

Evaluación de la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social en Costa Rica


Evaluation of the quality of wood used in social interest housing in Costa Rica


Avaliação da qualidade da madeira utilizada em moradias de interesse social na Costa Rica

Rudy Bello*  <https://orcid.org/0000-0002-4354-5137>

Lupita Vargas  <https://orcid.org/0000-0001-6254-9507>

Juan Carlos Valverde  <https://orcid.org/0000-0002-3181-1346>

Diego Camacho  <https://orcid.org/0000-0001-7760-9664>

Cynthia Salas  <https://orcid.org/0000-0003-3098-1287>

¹Consultora Independiente. Costa Rica.

²Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

³Laboratorio de ecofisiología forestal y aplicaciones ecosistémicas (ECOPLANT), Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica.

⁴Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.

*Autor para la correspondencia: rudybello@gmail.com

Recibido: 5 de abril de 2019.

Aprobado: 31 de octubre de 2019.

RESUMEN

En el proceso constructivo con madera se debe realizar una rigurosa evaluación de la calidad de la madera implementada, con el fin de disponer de edificaciones con períodos de vida largos y usabilidad óptima. Sin embargo, a nivel nacional se cuentan de forma limitada metodologías que evalúen la calidad de la madera en construcciones. Por tanto, el objetivo fue evaluar la calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social. Para ello, se implementó la norma INTE C99-2014 y se valoró el contenido de humedad, dimensionalidad, calidad visual y preservación de la madera; se trabajó con productos de madera aserrada destinada a la construcción de casas de interés social. Las empresas proveedoras están ubicadas en Alajuela (Ecohouses) y Limón (ADITIBRI y SOMABACU) que implementaron *P. caribaea* var. *hondurensis*, *C. alliodora* y *Pinus* sp.; en cada sitio se seleccionaron 10 productos de madera aserrada con repeticiones de tres a diez piezas. Las piezas que mostraron



mejores resultados en cuanto a la valoración fueron las de *Pinus* sp., al ser un material importado; contó con una gran uniformidad y calidad. En el caso de las piezas de madera de *C. alliodora* y *Pinus* sp. presentaron cumplimientos inferiores al 60 % debido a la heterogeneidad de los materiales, en muchos casos con contenidos de humedad superiores al 30 %, con poco control en la dimensionalidad y alta presencia de nudos. Finalmente, en cuanto a la preservación, específicamente en la retención, ninguna de las especies logró la concentración de preservante mínima de 2,4 kg m⁻³.

Palabras clave: vivienda construcción; calidad de madera; preservación.

ABSTRACT

In the construction process with wood, a rigorous evaluation of the quality of the wood implemented must be carried out in order to have buildings with long life periods and optimum usability; however, at the national level there are limited methodologies that assess the quality of wood in construction. Therefore, the objective was to evaluate the quality of wood in social housing; for this, the INTE C99-2014 standard was implemented and the moisture content, dimensionality, visual quality and preservation of the wood were assessed, sawn wood products were used for the construction of houses of social interest, the supplier companies are located in Alajuela (Ecohouses) and Limón (ADITIBRI and SOMABACU) that implemented *P. caribaea* var. *hondurensis*, *C. alliodora* and *Pinus* sp., at each site 10 sawn wood products were selected with repetitions of 3 to 10 pieces. The pieces that showed better results in terms of valuation were those of *Pinus* sp., Being an imported material, it had a great uniformity and, in the case of wood pieces of *C. alliodora* and *Pinus* sp. They met less than 60 % due to the heterogeneity of the materials, in many cases with moisture contents greater than 30 % (green wood), with little control on dimensionality, high knot presence. Finally, in terms of preservation specifically in retention, for none of the species under study was it achieved minimum conservation of 2.4 kg m⁻³.

Keywords: housing; construction; wood quality; preservation.

