



Received: 16-03-2019  
Accepted: 14-04-2019

Anales de Edificación  
Vol. 5, N° 1, 51-65 (2019)  
ISSN: 2444-1309  
Doi: 10.20868/ade.2019.3914

## Panel prefabricado de guadua-acero-mortero microvibrado con ceniza de cáscara de arroz para vivienda de interés social. Prefabricated panel of guadua-steel-mortar microvibrated with rice husk ash for social interest housing.

<sup>1,2</sup>Byron-Sebastián Almeida, <sup>2</sup>Eugenia Muscio, <sup>1</sup>Lindthon Iparreño, <sup>2</sup>Jesús Anaya

<sup>1</sup>Universidad de Guayaquil (byron.almeidac@ug.edu.ec, lindthon.iparrenz@ug.edu.ec); <sup>2</sup>Universidad Politécnica de Madrid (eugenia.muscio@gmail.com, jesusanayadiaz@gmail.com)

---

*Resumen*— Este estudio muestra un sistema constructivo alternativo para Vivienda de Interés Social (VIS). Su aplicación ha sido prevista para la ciudad de Guayaquil pero con potencial para ser replicada a nivel de la costa ecuatoriana con el objetivo de disminuir el déficit habitacional actual en el país. El resultado es un sistema prefabricado modular a base de una tipología de panel machihembrado de 4cm de espesor, que combina las propiedades de la Guadua angustifolia kunth empleada como esterilla, con el mortero con Ceniza de Cáscara de Arroz reforzado con una malla electrosoldada de acero de 5.5 mm y 20 cm de separación. El mortero ha sido microvibrado en una mesa equipada con un motor de 3500 RPM y contrapeso excéntrico de 30 gr con el objetivo de mejorar la adherencia del mortero a la esterilla y evitar fisuras.

*Palabras clave*— Vivienda de interés social; ceniza de cáscara arroz; modelos constructivos; Guadua.

---

*Abstract*— This study shows an alternative constructive system for Social Interaction Housing (VIS). Its application has been planned for the city of Guayaquil but with the potential to be replicated at the level of the Ecuadorian coast with the aim of reducing the current housing deficit in the country. The result is a modular prefabricated system based on a 4 cm thick tongue-and-groove type panel, which combines the properties of the Guadua angustifolia kunth used as a mat, with the mortar with Ash of Rice Shell reinforced with an electrowelded mesh of 5.5 mm steel and 20 cm separation. The mortar has been microvibrated in a table equipped with a 3500 RPM motor and 30 gr eccentric counterweight to improve the adhesion of the mortar to the mat and to avoid fissures.

*Index Terms*— Social interest housing; rice husk ash; construction models; Guadua.

---

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la población mundial es de aproximadamente 7 500 millones de habitantes y para el 2030 se estima que ésta se incrementará en 1 000 millones de habitantes (ONU, 2017b) y que el 40% de dicha población necesitará acceder a vivienda, infraestructura y otros servicios (ONU, 2017c).

La población del Ecuador para el 2030 será de 19 814 767 habitantes, y en Guayaquil será de 2 940 062 habitantes (INEC, 2017). Para el 2010, año del último censo de población y vivienda en Ecuador, el porcentaje de habitantes de Guayaquil que vivía en “barrios populares” (bajos recursos económicos) alcanzó el 72%; mientras que el 28% vivía en barrios residenciales (Almeida et al., 2017) (Forero and Hechavarría, 2015). Debido a la falta de datos oficiales actuales, se ha supuesto que dicha proporción no ha variado, por lo que se estima que para el 2017 existió una población de 1 904 322 habitantes viviendo en estos sectores (Almeida et al., 2017).

Para el último Censo Nacional del Ecuador, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (INEC, 2010), indicó existía un total de 4 654 054 viviendas. Para el 2014, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda afirmaba que en Guayaquil existía un déficit de 200mil viviendas (Diario, 2014) siendo el mayor déficit cuantitativo estaba en la zona costera, particularmente en las provincias de Manabí y Santa Elena, en las cuales se han desarrollado soluciones habitacionales muy similares a las utilizadas en Guayaquil (MIDUVI, 2015). Para para el 2016, el déficit de vivienda nacional alcanzó la cifra del 46%, con un déficit cualitativo del 33.6% y un déficit cuantitativo 12.3% (Ekos, 2017).

El Gobierno Nacional de la República del Ecuador, en su afán de hacer frente al déficit de vivienda nacional, ha creado el programa “Casa para todos” en el que se contempla la construcción total de 325mil viviendas (Ciudadano, 2017) (Diario, 2017a) en los 4 años de gobierno. Si tomamos en cuenta que en Guayaquil se han construido aproximadamente 344mil viviendas en programas de Viviendas de Interés Social (VIS) desde 1942 (Almeida et al., 2017), se puede considerar que la meta propuesta es bastante ambiciosa, por lo que esta

propuesta busca brindar una nueva alternativa tipológica que ayude a alcanzar dicho objetivo. Para el 2018, el Gobierno Nacional ha planteado construir 50mil viviendas, siendo las zonas de mayor demanda las provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos (las 3 en la costa) y Pichincha (sierra) (Diario, 2017b).

## A. Guayaquil: condiciones climáticas y tipología de viviendas

Guayaquil es la ciudad más grande y poblada del Ecuador (INEC, 2010), las temperaturas máximas fluctúan entre 28°C y 33°C y las mínimas entre 21°C y 24°C (Johansson and Yahia, 2012) (METEOBLUE, 2018). Está a una altitud de 6 m.s.n.m., la humedad relativa se sitúa entre 70% - 75% y los vientos tienen velocidades que van de 1.5 a 3.2 m/s y provenientes del oeste-suroeste. Además, se presentan precipitaciones de hasta 300mm, y en épocas secas (junio a septiembre) la presencia de nubes es baja por lo que la incidencia solar es directa (METEOBLUE, 2018).

En un periodo de 36 años comprendido entre 1974 y 1982, la cantidad de viviendas en Guayaquil se cuadruplicó y se ha estimado que para el 2017 esta cifra se fue quintuplicada con respecto a la cantidad de viviendas existentes en 1974 (ver tabla 1) (Almeida et al., 2017) (INEC, 2017) (INEC, 2010) (Sánchez, 2014) (Almeida, 2017).

En Guayaquil se construían edificaciones con estructura de madera y paredes de paneles de caña guadua con o sin recubrimiento” (Fuentes, 2009). Para el recubrimiento se lo hacía con quinchá y consistía en una mezcla de arcilla, paja y aplicada sobre un entretejido de ramillas o bejuco colocado sobre los paneles para volverles resistentes al goteo del techo o lluvias. Posteriormente el recubrimiento fue usado como protección de las estructuras al fuego; esto debido a los incendios ocurridos en la ciudad (ejemplo: gran incendio 1896).

Según hace referencia Fuentes (2009) (Fuentes, 2009), Jorge Juan y Antonio de Ulloa (1978) comentaron que el común de las casas que poblaban “las orillas de aquel río desde Guayaquil hacia arriba”, se reduce a cañas y que se usaban para construir elementos como techo interior, suelo, escaleras, pasamanos, entre otros. Combinando el material con madera.

Haber optado por usar madera y caña en las edificaciones de

TABLA I  
EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN Y VIVIENDAS EN GUAYAQUIL 1974-2017  
Fuentes: Sánchez, B. (2014); INEC (2010); Almeida, V. (2017); Almeida, B. et al. (2017).

Años	1974	1982	1990	2001	2010	2017
Años transcurridos	0	8	8	11	9	7
Población	823,219	1,199,344	1,513,437	1,994,518	2,291,158	2,644,891
Persona/vivienda	5.8	5.1	4.7	4.2	3.9	3.8
Vivienda	142,100	235,500	324,795	470,552	585,522	694,036
Tasa de crecimiento anual de viviendas*		6.52	4.10	3.43	2.46	2.46

\*Debido a la falta de datos de cantidad de viviendas para el 2017, se ha aplicado la fórmula de crecimiento intercensal para hallar las tasas de crecimiento anual por cada periodo y se ha supuesto que en el último periodo se mantuvo la tendencia en el crecimiento de cantidad de viviendas (Escenario menos favorable).

Guayaquil, estuvo ligado a la mala calidad del suelo de la ciudad, de poca capacidad portante y pantanoso según describieron viajeros como Woodes Rogers (1709) (Fuentes, 2009), quien mencionó además que las casas en su mayoría eran de madera o ladrillos y que las más insignificantes fueron hechas de caña (Rogers, 1936). Construir en madera además ofrecía mayor resistencia a los sismos según Fuentes (Fuentes, 2009) cita en su libro a Wiener (Wiener, 1959) “Los terremotos, que suelen ser bastante prolongados, imprimen a estos edificios oscilaciones que derribarían las de piedra...”

Esto es confirmado por Ugalde (Ugalde, 2010) quién además indica que la piedra para la construcción era de mala calidad y muestra también una representación gráfica realizada por Juan y Ulloa (1748) de una casa palafítica de Guayaquil (Fig. 1), también referida por Balarezo (Balarezo, 2010); es decir de viviendas elevadas del nivel de suelo y que son comunes en zonas inundables (Ugalde, 2010).

