

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



EL BAMBÚ, EL ACERO VEGETAL. TIPOS, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÁNICAS Y SUS VENTAJAS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SOSTENIBLES EN EL PERÚ Y EN EL MUNDO. NORMA E.100 RNE. PROCESOS Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ.

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

AUTORES:

Rubén Anthony Cervantes Quintanilla

Yhon Kevin Echavaudis de la Cruz

José Miguel Armando Pajuelo Villegas

Cristhian Daniel Sutta Delgado

Douglas Abelardo Torres Reyes

ASESOR:

Carlos Raúl Hoyos Vertiz

Lima, Diciembre, 2021

RESUMEN

La presente investigación tiene como principal propósito demostrar que el bambú es una alternativa de construcción en viviendas en cuanto al costo se refiere. Lo anterior implica especificar acerca de los beneficios económicos que conlleva la aplicación de bambú en la construcción de viviendas, además de la realización de un análisis de las partidas más relevantes en el proceso de construcción de una vivienda de concreto armado y bambú.

Para conseguir nuestro objetivo, se toma como marco de referencia un conjunto de proyectos cada uno en base a un modelo de edificación de acuerdo a el tipo de material que predomina en su construcción. El primero será el modelo de vivienda a base de bambú y el segundo es el modelo a base de concreto armado y albañilería. Dichos modelos se adaptarán y extraerán sus respectivos análisis de precios unitarios, así como los metrados a fin de analizar y discutir sobre el sobrecosto que implican las distintas partidas de las opciones de vivienda presentadas.

Los resultados obtenidos se compararon e interpretaron con el fin de obtener conclusiones con respecto a la información obtenida en las distintas investigaciones analizadas referentes a las opciones de vivienda. De esta manera, se busca continuar la línea de investigación con temas relacionadas a la conveniencia de la aplicación de bambú en la construcción de viviendas en el Perú y otorgar información para futuras investigaciones, así como dar a conocer la realidad actual del nivel de desarrollo de construcciones de bambú.

INDICE

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General.....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 Alcances y limitaciones.....	2
1.5 Metodología.....	2
CAPÍTULO 2: REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Estado del Arte.....	4
2.2 Reseña histórica.....	5
2.3 Tipos de Bambú.....	6
2.4 Tratamiento y conservación.....	9
2.5 Características del Bambú.....	10
2.5.1 Físicas.....	11
2.5.2 Mecánicas.....	12
2.6 El bambú como material en la construcción.....	14
2.7 Procesos constructivos con el bambú.....	15
CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
3.1 Descripción de los proyectos a analizar.....	16
3.2 Análisis comparativo en costos del bambú en las etapas de un proyecto.....	16
3.2.1 Análisis de costos de la especialidad de estructuras.....	17
3.2.2 Análisis de costos de la especialidad de arquitectura.....	23
3.2.3 Análisis del presupuesto total.....	28

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
4.1. Conclusiones	31
4.2. Recomendaciones.....	32
BIBLIOGRAFÍA.....	



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Tumba del señor de Sipán con restos de Bambú la ciudad de Chiclayo Perú (Takahashi, 2010).....	6
Ilustración 2:Fósil de Bambú en Parana Argentina (Takahashi, 2010).....	6
Ilustración 3: Bambú Dendrocalamus giganteus (Imago, 2017).....	7
Ilustración 4: Puente en Cúcuta, Colombia. Detalle de las tirantas (La librería del ingeniero, 2010).....	8
Ilustración 5: Bambú negro decorativo (Andrade, 2019).....	9
Ilustración 6: Bambú negro estructural (Andrade, 2019).....	9
Ilustración 7: Diseño de uniones de bambú (Andrade, 2019).....	15



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de contenido de humedad de distintos autores	11
Tabla 2: Resumen de densidad	12
Tabla 3: Resumen de compresión paralela a la fibra.....	12
Tabla 4: Resumen de flexión estática.....	13
Tabla 5: Resumen de tracción paralela a la fibra	13
Tabla 6: Resumen de corte paralelo a la fibra	13
Tabla 7: Presupuesto parcial de la partida de obras provisionales en la vivienda de concreto armado.....	17
Tabla 8: Presupuesto parcial de la partida de obras preliminares en la vivienda de concreto armado.....	17
Tabla 9: Presupuesto parcial de la partida de obras preliminares en la vivienda de bambú	18
Tabla 10: Presupuesto parcial de la partida de movimiento de tierras en la vivienda de concreto armado.....	18
Tabla 11: Presupuesto parcial de la partida de movimiento de tierras en la vivienda de bambú	19
Tabla 12: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto simple en la vivienda de concreto armado	20
Tabla 13: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto simple en la vivienda de bambú	20
Tabla 14: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto armado en la vivienda de concreto	21
Tabla 15: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto armado en la vivienda de concreto	22
Tabla 16: Presupuesto parcial de la partida de muros y tabiques de albañilería en la vivienda de concreto armado	23
Tabla 17: Presupuesto parcial de la partida de muros y tabiques de albañilería en la vivienda de bambú	24
Tabla 18: Presupuesto parcial de la partida de tarrajeo en la vivienda de concreto armado	24
Tabla 19: Presupuesto parcial de la partida de tarrajeo en la vivienda de bambú.....	25
Tabla 20: Presupuesto parcial de la partida de pisos y pavimentos en la vivienda de concreto armado.....	25

Tabla 21: Presupuesto parcial de la partida de pisos y pavimentos en la vivienda de bambú . 26
Tabla 22: Presupuesto parcial de la partida de carpintería en la vivienda de concreto armado27
Tabla 23: Presupuesto parcial de la partida de carpintería en la vivienda de bambú..... 27
Tabla 24: Costos parciales y totales de vivienda – concreto armado..... 28
Tabla 25: Costos parciales y totales de vivienda – Bambú 29



CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Este trabajo de investigación se centra en el desarrollo del bambú como material de construcción en las viviendas. Se trata de dar un panorama general acerca de sus principales propiedades tanto físicas y mecánicas, los diferentes tipos de bambú que hay actualmente, dando énfasis en los que son utilizados hoy en día en la industria de la construcción y sus principales formas de tratamiento, curado y preservación ante diversos factores externos como humedad, ataque de insectos y hongos.

Adicional a ello, se da a conocer los principales beneficios del uso de este material tanto en el aspecto ambiental como económico en comparación con otros materiales de construcción como el concreto y la albañilería. Por otro lado, se detalla sus ventajas y desventajas como elementos estructurales ya que al ser un material natural no va a presentar por ejemplo la misma resistencia que el concreto. Por ende, es importante tener en cuenta sus limitaciones al momento de construir viviendas con estos elementos.

1.2 Justificación

Actualmente, el desordenado y desmesurado crecimiento poblacional en las ciudades, la falta de recursos económicos, el decaimiento de los recursos naturales, la contaminación ambiental y los fenómenos naturales, como sismos, han dejado como consecuencia la destrucción masiva de viviendas en muchos países. Un claro ejemplo de ello, es el terremoto ocurrido en Pisco el 15 de agosto del 2007. Debido a ello, es necesario proponer nuevos sistemas de construcción accesibles para los sectores de recursos económicos más bajos que garanticen principios de sostenibilidad y seguridad. El bambú es un material orgánico y es una de las tecnologías que más se han empleado desde tiempos remotos, y que ha comenzado a revitalizarse aumentando aún más su contribución en los últimos años como material estructural de construcción principalmente por los siguientes motivos:

- **Enfoque social y económico:** Las poblaciones más vulnerables necesitan acceder a un hogar con materiales de construcción accesibles a su economía.

- **Enfoque ambiental:** El sector de la construcción es una de las mayores industrias de contaminación ambiental. El bambú es un material orgánico renovable que nace como propuesta alternativa de construcción de hogares.
- **Enfoque de condición de localidad:** Perú se encuentra en una zona altamente sísmica se requiere desarrollar técnicas que ayuden a mitigar o reducir los efectos de los sismos en las viviendas, así como una solución viable y rápida en caso que una vivienda ya existente se vea severamente afectada

1.3 Objetivos

1.3.1 General

- Demostrar que el bambú es una alternativa de construcción para la elección de viviendas de bajo costo en Perú

1.3.2 Específicos

- Determinar los beneficios en costos que provee el bambú en la construcción de viviendas en el Perú.
- Analizar las partidas más significantes en el proceso de construcción de una vivienda de concreto armado y bambú

1.4 Alcances y limitaciones

El presente trabajo de investigación sobre el bambú abarcará en un principio el estudio de sus características físicas y mecánicas, así como sus ventajas en el campo de la construcción y diseño. Adicionalmente a ello, se demostrará cuáles son los beneficios en el uso de este material en el aspecto económico. Cabe recalcar que esta investigación se limita a analizar a través de cuadros comparativos al bambú con otros materiales de construcción como el concreto y la albañilería dentro de un enfoque de costos.