SÍNTESE

No processo de construção com madeira, deve ser feita uma avaliação rigorosa da qualidade da madeira implementada, de modo a ter edifícios com longos períodos de vida útil e com uma ótima usabilidade. No entanto, existem poucas metodologias disponíveis a nível nacional para avaliar a qualidade da madeira na construção. Portanto, o objetivo era avaliar a qualidade da madeira utilizada na habitação social. Para tal, foi implementada a norma INTE C99-2014 e foram avaliados o teor de humidade, a dimensionalidade, a qualidade visual e a preservação da madeira; o trabalho foi realizado com produtos de madeira serrada para a construção de casas de interesse social. As empresas fornecedoras estão localizadas em Alajuela (Ecohouses) e Limón (ADITIBRI e SOMABACU) que implementaram *P. caribaea* var. *hondurensis*, *C. alliodora* e *Pinus* sp.; em cada local foram seleccionados 10 produtos de madeira serrada com repetições de três a dez peças. As peças que apresentaram melhores resultados em termos de valorização foram as de *Pinus* sp., sendo um material importado; tinha uma grande uniformidade e qualidade. No caso das peças de madeira de *C. alliodora* e *Pinus* sp. apresentaram preenchimentos inferiores a 60 % devido à heterogeneidade dos materiais, em muitos casos com teor de humidade



superior a 30 %, com pouco controlo na dimensionalidade e elevada presença de nós. Finalmente, no que diz respeito à conservação, especificamente à retenção, nenhuma das espécies atingiu a concentração mínima de conservação de 2,4 kg m⁻³.

Palavras-chave: Construção de moradias; qualidade da madeira; preservação.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de edificaciones habitacionales ha sido fundamental en el proceso evolutivo humano, al ser considerado un elemento primordial para su desarrollo personal y social el disponer de un área física en la cual se pueda dormir, alimentarse y desarrollar múltiples actividades físicas que le generen pertenencia (Hermawana *et al.*, 2015). En el último siglo, la vivienda habitacional se ha considerado un símbolo de estatus, un elemento de consagración del individuo en la sociedad (Cabléa *et al.*, 2019); generando con ello que en las últimas tres décadas se dé una tendencia de aumento del 6,2 % en la demanda habitacional para América Latina y un 3,5 % anual a nivel mundial (Lenoch y Hlaváèkov, 2015).

Ante tal panorama, los sistemas constructivos se han tenido que adaptar al desarrollo de edificaciones de rápida manufactura, que se ajusten a las tecnologías actuales y a la percepción del mercado demandante (Malesza y Miedzia³owski, 2017), para lo cual la selección y uso de materiales es fundamental para generar un mayor éxito de comercialización (Lenoch y Hlaváèkov, 2015). Diyamandoglu y Fortuna, (2015) mencionan que los mercados inmobiliarios actuales se enfocan en cuatro elementos en el momento de adquirir espacios habitacionales: ubicación espacial de la edificación (considerando la ubicación, servicios disponibles, recursos y cercanía de puntos estratégicos como supermercados, centros educativos, entre otros.); características funcionales de la edificación (distribución de la planta física); características estéticas de la edificación (estética de sitio y composición visualmente agradable) y materiales implementados en la edificación (tipo materiales, calidad de acabado y estado de los mismos en el momento de la evaluación). Conforme a las condiciones del inmueble sean mejores, la cotización en el mercado será mayor y por ende su valor se incrementará y las posibilidades de venta serán mayores.

Es en el aspecto de características estéticas y materiales implementados en el que se tiende a invertir la mayor cantidad de recursos financieros y de tiempo en el proceso constructivo (Risse *et al.*, 2019). Uno de los materiales que más ha sido usado históricamente es la madera (Tonooka *et al.*, 2014), que se caracteriza por ser un material disponible en cualquier parte del mundo, con una gran trabajabilidad, cuyas propiedades físicas y mecánicas le permiten ser implementado en infraestructuras complejas para la absorción de ondas acústicas que generan un espacio silencioso, por su baja conductividad térmica y por la posibilidad de incrementar el aislamiento en el resto de los sistemas constructivos, lo cual permite que sea el material número uno en los países con temperaturas extremas; asimismo, presenta un gran atractivo estético (Loughlin y Dodder, 2013). Risse *et al.*, (2019) menciona que es un material sostenible en comparación con el concreto, acero, plásticos, aluminio, entre otros, los cuales requieren de mayores consumos de energía para su producción, generan más polución, residuos y alto impacto ambiental.