La tipología de vivienda palafítica o elevada del terreno se ha replicado en tanto en los mismos materiales como en materiales que no existían en aquella época (Hormigón armado, acero). La Fundación Hogar de Cristo ha construido más de 185mil viviendas de tipología palafítica en madera y caña (Hogar, 2012) y luego crearon otras tipologías basadas en los mismos materiales, pero complementándolos con mortero y sin

desprenderlas del suelo, las cuales serán analizadas en este estudio.

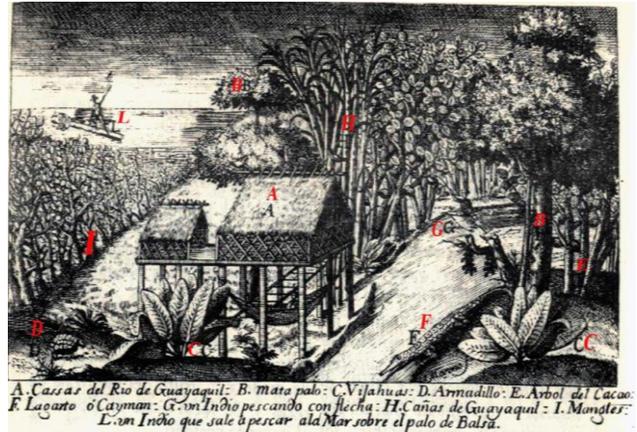


Fig. 1. Casa del río de Guayaquil según Juan y De Ulloa (1748) Imagen de “Arquitectura vernácula en Litoral 1982 AHG-BCE” y referida en el trabajo de Balarezo (2010).

**B. Casos análogos de vivienda con paneles de caña y madera**

El estudio de casos análogos que tuvieron como objetivo el desarrollo de paneles constructivos para viviendas sociales permitió conocer los materiales utilizados, las formas de

TABLA II  
TABLA COMPARATIVA DE ESTRUCTURA, ENVOLVENTE Y MODULACIÓN DE CINCO CASOS SELECCIONADOS QUE USAN PANELES PREFABRICADOS

DATOS GENERALES	ESTRUCTURA				ENVOLVENTE		MODULACIÓN		
	Cimentación	Elementos Verticales	Elementos Horizontales		Cubierta	Muros exteriores	PANELES		ALTERACIONES
			Vigas	Forjado			Alto (m)	Ancho (m)	
Nombre Proyecto/ Ciudad País/ Modelo	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales	Tipo /materiales
Hogar de Cristo Caña y Madera Tradicional Ecuador.	Puntales de madera tratada.	Paneles Madera y caña abierta.	Correas madera.	Plataforma madera.	2 aguas Planchas/ chapas de zinc.	Paneles de madera y caña abierta.	2,45 - 3,15	2,40	4
Hogar de Cristo MACAHO Ecuador.	Contra-piso de Hormigón simple.	Columnas madera.	Correas madera.	N/A	2 aguas Planchas de zinc.	Paneles de madera, caña abierta y mortero.	3,00 - 2,79	0,80	9
Quincha prefabricada Perú.	contra-piso y sobrecimiento de cemento y áridos.	Columnas madera.	Viga solera madera.	N/A	2 aguas Esterilla de bambú o carrizo y torta de barro.	Paneles de madera, caña rolliza de Guadua angustifolia, esterilla y revoque de mortero.	2,40	0,60 y 1,20	7
Sistema normalizado de Guadua y madera Colombia.	Zapata reforzada continua de hormigón simple.	Paneles Guadua angustifolia caña rolliza y madera.	Viga Guadua angustifolia	Entrepiso Guadua angustifolia o madera, esterilla o madera machimbrada, mortero de cemento.	2 aguas Guadua angustifolia o madera, tejas o planchas/ chapa.	Paneles de madera, caña rolliza de Guadua angustifolia, esterilla y revoque de mortero.	2,40	0,60 - 1,20	5
Quincha mejorada modular Perú.	Zapata corrida de cemento y áridos.	Columnas madera.	Correas bambú local.	N/A	Plana Cañas de bambú local, esterilla de bambú local, plástico, torta de barro y cemento y arena.	Paneles de madera, caña brava o carrizo, revoque de cemento.	2,30	1,20	4

trabajarlos, modulaciones y tipologías.

A continuación, en la Tabla 2 se expone una selección de sistemas de prefabricación de paneles catalogados (Hidalgo, 1981) (Morán, 2014) y la identificación de distintos aspectos constructivos que los definen.

Previamente, se había tenido experiencias constructivas reales con Guadua como elemento estructural, así como también de su uso para la elaboración de componentes constructivos tales como divisiones, barandillas o elementos decorativos en edificaciones residenciales (Fig. 2), también se cuenta con experiencia constructiva en vivienda de interés social en diferentes sectores (Fig. 3). El material se trabajó junto con otros materiales de fácil obtención en el medio (cemento, arena, bloques de hormigón, entre otros).



Fig. 2. Vivienda en Olón-Ecuador (Iparreño, 2017).

En Ecuador se han desarrollado grandes cantidades de VIS, utilizando materiales como madera y caña de bambú. La Fundación Hogar de Cristo (FHC) construye al año 13920 viviendas, en donde se utilizan cañas abiertas o picadas, cortes de cañas en tiras o latillas y cañas rollizas o enteras (Almeida et al., 2017) (Hogar, 2012).

El modelo constructivo más común es el de caña-madera, que ahora también tiene una variante del mismo modelo, pero

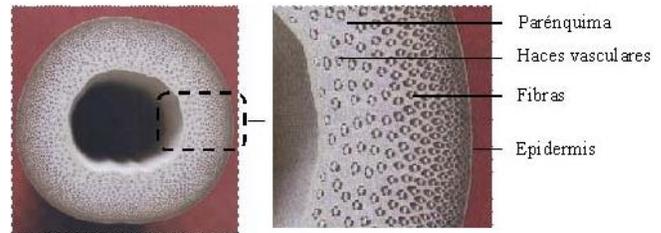


Fig. 3. Vivienda en Simón Bolívar-Ecuador (Iparreño, 2017).

construido con madera MDP (tableros de partículas de densidad media resistentes a la humedad).

### C. La propuesta de vivienda social MACAHO

MACAHO es el nombre que la Fundación Hogar de Cristo ha otorgado a su modelo de vivienda construido a base de Madera, Caña y Hormigón (HogarCristo, 2013). La vivienda tiene aproximadamente 26m<sup>2</sup> (5.10m x 5.10m) y utiliza paneles prefabricados de caña y mortero alivianado (Premio, 2017) y es uno de sus modelos de vivienda definitiva.



(a) Sección transversal

(b) Pared del culmo de bambú

Fig. 4. Estructura anatómica del bambú.

Los paneles, en general tienen 0.80m de ancho y una altura que varía entre 2.40m y 3.00m (también existen paneles especiales de 0.45m de ancho); son fabricados con bastidores o marcos de madera sobre los cuales se clava esterilla de caña, apoyando parte blanda de la esterilla o parénquima al bastidor y dejando la epidermis vista (Fig. 4). Una vez armada la estructura, colocan una capa delgada de mortero de cemento-arena al cual agregan un 20% de aserrín (Premio, 2017) que es obtenido como residuo del propio proceso de fabricación de los diversos modelos de vivienda que tiene Hogar de Cristo. Los paneles con mortero se apilan hasta el endurecimiento del mortero y posterior traslado al sitio.



Fig. 5. Vivienda MACAHO-Ecuador (Obtenida del canal Youtube de HogarCristo Ec).

En el sitio se construye un contrapiso o solera de hormigón, sobre la cual generan un zócalo con adoquines de hormigón simple para evitar el ascenso de humedad a los paneles. Se anclan 9 columnas o pilares de madera, posteriormente se realiza el montaje de los paneles prefabricados (Fig. 5); ciertos

paneles se anclan directamente a las columnas y otros se aseguran a otros paneles mediante el uso de varilla roscada de 3/8 pulgadas con arandela plana y tuerca. Una vez montados todos los paneles, proceden a enlucir los paneles con mortero aplicado sobre la primera capa que se colocó en el taller (Fig. 6) y luego se sigue con aplicación de empaste o estuco y finalmente pintura.



Fig. 6. Vivienda MACAHO-Ecuador (Obtenida del canal Youtube de HogardeCristo Ec).

Según datos proporcionados por la FHC, el panel más grande puede llegar a pesar hasta 227 kg una vez acabado (con el enlucido que se coloca en sitio). Debido a que es importante establecer el peso de los elementos constructivos a ser transportados y manipulados por obreros hasta su puesta en obra, se ha realizado un cálculo para estimar el peso del panel más grande, obteniendo un valor de 114.67 kg (Tabla 3).