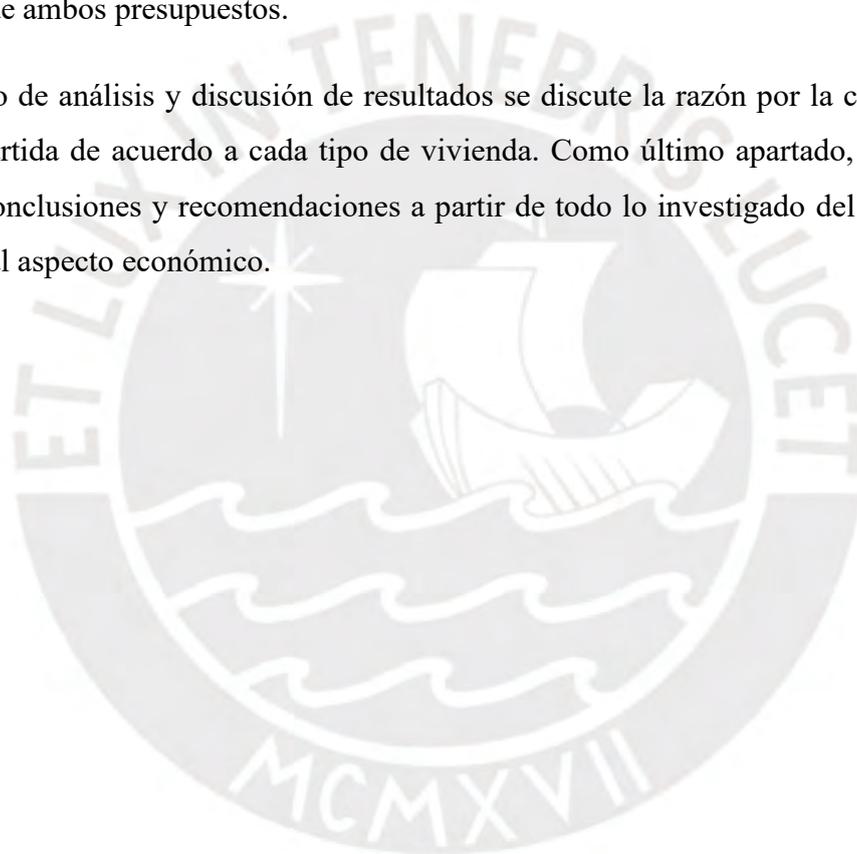
1.5 Metodología

Se realiza una revisión de la literatura de diferentes autores con el objetivo de contar con la suficiente información del tema. En este primer acápite se desarrolla una breve reseña histórica del bambú como material de construcción en diversas comunidades y civilizaciones en todo el

mundo. Asimismo, se realiza una descripción de los diferentes tipos de bambú que se encuentran hoy en día en los bosques haciendo énfasis en aquellas especies aptas para ser utilizadas como elementos estructurales. Finalmente, se habla acerca del tratamiento, preservación de los tallos, procesos constructivos con el bambú, así como también sus características físico-mecánicas.

En el siguiente apartado correspondiente al desarrollo de la investigación se describe de manera detallada los dos proyectos a considerar. En este caso se trata de una casa de dos pisos de concreto y bambú en la cual se realiza un análisis comparativo de las principales partidas comunes tanto en estructura como arquitectura. Además, se realiza los comentarios más importantes de ambos presupuestos.

En el capítulo de análisis y discusión de resultados se discute la razón por la cual varía cada precio por partida de acuerdo a cada tipo de vivienda. Como último apartado, se discute las principales conclusiones y recomendaciones a partir de todo lo investigado del bambú dando importancia al aspecto económico.



CAPÍTULO 2: REVISION DE LITERATURA

2.1 Estado del Arte

En Perú, la guadua y la madera han sido usadas como materiales de construcción desde hace cientos de años, ya que eran materiales que han estado a disposición del ser humano desde mucho antes de la época de la colonización. Luego de ello y con la entrada de materiales más resistentes como el acero y el concreto, se aminoró su uso destinando su aplicación a zonas rurales.

Dicho material el cual ha estado presente en la vida del poblador rural desde las primeras culturas de nuestro territorio, como se observa en diversas culturas preincas, alcanzó su punto máximo durante el Virreinato y a lo largo del siglo XVII con su aplicación en las construcciones denominadas “quinchas”, con el objetivo principal de contrarrestar o soportar los daños que ejercen los movimientos sísmicos en las edificaciones. Incluso el territorio peruano gozaba de grandes sectores de bosques dedicados al desarrollo del bambú, en el Perú se decretaron acciones políticas que se cree que provocaron un desastre ante la creciente oferta y demanda del bambú, dichas acciones políticas promovieron la ampliación de la frontera agrícola en la Amazonía, por otro lado se incentivó en el uso de materiales de alto impacto ambiental en las construcciones como el cemento, además se incrementó la extracción de las llamadas maderas finas y se produjo el aumento de la tala ilegal, seguido por la tala y quema de los bosques amazónicos, con fines de agricultura migratoria de las poblaciones rurales y para cultivos de productos ilícitos como drogas, todos los problema antes mencionadas suman la causa principal del aumento de la pérdida de los bosques peruanos.

El desarrollo de nuevas tecnologías constructivas con el bambú ha permitido que en la actualidad el uso de este material en diseño y construcción cumpla con los requerimientos necesarios que la consagran como un material ecológico, de bajo costo, que brinda seguridad y de rápida ejecución.

En Perú se desarrollaron planes de construcción de vivienda con guadua de manera práctica lo cual permite que los pobladores rurales puedan aprender su método constructivo con gran facilidad, esto con la ayuda de instituciones como el Ministerio de agricultura. Entonces se aprovechó un material que estaba disponible en el medio ya que resulta de fácil operabilidad, esto conlleva a una facilidad en cuanto a brindar acceso a un techo propio, así como también permitió darle una solución rápida, económica a dicha necesidad, pero afectando la

disponibilidad del recurso de bambú en el territorio. “El costo de construir con guadua resulta muy por debajo del costo de construir con materiales convencionales, hasta un 45% menos; de allí que este recurso se convierta en una alternativa real para ayudar a solucionar de una manera eco-constructiva los serios problemas de déficit de vivienda que afectan a la mayoría de los países de América latina” (VILLEGAS, Marcelo, 2003).

2.2 Reseña histórica

El bambú es un material que se ha venido utilizando a lo largo de la historia tanto en proyectos de pequeña envergadura y económicos, como en construcciones impresionantes, tales como puentes y edificaciones altas para el tipo de material. Este material denominado acero vegetal tiene gran presencia en países de Latinoamérica y asiáticos, lo cual no es coincidencia para la historia, pues se han evidenciado distintos hallazgos históricos sobre su presencia en épocas muy antiguas. Por ejemplo, en el caso latinoamericano el bambú ha tenido presencia en la cultura azteca y también se tiene evidencia de rastros del uso de este material en la cultura incaica del Perú (Andrade, 2019). Además, la cultura maya de México basó casi todas sus cabañas en la denominada choza ancestral, la cual contenía adobe y caña en las paredes y presumiblemente sus coberturas fueron de bambú (Libro). Para el caso asiático se tiene los ejemplos de los templos montados en países como la India (Andrade, 2019). Como se comentó, el ser humano ha utilizado el bambú como materia prima para la construcción de sus casas, puentes, armas, balsas, además de alimento (Brugger, 2013). Sin embargo, las primeras intervenciones históricas relacionadas al bambú datan de 5.3 a 1.8 millones de años ADC en Paraná Argentina donde se encontró fósiles de Bambú. Otra ejemplificación de data histórica es el caso de la tumba del señor de Sipán donde se encontró restos de Bambú en los años 250 DC (Takahashi, 2010).