Sin embargo, una de las mayores limitaciones que ha tenido la madera en la región tropical en el uso constructivo ha sido la poca normalización, clasificación y adaptación del material a los distintos usos potenciales, generando que la percepción de la madera se limite a usos estéticos o temporales en las edificaciones (Kern *et al.*, 2018). Por ello, en las últimas décadas se ha iniciado la creación de normativas de uso, destacando las normas UNE, basadas en la normativa europea, que consideran: términos generales comunes a la madera aserrada y a la madera en rollo (UNE-EN 844-1, 1996a); términos generales relativos a la madera aserrada (UNE-EN 844-3, 1996b) y madera estructural, dimensiones y tolerancias (UNE-EN 336, 2014). También se encuentra la norma de clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural; esta última se limita solamente a madera de coníferas (UNE 56544:2007). En Chile se destaca la norma de defectos, a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición (NCh 992:1972); procedimiento y criterios de evaluación para clasificación (NCh 993: 1972); preservación, clasificación, composición y requisitos de los preservantes para madera (NCh 790:2012) y terminología general (NCh 173:2008). En Estados Unidos, sobresalen un grupo de ocho normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM), que normalizan aspectos de secado, preservado, calidad visual y de uso estructural de madera para uso constructivo.

En caso específico de Costa Rica, el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO), en la última década ha iniciado la creación de normativas en uso de la madera como material constructivo, disponiendo actualmente de dos: norma de terminología de maderas (INTE C98:2015) y madera aserrada para uso general (Requisitos, INTE C99:2014). Para la elaboración de estas normas se usaron como referencia las normas ASTM D9-12 y NTC 1305 respectivamente; sin embargo, a nivel nacional se cuenta con una normativa metodológica limitada que evalúa la estética y el uso de la madera en construcciones de bienestar social desarrolladas por el estado costarricense, por lo que el objetivo del presente trabajo consiste en proponer una metodología de evaluación de calidad de madera en viviendas de interés social en Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló con un enfoque mixto, en la cual se vincularon variables cuantitativas medibles en la madera y variables cualitativas como la evaluación visual de la calidad de la madera y la percepción de variables de interés. Debido a que en la actualidad no se dispone de la norma nacional de evaluación de calidad de madera en edificaciones de bienestar social, pues las existentes evalúan la madera en construcciones a nivel general, se decidió analizar consideraciones existentes de la norma española (UNE-EN 336:2014 y ASTM D9-12) en conjunto con las normas nacionales INTE C99:2014 para madera aserrada para uso general y la norma INTE C98:2015 de terminología de maderas en Costa Rica.

Consideraciones iniciales para la evaluación de la calidad de madera en viviendas de interés social

El desarrollo de la metodología de evaluación de calidad de madera en construcciones de bienestar social consideró los siguientes elementos en su proceso:

1. Que esté acorde con las normativas existentes y vigentes para Costa Rica, en cuanto a sistemas constructivos y utilización de madera.



2. Prácticas a desarrollar en campo, lo que simplifica el proceso de evaluación y permite dar información necesaria para la toma de decisiones en las edificaciones.
3. Que sea de rápido aprendizaje, para que con ello el proceso de entrenamiento sea el mínimo y la mayor cantidad de colaboradores dispongan de un criterio sustentado.
4. Que cuente con un respaldo metodológico comprobable mediante pruebas estadísticas; es relevante disponer de un sistema de evaluación representativo (complementario al existente en la norma **INTE-ISO 2859:2005**), en el que el sistema de muestreo y análisis sea estadísticamente fuerte y con ello se pueda hacer acciones de mejora o corrección a todo un proyecto sin la necesidad de evaluar pieza por pieza.