#### D. El bambú

##### El bambú en Ecuador

El bambú forma parte de la tradición histórica de Ecuador, ya que es un material local y esto contribuyó al desarrollo de procesos y formas de trabajo en torno a él. La caña de bambú forma parte de los procesos constructivos ancestrales del país hasta la actualidad, con el desarrollo de edificaciones, construcciones prefabricadas e industriales (Añazco and Rojas,

2015). En referencia a la vivienda social de Ecuador, el bambú es uno de los materiales más utilizados y sus plantaciones contribuyen además a la estabilidad de los suelos, al medioambiente y a generar empleo (Añazco and Rojas, 2015) (Casanova, 2011).

Cada vez es más destacado el bambú por su versatilidad y por su resistencia; sus favorables características mecánicas, su flexibilidad, su rápido crecimiento, bajo peso y bajo coste, lo que hace que el bambú sea un material de construcción con numerosas aplicaciones.

En concreto la *Guadua angustifolia* Kunth es una de las especies más destacadas y presentes en Ecuador, ya que el 34% de las plantaciones de bambú pertenecen a esta especie en dicho país (Añazco and Rojas, 2015). Sus dimensiones (longitud de la caña, ancho de pared, distancia entrenudos, entre otras) y su resistencia mecánica propician su uso en construcción (Añazco and Rojas, 2015).

##### Características de la *Guadua angustifolia* Kunth

La *Guadua angustifolia* Kunth crece hasta los 2000 msnm, y en zonas cuya temperatura se encuentra desde los 20°C hasta los 26°C, con alta humedad relativa (Añazco and Rojas, 2015). Las cañas de bambú leñoso de la especie *Guadua angustifolia* Kunth pueden llegar a alcanzar 30 m de longitud y 25 cm de diámetro (Añazco and Rojas, 2015), por estas características y por su resistencia físico-mecánica se aprovecha como elemento estructural, para cerramientos o prefabricados. La distancia entre nudos que varía desde la base hasta el ápice, desde los 20 cm hasta los 35 cm aproximadamente (Londoño et al., 2002), otorga diferentes posibilidades de uso según las prestaciones de resistencia mecánica buscadas, al igual que los cambios que se producen en el diámetro a lo largo de la caña de entre 5 cm y 11 cm (Londoño et al., 2002) y la variación del ancho de pared en las distintas zonas vinculada directamente a la cantidad de fibra y su resistencia mecánica (Fuentes, 2009). Las condiciones anatómicas tienen un papel sustancial en la resistencia

TABLA 3  
CÁLCULO DE PESO ESTIMADO DE PANEL MACAHO (Trapezoidal: h1=3.00, h2=2.79m x 0.80m)

MACAHO: VOLUMEN Y PESO DE PANEL MÁS GRANDE (h1=3.00M; h2=2.79M; a=0.80M)						
No.	Material	Área (m <sup>2</sup> ) (A)	Espesor (m) (e)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V) (A*e)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (ρ)	Peso (Kg) (V*ρ)
1	Madera*	0,4306	0,05	0,021530	400	8,61
2	Esterilla caña**	2,3149	0,02	0,046298	500	23,15
3	Mortero (capa inicial)***	1,8843	0,02	0,037686	2200	82,91
4	Malla de acero****	N/A	N/A	N/A	N/A	0
5	Mortero (en obra)***	1,8843	0,03	0,056529	2200	124,36
Total peso paneles prefabricados (1+2+3+4)						<b>114,67</b>
Total peso paneles instalados (1+2+3+4+5)						<b>239,03</b>

\* Densidad proporcionada por Departamento de ventas de FHC.

\*\* Densidad más baja para caña según Liese (1998)

\*\*\* Se ha considerado el espesor de la primera capa realizada en taller de 2cm, y la capa realizada en obra de 3cm, con un total de 5cm de espesor. Datos proporcionados por Departamento de Ventas de FHC.

mecánica del bambú, la distinción entre especies y sus usos más adecuados están directamente vinculados a estas condiciones propias (Liese, 1998) (Muscio et al., 2016).

La caña de bambú está formada por fibras, a modo de tejido de sostén, longitudinales que cambian su dirección en los nudos rigidizándolo, también la forman haces vasculares que son el tejido conductivo y el parénquima (almacenamiento de nutrientes y fotosíntesis) (Fig. 4) (Londoño et al., 2002) (Muscio et al., 2016). La *Guadua angustifolia* Kunth, en concreto, está constituida por un 40% de fibra, por un 51% de parénquima y un 9% de tejido conductivo (Londoño et al., 2002). Los porcentajes varían desde la base hasta el ápice de la caña y haciendo un corte transversal, desde la cara exterior hasta la cara interior, al igual que la densidad de cada una de las partes y las dimensiones, modificando en función de ello directamente su respuesta mecánica (Liese, 1998) (Muscio et al., 2016).

En estudios recientes se determinó que el valor promedio de resistencia a compresión paralela a la fibra fue de 56 MPa (Tam and González, 2007), y el valor promedio del módulo de elasticidad de la *Guadua angustifolia* ensayada fue de 17.859 MPa (Tam and González, 2007). En los estudios realizados para determinar el comportamiento a flexión del bambú *Guadua angustifolia*, Osorio, Vélez y Ciro (2007) (Osorio et al., 2007) exponen que varía según la zona analizada, presentándose una diferencia significativa entre la zona externa, media, interna y total, siendo mayor en la capa externa, lo que se debe a que es la que mayor porcentaje de fibras y sílice. Los resultados obtenidos a partir de cortes transversales de la caña muestran una resistencia a flexión máxima media de 249.11 MPa en la zona externa, 76.085 MPa en la zona interna y 101.23 MPa en la zona media (Osorio et al., 2007).

El bambú, al ser un material natural, presenta variaciones en sus características según la edad, según la dirección de las fibras que influirán en el corte y la resistencia admisible, la disposición de los nudos, entre otras; éstas influyen directamente en el elemento constructivo (Hidalgo, 2003) (Liese, 1985). Por este motivo el momento de realización del corte determina sus posibilidades de uso (Morán, 2014).

Se recomienda realizar el corte de la caña de bambú entre los 3 y los 4 años de edad buscando las mejores condiciones de resistencia mecánica para su utilización en construcción (Minke, 2010) (Hidalgo, 2003). El corte de la caña de bambú se realiza habitualmente con un machete o sierra de mano a la altura justo del segundo nudo, para impedir que se acumule agua de lluvia (Minke, 2010) ya que esto puede provocar la pudrición de la planta.

Las costumbres culturales establecen diferentes tradiciones que tienen que ver, según las zonas, con la preservación de los bambúes desde el momento del corte, como son las fases de la luna y la hora del corte, ya que el corte por la noche evita que

la planta comience con sus funciones metabólicas a absorber agua y el contenido de humedad es menor (Hidalgo, 2003).

El corte de la caña de bambú se realiza, tradicionalmente, en luna menguante que es cuando el contenido de humedad es menor en la planta, vinculado a la ley de gravitación universal (Hidalgo, 2003). Una vez cortadas las cañas se dejan secar en el bambusal de forma vertical permitiendo que pierdan agua y humedad, posteriormente se deben dejar secar al sol. Este proceso contribuye al curado natural de la caña propiciando mayor durabilidad. Según el proceso constructivo que se siga, posteriormente al curado natural, se puede realizar el curado químico del bambú con bórax y ácido bórico habitualmente a las cañas rollizas, al no poder ver el interior del bambú (Hidalgo, 1981).

### Elaboración de la esterilla de Guadua

Con las cañas curadas (o sin curar) se realizan las esterillas o cañas picadas. Estas piezas planas de bambú se obtienen al realizar cortes a la caña en la dirección longitudinal, especialmente en los nudos (Fig. 7), y al abrirla la esterilla se mantiene unida por su estructura anatómica, principalmente por las fibras (Añazco and Rojas, 2015) (Hidalgo, 1981). El uso de la caña picada facilita la detección de posibles insectos y ataques xilófagos al trabajar con el bambú abierto descubriendo los entrenudos.

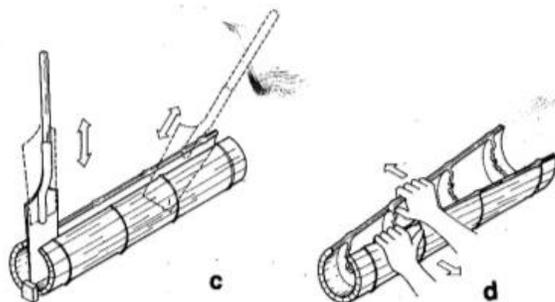


Fig. 7. Proceso para la obtención de la esterilla. (Manual de López Hidalgo 1981).

### E. La cáscara de arroz. Producción de ceniza de cáscara de arroz

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, a través del informe de seguimiento del mercado del arroz del pasado 2017 (ONU, 2017a), el Ecuador se sitúa en sexto lugar en la lista de los más altos productores de América del Sur con 1.2 millones de toneladas métricas (1.2 MTm) anuales de arroz cáscara. Aproximadamente el 71% de la producción nacional de arroz está en la provincia del Guayas (Briones, 2017) y después están las provincias de Los Ríos y Manabí con el 23% y 3% respectivamente.