A lo largo de la historia el bambú ha sido de gran utilidad para las distintas culturas. Como ejemplo de estos usos se tienen el cuchillo de bambú, el cual era utilizada por la cultura asiática a manera de instrumento para cortar el cordón umbilical y circunda a los niños (Brugger, 2013). Sin embargo, el uso a este material no se limitó ahí, sino que se utilizaba el bambú como paño para limpiar, juguete y, lo más interesante, se construía infraestructura como puentes colgantes. Ejemplos de este último aprovechamiento del Bambú se puede encontrar en ciudades como Colombia, donde la plantación y tratamiento del Bambú es muy común, además que este país es de los mayores productores en la región latinoamericano, solo por detrás de países asiáticos

como China, India y Japón. Para reforzar esta premisa se tienen las leyendas asiáticas que dicen: “la mujer nació a partir del bambú, luego de batallas de las fuerzas del cielo y el océano”.



Ilustración 1: Tumba del señor de Sipán con restos de Bambú la ciudad de Chiclayo Perú (Takahashi, 2010)



Ilustración 2: Fósil de bambú en Parana Argentina (Takahashi)

2.3 Tipos de Bambú

A lo largo del tiempo se ha utilizado un sinnúmero de tipos de materiales en la construcción, pero según ha ido progresando la tecnología en la forma de analizar las características de estos se ha sido más específico en el cómo y cuándo utilizarlos. El bambú es un material que no es ajeno a esta premisa de caracterización de acuerdo al uso. Por ello, el uso del Bambú en construcción se realiza luego de un proceso de cuidado desde el plantado hasta el acarreo in situ en la construcción (Andrade, 2019).

El bambú cuenta con varias propiedades ventajosas en la construcción. Estas características son, por ejemplo, la flexibilidad, la ligereza en peso, resistente a altos esfuerzos físico mecánicos y es agradable a la vista. Además, es capaz de absorber el ruido y altas temperaturas (Andrade, 2019). Esta planta se encuentra en distintos lugares del planeta, pero su mayor uso es en Latinoamérica y Asia, teniendo como ejemplos de edificaciones icónicas los edificios “Bamboo Sports Hall Panyaden International School” ubicado en Tailandia (Asia) y “La Ceiba” en México (Latinoamérica).

Los tipos de bambú están distribuidos en todo el planeta, pero con muy escasa presencia en Europa, teniendo como principal exportador a China y se tiene una data de alrededor de 1600 especies, pero el número de estos se actualiza según avanza los días. Las especies de bambú son clasificadas de acuerdo al color, forma, tamaño y características físico mecánicas. Por

ejemplo, se tiene los bambús clasificados por ser leñosos y herbáceos. También se clasifican por colores, siendo los más oscuros los utilizados para decoraciones y aspectos arquitectónicos. Además, de manera general, se puede clasificar al Bambú en 25 géneros pertenecientes a la familia de los herbáceos y 9 subgéneros que subdividen a los leñosos (Andrade, 2019).

Como se mencionó, hay gran variedad de Bambús, lo cual es muy importante para el sector construcción, por ejemplo, pues existen algunas variedades que, por sus características físico mecánicas, permiten la construcción de edificaciones y se pueden utilizar en decoración arquitectónica. Uno de estas especies que se puede utilizar en construcción es el Bambú de la especie *Dendrocalamus giganteus* cual tiene gran presencia en Tailandia. Dentro de las principales características de esta especie se encuentra su gran resistencia mecánica, la cual es muy superior a las demás especies de bambúes, lo cual lo hace idóneo para usarlo como material de construcción de edificaciones. Esta especie de bambú también se puede utilizar en la construcción de acabados tales como falsos cielos rasos, pisos, puertas, paneles y enchapes de puertas (Montiel et al., 2016)

Otra importante cualidad de la especie *Dendrocalamus giganteus* es que permite el desarrollo de ensayos mecánicos para determinar su taxonomía y cualidades en cuanto a resistencia (Krause et al., 2016). Además, esta especie de bambú es de las más grandes del planeta, lo cual lo hace adecuado para construcciones de puentes, por ejemplo. A continuación, se muestra una semejanza entre una persona y el tamaño real de esta especie.

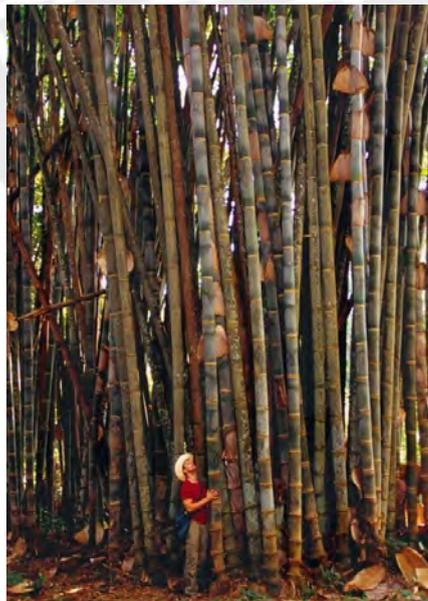


Ilustración 3: Bambú *Dendrocalamus giganteus* (Imago, 2017)

Por otra parte, tenemos a otra especie muy utilizada en construcción, la cual es denominada guadua, la cual se subdivide en 20 especies. De estas especies, las más utilizadas en construcción es la marcada, puesto que sus paredes son, notablemente, más gruesas que el promedio (Jaramillo, 2004). Además, otra componente de la especie guadua es la guadua rayada verde, la cual es una de las más bellas de Latinoamérica arquitectónicamente y de las menos utilizadas, pues su extinción es casi inminente (Andrade, 2019).

La idea de construir puentes con bambú se hace realidad al mencionar a la especie Guadua, pues es una de las más históricas en Colombia, por ejemplo, donde se ha venido utilizando por poblaciones indígenas a lo largo de la historia. El método constructivo de puentes con bambú no tiene una receta específica, sino que el material se adapta de acuerdo a los requerimientos. Por ejemplo, para los rieles peatonales se utilizan las guaduas con más de una curva, las curvadas se usan para arcos y barandales, y las más gruesas y derechas son idóneas para postes y barandales, pues tienen buena capacidad de resistencia a fuerzas de compresión (Carmioli, 2010). A continuación, se muestra un majestuoso puente construido con Bambú guadua, en el cual se pueden identificar las guaduas curvadas, las más gruesas y rectas, además de la majestuosa arquitectura que se obtiene como resultado final.



Ilustración 4: Puente en Cúcuta, Colombia. Detalle de las tirantas (La librería del ingeniero, 2010)

Comúnmente se asocia al bambú con el color amarillento; sin embargo, hay una gama de especies que tienen tonalidades oscuras. Se asocia a los bambúes negros en cuatro especies de los cuales dos son de uso arquitectónico, tal como se aprecia en la figura 3, y otras 2 de uso

estructural o en construcción, pues tienen características mecánicas apropiadas tal como lo tiene la variante *Gigantochloa Atroviolacea* (Java Black) presenta en la figura 4.



Ilustración 5: Bambú negro estructural (Andrade, 2019)



Ilustración 6: Bambú negro decorativo (Andrade, 2019)

Como se ha presentado, existe una gran cantidad de variedades de bambúes que cuentan con diferentes usos estructurales y arquitectónicos. Con la finalidad de no extender, innecesariamente, esta investigación que pretende averiguar sobre la existente sinergia entre el bambú y el sector construcción se tendrá como principales referentes a las especies *Dendrocalamus giganteus* y *Guadua*. Cabe resaltar que esta última es la más comercializada en el Perú y es la referente en construcciones con bambú en este país.

2.4 Tratamiento y conservación

Es importante que los tallos a utilizar para la construcción sean maduros, ya que estos cuentan con las características y propiedades mecánicas para ser considerados como elementos estructurales. El uso de tallos jóvenes (menor a 3 años) y sobre maduros se debería evitar debido a que no cuentan con la suficiente resistencia y algunos de ellos tienen grandes cantidades de almidón (Hidalgo, 1981).

Una vez extraído el bambú, es importante que sus tallos pasen por un proceso de curado y preservación ya que resulta necesario disminuir su contenido de almidón y, al ser un material natural, queda expuesto y vulnerable al ataque de insectos, hongos, humedad, calor y otros factores externos y todo ello ocasiona un deterioro en su resistencia a mediano y largo plazo. En la actualidad, existen diferentes métodos para realizar el curado del bambú, ya sea de manera tradicional o usando preservativos químicos. Si bien los métodos tradicionales no resultan ser

tan eficaces a comparación de los actuales, muchas comunidades lo siguen utilizando gracias a su bajo costo y facilidad de uso (Stulz, 1993). Los métodos de curado más conocidos son: Curado en la mata, inmersión en el agua, al calor y al humo.

