiales y métodos

El artículo de revisión es una investigación de tipo documental, ya que su basamento es la recopilación de información bibliográfica sobre las ventajas y desventajas del sistema constructivo con bambú y el sistema de hormigón armado en viviendas de interés social. Los datos recolectados fueron obtenidos desde una diversidad de fuentes, de enfoques cualitativos y cuantitativos a través de documentos, publicaciones periodísticas, libros, leyes y normas, artículos científicos, publicaciones arbitradas y registros de archivos. Además, la investigación se encuentra bajo la modalidad descriptiva ya que se está describiendo el bambú como material de construcción (Palella y Martins, 2006). Esta investigación está basada en fundamentalmente en resultados obtenidos de estudios previos sobre el tema.

Discusión de los resultados

La calidad en la construcción de edificaciones con bambú depende desde la selección de las cañas que se emplearán. Estas deben estar maduras porque sus fibras adquieren la mayor resistencia. La madurez de estas gramíneas se obtiene a los 4 años de edad por lo que hay que usar un método seguro de conocer la edad como es señalarlas desde su nacimiento. Para el uso de construcción de edificaciones se debe considerar que las cañas no estén sobremaduras, que posea huecos o rajaduras, con deformaciones o conicidad alta, con entrenudos muy largos o con pudrición o síntomas de enfermedad propias del bambú (Morán, 2015).

De igual manera para alcanzar la calidad de la edificación se deben utilizar métodos de conservación (tradicionales y químicos) para acrecentar la vida útil del bambú e impedir que sea afectado por microorganismos o por insectos. También es necesario realizar el proceso de secado para su debido uso y que alcance la resistencia deseada (Morán, 2015).

El bambú ideal para la edificación es la caña *Guadúa angustifolia* Kunth (GaK), siendo un bambú nativo de Ecuador y se encuentra en la mayoría de las regiones, mayormente en la provincia de Manabí. Este género es el utilizado para construcciones ya que las propiedades estructurales de sus tallos, como la relación peso – resistencia es mejor que en otras especies.

Así mismo, para lograr que una edificación sea de alto nivel, y que cumpla con las especificaciones técnicas que rige la norma de construcción en caña guadúa, la cual es el bambú que está

normalizado en Ecuador para construcciones de edificaciones y avalado por Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda – MIDUVI, es decir, debe cumplir específicamente, con los requisitos de calidad para guadúa estructural. Esta norma está dirigida a productores, proveedores y expendedores del bambú, donde se detallan las indicaciones que deben tenerse con la GaK (desde la plantación hasta la comercialización) para avalar su calidad. Además, está enfocada a los profesionales responsables del diseño y construcción con GaK, ya que se detallan las particularidades generales que deben cumplir previamente la caña para ser empleada como material de construcción (Norma Técnica de construcción en caña guadúa, 2016).

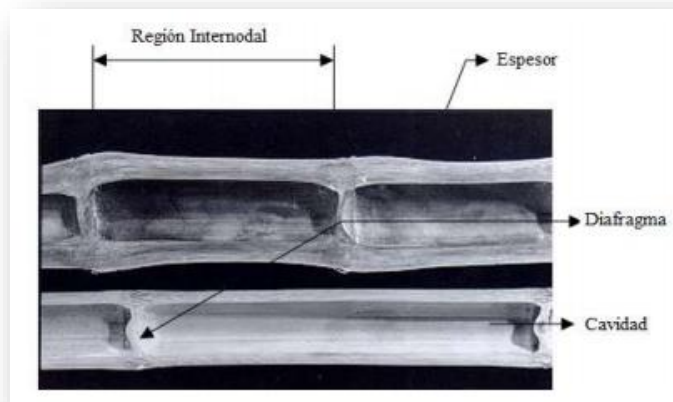
Propiedades físico-mecánicas del bambú como material de construcción

Para que el bambú sea empleado eficientemente en la construcción de obras de ingeniería civil, es necesario conocer sus propiedades físico-mecánicas de éste por lo que se describen a continuación:

La estructura de la guadúa está conformada por la parte exterior de una microestructura del tallo, la cual es densa y únicamente con un espesor aproximado de 0,25 mm. Esta capa posee una cantidad de sílice considerable, siendo un elemento protector para la gramínea. Igualmente contiene vasos, que se encargan de transportar líquidos y fibras celulósicas durante su vida. Esta propiedad que tiene esta caña de distribuir sílice y celulosa es de un 10% mayor que en otras maderas, haciéndola de alta resistencia como un acero en el exterior, pero en su interior es como un acero dulce normal. Esta característica de rigidez de la Guk la convierte en un material de construcción excelente para aguantar cargas sísmicas (Bonilla y Merino, 2017).