El peso de la cáscara de arroz se puede estimar que es del 20% del peso del arroz recolectado (Serrano et al., 2012)

(Santillán and Chervaz, 2014) (Fuentes et al., 2015) (Ospina et al., 2008) (Quiceno and Mosquera, 2010) (Tabla 4), por lo que el peso aproximado de cáscara de arroz, sólo en la provincia del Guayas, sería aproximadamente de 170 mil toneladas métricas (casi el doble de la producción que México tuvo en el 2002, según refieren Treviño y Gómez en su estudio (Treviño and Gómez, 2002)).

TABLA IV  
PESO CÁSCARA DE ARROZ RESPECTO A PESO DE ARROZ  
RECOLECTADO

<b>Autor</b>	<b>% respecto a peso de la cáscara de arroz.</b>
Serrano et al. (2012)	20%
Santillán & Chevaz (2014)	20%
Fuentes et al. (2015)	20%
Ospina et al. (2008)	20%
Quiceno & Mosquera (2010)	20% - 25%

La composición orgánica de la cáscara de arroz se asemeja a la que tienen la gran mayoría de fibras orgánicas (Muscio et al., 2016), en cuyo caso particular tiene una proporción de celulosa de 28% a 49%, hemicelulosa entre 16% y 22%, lignina de entre 19% y 25% (otorga rigidez) entre otros componentes (Serrano et al., 2012) (Ordoñez, 2007).

Según indica Serrano (Serrano et al., 2012), es poco común que se utilice de cáscara de arroz sin incinerar como material de construcción y entre las principales desventajas están la porosidad, su higroscopía y los componentes inorgánicos. Además, se indica que para el uso de ésta sin incinerar, es necesario realizar tratamientos previos como lavados con agua destilada (reducir parte orgánica) y aplicación de ácido nítrico para hidrolizar la cáscara de arroz y poder retirar más componentes orgánicos. Esto es necesario para evitar la reacción de la cáscara y el cemento que haría que aumente la concentración de azúcares provocando inconvenientes en el fraguado.

Cuando se incinera o quema la cáscara de arroz se obtiene la Ceniza de Cáscara de arroz o adelante CCA (término que será empleado en adelante). La CCA es un residuo industrial del procesamiento de arroz, ya que dentro de las etapas que sigue este cereal antes de ser distribuido para el consumo, existe una etapa que es el secado del arroz; para lo cual se utilizan hornos o calderas de secado que utilizan como combustible "biomasa" y que en este caso es la propia cáscara del arroz. Uno de los tipos de horno utilizados para procesos agrícola es el de Lecho Fluidizado Burbujeante LFB (Toscano, 2009), que en este caso el horno adecuado para trabajar con el tamo o cáscara de arroz

y que es incinerado a una temperatura controlada entre 650°C y 850°C; aunque también se puede incinerar la cáscara de arroz de manera artesanal según indica Salas (Salas, 2016).

La cantidad obtenida de CCA fluctúa entre 17.80% y 39% del peso inicial (Ospina et al., 2008) (Salas et al., 1986) (Santillán and Chervaz, 2014) (Quiceno and Mosquera, 2010) (Fuentes et al., 2015) (tabla 5), es decir que las 170mil toneladas métricas producidas en la provincia del Guayas al año, se reducen a un peso aproximado entre 30mil y 42mil toneladas.

La CCA tiene un alto contenido de sílice amorfa que puede llegar al 90% (Quiceno and Mosquera, 2010) (Serrano et al., 2012) (Salas et al., 1986) e incluso al 93% (Martínez et al., 2009) con una combustión adecuada. Por este motivo, la CCA actúa como un producto puzolánico, permitiendo la reducción de la cantidad de cemento utilizado y aumentando la gradiente de resistencia en largo plazo, además del consecuente ahorro energético debido a la disminución de la demanda de cemento (Serrano et al., 2012) (Santillán and Chervaz, 2014) (Martínez et al., 2009), además de otros beneficios como la disminución del tiempo de amasado (Prasittisopin and Trejo, 2018).

TABLA IV  
PESO DE CCA RESPECTO A CÁSCARA DE ARROZ INCINERADA

<b>Autor</b>	<b>% respecto a peso original</b>
Ospina et al. (2008).	17.80%
Salas el al. (1986)	17.85%
Santillán & Chervaz. (2014)	20.00%
Quiceno & Fuentes (2010)	20% - 25%
Fuentes et al. (2015)	25.00%
Salas (2016)	19% - 39%

#### F. Porcentaje de CCA en morteros

Según los resultados de las pruebas realizadas por Barrios-Durstewitz et al. (Barrios et al., 2014) para medir la corrosión del acero de refuerzo en morteros modificados con 1%, 5%, 10% y 15% de CCA, las muestras con mayor porcentaje de CCA mostraron una mayor resistencia. Otros de los datos obtenidos de este estudio son la densidad de un mortero con Cemento Portland Ordinario (CPO) que alcanzó los 2.09 g/cm<sup>3</sup> mientras el mortero con 15% de CCA presentó una densidad de 2.18 g/cm<sup>3</sup>, concluyendo que a medida que aumenta el % de CCA en el mortero, aumenta considerablemente la densidad, lo que está íntimamente relacionado con la porosidad del mortero y en consecuencia con la vulnerabilidad a la corrosión de la armadura de refuerzo.

Salas presenta un estudio en donde se evidencia el uso de CCA en proporciones de cemento-CCA 50%-50% (Salas et al.,

1986) y otro estudio del mismo autor, con proporciones conglomerante-CCA de 25%-75%.

## II. METODOLOGÍA

### A. Antecedentes

Este estudio contempla el diseño de un sistema constructivo alternativo para VIS el cual, resumido a grandes rasgos, consiste en un sistema modular basado en paneles de caña Guadua (*angustifolia* Kunth) y un mortero con CCA micro vibrado que ha sido reforzado con una malla de acero electrosoldado.

Se ha establecido que los materiales debían ser de fácil acceso en el sector, que la tecnología debía poder ser difundida y que debía plantearse como meta la optimización del uso de los materiales, disminución del peso de los elementos (antes y después de ser puestos en obra) y una reducción de trabajos realizados in situ. Otra condición propuesta, fue la de emplear materiales propios de la arquitectura vernácula guayaquileña y que se hayan popularizado siendo incluso utilizados en la actualidad debido a sus cualidades y alto desempeño; como por ejemplo la caña Guadua, promoviendo así desarrollo de sistemas alternativos para su aplicación.

Luego del análisis de los casos análogos de VIS, se han identificado en el modelo MACAHO de la FHC características que podrían ser mejoradas mediante cambios en el diseño y en el proceso de fabricación de los componentes. En todos los casos estudiados se recurre a un bastidor de madera sobre el cual se unen las esterillas de bambú o los entramados de caña brava, lo que no es una excepción para el sistema MACAHO; tal como se expuso anteriormente (Tabla 2), los paneles de este modelo utilizan un bastidor o marco de madera para poder colocar la esterilla de caña y realizar posteriormente la aplicación de la primera capa de mortero (con 20% de aserrín) (Premio, 2017). Según los datos proporcionados por la FHC, el mortero aplicado en taller es de 2 cm de espesor y en obra se coloca una capa final de 3 cm (Tabla 3). Al evaluar los pesos se observó que el peso de 114.67 kg (antes de montaje) del panel más grande podía ser reducido, haciendo lo mismo en el resto de paneles.

### B. Ventajas de la propuesta y cambios sugeridos

El panel debería estar cercano a los 80 kg, tal como recomienda Salas (Salas, 2016) para facilitar la manipulación y puesta en obra, y situándose así, según la clasificación determinada por Salas, entre las tipologías de industrialización cuyo peso máximo de elementos es “menor de 180 kg”.

Mediante la creación de una unión machihembrada cuya fijación en sitio se realiza amarrando aceros y aplicando mortero, además de estar fijada a un listón de madera y a un perfil de acero (Fig. 11), se puede suprimir el uso de los bastidores de madera que eran necesarios para fijar la esterilla.

Mediante el micro vibrado del mortero, se consiguió aunar el conjunto de materiales (esterilla de guadua, acero, mortero CCA) ya que el mortero alcanza a penetrar la esterilla de guadua aumentando su durabilidad al evitar la aparición de fisuras en el mortero, además de evitar la presencia de insectos que habitan en posibles espacios abiertos del panel. Del mismo modo, al no tener que lanzar el mortero hacia un elemento esbelto ya instalado en obra, se evitan las vibraciones no controladas que producen fisuras y mala adherencia.

Mediante el diseño propuesto, se ha logrado aumentar el porcentaje de prefabricación, permitiendo un mejor control de la calidad de los elementos constructivos y disminuyendo la mano de obra en sitio. Debido a que el proceso usa tecnología no especializada, permite la creación de talleres en lugares estratégicos para que los mismos usuarios colaboren con el proceso de prefabricación.