Para el cumplimiento de los cuatro supuestos mencionados anteriormente, se consideraron los criterios de profesionales en el área, en conjunto con normas nacionales e internacionales vigentes, producto de las cuales se seleccionaron cuatro variables de análisis: contenido humedad, dimensionalidad del material, calidad visual de la madera, penetración y retención de preservantes.

Variables de calidad analizadas

En cada sitio de estudio se analizaron las siguientes variables, a partir de la metodología desarrollada por **Camacho-Padilla, (2014)**:

1. Contenido de humedad de la madera: definido como la cantidad de agua presente dentro de la madera; para su evaluación se implementó un medidor de humedad portable de perforación (de dos pines de medición de 20 mm de longitud), marca PCE modelo Dam master, con un rango de funcionamiento del 5 al 100 % de contenido de humedad. Las mediciones se desarrollaron en el punto medio de cada muestra evaluada.
2. Dimensionalidad del material: se midió el espesor, ancho y la longitud de cada pieza de madera según el procedimiento establecido en la norma **INTE C99:2014** de madera aserrada para uso general. Requisitos. En la evaluación se implementó una cinta métrica de carpintería de una longitud de 5 m.
3. Calidad visual de la madera: se implementaron las categorías disponibles en la norma **INTE C99:2014** para madera aserrada para uso general y se analizaron los defectos: arista faltante, agujeros, corteza incluida, falla de cepillado, grano levantado, grietas por secado en la cara, marca de sierra, nudo muerto, nudo vivo y defecto de taladrado. El análisis se realizó para todas las caras visibles de las piezas instaladas y se desarrolló de tipo visual.
4. Penetración del preservante en la madera: se analizó la penetración del preservante en la madera, para lo cual se aplicó una prueba colorimétrica en diferentes piezas de madera con el reactivo Cromo-azurol, el cual generó un cambio de coloración de la muestra que permitió determinar el porcentaje de la pieza en la cual permanecía el preservante. Con la retención del preservante en la madera se aplicó para la especie *Pinus radiata*, *C. Alliodora* y *Pinus* sp. para lo cual se recolectaron muestras en cada sitio y se aplicó la técnica de laboratorio de microscopía de absorción atómica, para determinar el valor de retención de las muestras y compararlo con el valor mínimo de permanencia del producto, el cual para la especie *Pinus Radiata* tratada con Micronized Copper Azole corresponde a 3,3 kg/m³, para *C. Alliodora* preservada con xilocromo el requerimiento mínimo es de 1,1 kg/m³ y finalmente el requerimiento mínimo para el *Pinus* sp. es de 2,4 kg/m³, según lo establecido



en la norma de preservación de madera INTE C333:2018, con un muestreo de triplicado para cada pieza de cada especie analizada.

Sitios de estudio y materiales analizados

Se realizó la evaluación en productos de madera aserrada disponibles en las empresas (Figura 1): Ecohouses (Alajuela), SOMABACU (Limón) encargadas de suministrar y construir viviendas de interés social y en la Asociación de Desarrollo Integral del territorio Indígena de Bribri (ADITIBRI) (Limón) que se encuentra incursionando en el suministro de madera para la construcción de viviendas sociales. En cada vivienda se seleccionaron las piezas de muestreo (se implementó una intensidad de muestreo del 3 %) según las dimensiones de interés, pero el punto de extracción de cada pieza fue aleatorio. Las especies analizadas fueron las dominantes en las edificaciones, *Pinus radiata* en Ecohouses, *Pinus* sp. en SOMACABU y *Cordia alliodora* en ADITIBRI.