Estos métodos tradicionales brindan una mayor durabilidad al bambú con el pasar de los años. Sin embargo, aún quedan expuestos a la acción de las bacterias y los hongos de la naturaleza. Es por tal motivo que el uso de los preservativos químicos resulta ser eficientes en estos casos. Por ejemplo, el uso del octaborato tetra-hidratado es uno de los más usados en la actualidad principalmente gracias a su bajo impacto ambiental con una concentración sugerida de 10% en agua (Bejarano, 2002). Entre otros métodos se puede mencionar el Boucherie, Boucherie modificado, inyección de sales de boro, lavado con cal, entre otros.

2.5 Características del Bambú

Se sabe que el bambú es un material resistente y posee un sinnúmero de ventajas respecto a otros materiales a los cuales puede suplir. Sin embargo, para tener un mejor alcance de sus características tanto físicas como mecánicas es imprescindible realizar una serie de ensayos normados. Con estos ensayos se pueden obtener de manera confiable ciertos parámetros que permiten discernir entre el uso o descarte del bambú como elemento estructural.

Ya se ha explicado sobre las variedades, y tratamiento y conservación del bambú. Sin embargo, para lograr un mejor alcance de las cualidades que brinda este importante material se realizará una serie de comparaciones y correlación entre los distintos resultados que encontramos en la literatura. Estos datos se tratarán en cuadros comparativos con la finalidad de tener cierta data para cotejar los distintos resultados que se muestran en la literatura.

El bambú es un material que posee distintas características relativamente fáciles de medir mediante ensayos normados, lo cual se puede evidenciar en la literatura de distintos países, como por ejemplo el caso de Perú, Colombia, Ecuador, México, entre otros. Los ensayos tanto para características físicas y mecánicas presentados se realizaron de acuerdo a lo que indica las normas, según lo que explican los autores. Las normas indican, por ejemplo, el tipo de material, tamaño de probetas, esfuerzos admisibles, la construcción de gráficas, regresión y ajuste de las gráficas entre otras técnicas para lograr una adecuada performance en el cálculo de los resultados finales.

Las características que se abarcarán en este acápite son: por la parte de características físicas se tiene el contenido de humedad, la densidad y la contracción volumétricas, y por la parte de

características mecánicas la compresión paralela a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, flexión estática, tracción paralela a la fibra, corte paralelo a la fibra. Estos ensayos no se explicarán como teoría, pues el objetivo del presente trabajo de investigación es en parte mostrar las características físicas y mecánicas como resultado. De la misma manera tampoco se mencionará mucho sobre los materiales y métodos empleados para agilizar la presentación de las cualidades físicas y mecánicas de este árbol.

En general, para la cuantificación de las características físicas y mecánicas presentadas se utilizaron probetas prismáticas de bambú, balanzas, hornos, máquinas que simulen el proceso mecánico al cual se exponen las estructuras. Además, en los ensayos se siguieron por ejemplo los acápites indicados por la norma E.100 para ensayos de determinación de características físicas y mecánicas. Para el contenido de humedad los autores revisaron los acápites de NTP 251.010:2004 - NTC 5525, en la contracción NTP 251.012:2004 - NTC 5525, para la compresión paralela a la fibra NTP 251.014:2004 - NTC 5525, para el corte NTP 251.013:2004 - NTC 5525, para la flexión estática NTP 251.017:2004 - NTC 5525 y para la tracción NTP 251.018:2004 - NTC 5525. Como se revisó literatura de distintas regiones de Latinoamérica se puede decir que los otros autores utilizan normas con indicaciones similares, pues, como se presentará más adelante, las variantes entre los distintos resultados son pequeños.

2.5.1 Físicas

En las siguientes líneas se presentará las propiedades físicas relacionadas a la humedad y densidad del bambú. Esta data se recolectó de las fuentes citadas con la finalidad de comentar la variación en los resultados.

Tabla 1: Resumen de contenido de humedad de distintos autores

Autor	Contenido de humedad (kg/m ³)
Zaragoza-Hernández et al.	
Maria Goreti usboko	14.41%
Martinez	18%
Vivienda	4.30%
Carpio y Vázquez	14.30%

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

Tabla 2: Resumen de densidad

Autor	Densidad (kg/m ³)
Zaragoza-Hernández et al.	560
Maria Goreti usboko	607.7
Martinez	760
Vivienda	551
Carpio y Vázquez	655

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

En el tema de las características físicas del bambú se presenta gran variación del contenido de humedad, por ejemplo, por el tiempo de secado y la forma de exposición a la intemperie. Además, para la densidad del bambú guadua evaluado se presentan las diferencias en este valor, debido al contenido de humedad, estado de madurez y contenido de nudos en la probeta (Maria Goreti usboko, 2018).

2.5.2 Mecánicas

Similar al acápite donde se presenta las características físicas, se presentará lo concerniente a las características mecánicas. Se comentará de acuerdo a lo investigado en la literatura y se explicará un poco sobre por qué varían los valores en resultados de las distintas propiedades presentadas.

Tabla 3: Resumen de compresión paralela a la fibra

Autor	Compresión paralela a la fibra
Zaragoza-Hernández et al.	47.9 MPa
Maria Goreti usboko	25.66 MPa
Martinez	48 MPa
Vivienda	18.68 MPa
Carpio y Vázquez	34.5 MPa

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

Tabla 4: Resumen de flexión estática

Autor	Flexión estática (MPa)
Zaragoza-Hernández et al.	62.8
Maria Goreti usboko	7.48
Martinez	74
Vivienda	9.34
Carpio y Vázquez	6

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

Tabla 5: Resumen de tracción paralela a la fibra

Autor	Tracción paralela a la fibra (MPa)
Zaragoza-Hernández et al.	92.2
Maria Goreti usboko	5.46
Martinez	132
Vivienda	44.49
Carpio y Vázquez	18

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

Tabla 6: Resumen de corte paralelo a la fibra

Autor	Corte paralelo a la fibra (MPa)
Zaragoza-Hernández et al.	7.1
Maria Goreti usboko	5.61
Martinez	9.4
Vivienda	3.55
Carpio y Vázquez	7.6

Nota: Fuente (Zaragoza-Hernández et al., 2015), (Maria Goreti usboko, 2018), (Martinez, 2015), (Vivienda, 2019), (Carpio y Vázquez, 2016)

Las propiedades presentadas comprenden a la compresión paralela a la fibra, flexión estática, tracción paralela a la fibra y corte paralelo a la fibra. La génesis de la diferencia entre los valores de compresión, por ejemplo, es por la variación de diámetros entre ensayos, así como la forma como se realiza el ensayo de compresión. Otro factor es la presencia de nudos en la probeta evaluada y el nivel de madurez del bambú (Maria Goreti usboko, 2018).

Por otro lado, para la resistencia al corte, también influye el diámetro, pero el nudo no hace la diferencia. De manera similar, para las demás propiedades presentadas se generan variaciones importantes en los resultados debido al diámetro de la probeta, la presencia de nudo, el nivel de madurez, la correcta ejecución de los ensayos normados y el espesor de las paredes (Maria Goreti usboko, 2018).

2.6 El bambú como material en la construcción

En tiempos actuales, el bambú es considerado un material importante para el sector construcción. Esto debido a las cualidades que presenta respecto a otros materiales, así como el proceso de evolución por el cual ha pasado. Estas beneficiosas características radican en la facilidad de tratamiento en el transporte de la naturaleza al campo de construcción. También es un material que facilita la instalación en la puesta en obra, puesto que los procesos constructivos y materiales como uniones y cimentaciones son fáciles de obtener y construir (Brugger, 2013).

Debido a la gran trascendencia que ha logrado el bambú, en estos días, se utiliza en el desarrollo de distintas partidas de construcción como pisos, paredes, columnas, techos, entre otros. La trascendencia del bambú es tal que ya se están desarrollando normas para el diseño con este material en varios países, normativas para el tratamiento, incluso se realizan estudios sobre procesos constructivos simples para el sector de la autoconstrucción. Actualmente el bambú es usado incluso en empresas de alta tecnología, tales como Lexus, Toyota y Apple para el desarrollo de algunos productos (Brugger, 2013).