Los culmos de caña guadúa están formados por cáscaras cilíndricas, esbeltas, y huecas, como se muestra en la figura 2. Sus cavidades son divididas por diafragmas que actúan como rigidizadores naturales. Brand et al. (2015), revelan que “una característica distintiva desde el punto de vista físico es que tanto el espesor de la pared del culmo, como el tipo y porcentaje de fibras varía a lo largo de toda la longitud del mismo” (p.15). El cual debe ser considerado importante al momento de hacer un análisis del material por su influencia en el comportamiento mecánico.

Figura 2. Sección transversal de culmo de Guadua



Fuente: Brand et al.,(2015).

Entre otras propiedades físicas del Bambú Gak se encuentra el contenido de humedad, el cual es imprescindible analizar ante una construcción, explica Moreno y Cendales (2018) que “el comportamiento mecánico de la Guadúa depende del grado de humedad de la muestra” (p.28). La humedad natural del tallo de la caña guadúa depende de las características de ésta, en función de la edad y su altura, también varía de acuerdo a las épocas del año, es decir, con el período lluvioso la humedad es mayor y en períodos secos la humedad es menor (Castiblanco y Torres, 2019).

La Norma Técnica de construcción en caña guadúa (2016), indica que la guadúa “es un material higroscópico y poroso que absorbe la humedad presente en el ambiente ya sea en forma de vapor o de líquido. Si la humedad del material se incrementa, este será más vulnerable al ataque de los factores biológicos” (p.18), es decir, entre mayor sea el contenido de humedad de la caña, este afecta su durabilidad, así como su resistencia ante cargas solicitadas, por lo que el esfuerzo admisible también disminuye.

Por lo que es necesario que los culmos de GaK seleccionados para la construcción deben ser secados hasta obtener un contenido de humedad igual o menor a la de equilibrio de la región. De acuerdo a la Norma Técnica de construcción en caña guadúa (2016), el valor ideal de contenido de humedad de la Gak debe ser hasta el 12%, sin embargo, esta norma explica: “si las condiciones medioambientales en el sitio de construcción hacen variar el contenido de humedad de la GaK por encima del 12%, se deben ajustar los valores” (p.29), de acuerdo a datos tabuladas en ella. A

continuación, se muestra en la tabla 2 la humedad de equilibrio de la madera en la provincia de Manabí.

Tabla 2. Humedad de equilibrio de la madera en la provincia de Manabí.

Localidad	Temperatura media Anual °C	Humedad relativa promedio Anual %	Humedad de equilibrio de la madera (media anual) %
El Carmen	23,7	86,6	20,1
La Concordia	23,8	86,4	20,1
Jama	24,8	82,7	18,3
Charapotó	25,3	83,1	18,5
San Vicente	24,6	81,2	17,7
Bahía de Caraquez	24,7	81,1	17,6
Pedemales	24,8	82,3	18,2
Chone	25,5	86,8	18,2
Tosagua	25,7	83,6	18,8
Calceta	25,6	76,8	15,8
Rocafuerte	25,2	79,5	17,0
Flavio Alfaro	24,6	85,5	19,7
Manta	25,0	77,6	16,2
Portoviejo	24,7	76,4	16,0
Poza Honda	25,3	82,1	18,0
Santa Ana	25,5	82,1	18,0
Jipijapa	21,6	80,8	17,7

Fuente: Norma Técnica de construcción en caña guadúa, 2016.

La densidad o peso específico de un material, se define como la cantidad de masa existente en una unidad de volumen. Por consiguiente, manifiesta Moreno y Cendales (2018) “la densidad del culmo es medida en función de las sustancias sólidas” (p.28). La densidad del bambú oscila en función de la humedad de éste, el de la caña guadúa fluctúa entre 700 y 800 kg/m³, va a depender de la calidad del sitio de cultivo, posición de tallo, humedad, entre otros factores. Es una propiedad muy importante ya que a través de ella se puede determinar algunas relaciones valiosas como el esfuerzo flector para falla (Bonilla y Merino, 2017).

La contracción en estas cañas se produce por la pérdida de agua en el secado de la gramínea. Soler (2017) revela que “la contracción se produce cuando pasa del estado verde al leñoso (humedad del 20%)” (p.24). Por consiguiente, la longitud se reduce entre un 4 y 14% y el diámetro se contrae entre un 3 y 12%.