### C. Actividades previas a la fabricación del panel

El proceso se inicia desde la obtención del bambú, para lo cual se utilizó *Guadua angustifolia* Kunth, que cumplía con el tiempo recomendado de 4 años de edad. Su corte se realizó en luna menguante para posteriormente ser colocadas de forma vertical para pérdida de agua y humedad. Debido a estas consideraciones, no se ha utilizado procedimientos químicos con bórax y ácido bórico. Una vez que se han secado las cañas, se realizó el procedimiento para su transformación en esterilla o caña picada para su posterior colocación en los moldes utilizados.



Fig. 8. Mesa vibratoria.

Para generar las micro vibraciones en el mortero, se fabricó una mesa vibratoria de 2.00 m de largo, 1.00 m de ancho y 0.90 m de altura, conformada de perfiles angulares de 2 pulgadas. A ésta se incorporó un motor WEG de 1.5 HP (1.10 kW), 110/220V con 3500 RPM, 60 Hz; con un eje excéntrico con peso de 30 g. Sobre esta mesa se coloca molde de acero fabricado a la medida del panel requerido. El molde es independiente de la mesa y es fabricado con ángulo de acero en la parte perimetral y una placa de acero de 1/16 de pulgada con una estructura de soporte reticular a base de tubos rectangulares de 1 ½ pulgadas x ¾ pulgadas. El ángulo perimetral tiene cortes para permitir el paso de la esterilla (Fig. 8, 9 y 10a) que formará el machihembrado.



Fig. 9. Parte inferior de molde para panel.

#### D. Fabricación del panel

Como primer paso, se colocan las fibras de la caña de bambú en sentido horizontal dejando los nudos en sentido vertical. Esta disposición de las esterillas en el panel facilita el armado, ya que no se desperdicia caña y además permite colocar los nudos del bambú en donde su estructura anatómica es mucho más compleja, las fibras son más cortas y los haces vasculares se cruzan, se ligan y se vinculan rigidizándolo (Londoño et al., 2002) (Muscio et al., 2016) (Osorio et al., 2007); trabando la composición a modo de aparejo (Fig. 10c). Se crea un machihembrado con “alas” de 20cm de ancho por 35cm de altura y de manera alternada; dando continuidad y rigidez a la sucesión de los paneles. La esterilla de Guadua tiene aproximadamente 2cm de espesor.

Por la esterilla se ha pasado previamente “alambre de amarre” calibre 18, con 1.25 mm de diámetro y fabricado bajo las normas NTE-INEN 2480 (Ideal, 2018), que es un alambre recocido de bajo contenido de carbono de alta ductilidad, producido por la empresa Ideal Alambrec-Bekaert. Estos alambres servirán para amarrar y asegurar una malla electrosoldada R – 158 de acero de 5.5 mm de diámetro y separación entre aceros de 20 cm en ambos ejes. Se utiliza esta malla con el objetivo de mejorar la adherencia mortero-esterilla además de impedir la aparición y propagación del fenómeno de fisuración y de absorber esfuerzos de tracción tal como indica

Salas (Salas, 2016). Anteriormente pruebas con morteros de cemento sin refuerzos y morteros reforzados con otro tipo de mallas de menor calibre (1.65 mm-1.24 mm) pero no fueron buenos los resultados.

Como siguiente paso se coloca un marco perimetral de acero que servirá para impedir la pérdida de mortero por los bordes, además de formar un acabado recto en las aristas del mortero (Fig. 10)

El siguiente paso es la colocación de mortero con CCA que será micro vibrado en la mesa descrita anteriormente. El mortero ha sido preparado con una proporción 2:2:1 (arena, CCA, cemento) y una relación agua/cemento de 0.50, parámetros establecidos de manera experimental a pesar de que en los estudios mostrados en el apartado 1.8., el volumen máximo era del 75% del peso del cemento, se experimentó con una mayor proporción con el objetivo de abaratar costos y disminuir porosidad. Del mismo modo se tomó en cuenta lo indicado por Barrios-Durstewitz et al. sobre el aumento de la densidad y cierre de poros que como consecuencia presentaba una mayor protección a la armadura de acero utilizada, esto al aumentar el contenido de CCA.

Como conglomerante se empleó Cemento Holcim Fuerte Tipo GU que es un Cemento para construcción en general (HOLCIM, 2016) que es el de mayor comercialización en el mercado local. Este cemento es fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE INEN 2380 (NTE-INEN, 2011). Como adición a la mezcla, se ha empleado CCA proveniente de una piladora Baquerizo, cantón Alfredo Baquerizo Moreno (Jujan)-Ecuador. La arena utilizada es arena corriente distribuida por DISENSA.S.A.

La capa es de 2 cm de espesor y no se aplicará más mortero sobre esta, por lo que el espesor final del panel será de 4cm en total. El taller o fábrica debe evitar una exposición directa al sol de los paneles para evitar pérdida acelerada de humedad. Una

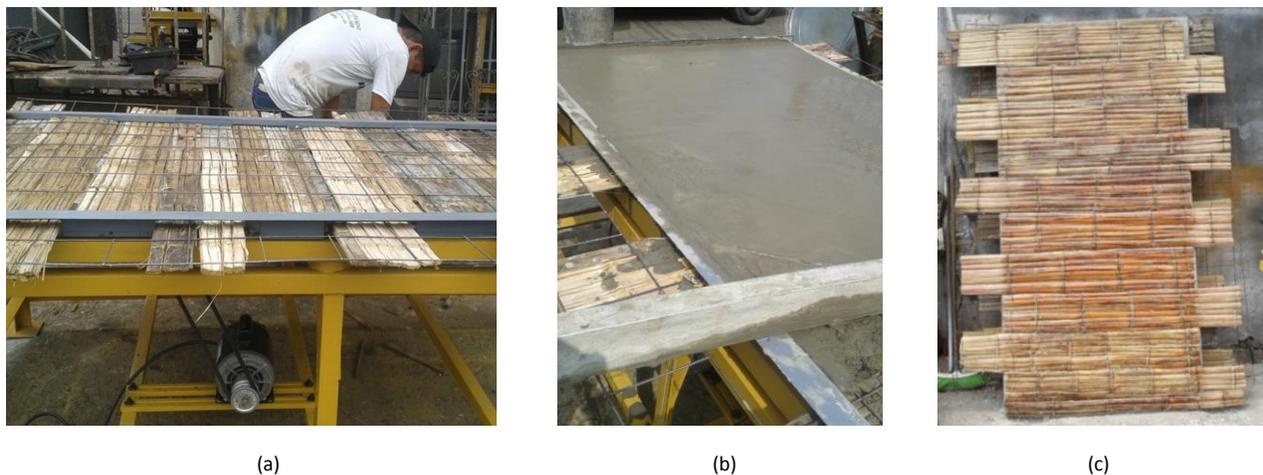


Fig. 10. (a) Montaje de materiales en molde, (b) aplicación de mortero CCA, (c) panel acabado.

vez endurecidos los paneles, estos se trasladan al sitio en donde, previo a su montaje, los cuales se colocarán sobre un zócalo de adoquines/bloques para proteger a la caña y de la humedad.

### III. RESULTADOS

Debido a que la propuesta representa una alternativa constructiva al modelo MACAHO de la FHC y, con el objetivo de facilitar un análisis comparativo, se ha mantenido el diseño de la estructura de madera, el zócalo (aunque modificando su altura), así como la estructura de la cubierta y material de recubrimiento (planchas o chapas de zinc).

La propuesta tiene una dimensión de 5.10 m x 5.10 m, cubierta a dos aguas con una altura máxima de 2.46 m (en cumbre) y una altura interior mínima de 2.45 m. Se propone el uso del mismo contrapiso/solera, la colocación del mismo zócalo, pero aumentando su altura a 35 cm; las 9 columnas de sección cuadrada con 10 cm de lado se asegurarán sobre el zócalo, al igual que las utilizadas en el modelo MACAHO.

En la Fig. 11 se muestra el modelo tridimensional de la propuesta, en donde se pueden distinguir los elementos constructivos y sus componentes; esterilla de caña (a), columnas de madera (b), celosía con latillas de caña para ventilación (c) (se podrá colocar malla metálica), mortero prefabricado con CCA reforzado con malla de acero (d), mortero de unión colocado en obra (e), zócalo para prevenir humedades en la caña (f), contrapiso/solera de hormigón (g).

En la Fig. 12 se detalla el procedimiento para el montaje, luego de realizar el contrapiso, el zócalo, y de anclar las

columnas de madera a las cuales previamente se les ha realizado un destaje (a) que permita asegurar unos listones de madera de sección 4 cm x 8 cm (b). Sobre estos listones se empernarán los paneles al momento del montaje.

En la parte superior de los paneles a 3cm del borde superior y a 10cm del borde lateral del mortero se realiza una perforación con la ayuda de un taladro y una broca de 3/8 de pulgada.