En temas de costo, el bambú se considera como un material sismorresistente económico, debido a su reducido costo, lo cual se traduce en proyectos considerablemente más asequibles que los típicos. Esta reducción de costos se puede evidenciar en proyectos de tipo casa y puente, por ejemplo. Además, esta asequibilidad en costos se evidencia en las abundantes investigaciones que se están realizando en los últimos años por arquitectos e ingenieros modernos en el sector construcción. Cabe resaltar que las investigaciones actuales declaran al bambú como el material del siglo XXI, además de poder sustituir a la madera (Andrade, 2019)

En temas de sostenibilidad, el bambú es un material que aporta al ambiente en términos de menor contaminación y protección de la biodiversidad. Este árbol tiene gran capacidad de captación de dióxido de carbono y, respecto a otros materiales es bastante más eficiente que los típicos árboles utilizados en la construcción. Además, el bambú requiere muy poca agua desde el proceso de plantación hasta la colocación en un proyecto de construcción y el crecimiento hasta la madurez es rápida (Andrade, 2019).

2.7 Procesos constructivos con el bambú

El bambú es un material muy versátil para construir tanto proyectos de edificación como de infraestructura. El principal reto en la construcción con este material radica en la correcta técnica de la mano de obra en la parte de las uniones y en las combinaciones con otros materiales como el concreto y acero, por ejemplo.

Para el caso de las uniones de bambú con el mismo material se ha evidenciado un proceso evolutivo en cuanto al uso de cuerdas y fibras de cáñamo. Las uniones con estos elementos de amarre se utilizaron en las construcciones primitivas. Sin embargo, en épocas más actuales se evidencian diseños un tanto complejo para la sujeción de troncos de bambú perpendiculares y diagonales. Esta forma de sujeción del bambú no se limita a dos elementos, sino hay distintas formas de sujetar más de dos elementos tal como se muestra en la siguiente imagen (Andrade, 2019).

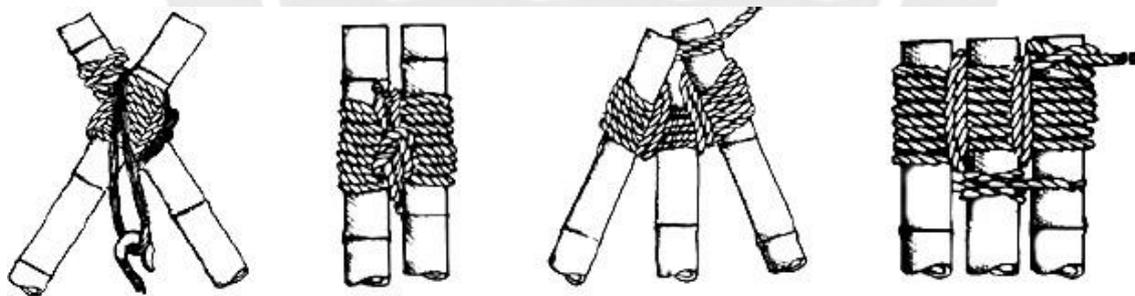


Ilustración 7: Diseño de uniones de bambú (Andrade, 2019)

Por otra parte, se tienen las edificaciones de bambú que cuentan con uniones más complejas que hacen uso de elementos metálicos y cortes en los tallos con la finalidad de aportar mayor rigidez y resistencia en la zona de acoplamiento. Estas uniones son indispensables, pues las cuerdas solo son recomendables en las edificaciones temporales o livianas. Dentro de las uniones complejas con otros materiales tenemos el caso de las que utilizan espárragos de acero; cortes, que utilizan técnicas especializadas; y mortero. La ventaja de estas uniones compuestas se evidencia en las herramientas eléctricas y mecánicas que se pueden utilizar para facilitar el trabajo, contrario al caso de los amarres que son, puramente, manuales (Andrade, 2019)

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Descripción de los proyectos a analizar

En este trabajo de investigación, se estudiarán dos viviendas unifamiliares ubicadas en la zona costera del país. Una de ellas se encuentra localizada en la ciudad de Chiclayo en la región de Lambayeque y consta de 2 pisos y 1 azotea. El primer piso tiene un área de 69.5 m² y consta de 1 sala, 1 comedor, 1 hall, 1 terraza, 1 jardín, 1 baño y 1 estudio, mientras que el segundo piso presenta 3 dormitorios, 2 baños, 1 hall y 1 terraza con un área de 67.75 m². Dicha vivienda tiene como material de construcción el concreto armado con albañilería confinada y fue objeto de estudio de una investigación realizada por un alumno de la Universidad Cesar Vallejo.

Con respecto a la segunda vivienda, esta se encuentra ubicada en el distrito, provincia de Morropón, en la región de Piura con un área total de 40 m² en el primer piso y consta de 1 sala, 1 comedor, 1 baño y 1 cocina, mientras que el segundo piso presenta 3 habitaciones con un área de 36 m². La vivienda tiene como material de construcción el bambú y fue objeto de estudio de una tesis realizada por un alumno de la Universidad San Ignacio de Loyola. Ambas investigaciones tienen tanto el presupuesto y análisis de precios unitarios ya realizados, por lo que se tomará como referencia dicha información para realizar el análisis

3.2 Análisis comparativo en costos del bambú en las etapas de un proyecto

La presente comparación se realizará tomando en cuenta las partidas que se crean conveniente a fin de poder equiparar adecuadamente ambas viviendas y de esta manera poder estimar, en función a los costos resultantes, cuál sería la mejor propuesta en cuanto a una vivienda de fácil acceso económico. Adicionalmente, se comparará los tiempos de ejecución de algunas partidas tomando en cuenta el rendimiento de las cuadrillas, mano de obra y procesos constructivos.

Dicho análisis se limita a las especialidades de estructuras y arquitectura dado que estas dos constituyen gran parte del presupuesto y son las que generan mayor variación respecto a los costos. Por otro lado, la relación de costos de las especialidades de instalaciones depende en gran parte de la distribución de los ambientes y los aparatos sanitarios y eléctricos generalmente son del mismo material para viviendas comunes.

3.2.1 Análisis de costos de la especialidad de estructuras

A continuación, se presentará el presupuesto y el análisis de costos unitarios de algunas partidas comunes entre ambos proyectos.

OBRAS PROVISIONALES

Vivienda – concreto armado

Tabla 7: Presupuesto parcial de la partida de obras provisionales en la vivienda de concreto armado

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
OBRAS PROVISIONALES				1000.00	7.19
CONSTRUCCIONES PROVISIONALES				530.00	3.81
Almacén	Glb	1.00	160.00	160.00	1.15
Carteles	Est	1.00	370.00	370.00	2.66
INSTALACIONES PROVISIONALES				470.00	3.38
Agua para la Construcción	Glb	1.00	370.00	370.00	2.66
Energía Eléctrica	Glb	1.00	100.00	100.00	0.72

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Las obras provisionales se encuentran solamente en el presupuesto de la vivienda de concreto armado debido a que, en dichas construcciones, estas instalaciones como los almacenes son necesarios ya que se necesita un lugar de acopio para los distintos materiales como el cemento y el acero. Además, el agua es requerida en dicho lugar para la preparación del concreto y su posterior curado.

OBRAS PRELIMINARES

Vivienda – concreto armado

Tabla 8: Presupuesto parcial de la partida de obras preliminares en la vivienda de concreto armado

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
TRABAJOS PRELIMINARES					
LIMPIEZA DEL TERRENO				650.48	
Eliminación de basura y elementos sueltos livianos	m3	14.44	22.15	319.85	2.30
TRAZOS, NIVELES Y REPLANTEO					

Trazos, Niveles y Replanteo Preliminar	m2	144.38	2.29	330.63	2.38
---	-----------	--------	------	--------	------

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda - Bambú

Tabla 9: Presupuesto parcial de la partida de obras preliminares en la vivienda de bambú

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
OBRAS PRELIMINARES				373.12	4.66
Limpieza del Terreno Manual	m2	40	1.74	69.60	0.87
Trazo y Replanteo inicial durante la ejecución de obra	m2	56	5.42	303.52	3.79

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

Como se observa en las tabla 8 y 9, las partidas coinciden en cuanto a la funciones. Sin embargo, se observa que en la partida de concreto armado, la eliminación de basura y elementos de sueltos livianos está en unidades de m³ debido a que posiblemente se pudo encontrar elementos de gran dimensión como rocas o desmante en el terreno. Esto pudo haber sucedido tanto el terreno de construcción de la vivienda de bambú o concreto por lo que la partida de limpieza no se tomará en cuenta en ambos casos debido a que el costo generado no permitirá una comparación equitativa.