Con relación a las propiedades mecánicas de la caña guadúa, la resistencia a la flexión es un mecanismo idóneo de asegurar la flexión aplicando una carga media entre los centros de soporte de la carga. La caña guadúa explica Bonilla y Merino, (2017) cuando es ensayada a flexión, “las fibras se rompen lo cual conlleva a que la forma circular de la sección pierda fuerza, sin embargo, ninguna de las fibras a lo largo del tallo sufre daño alguno. Esto hace que una vez que la carga se retira, la viga de caña guadúa regrese a su forma original” (p.11), es decir, la caña guadúa posee un comportamiento elástico.

Por otro lado, la GaK en su sección transversal, conserva membranas intermedias muy fibrosas, lo cual hace que la resistencia a la compresión sea alta, a su vez la hace muy flexible. Los esfuerzos cortantes distribuidos sobre una sección, es mayor en el centro de la caña y se hace nula en los extremos de ella. El bambú de construcción tiene alta resistencia a la tracción, es su mejor propiedad mecánica (Moreno y Cendales, 2018). Esta se produce de manera paralela a la fibra, llega a ser hasta cuatro veces más fuerte que en compresión. Para el diseño de estructuras con éste material es recomendable que se realice principalmente a flexión y compresión.

Las altas resistencias que posee la caña guadúa se debe a su relación de peso y a sus características en su estructura física (sección redonda, hueca y con un diafragma rígido transversal) que permite que el material se curvee sin romperse. Conociendo la resistencia de la guadúa, es un material de construcción indudable. Para que estos elementos sean utilizados como material de construcción es indispensable que cumpla con los valores mínimos establecido en la Norma Técnica de construcción en caña guadúa (2016).

El módulo de elasticidad-E expone Soler, (2017) es “un coeficiente adimensional y se define como la relación lineal, conocida como la Ley de Hooke, entre la tensión debida a la carga aplicada al material y su deformación” (p.24). De acuerdo a ensayos la caña decrece entre un 5 a 10% con el aumento de la tensión. Esta autora también explica que el módulo de elasticidad de la caña guadúa es casi el doble que el de la madera. De acuerdo a estudios de laboratorios de Stuttgart el módulo

de elasticidad para la guadúa angustifolia es: E compresión: 1,84 KN/cm²; E tracción: 1,79 KN/cm² y E flexión: 2,07 KN/cm².

Ventajas y limitaciones del bambú como material de construcción

En la actualidad existe la necesidad de diseñar edificaciones, sobretodo viviendas de interés social que estén de acuerdo con los principios de sostenibilidad social, ambiental y económica, la cual encamine al desarrollo de nuevas tecnologías y al redescubrimiento de materiales tradicionales (Soler, 2017).

El bambú posee múltiples ventajas para la construcción, entre ellas están:

- Es una planta de rápido crecimiento, puede alcanzar su madurez entre los 4 y 6 años. consiguiendo un rendimiento de 3.3 veces mayor que de la madera. Evita la deforestación y la desertificación del suelo, luego de los cortes de los tallos maduros (Soler, 2017).
- El bambú efectúa un rol ecológico importante ya que brinda diferentes servicios ecosistémicos como por ejemplo: regulación hidrológica de micro cuencas, protección de las riveras de los cursos de agua, preserva el suelo de la erosión y recicla nutrientes, reduce el riesgo de deslizamientos, aloja flora y fauna local, captura y almacena dióxido de carbono y favorece a la belleza escénica de la región (Añazco y Rojas, 2015).
- Posee extraordinarias características físicas y mecánicas, permitiendo su uso en todo tipo de miembros estructurales. Los nudos que posee la caña, tienen un tabique o septo transversal que, a la vez le otorga mayor rigidez y elasticidad, por lo que impide su ruptura al curvarse. Haciéndola ideal para estructuras sismo resistentes (Encalada, 2016).
- De igual manera, el bambú es sometido a cargas de viento, y por su esbeltez, y la presencia de sus entrenudos, optimizan su rigidez y elasticidad, evitando su ruptura al curvarse (Aguilar, 2019).
- El bambú no contamina, porque no deja residuos que no sean biodegradables (Soler, 2017). Este material no tiene corteza o partes que se consideren desperdicios (Encalada, 2016). Es un productor de materia orgánica porque las hojas, ramas y todo lo que queda después de la cosecha se reincorpora al suelo.
- Permite el corte transversal y longitudinal debido a su composición fibrosa (Soler, 2017).