Como se muestra en la Fig. 12, un perfil angular de acero (b) de 3cm de lado por 2mm de espesor, se ancla a la parte superior del zócalo con la ayuda de tornillos de cabeza avellanada y tacos de nylon. Sobre el ángulo y apoyándose/alineándose con una de las columnas esquineras, se asegura el primer panel taladrando el listón de madera a través del agujero que tenga el panel para luego asegurar con varilla roscada de 3/8pulgadas con su respectiva arandela plana y tuerca (c); de igual manera en la parte inferior asegurándolo al ángulo; los paneles esquineros, también se anclarán los paneles a las columnas. Esto garantizará que los paneles estén alineados al momento de aplicar el mortero de junta.

Luego de la colocación del panel esquinero, se repiten los pasos hasta colocar el siguiente panel esquinero (Fig. 12 e,f,g,h) y así, hasta cerrar el perímetro de la vivienda y colocar los paneles interiores. Una vez que todos los paneles ha-yan sido colocados en su lugar, se procede a la aplicación de mortero en las uniones (Fig 12i, Fig. 11).

La propuesta habitacional está conformada por 27 paneles divididos en 6 tipologías de paneles. En la Fig. 13, se distinguen cada uno de los paneles con una escala visual, siendo los más

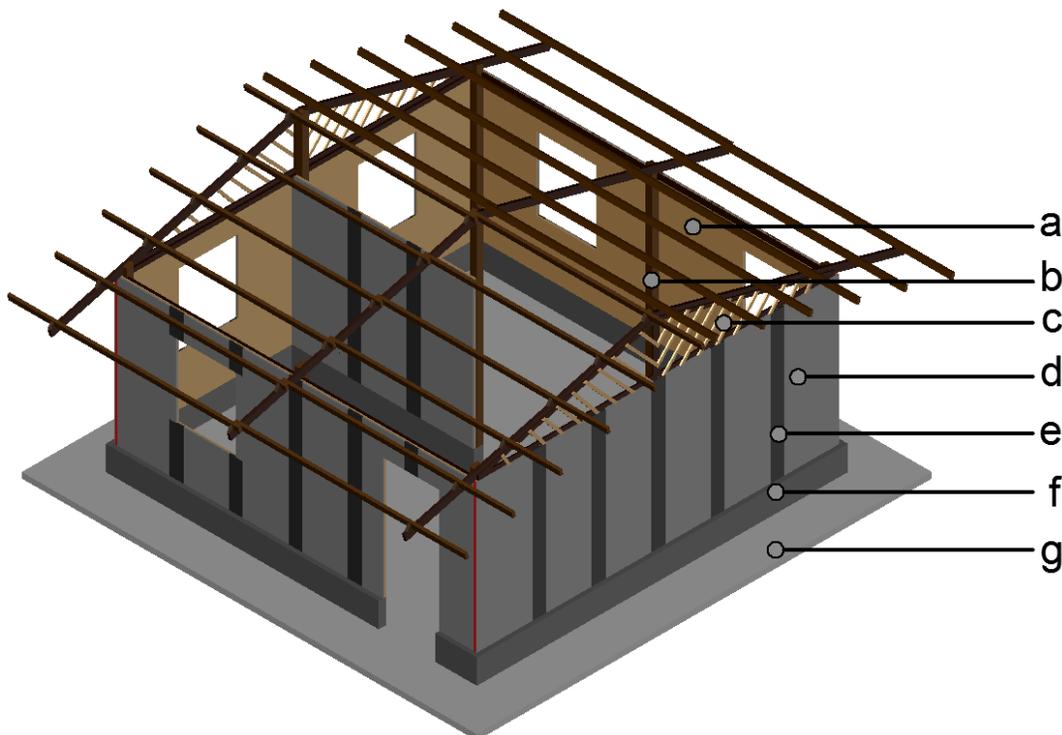


Fig. 11. Representación de la vivienda en conjunto con los paneles propuestos.

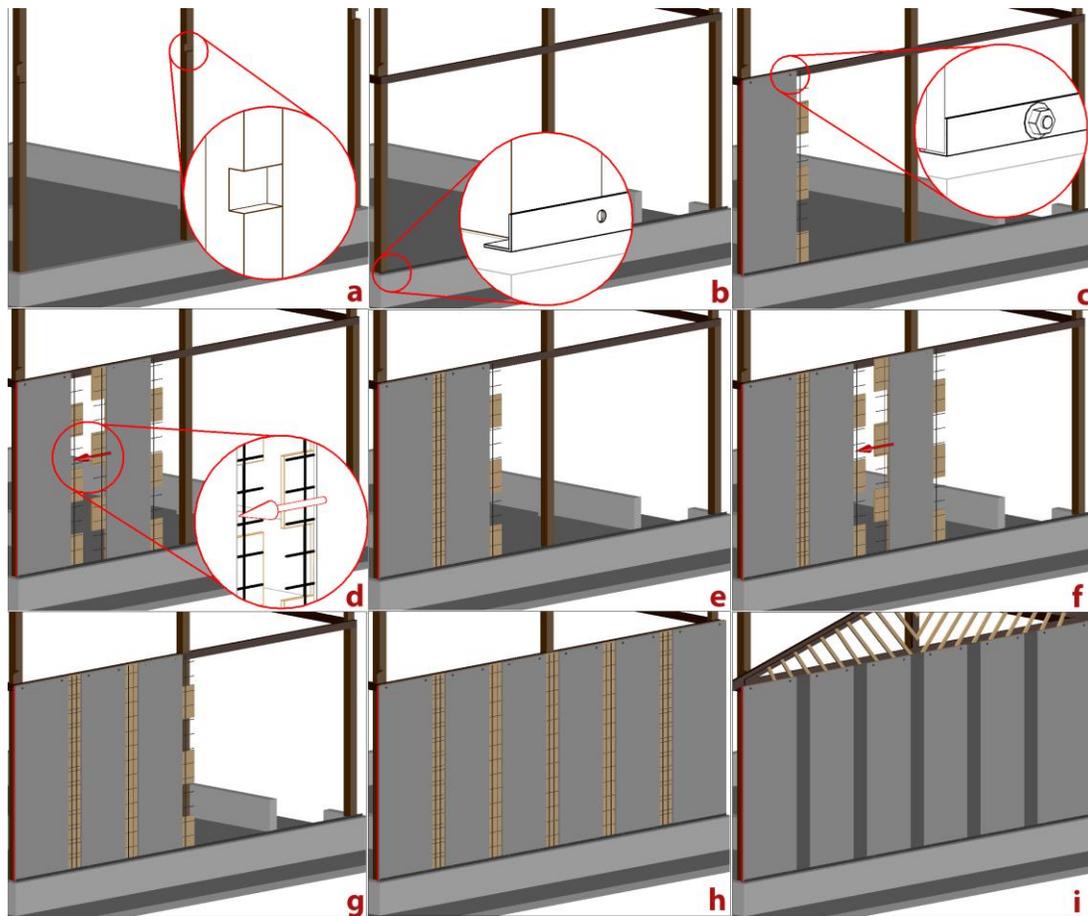


Fig. 12. Proceso constructivo de la vivienda con los paneles propuestos.

grandes los de la tipología “a” (0.95 m x 2.10 m) y tipología “e” (1.05 m x 2.10 m); mientras que los paneles más pequeños son los de las tipologías “b” (1.05 m x 0.35 m) y los de la tipología “c” (1.05 m x 0.70 m).

Tanto para la tipología “f” (elementos usados para puertas) como para la tipología “b” (parte superior de ventanas) se ha considerado varillas de acero corrugado de 8mm para reforzar las uniones realizadas en obra (se amarran aceros y se aplica mortero).

Dicho esto, es necesario aclarar que, para el análisis comparativo, se optó por usar las cantidades resultantes de sumar todos los volúmenes de materiales usados en los paneles necesarios para construir una vivienda debido a que al comparar panel a panel, existían diferencias notorias debido a la modulación distinta para cada solución.

Es necesario aclarar que cada “ala” que conforma el machihembrado de la propuesta, tiene una altura de 35 cm y un ancho de 20 cm, por lo que toda la modulación ha sido realizada en base a este módulo. Esta altura fue definida para evitar presencia excesiva de cortes (muchas “alas”) pero también para que existieran 3 “alas” de cada lado como máximo, lo que permite que algunos de los paneles puedan ser girados para evitar el choque o traslape del acero de refuerzo.

#### IV. CONCLUSIONES

Como conclusiones del estudio, experimentación y análisis de la propuesta del panel prefabricado se realizó un análisis comparativo en detalle de los materiales, su volumen y su peso; tomando en cuenta el sumatorio total global de todos los paneles utilizados para una vivienda MACAHO y para una vivienda propuesta (Tabla 6). Partiendo de que en los dos casos se utilizan los mismos materiales, este análisis nos permitió obtener conclusiones más concretas que se pueden vincular a la forma de utilizar los materiales y el ahorro que se puede realizar, a las condiciones de traslado (relacionado con su volumen), a la manipulación de los paneles durante la construcción (vinculado al peso por la cantidad de material empleado) y al trabajo necesario in situ para el remate de la vivienda.