Con respecto al trazo y replanteo, se aprecia una diferencia de precio unitario siendo el mayor el del bambú debido a que posiblemente en dicha partida la mano de obra resulte ser más costosa debido al difícil acceso a la zona

MOVIMIENTOS DE TIERRA

Vivienda - concreto armado

Tabla 10: Presupuesto parcial de la partida de movimiento de tierras en la vivienda de concreto armado

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
MOVIMIENTOS DE TIERRA					
EXCAVACIONES					
Excavación de Zanjas	m3	88.54	27.86	2466.72	17.75
RELLENOS					0.00

Rellenos con material propio	m3	13.54	14.11	191.05	1.37
Relleno con material de préstamo	m3	6.02			
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	97.13	39.81	3866.75	27.82
NIVELACIÓN INTERIOR Y APISONADO	m3	5.07	2.93	14.86	0.11

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda-Bambú

Tabla 11: Presupuesto parcial de la partida de movimiento de tierras en la vivienda de bambú

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
MOVIMIENTO DE TIERRAS				1,193.68	14.92
Excavación para cimientos hasta 1.00 m terreno normal	m3	10.4	30.6	318.24	3.98
Nivelación interior apisonado manual	m2	40	2.61	104.24	1.30
Eliminación con transporte (carguío a mano)	m3	16	48.19	771.04	9.64

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

Inicialmente se aprecia una diferencia en cuanto a las actividades que se desarrollan tanto para la vivienda de concreto armado como la de bambú. Primero, en la vivienda de concreto armado se aprecia la actividad de relleno la cual no se encuentra en la de bambú. Luego la partida de excavación en el caso del bambú se indica que la profundidad de excavación es de 1 metro. Dado que la partida de relleno se puede estimar en ambas construcciones dependiendo de la necesidad, esta no se tomará en cuenta para nuestro análisis comparativo.

En cuanto a precios unitarios refiere, la partida de excavaciones presenta para concreto armado un total de 27.86 soles por metro cúbico y la de bambú 30.60 soles por metro cúbico los cuales son bastante similares en precio por metro cúbico. En cuanto a la eliminación de materiales o residuos se tiene para la vivienda de concreto un total de 39.81 soles por metro cúbico y 48.19 soles por metro cúbico, estos valores si denotan una gran diferencia. Ahora la partida de nivelación y apisonado son distintas en ambos casos dado que se tiene para el bambú unidades en metro cubico y para el concreto armado en metros cuadrados.

OBRAS DE CONCRETO SIMPLE

Vivienda- concreto armado

Tabla 12: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto simple en la vivienda de concreto armado

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
OBRAS DE CONCRETO SIMPLE					
CIMIENTOS CORRIDOS 1:10 + 30% PG < 6"	m3	24.12	126.61	3053.83	21.97
SOLADO PARA ZAPATAS	m2	17.76	20.00	355.20	2.56
SOBRECIMENTOS					
Concreta mezcla 1:8 + 25% de PM <3"	m3	4.04	215.39	870.18	6.26
Encofrado y Desencofrado	m2	65.44	42.11	2755.68	19.83

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda-Bambú

Tabla 13: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto simple en la vivienda de bambú

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
CONCRETO SIMPLE				2,406.22	30.08
Solados concreto f'c=100 kg/cm2 h=2"	m2	1.04	8.72	9.07	0.11
Cimientos corridos Mezcla 1:10 Cemento-Hormigon 30% Piedra1	m3	10.26	233.64	2,397.15	29.96

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

Para la partida de concreto simple se aprecia que las actividades de cimientos corridos presentan una gran diferencia respecto a sus precios unitarios, por un lado, tenemos al de la vivienda de concreto con 126.61 soles por metro cúbico y a la vivienda de bambú con 233.64 soles el metro cúbico. Para los solados de concreto, en ambos casos de 5 cm, se tienen los precios unitarios de 20 soles y 8.72 soles el metro cúbico para las viviendas de concreto y bambú respectivamente. La diferencia de precios en los cimientos corridos se debe esencialmente a que en la vivienda de concreto armado se subcontrata a una empresa encargada de la mano de obra mientras en la vivienda de bambú, como es de esperar, se tiene una mano de obra conformada por capataz, operario y peón.

Se aprecia que la vivienda de concreto armado cuenta con otras dos partidas de concreto simple las cuales derivan de la partida de sobrecimientos con la cual no cuenta la opción a base de bambú. Para esta partida se tiene el concreto para el sobrecimiento (m³) y su respectivo encofrado (m²), ambas partidas pese a no ser comunes entre las opciones de vivienda a base de bambú, si se tomaran en cuenta para la comparación dado que son necesarias para el desarrollo del proyecto de concreto armado.

En el caso de la partida de concreto simple se aprecia notoriamente que gran parte del costo total de dicha partida se incrementa debido al uso de concreto para las cimentaciones corridas para la opción de vivienda de concreto armado y albañilería conformando un 43% del costo total de la partida, por el contrario, la vivienda de bambú no cuenta con dicho alcance. Además, se tiene otro costo parcial elevado en la partida de encofrados la cual representa un 39% del costo total de concreto simple. En resumen, se tiene que el costo de la partida de concreto simple para la opción de concreto armado resulta mayor, obtenido que representa 192% más que el costo en la opción de bambú, aproximadamente 3 veces el costo total.

OBRAS DE CONCRETO ARMADO

Vivienda – concreto armado

Tabla 14: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto armado en la vivienda de concreto

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
OBRAS DE CONCRETO ARMADO				54692.55	393.47
COLUMNAS				15288.02	109.99
Concreto f'c=210 kg/cm ²	m ³	7.44	420.21	3126.36	22.49
Encofrado y Desencofrado	m ²	141.97	47.53	6747.83	48.55
Acero	Kg.	1270.85	4.26	5413.82	38.95
VIGAS				21066.58	151.56
Concreto f'c=210 kg/cm ²	m ³	12.75	322.6	4113.15	29.59
Encofrado y Desencofrado	m ²	174.67	54.47	9514.27	68.45
Acero	Kg.	1746.28	4.26	7439.15	53.52
LOSAS				18337.95	131.93
Losas Aligeradas					
Concreto f'c=210 kg/cm ²	m ³	14.56	340.12	4952.15	35.63

Encofrado y Desencofrado	m2	166.27	41.48	6896.88	49.62
Acero	Kg.	811.2	4.26	3455.71	24.86
Ladrillos para Techo	μ	1385.03	2.19	3033.22	21.82

Nota: Tomado de “Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda – Bambú

Tabla 15: Presupuesto parcial de la partida de obras de concreto armado en la vivienda de concreto

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
BAMBU				6,271.71	78.40
Cortes Rectos de Bambú para Viguetas de Losa	pza	42	29.34	1,232.28	15.40
Cortes rectos de bambú para columnas	pza	32	8.04	257.28	3.22
Preservación química al bambú	m	278.3	4.35	1,210.61	15.13
cortes rectos de bambú para vigas	pza	20	8.04	160.80	2.01
Cortes especiales e instalaciones de la comula de Bambú Guadua Angustifolia (f'c=140kg/cm2 en los apoyos)	und	14	52.55	735.70	9.20
Anclaje de unión viga principal-columna	und	38	55.17	2,096.46	26.21
Anclaje de unión viga simple-columna	und	15	21.54	323.10	4.04
Habilitación y fijación de bambú con 2 cortes de bocas de pescado	und	6	42.58	255.48	3.19

Nota: Tomado de “Expediente técnico de una vivienda multifamiliar”, por Vásquez, 2009

Con respecto a las partidas correspondientes al caso estructural de bambú, se puede observar que la colocación de los anclajes resulta ser la de mayor incidencia en el costo total con un precio de 2096.46 soles, mientras que los cortes rectos para viguetas de losa y la preservación química del bambú son las dos partidas siguientes que también contribuyen considerablemente al costo de la estructura con una suma parcial de 2442.89 soles. Además de ello, resulta notorio que los cortes rectos de bambú tanto para columnas, vigas y la habilitación, fijación de bambú con 2 cortes representan un pequeño porcentaje en el costo total de la construcción del casco estructural de la vivienda de bambú.

Dentro de las partidas en la vivienda de concreto armado, se observa que las columnas, vigas y losas representan los mayores costos dentro del caso estructural y tienen precios muy similares entre sí con un valor total de 54692.55 soles el cual representa el 80.6% dentro de este presupuesto parcial.