- Su sección circular, generalmente hueca, la hace más liviana, fácil de transportar y almacenar, permitiendo la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes. Su manejo es sencillo y no requiere especialista (Encalada, 2016).
- Es un material ecológico, con un bajo precio, ya que en las mismas poblaciones se puede cultivar, contribuyendo al creciente desarrollo sostenible de las poblaciones rurales (Añazco y Rojas, 2015). Por su bajo coste, es un material accesible para todas las clases sociales (Soler, 2016).
- Para la construcción de viviendas de interés social la hace excepcional ya es un material que posee flexibilidad y ligereza haciéndola efectiva para construcciones en zonas de riesgo sísmico. La capa externa de la caña es de alta resistencia a tracción, comparable a la del acero. Su alta resistencia a la compresión, es equiparable con el hormigón y su dureza, resistencia y flexibilidad hacen que sea un material eficiente para una infinidad de elementos estructurales, de revestimiento, mobiliarios, de drenajes, etc, (Soler, 2017). También puede combinarse con otros materiales de construcción tales como: barro, madera, hormigón, celulosa-cemento, zinc, entre otros elementos ecológicos y sintéticos (Encalada, 2016).
- Tiene una gran ventaja social la cual es que aporta a la generación de empleo de las comunidades productoras del producto, así como de mano de obra para la construcción de viviendas. Igualmente contribuye a la reproducción social de la unidad productiva y de quienes la habitan y por último, pero no menos importante el aporte al rescate cultural, ya que “forma parte del patrimonio material (viviendas antiguas) e inmaterial del país (conocimientos ancestrales)”, (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018:18).

Luego de exponer las ventajas y beneficios del bambú de construcción presenta algunos problemas o limitaciones que a continuación se explican:

- La humedad constante la descompone, si no se protege de las precipitaciones, o de la humedad por el contacto del suelo directo (Encalada, 2016).
- En cuanto a forma el tronco del bambú pocas crecen totalmente rectas. La forma cónica que presenta el bambú hace que el diámetro cambie en toda su longitud. Su sección redonda y la tendencia que tiene a la rotura obstaculiza el anclaje de elementos, dificultando el

diseño con ellos (Soler, 2017). Como los diámetros no son constantes en toda la longitud del tallo además de que los espesores son variables en las paredes de los entrenudos, se debe realizar una selección y colocación minuciosa de los elementos cuando se está edificando (Encalada, 2016).

- Las uniones de miembros estructurales deben ser fortalecidas cuando se usan los mismos tipos de unión de la madera. Por ello, se recomienda, usar su propia carpintería. Las cañas tienen la tendencia a agrietarse si se usan clavos gruesos (Encalada, 2016).
- El bambú es vulnerable a la agresión de hongos e insectos (Soler, 2017), sin embargo, explica Encalada (2016) la GaK, es “una de las especies más resistentes al ataque de insectos, principalmente del *Dinoderus minutus*- deben tomarse precauciones en su selección, tiempo de Corte y de seccionamiento; su curado y secado deben realizarse inmediatamente después del seccionamiento” (p.26), esto se realiza con el objetivo de preservarlo de los ataques de hongos e insectos, asegurando una mayor duración de los elementos de construcción.

A pesar de que las desventajas del bambú de construcción son múltiples, éstas se pueden solventar a través de diseños arquitectónicos y de ingeniería civil para minimizarlas, también la importancia económica y social, que trae a las comunidades es mayor, al mismo tiempo brinda aportes positivos al ambiente.

El bambú frente al hormigón armado para promover su uso en viviendas de interés social.

Es importante comparar al bambú y al hormigón armado para la promoción de viviendas de interés social. Anteriormente se describió las ventajas y desventajas del bambú, como material sismoresistente, económico, ecológico y de aceptación social actualmente en el Ecuador. El hormigón armado lo definen Murcia et. al. (1993) como “un material mixto; hormigón y acero; este se dispone en el interior del primero en forma de barras (armaduras)” (p.23).

Posee varias características resaltantes ya que es un material con aceptación universal, por la disponibilidad de los materiales que lo componen (cemento, agregados como arena y piedra picada, acero, agua y opcional: aditivos). Tiene una adaptabilidad de conseguir diversas formas, es decir, es versátil, puede moldearse por medio de hormas. Posee alto grado de durabilidad y el coste de mantenimiento es mínimo comparado al del acero o la madera.

El hormigón armado es resistente al fuego, Hernández (2010), explica que es “un material que se comporta *muy bien*, por sus características como son baja conductividad térmica que lo protege del fuego, no lo alimenta” (p.39). Este tipo de edificaciones favorablemente predominan en Ecuador. En la tabla 3, se establecen los materiales habituales para la construcción de viviendas y su resistencia ante el fuego.

Tabla 3. Resistencia al fuego de materiales de construcción que regularmente se emplean en la construcción de viviendas.