En porcentajes comparativos, se deduce de los datos obtenidos que los paneles de la propuesta propician la disminución de un 88,5% del volumen total de madera de la vivienda. En relación al uso de la esterilla de bambú se pudo determinar que la reducción de volumen total de la propuesta es del 31% frente a la vivienda MACAHO. En cuanto al uso de mortero aplicado en taller, la propuesta reduce un 20% del

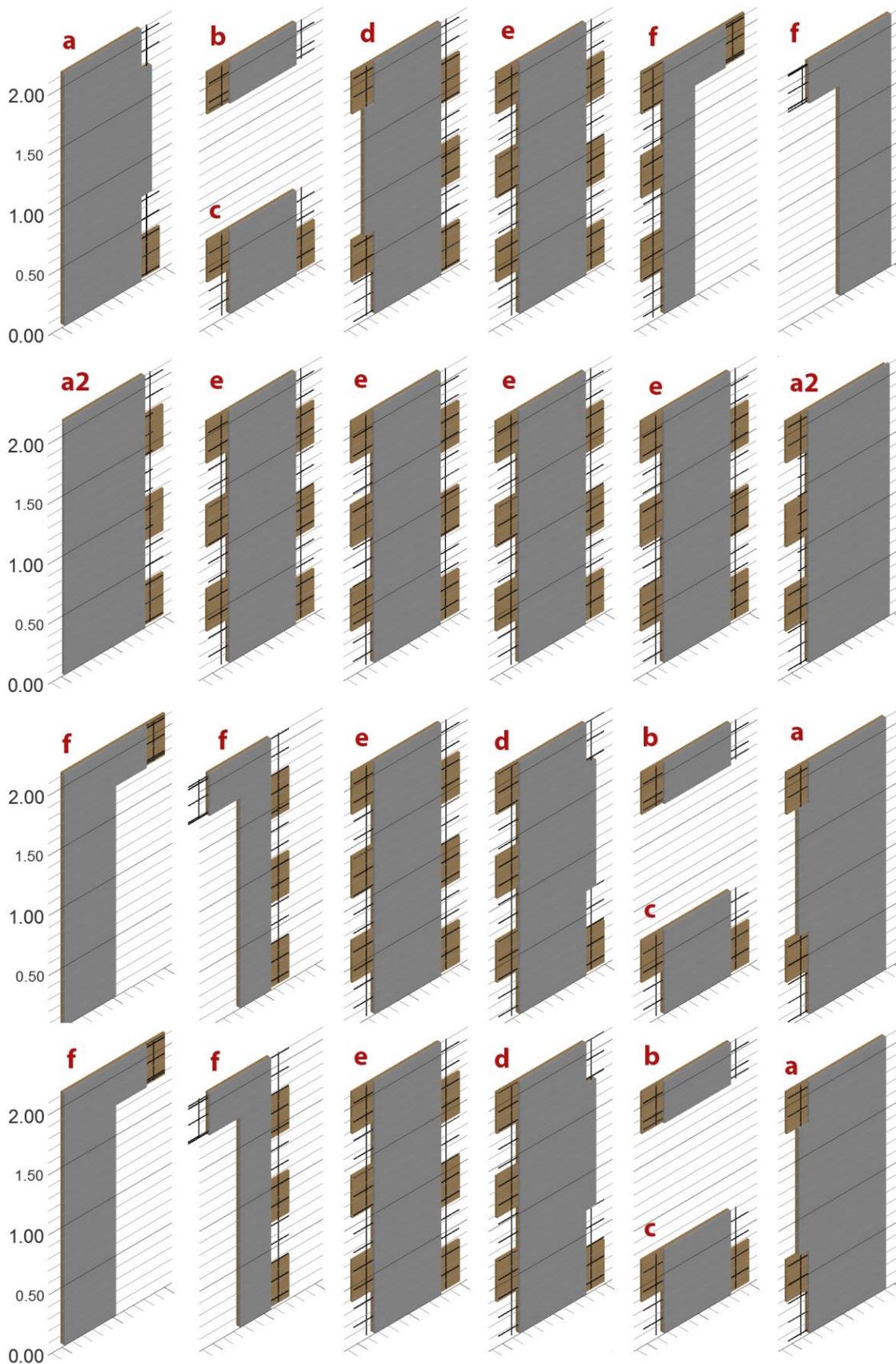


Fig. 13. Modulación de paneles propuestos.

volumen total y un 89% de reducción del volumen de mortero aplicado en obra. La reducción total de mortero tanto en taller

TABLA VI  
CÁLCULO ESTIMADO DEL VOLUMEN Y PESO DE LOS MATERIALES Y DE LA VIVIENDA EN CONJUNTO, TANTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MACAHO COMO DE LA VIVIENDA CON LOS PANELES PROPUESTOS

MACAHO: VOLUMEN Y PESOS TOTAL PANELES.						
No.	Material	Área (m <sup>2</sup> ) (A)	Espesor (m) (e)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V) (A*e)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (ρ)	Peso (Kg) (V*ρ)
1	Madera*	11,27	0,05	0,563500	400	225,40
2	Esterilla caña**	52,84	0,02	1,056800	500	528,40
3	Mortero (capa inicial)***	37,91	0,02	0,758200	2200	1668,04
4	Malla de acero	N/A	N/A	N/A	N/A	0
5	Mortero (en obra)****	37,91	0,03	1,137300	2200	2502,06
Total peso paneles prefabricados (1+2+3+4)						<b>2421,84</b>
Total peso paneles instalados (1+2+3+4+5)						<b>4923,90</b>

PROPUESTA: VOLUMEN Y PESOS TOTAL PANELES.						
No.	Material	Área (m <sup>2</sup> ) (A)	Espesor (m) (e)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V) (A*e)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (ρ)	Peso (Kg) (V*ρ)
1	Madera*	1,62	0,04	0,064800	400	25,92
2	Esterilla caña**	36,46	0,02	0,729200	500	364,60
3	Mortero (capa inicial)***	30,20	0,02	0,603900	2200	1328,58
4	Malla de acero	N/A	N/A	0,015900	7850	124,82
5	Mortero (en obra)****	6,02	0,02	0,120400	2200	264,88
Total peso paneles prefabricados (1+2+3+4)						<b>1843,92</b>
Total peso paneles instalados (1+2+3+4+5)						<b>2108,80</b>

\* Densidad proporcionada por Departamento de ventas de FHC.

\*\* Densidad más baja para caña según Liese (1998)

\*\*\* La capa de mortero aplicada en taller es de 2cm para ambos casos. (Datos MACAHO, fuente: FHC)

\*\*\*\*Capa mortero aplicado en obra es de 3cm según datos proporcionados por FHC.

como en obra para los paneles es del 62%.

Con respecto al peso total de los paneles utilizados en cada solución, (ver tabla 3 y tabla 7) se puede decir que, en base a los datos analizados, la propuesta de los paneles prefabricados (peso a transportar) reduce un 24% el sumatorio total de pesos de paneles con respecto a la sumatoria de pesos de los paneles de la vivienda MACAHO, lo que favorece la manipulación, la autoconstrucción y el traslado de los paneles. Una vez

instalados los paneles se estima que la reducción de peso de la sumatorias de pesos de los paneles es del 57%, bajando así el peso total de la edificación.

Para la propuesta, se ha alcanzado un peso de 84 kg (el panel más grande, el de tipología “e”) lo que está dentro de las recomendaciones de peso referidas por Salas (Salas, 2016).

Sobre las uniones de los paneles, se puede indicar que fue posible aplicar una solución distinta a la realizada en las uniones

TABLA VII  
CÁLCULO ESTIMADO DEL VOLUMEN Y PESO DE LOS MATERIALES Y DE LA VIVIENDA EN CONJUNTO, TANTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO MACAHO COMO DE LA VIVIENDA CON LOS PANELES PROPUESTOS.

PROPUESTA: VOLUMEN Y PESO DE PANEL MÁS GRANDE (h=2.10; a=1.05)						
No.	Material	Área (m <sup>2</sup> ) (A)	Espesor (m) (e)	Volumen (m <sup>3</sup> ) (V) (A*e)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) (ρ)	Peso (Kg) (V*ρ)
1	Madera*	0,068	0,04	0,002720	400	1,09
2	Esterilla caña**	1,785	0,02	0,035700	500	17,85
3	Mortero (capa inicial)***	1,34	0,02	0,026800	2200	58,96
4	Malla de acero****	N/A	N/A	0,000800	7850	6,28
5	Mortero (en obra)***	0,42	0,02	0,008400	2200	18,48
Total peso paneles prefabricados (1+2+3+4)						<b>84,18</b>
Total peso paneles instalados (1+2+3+4+5)						<b>102,66</b>

\* Densidad proporcionada por Departamento de ventas de FHC.

\*\* Densidad más baja para caña según Liese (1998)

\*\*\* Se ha considerado el espesor de la primera capa realizada en taller de 2cm, y la capa realizada en obra de 3cm, con un total de 5cm de espesor. Datos proporcionados por Departamento de Ventas de FHC.

en la vivienda MACAHO, buscando la rigidización y el trabajo colaborativo de los paneles dispuestos en la vivienda sin la utilización de bastidor de madera.