El costo de la construcción del casco estructural del bambú resulta ser aproximadamente 9.24% del costo del casco estructural de concreto armado y albañilería confinada. Se observa que la diferencia económica entre ambas viviendas resulta ser bastante notoria. Esto se debe a varios factores tales como el uso de agregados, cemento, agua y acero para el preparado del concreto. Adicionalmente, en este proyecto se hizo uso de la mezcladora, un vibrador y madera tornillo, los cuales resultan necesarios para la mezcla, compactación del concreto y encofrado de los elementos estructurales. Sin embargo, en el caso de la vivienda del bambú, solamente se tiene que realizar cortes rectos y especiales al bambú para poder usarlos como columnas y vigas, además de realizar los debidos anclajes.

3.2.2 Análisis de costos de la especialidad de arquitectura

MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERÍA

Vivienda – concreto armado

Tabla 16: Presupuesto parcial de la partida de muros y tabiques de albañilería en la vivienda de concreto armado

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
MUROS Y TABIQUES DE ALBAÑILERÍA					
MUROS DE LADRILLO CORRIENTE DE ARCILLA				39567.65	284.66
Muro de Soga con Ladrillo Corriente de 24 x 12 x 6	m2	405.29	97.14	39369.87	283.24
Muro de Canto con Ladrillo Corriente de 24 x 12 x 6	m2	3.12	63.39	197.78	1.42

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda – Bambú

Tabla 17: Presupuesto parcial de la partida de muros y tabiques de albañilería en la vivienda de bambú

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
MUROS Y TABIQUES				5996.21	74.95
Pared con latillas de bambú guadua angustifolia 1 cara con latillas de bambú y la otra preparada para tarrajeo	m2	119.28	50.27	5996.21	74.95

Nota: Tomado de “Expediente técnico de una vivienda multifamiliar”, por Vasquez, 2009

En la vivienda de concreto y albañilería confinada, se observa que el precio unitario por metro cuadrado para la construcción de un muro de canto es de 63.39 soles mientras que para el muro de sogá el costo asciende a 97.14 soles por metro cuadrado. Entonces, resulta notorio que el precio en este caso depende principalmente del tipo de asentado de ladrillo a considerar. Sin embargo, para el caso del bambú se tiene únicamente un costo único en los muros cuyo valor es de 50.27 soles por metro cuadrado.

TARRAJEO

Vivienda - concreto armado

Tabla 18: Presupuesto parcial de la partida de tarrajeo en la vivienda de concreto armado

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
TARRAJEO DE PAREDES				11012.02	79.22
TARRAJEO PRIMARIO O RAYADO CON MORTERO 1:5	m2	67.34	15.05	1013.47	7.29
	m2	442	15.89	7023.38	50.53
TARRAJEO EN EXTERIORES MEZCLA 1: 5	m2	25.96	31.23	810.73	5.83
TARRAJEO DE COLUMNAS					0.00
Tarrajeo de Superficie, Mezcla 1:5	m2	43.98	22.96	1009.78	7.26
					0.00
TARRAJEO DE VIGAS					
Tarrajeo de Superficies con mezcla 1:5	m2	29.44	27.63	813.43	5.85
TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTES	m2	12.35	27.63	341.2305	2.45

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda – Bambú

Tabla 19: Presupuesto parcial de la partida de tarrajeo en la vivienda de bambú

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
TARRAJEO DE PAREDES				2278.25	28.48
Tarrajeo exterior sobre pared de bambú	m2	119.28	19.1	2,278.25	28.48

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

En este caso, se observa en la tabla 19 que el tarrajeo depende del elemento a considerar. Por ejemplo, el costo por metro cuadrado en el caso de vigas es de 27.63 soles mientras que para las columnas es de 22.96 soles. En el caso del tarrajeo en interiores con mortero 1:5 el costo es de 15.89 soles y en exteriores de 31.25 soles. De estas cifras obtenidas, se puede decir que el tarrajeo es una partida de costo variable en el caso del concreto armado. Sin embargo, dicha partida en el caso del bambú tiene un costo fijo de 19.1 soles por metro cuadrado y resulta ser más económico que en el concreto.

PISOS Y PAVIMENTOS

Vivienda – concreto armado

Tabla 20: Presupuesto parcial de la partida de pisos y pavimentos en la vivienda de concreto armado

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
PISOS Y PAVIMENTOS					
CONTRAPISOS de 5cm (Primer Nivel)	m2	126.28	25.21	3183.52	22.90

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 2020

Vivienda - Bambú

Tabla 21: Presupuesto parcial de la partida de pisos y pavimentos en la vivienda de bambú

Partida	Und	Cant	Costo unitario(S/.)	Costo Parcial (S/.)
PISOS Y PAVIMENTOS				2,052.29
Piso de madera estructural OBS de 18mm	m2	80.64	25.45	2,052.29

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

En los cuadros mostrados se puede apreciar que cuando se construye en bambú se gasta menos en la partida de pisos a comparación de concreto armado. Se debe tener en cuenta que en el presupuesto original de la vivienda de concreto armado se tomó en cuenta varios tipos de pisos como porcelanato. Sin embargo, con el objetivo de realizar una comparación más equitativa, se decidió por no tomar en cuenta dichos acabados

En los casos tanto de pisos y pavimentos se puede observar que la variación entre los precios de las casas que son construidas con concreto y bambú se deben principalmente por la calidad y la cantidad que cada uno de estos posee. Generalmente las casas de concreto son mucho más grandes que las de bambú, motivo por el que presentan mayor cantidad de recursos, lo cual no es ajeno a nuestro caso. Por otro lado, el precio unitario de cada una de estas partidas en la casa de concreto es más costosa, ya que generalmente para estas viviendas se aplican acabados más lujosos que en los casos de viviendas de bambú.

CARPINTERIA DE MADERA

Vivienda – concreto armado

Tabla 22: Presupuesto parcial de la partida de carpintería en la vivienda de concreto armado

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
CARPINTERIA DE MADERA				9131.10	65.69
PUERTAS					
Puertas contraplacadas de 35 mm, de espesor marco 2"x3"	m2	23.73	138.95	3297.28	23.72
VENTANAS					
Ventanas con Hojas	m2	31.28	76.41	2390.10	17.19
MAMPARAS	m2	24.85	138.58	3443.71	24.77

Nota: Tomado de “*Diseño estructural de una vivienda unifamiliar eco sostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura*”; por Pozo et, al; 202

Vivienda - Bambú

Tabla 23: Presupuesto parcial de la partida de carpintería en la vivienda de bambú

PARTIDA	UNID.	CANT.	COSTO		RATIOS
			UNITARIO	PARCIAL	
CARPINTERIA DE MADERA				449.96	5.62
Puerta contraplacada 35 mm con triplay 4 mm incluye marco cedro 2" x 3"	p2	7	64.28	449.96	5.62

Nota: Tomado de “*Expediente técnico de una vivienda multifamiliar*”, por Vasquez, 2009

De estos cuadros se puede observar como en el caso de la casa de concreto el precio parcial para el apartado de carpintería de madera es mucho mayor al de la casa de bambú. Esto es fácilmente entendible ya que la casa de bambú presenta una mayor variedad de puertas, ventanas y mamparas, así como que la cantidad de esta es mucho mayor a la de bambú

Siguiendo la misma idea del caso anterior, la carpintería de madera no depende del material que se utilice al momento de la construcción de una casa, sino de que tanto pueda costar está en una u otra marca, además de la cantidad de elementos de madera que se utilizaran en la vivienda. En nuestro caso, la casa de concreto presenta una mayor cantidad de objetos de madera debido a que es claramente más amplia que la de madera, lo cual genera un mayor costo por esta partida. Además, generalmente en las casas de concreto se suele utilizar puertas de mayor precio a los que se podrían utilizar en una de bambú, y esto claramente se puede observar en las tablas anteriores, donde el precio de la primera puerta posee un precio de un poco más del doble que la puerta utilizada en la casa de bambú

3.2.3 Análisis del presupuesto total

Para el presente acápite se resumirá el costo total de todas las especialidades tanto para la vivienda de bambú como para la de concreto armado. A continuación, se presentan las tablas resúmenes por especialidad.

Se debe tomar en cuenta que las especialidades de instalaciones tanto sanitarias como eléctricas dependen directamente de la distribución de lo ambientes, por lo que se tomó en cuenta el mismo precio total en dichas especialidades para ambos tipos de vivienda. El costo total de las instalaciones se tomó como referencia de los APU's de la vivienda de concreto armado.