	Madera	Acero	Hormigón
Resistencia al fuego sin protección	Muy baja	Baja	Alta
Combustibilidad	Alta	Ninguna	Ninguna
Contribución a la carga de fuego	Alta	Ninguna	Ninguna
Conductividad del calor	Baja	Muy alta	Muy baja
Incorpora protección frente al fuego	Muy baja	Baja	Alta
Posibilidad de reparación después del fuego	Ninguna	Baja	Alta
Protección para los usuarios durante la evacuación y los bomberos	Baja	Baja	Alta

Fuente: Vega y Burón, 2007.

Frente a estructuras metálicas es un material que resulta ser económico, sobretodo para edificios de más de diez pisos de alturas (Medina, 2008). El acero estructural resulta ser un material con altos costos de inversión y muchas veces se tiene que importar el acero, lo que acarrea un costo adicional al momento de la compra del material y por último, el acero requiere de mantenimiento y supervisión constante, por ser altamente corrosivo, solicitando recubrimientos especiales como anticorrosivos, galvanizado y otros productos, generando sobrecostos, a mayor altura, el precio se acrecienta también. El hormigón necesita mantenimiento de menor costo y son materiales que se puede ubicar fácilmente en la zona de construcción (Rojas y Arenas, 2008).

Los elementos constructivos esenciales (columnas, vigas y losas) están sólidamente unidos entre sí, proporcionándole a la estructura una adecuada unión entre ellas y distribuyendo mejor los esfuerzos (Córdova, 2014).

El hormigón armado es el material que más se utiliza en la construcción de viviendas en la mayoría de los países a nivel mundial. Como se ha apreciado, es un material con múltiples ventajas, sin embargo, posee desventajas a nivel general como lo son: el gran peso que posee y sus grandes

secciones; la obra estructural es lenta debido a los períodos de desencofrado; el curado debe ser preciso y cuidadoso; contracciones durante el fraguado; la adaptación a diversas formas ha traído como resultado diseños arquitectónicos modernos e impactantes, pero con escaso comportamiento sísmico (Medina, 2008).

El hormigón armado no posee buena resistencia frente a los esfuerzos de tracción, por lo que es necesario realizar un diseño adecuado con armaduras de acero. El hormigón armado no es recuperable, Córdova, (2014) manifiesta que en el “caso de querer retirar la estructura se necesita una demolición que provocaría la pérdida de todo el material” (p. 160).

En una revisión realizada por Ordóñez (1999) cita a Janssen (1980) quien en la tabla 4 presenta valores de diseño de acuerdo a sus propiedades mecánicas de materiales estructurales utilizados frecuentemente en la construcción y son comparados con el bambú, aunque en el estudio no especifica bajo qué tipo de sollicitación se determinaron los valores obtenidos, también se evidencia que los datos para concreto corresponden al material sin refuerzo de acero.

Tabla 4. Propiedades de diseño de materiales estructurales usados frecuentemente en la construcción y del bambú.

Material	Resistencia al Diseño (R) (Kg/cm²)	Masa por Volumen (M) (Kg/cm²)	Relación de Resistencia (R/M)	Módulo de Elasticidad (E) (Kg/cm²)	Relación de rigidez (E/M)
Concreto	82	2.400	0,032	127.400	53
Acero	1.630	7.800	0,209	2.140.000	274
Madera	76	600	0,127	112.000	187
Bambú	102	600	0,170	203.900	340

Fuente: Janssen (1980) citado por Ordóñez, 1999.

El bambú frente al hormigón armado presenta la ventaja de que es un material de bajo costo, ideal para la construcción de viviendas de interés social. El bambú es un recurso natural, abundante en la provincia de Manabí. También es un recurso renovable cuyo consumo favorece la explotación forestal local y la protección medioambiental (Soler, 2017). Esta misma autora explica que el bambú por ser un recurso natural "consume menos energía primaria en su transformación y produce menos impactos que otros materiales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto"

(p.28). En la tabla 5 se muestra la tasa de energía para la producción de materiales de construcción (Eco-Costo):

Tabla 5. Tasa de energía para la producción de materiales de construcción (Eco-Costo).

Material	Unidad	Valor
Bambú	MJ/m ³ por N/mm ²	30
Madera	MJ/m ³ por N/mm ²	80
Hormigón	MJ/m ³ por N/mm ²	240
Acero	MJ/m ³ por N/mm ²	1500

Fuente: Janssen, citado por Fernández, 2018.