Como próximos objetivos de análisis se realizarán las pruebas en laboratorio de la resistencia de los materiales y del panel completo para determinar su comportamiento físico-mecánico.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Grupo de Investigación VIS universidad de Guayaquil-Ecuador; “Enfoque sistémico del diseño de viviendas de interés social a partir de sistemas constructivos prefabricados para los sectores populares de las zonas 5 y 8 del Ecuador”, por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo.

#### REFERENCIAS

- Almeida, V. (2017). “Promedio de Personas por Hogar a Nivel Nacional”.
- Almeida, B., Anaya, J. and Hechavarría, J. (2017). “Caracterización dimensional de modelos constructivos de Vivienda de Interés Social construidos en Guayaquil-Ecuador,” in Memorias científicas del V Congreso Internacional de Investigación y Actualización en Ingenierías, pp. 227-239.
- Añazco, M. and Rojas, S. (2015). “Estudio de la cadena de producción al consumo del bambú en el Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*,” INBAR, pp. 7-10.
- Balarezo, D. (2010). “Historia del Cantón Milagro”.
- Barrios, C. P., Pellegrini, J. M., Nuñez, R. E., Almeraya, F., Gaona, C. and Martínez, A. (2014). “Corrosión del acero de refuerzo en mortero modificado con ceniza de cascarilla de arroz y nano-silíce.” T7-006. VI Congreso Nacional ALCONPAT México 2014, Noviembre 9-12.
- Briones, J. (2017). “Análisis de los insumos en el cultivo de arroz y su incidencia en el precio de venta en el cantón Daule periodo 2010-2015.” Universidad de Guayaquil, pp. 48.
- Casanova, R. (2011). “Análisis de la tendencia de la construcción de la vivienda en el Ecuador años 2005-2010”.
- Ciudadano (2017). El Ciudadano, Ed., Casa para todos" es una realidad.
- Diario (2014). Diario El Telégrafo, Ed., Guayaquil tiene un déficit de 200mil casas.
- Diario (2017a). Diario El Comercio, “Plan de vivienda arrancará con un presupuesto de USD 500 millones”.
- Diario (2017b). Diario El Universo, “Hasta mayo de 2018 se construirán unas 50.000 viviendas en plan ‘Casa para todos’ 2017”.
- Ekos, R. (2017). “Desarrollo de Vivienda: alternativa social y económicamente necesaria”.
- Forero, B. and Hechavarría, J. (2015). “TUS 015. Análisis de las condiciones de confort térmico en el interior de las viviendas del complejo habitacional Socio Vivienda 2, Etapa 1, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.,” in 3er Congreso Científico Internacional Tecnología, Universidad y Sociedad TUS., 2015, p. 128.
- Fuentes, M. I. (2009). Libro de Obra - Arquitectura Contemporánea con Base Local. pp. 23.
- Fuentes, N., Fregozo, O. and Vizcaino, L. (2015). “Residuos agroindustriales como adiciones en la elaboración de bloques de concreto no estructural,” Ciencia e Ingeniería Neogranadina.
- Hidalgo, O. (1981). “Manual de construcción con bambú,” Cali, Colombia: Estudios.
- Hidalgo, O. (2003). Bamboo: The gift of the gods.
- Hogar (2012). HogardeCristo, “En el corazón de la Esperanza. Memoria Institucional”.
- HogardeCristo (2013), “Presentacion de Modelos de vivienda.” Hogar de Cristo, pp. 5-33.
- HOLCIM (2016). “Soluciones en cemento. Holcim Fuerte, ficha técnica” 2016.
- Ideal (2018). Ideal Alambre Bekaert, “Catálogo de productos: Alambres” 2018.
- INEC (2010). “Resultados del Censo 2010 de la población y vivienda del Ecuador: Fascículo Nacional.” 2010.
- INEC (2017). INEC-SENPLADES, “Proyecciones referenciales de población a nivel cantonal 2010-2030.” 2017.
- Johansson, E. and Yahia, M. W. (2012). “Improving outdoor thermal comfort in warm-humid Guayaquil, Ecuador through urban design”.
- Liese, W. (1985). “Anatomy and properties of bamboo,” in Proceedings of the International Bamboo Workshop, pp. 196–208.
- Liese, W. (1998). The anatomy of bamboo culms, vol. 18. Brill, 1998.
- Londoño, X., Camayo, G., Riaño, N. and Lopez, Y. (2002). “Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth,” Seminario-Taller Avances sobre la investigación sobre Guadua.
- Martínez, J. D., Pineda, T. G., López, J. P. and Betancur, M. (2009). “Experimentos de combustión con cascarilla de arroz en lecho fluidizado para la producción de ceniza rica en sílice”.
- METEOBLUE (2018). “Clima Guayaquil”.
- MIDUVI (2015). “Informe Nacional del Ecuador para la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible Habitat III.” 2015.

- Minke, G. (2010). Manual de construcción con bambú. MERLIS SE.
- Morán, J. A. (2014). "Preservación del bambú en América Latina, mediante métodos tradicionales. Guayaquil: International Network for Bamboo and Rattan-INBAR, 2002".
- Muscio, E., Torres, J. E. and Anaya, J. (2016). "La relación existente entre anatomía y radio de curvatura, análisis experimental con *phyllostachys bambusoides* sieb. et zucc.," IV Simposio Internacional del Bambú y la Guadua, 2016.
- NTE-INEN (2011). "Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos".
- ONU (2017a). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, "Seguimiento del Mercado del Arroz de la FAO," 2017. pp. 5.
- ONU (2017b). Naciones Unidas, "Una población en crecimiento," 2017.
- ONU (2017c). Naciones Unidas Habitat, "Viviendas y mejoramiento de asentamientos precarios," 2017.
- Ordoñez, L. M. (2007). "Reutilización de la Ceniza de Cáscara de Arroz como material de Construcción: Valoración y Optimización de sus Propiedades Puzolánicas". Universidad Politécnica de Valencia.
- Osorio, J. A., Vélez, J. and Ciro, H. J. (2007). "Estructura interna de la guadua y su incidencia en las propiedades mecánicas," *Dyna*, vol. 74, no. 153, pp. 81–94.
- Ospina, M. A., Monzó, J., Payá, J., Borrachero, M. V., Mejía, R. and Delvasto, S. (2008). "Utilización del residuo obtenido en el proceso de combustión de la cáscarilla de arroz para la preparación de materiales de construcción de bajo coste con base cementicia," REDISA.
- Prasittisopin, L. and Trejo, D. (2018). "Effects of mixing time and revolution count on characteristics of blended cement containing RHA," *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018.
- Premio (2017). Premio Sacha, "MACAHO, una solución definitiva a bajo costo y ecológica".
- Quiceno, D. and Mosquera, M. (2010). "Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible," Universidad Autónoma del Occidente.
- Rogers, W. (1936) "Voyage autour du monde commence en 1708 et finie 1711: par le capitaine Woodes Rogers. Amsterdam, 1717. Traducido por Jaime Barrera. Central. Quito, 1936.," *Anales de la Universidad Central de Quito*.
- Salas, J. (2016). De habitat II a Habitat III- Construyendo con recursos escasos en Latinoamérica. pp.339, 376-377.
- Salas, J., Gómez, G. and Veras, J. (1986). "Hormigones con ceniza de cáscara de arroz (R.H.A.): Influencia del curado y del agua de amasado.," *Informes de la Construcción*, pp. 31-41.
- Salas, J., Castillo, P., Sánchez, M.I. and Veras, J. (1986). "Empleo de cenizas de cascara de arroz como adiciones en morteros," *Materiales de la Construcción*, 1986.
- Sánchez, B. (2014). "Mercado de suelo informal y políticas de hábitat urbano en la ciudad de Guayaquil." Quito: FLACSO Sede Ecuador.
- Santillán, V. and Chervaz, F. (2014). "Actividad puzolánica de cenizas de cascara de arroz. Estudio de factibilidad en el empleo como adición para el cemento," *JIT* 2014.
- Serrano, T., Borrachero, M. V., Monzó, J. and Paya, J. (2012) "Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades," *Dyna*, pp. 128-136.
- Tam, C.P.T. and González, C. E. (2007). "Resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guadua *angustifolia* y determinación del módulo de elasticidad," *Ingeniería y Universidad*, vol. 11, no. 1, pp. 89–104.
- Toscano, L. (2009). "Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de Biomasa." Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Treviño, B. and Gómez, I. (2002). "Obtención de fases del cemento utilizando desechos agrícolas e industriales".
- Ugalde, J. (2010). "Investigación y estudio de materiales y técnicas constructivas tradicionales aplicadas a la restauración arquitectónica para el rescate del patrimonio arquitectónico del Ecuador", pp. 15.
- Wiener, C. (1959). "Un francés en Guayaquil"; en *El Ecuador visto por los extranjeros (Viajeros de los Siglos XVIII y XIX)*. Puebla: Editorial Cajica, pp. 447-471.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.