Vivienda – concreto armado

Tabla 24: Costos parciales y totales de vivienda – concreto armado

ESPECIALIDAD	COSTO PARCIAL	
ESTRUCTURAS	S/	83,119.63
ARQUITECTURA	S/	106,332.35
IISS	S/	13,040.20
IIEE	S/	12,858.73
COSTO TOTAL	S/	215,350.91

Vivienda – Bambú

Tabla 25: Costos parciales y totales de vivienda – Bambú

ESPECIALIDAD	COSTO PARCIAL	
ESTRUCTURAS	S/	10,244.73
ARQUITECTURA	S/	15,939.78
IISS	S/	13,040.20
IIEE	S/	12,858.73
COSTO TOTAL	S/	52,083.44

De acuerdo con el costo total de construcción se tiene la siguiente relación de precios totales:

$$\frac{215350.91 - 52083.44}{52083.44} = 313.47\%$$

Del cálculo se estima que la vivienda de concreto armado cuesta aproximadamente 4 veces más que la de bambú, esto sin estimar su costo por área cuadrada de terreno. Sin embargo, se puede estimar una relación de costos respecto a la similitud del área cuadrada del área de construcción, por lo que se espera un resultado no tan similar para una relación por metros cuadrados dado que en la vivienda de concreto armado se cuenta con un terreno 73% mayor que el de la vivienda de bambú.

Como se mencionó en acápites anteriores las áreas cuadradas de las viviendas de concreto armado y bambú son respectivamente 69.5 m² y 40 m². Para lo cual se procederá a dividir los costos totales de todas las especialidades entre el área cuadrada de construcción a fin de generar una estimación del costo por área cuadrada de terreno, tomando en cuenta el tipo de material que se aplicó, tanto bambú como concreto y albañilería.

Respecto de la vivienda de concreto armado:

$$\frac{215350.91}{69.5} = 3098.57 \text{ soles por metro cuadrado de terreno}$$

Respecto de la vivienda de bambú:

$$\frac{52083.44}{40} = 1302.09 \text{ soles por metro cuadrado de terreno}$$

De acuerdo con el costo por metro cuadrado de construcción se tiene la siguiente relación de precios:

$$\frac{3098.57 - 1302.09}{1302.09} = 137\%$$

De lo anteriormente expuesto se entiende que por unidad cuadrada de terreno se tiene que la vivienda de concreta cuesta 2.37 veces el costo que representa la vivienda de bambú. Esto implica un costo de diferencia muy relevante al momento de decidir cuál opción resulta más conveniente o viable de acuerdo a las necesidades del usuario.



CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Como primera conclusión se tiene que no se puede realizar una comparación total entre las partidas involucradas en edificaciones de bambú y concreto armado, pues se generan diferencias notables en partidas extras como excavación de tierra, pues se emplean diferentes sistemas constructivos. Sin embargo, al final de analizar las partidas correspondientes se logró generar un balance general de los costos que muestran al bambú como una opción más económica.

A lo largo de la comparación de las partidas entre bambú y concreto armado se descartó, por ejemplo, la partida de limpieza, pues el costo que se genera en cada una de ellas no permite una comparación equitativa. Por ende, se concluye, que a pesar que algunas partidas tienen un similar alcance, no se pueden comparar para fines de evaluación económica entre dos viviendas.

Se evidencia la existencia de partidas que se realizan de acuerdo a la necesidad y/o características propias de cada edificación, tales como es el caso del relleno.

Partidas como el sobrecimiento son parte solo de la vivienda de concreto armado, entonces se evalúa la necesidad para la construcción y se concluye que es imprescindible para comparar en temas de costos, pues es una partida crítica para la construcción de la edificación.

En el caso de la vivienda de bambú se observa que la partida más costosa es el anclaje para las uniones de los elementos de bambú. Mientras que para el caso de concreto armado la partida más cara nace a partir del concreto en los elementos verticales y horizontales. En definitiva, las partidas más influyentes en el costo son las de concreto en vigas, columnas y losas, además la de anclaje en bambú.

En la partida de tarrajeo se evidencia una serie de variación en cuanto al tipo de acabado para el caso de la vivienda de concreto. Sin embargo, la vivienda de bambú considera solo un tipo de acabado, lo cual lo hace más económico. Por ello, se concluye que la inclusión de demasiados tipos de acabados influye considerablemente en el costo, lo cual se debe valorar en la comparación.

4.2. Recomendaciones

Se recomienda que se promueva la adopción del bambú como material en la construcción de viviendas de pequeña envergadura (uno, dos o tres pisos), pues se ha demostrado un ahorro en el compilado de partidas que implica respecto a una vivienda de concreto armado. Sin embargo, para la aplicación de este material en la construcción se debe considerar obligatoriamente la norma E.100 para garantizar un adecuado diseño, además de ser imprescindible tomar en cuenta los cuidados a lo largo del ciclo de la vida del bambú. Cabe recalcar que la adopción de este material debería empezar por parte de los proyectos del estado para así, de manera mimética, promoverlo a los demás sectores privados.

Para una mejor comparativa entre lo competente al material de cada vivienda, se recomienda uniformizar algunas partidas que influyen seriamente en el costo y solo dependen del gusto del cliente. Estas partidas pueden ser, los acabados, luminarias, marcas de las tuberías de instalaciones, tipos de aparatos sanitarios, etc. Con la uniformización de estas partidas se completaría una comparación más equitativa.

Se recomienda considerar el área del terreno, así como la ubicación geográfica con la finalidad de evitar cargos extras en los costos o adición de partidas que dependen del tamaño del lote, por ejemplo.

BIBLIOGRAFÍA

Andrade molina Vanessa Mishell. (2019). *Bambú en la construcción Análisis de diferentes casos de estudios con constructivos en Bambú* (p. 221).

Bejarano, R. (2002). *Metodología para la Construcción de Vivienda utilizando como Material Principal el Bambú*. México DF, México: Fondo CONAFOVI.

Brugger, S. I. (n.d.). *El bambú: especie multipropósito para el desarrollo sustentable local en México especie multipropósito para el desarrollo sustentable local en México*.

Carmioli Umaña, V. (2010). Bambú Guadua en puentes peatonales. *Bambú Guadua En Puentes Peatonales*, 23(1), 29–38.

Gruber, Jeremías et al. (2020) Diseño estructural de una vivienda unifamiliar ecosostenible a base de bambú de interés social en el distrito de Morropón en la región de Piura. Lima, Perú

Hidalgo, Oscar (1981) *Manual de Construcción con Bambú Guadua*. Bogotá, Colombia: CIBAM.

Jaramillo, J. O. (2004). *Análisis Clásico de Estructuras*. Bogotá, Colombia: Unilibros.

Krause, J. Q., de Andrade Silva, F., Ghavami, K., Gomes, O. da F. M., & Filho, R. D. T. (2016). On the influence of *Dendrocalamus giganteus* bamboo microstructure on its mechanical behavior. *Construction and Building Materials*, 127, 199–209. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.104>

Montiel, M., & Sánchez, E. (2006). Ultraestructura de bambúes del género *Dendrocalamus* (Poaceae: Bambusoideae) cultivados en Costa Rica I: *Dendrocalamus latiflorus*. *Revista de Biología Tropical*, 54(SUPPL. 2), 43–50. <https://doi.org/10.15517/rbt.v54i1.26862>

SERFOR. *Plan Nacional de Promoción del Bambú 2008-2020*. Perú, 2008. <https://www.serfor.gob.pe/portal/publicacion/plan-nacional-de-promocion-del-bambu-2008-2020>

Stulz, R. (1993) *Construyendo con Materiales de Bajo Costo*. Valparaíso, Chile: Editorial CETAL.

Vilchez, Alberto (2009) Expediente técnico de una vivienda unifamiliar. Chiclayo, Perú.

Universidad Cesar Vallejo

Vivienda, U. N. A. (2019). EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL BAMBÚ (*Guadua angustifolia* Kunth) EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL BAMBÚ (*Guadua angustifolia* Kunth).

Villegas; et al (2003); *Guadua Arquitectura y Diseño*.

Takahashi, J. 2010 http://www.agrobanco.com.pe/pdf_cpc/Bambu_JosefinaTakahashi.pdf

Zaragoza-Hernández, I., Ordóñez-Candelaria, V. R., Bárcenas- Pazos, G. M., de la Rosa, A. M. B., & Zamudio-Sánchez, F. J. (2015). Physical-mechanical properties of a Mexican guadua (*Guadua aculeata*). *Maderas: Ciencia y Tecnología*, 17(3), 505–516. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000045>