De acuerdo con la tabla 5, el bambú es un material donde el consumo de energía para su producción de ellos sea mucho menor, haciéndolo un material sostenible, en relación con el hormigón y el acero, no existe nivel de comparación con la caña guadua en cuanto a ser amigable con el medio ambiente. Así mismo, indica Soler (2017) que “prácticamente no hay desperdicio durante los procesos de manufacturación y se trata de procesos sencillos y limpios” (p.28). El bambú también es un material económico en relación al hormigón armado, además, el bambú es un material sismo resistente, resiste mejor a los terremotos que el hormigón armado. Este beneficio del material se evidenció en el sismo sucedido en el 2016 en las Provincias de Manabí y Esmeraldas, donde el MIDUVI calificó 36.149 viviendas, es decir, el 73% como dañadas o destruidas, sin embargo, las viviendas realizadas con caña guadúa resistieron mejor el impacto. El diario El Productor (2016) reportó que las viviendas de bambú “no se destruyeron ante el sismo como algunas antiguas viviendas de este material permanecían de pie al lado de otras de cemento que habían colapsado” (p.1).

Por consiguiente, el hormigón armado es un material muy pesado, la caña guadúa es un material liviano, por lo que los profesionales de la ingeniería recomiendan construir con materiales ligeros ante acontecimientos sísmicos o de vientos fuertes. Conjuntamente, con éste material se puede realizar las viviendas de interés social en menor tiempo, en relación al concreto, ya que no hay que esperar que el material fragüe.

El bambú como elemento constructivo, para superar el déficit de vivienda en la provincia de Manabí

El bambú como material de construcción, por su bajo costo es una alternativa factible para el desarrollo de viviendas de interés social en la provincia de Manabí, ya que se encuentra en la zona y en abundancia. Por otro lado, el bambú es una material ecológico y sostenible, por su rápida velocidad de renovación del medio ambiente.

La construcción con bambú, aporta a la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, para contrarrestar el déficit de viviendas de acuerdo a su Objetivo 1, en lo que se refiere en *poner fin a la pobreza en todas sus formas*: desde el manejo del bambú que está en el bosque hasta el pre-procesamiento y transformación, posee un potencial para mantener al menos 241,630 empleos en áreas rurales. Además, implica la participación del núcleo familiar rural, lo que magnifica su importancia como medio de subsistencia (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018).

Con respecto al objetivo 7, la cual es *garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos*: las plantaciones de bambú abastecen recursos sustentables por largo período en materia prima para bioenergía sin causar deforestación. En relación al objetivo 11 de la Agenda, se refiere a *lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*: estas viviendas serán construidas con GaK, las cuales son estructuras fuertes y flexibles, diseñadas con técnicas modernas, sismo-resistentes y asequibles. En la República del Ecuador, la caña guadúa está siendo considerado por diversos programas de vivienda social para la construcción de unidades habitacionales (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018).

El objetivo 12, de la agenda de desarrollo sostenible se describe que se debe *garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*: el empleo del bambú en lugar del hormigón armado la hace una importante alternativa sostenible y eficiente para proteger el ambiente del consumo de energías no renovables (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán, 2018).

En otro orden de ideas, el déficit cuantitativo de viviendas en la provincia de Manabí para principios de 2016 era del 26,4%, cuando el promedio nacional era del 12,3% (Cámara de

Comercio de Quito, 2018); datos obtenidos antes del sismo, por consiguiente, las cifras del déficit de viviendas son mayores, siendo una diferencia alta en el ámbito habitacional, por lo que la construcción de desarrollo habitacionales es indispensable en ésta región.

Luego del análisis comparativo de la vivienda construida con bambú, con la realizada de hormigón armado, podemos señalar que en cuanto al ahorro de tiempo de construcción, bajo coste e impacto ambiental mínimo, posee la gran desventaja la cual es su corta vida útil en relación al hormigón. Actualmente, con las nuevas tecnologías de diseño y construcción se puede minimizar esta limitación.

La Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR, (2016), revelan que la forma más eficaz de proteger las estructuras de bambú de la descomposición, es edificando con caña preservada y seca, adoptando un diseño y detalles adecuados, esto se realiza de la siguiente manera:

1. El bambú debe ser adquirido antes de la construcción que esté limpio, curado y seco.
2. Además, el bambú debe mantenerse seco a lo largo de la vida de la estructura, por lo que se debe colocar indispensablemente debajo de un techo impermeable con aleros largos para protegerlo de las precipitaciones cuando son acompañadas de fuertes vientos. El diseño debe proporcionar detalles de goteo, evitar las trampas de agua, especialmente en las bases de las columnas y paredes, con el objetivo de que se produzca putrefacción y también evitar el ataque de escarabajos y termitas. Las paredes exteriores se deben proteger con recubrimientos impermeables. Permitir al bambú que respire ya que si está cubierto totalmente con algún material (bitumen o un producto químico similar) es probable que se pudra.
3. El bambú debe estar aislado del terreno de construcción, con una barrera, preferiblemente una losa de hormigón sobre el suelo.
4. Por el alto riesgo de ataque de termitas en la madera seca y escarabajos, la caña guadúa debe tratarse con preservante para que alcance una vida útil considerable. Es necesario resaltar que a pesar de que aumentará ligeramente el costo inicial del material, reducirá el costo general durante la vida útil de la estructura.
5. Para garantizar una construcción de calidad se requiere de mano de obra calificada. En Ecuador, hay muy buenos profesionales con experiencia en construcción con bambú. Coloquialmente se les denomina *carpinteros especializados* en estructuras de bambú. Hay que

tomar en cuenta que el grupo de expertos es reducido, el conocimiento debe ser difundido a la comunidad y a profesionales de la construcción como ingenieros y arquitectos.

Conclusiones

El bambú posee características físicas y mecánicas que lo hacen apto para el uso estructural y construcción de viviendas. La forma circular hueca lo hace un material liviano, por lo que lo hace de fácil transporte, y permite una construcción rápida y económica. Por su rigidez y elasticidad, que evita su ruptura al curvarse es ideal para construcciones sismo-resistentes. Puede ser combinados con otros materiales de construcción. Su mecanización es simple, requiere de herramientas habituales.

Comparar al bambú y al hormigón armado para la promoción de viviendas de interés social a pesar de que éste último es el más empleado en la construcción de viviendas a nivel mundial, es importante resaltar que las características favorables del bambú de construcción lo hacen un material sismoresistente, económico, ecológico y de aceptación social. A pesar de las limitaciones que tiene el bambú, sobretodo que se puede pudrir por la acción constante de la humedad y al ataque de insectos se puede solventar mediante recomendaciones clave para el diseño y conservación de la vivienda para mayor durabilidad.

Es importante verificar el contenido de humedad de la guadúa ya que un aumento en el valor de humedad reduce considerablemente la resistencia mecánica del material. De acuerdo a la Norma ecuatoriana el valor ideal es de 12 %, sin embargo, este mismo criterio indica que si las condiciones medioambientales en el lugar de edificación hacen modificar el contenido de humedad por encima de ese valor, se deben ajustar los valores de acuerdo a indicaciones en esta misma norma.

Los diseños e inspección de viviendas con caña guadúa deben estar inspeccionadas por personal calificado como arquitectos, ingenieros y conocedores del material de la zona denominados carpinteros especializados en bambú. Por lo que es significativo apoyar el desarrollo del conocimiento teórico y práctico la construcción con éste material bondadoso que brinda la naturaleza, con el objetivo de tener en la comunidad mano de obra bien preparada al momento de construir.

Las construcciones de viviendas de interés social con bambú en Ecuador están avaladas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, del mismo modo garantizada por la Norma

Ecuatoriana de la Construcción siendo un material ecológico, local y económico, además están regidas por la Norma Técnica de construcción en caña guadúa.

Referencias

1. Agencia EFE (2019). Noticias. Ecuador recupera el "acero vegetal" en construcciones antisísmicas. <https://www.efe.com/efe/america/cronicas/ecuador-recupera-el-acero-vegetal-en-construcciones-antisismicas/50000490-3955184>
2. Aguilar, P. (2019). Análisis del comportamiento estructural del bambú del tipo "guadúa angustifolia kunth" como material de construcción en sustitución del hormigón armado. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17760/1/UPS%20-%20ST004332.pdf>
3. Añazco, M. y Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie Guadua angustifolia. <https://acortar.link/soYfZ>
4. Bonilla, D. y Merino, J. (2017). Estudio de las propiedades físicas de la caña guadúa y su aplicación como refuerzo en la construcción de estructuras de adobe. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17267>
5. Brand, R.; Ruiz, D. y Lozano, N. (2015). Caracterización física y mecánica de la guadua rolliza de la especie Angustifolia Kunth mediante procesamiento digital de imágenes. <https://acortar.link/v8T8x>
6. Cámara de Comercio de Quito (2018). Manabí es beneficiaria de créditos para la reducción del déficit de vivienda. <https://acortar.link/qbUGy>
7. Camino, A. (2011). La caña guadúa en la provincia de Manabí y el litoral de Ecuador. https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2011/2011_9788469481073_p205-212_camino.pdf
8. Castiblanco, L. y Torres, H. (2019). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del culmo de guadua angustifolia en la construcción y estudio de un método de protección a la intemperie. <https://acortar.link/SpXOZ>
9. Castro, M.; Barcia, M.; Labrada, M. y Chasing, E. (2018). La guadúa que se corta: paisajes culturales y patrimonio construido en la costa ecuatoriana (Manabí, Ecuador). ISSN: 0556-6533. <https://acortar.link/FHziZ>
10. Córdova, M. (2014). Estudio comparativo del sistema constructivo en hormigón y acero, en un edificio. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19837>

11. Dans, V.; Chamba, M. y León, O. (2020). El bambú y su importancia como un material estructural para la construcción. ISSN: 2528-7818. ISSN: 1390 – 3683. https://drive.google.com/file/d/1hJddf_udjr3lx9RgZ7fJJz6T7KobPnOS/view
12. El Comercio (2016). Ministro del Ambiente habló de las ventajas del bambú en la construcción al final de Hábitat III. <https://acortar.link/mWfgt>
13. Empresa Pública para Todos (2018). Proyecto de inversión para la entrega de vivienda de interés social dentro de la Misión Casa para Todos. <https://acortar.link/Y8UaJD>
14. Encalada, J. (2016). Modelo de panel prefabricado en guadúa, aplicado a la industrialización de la construcción, para divisiones verticales. <https://core.ac.uk/download/pdf/38670651.pdf>
15. Fernández, S. (2018). Estudio Estructural de una vivienda hecha de Bambú Caña Guadúa. <http://201.159.222.99/bitstream/datos/8415/1/14135.pdf>
16. GADP de Santo Domingo de los Tsáchilas (2016). Ecuador ya cuenta con norma técnica de construcción en caña guadúa. <https://acortar.link/PUT0oa>
17. Hernández, N. (2010). Efecto del fuego sobre la resistencia a compresión de un elemento de concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm². Revista INGENIERÍA UC, vol. 17, núm. 2. Venezuela. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70721885006>
18. Medina, E. (2008). Construcción de estructuras de hormigón armado edificación. <https://acortar.link/QfRbj>
19. Mero, M. (2019). Agencia EFE. Ecuador recupera el "acero vegetal" en construcciones antisísmicas. <https://acortar.link/yNdb7V>
20. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Mesa Sectorial del Bambú, Red Internacional del Bambú y el Ratán (2018). Ecuador: Estrategia Nacional del Bambú 2018-2022. <https://acortar.link/r55572>
21. Moreno, J. y Cendales, M. (2018). Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth originaria de Armenia Quindio. <https://acortar.link/Ipyay>
22. Morán, J. (2015). Construir con Bambú. Manual de construcción. http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Manual-Construccion-Bambu.pdf
23. Murcia, J. Aguado, A. y Marí, A. (1993). Hormigón Armado y Pretensado I. <https://acortar.link/Aea9s>

24. Noticias ONU (2020). Día del Hábitat: Urgen medidas que den acceso a la vivienda a las familias pobres. <https://news.un.org/es/story/2020/10/1481842>
25. Ordoñez, V. (1999). Perspectivas del bambú para la construcción en México. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61750102.pdf>
26. Palella, S. y Martins, F. (2006). Metodología de la investigación cuantitativa. https://www.academia.edu/35200587/2006_Metodologia_de_la_investigacion_cuantitativa_Palella_pdf
27. Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del Bambú con énfasis en la especie (guadua angustifolia) en Ecuador. <https://bambuecuador.files.wordpress.com/2018/01/2015-estudio-de-la-cadena-desde-la-producciocc81n-al-consumo-del-bmabucc81-en-ecuador.pdf>
28. Red Internacional de Bambú y Ratán, INBAR. (2016). Reporte post-sismo sobre estructuras de bambú, y recomendaciones para la reconstrucción con bambú en la costa ecuatoriana. https://www.researchgate.net/publication/311583383_Reporte_post-sismo_sobre_estructuras_de_bambu_y_recomendaciones_para_la_reconstruccion_con_bambu_en_la_costa_Ecuatoriana
29. Rojas, M. y Arenas, J. (2008). Comparación técnico-financiera del acero estructural y el hormigón armado. *Dyna*, vol. 75, núm. 155, julio, 2008, pp. 47-56. Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49611953006>
30. Vega, L. y Burón, M. (2007). Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón. ISSN: 0008-8919.
31. Yedra, O. (2014). Caracterización del bambú Guadua (*Guadua Angustifolia*) para el diseño e industrialización en España. <https://acortar.link/gyNHE>

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).