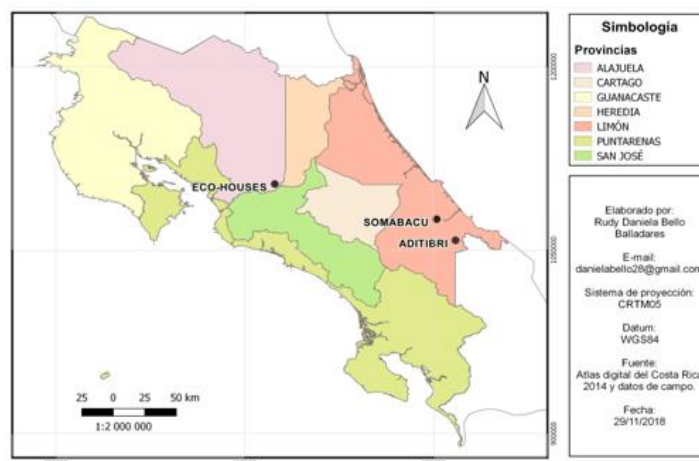


Figura 1. - Ubicación de los tres sitios evaluados con la metodología de evaluación de la calidad de la madera para viviendas de interés social en Costa Rica, 2018

En cada edificación se seleccionaron diez productos de madera con mayor disponibilidad (Tabla 1). Evaluando el 3 % de piezas de madera instaladas de cada casa (valor estimado para tener una potencia estadística mínima del 85 %). A cada pieza se le midieron las dimensiones de espesor, ancho y longitud con cinta métrica. También, el contenido de humedad y se analizó su calidad visual según la según la norma INTE C99: 2014.



Tabla 1. - Lista de materiales constructivos evaluados con la norma de calidad de la madera utilizada en viviendas de interés social en Costa Rica

Sitio	Especificación por pieza (mm)
Ecohouses	Balaustres 41 x 41 x 800
	Cadenillo 41 x 140 x 3200
	Columna A 127 x 115 x 3050
	Columna C 127 x 115 x 2440
	Columna D 127 x 115 x 3050
	Huellas 41 x 140 x 960
	Pasamano 41 x 90 x 3200
	Poste 65 x 65 x 1060
	Tablero 41 x 140 x 700
	Tablero 41 x 140 x 820
ADITIBRI	Clavador 25 x 100 x 4250
	Corona 50 x 75 x 3360
	Corona 50 x 75 x 3780
	Esquineros 75 x 75 x 2500
	Peldaño 50 x 250 x 1100
	Petatillo 13 x 50 x 2500
	Piso 25 x 150 x 3100
	Piso 25 x 150 x 3250
	Viga corta 125 x 125 x 3000
	Viga corta 125 x 125 x 3500
SOMABACU	Alero, baño y puerta 25 x 75 x 2500
	Aleros y barandas 25 x 75 x 840
	Artesones y caballete 38 x 125 x 2500
	Cadenillo 50 x 100 x 2500
	Forro 25 x 125 x 3650
	Petatillo 13 x 50 x 1300
	Pilotes 100 x 100 x 2500
	Pilotes 90 x 90 x 2440
	Soleras 75 x 75 x 2500
	Tabla para piso 25 X 125 X 2500

Con respecto a la medición de la penetración del preservante en la madera, se tomaron tres muestras de diferentes piezas en cada sitio en estudio, se escogió la dimensión de interés de evaluación, pero el punto específico de extracción fue aleatorio. Se les realizó una prueba colorimétrica con el reactivo Cromo-azulol; por otra parte, para la evaluación de la retención del preservante se recolectó una muestra de 13 piezas, las cuales fueron enviadas al laboratorio químico LAMBDA para conocer la cantidad de preservante presente.



Análisis estadístico

Para cada variable analizada se procedió a realizar un análisis descriptivo, a partir del cual se generó el promedio, mediana, desviación estándar y coeficiente de variación. Posteriormente, se hizo el análisis de normalidad y se realizó un Análisis de Varianza de una Vía (ANDEVA), para identificar si existían diferencias entre los valores de cada variable presente en cada especie; en caso de encontrar diferencias se aplicó una prueba de Tukey. Los análisis se realizaron con una significancia de 0,05 y en el programa estadístico InfoStat versión 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación de contenido de humedad

Se presenta la variación del contenido de humedad en todas las piezas muestreadas de cada sitio. (Figura 2) En el caso de Ecohouse (Figura 2a), se identificó para *P. radiata* un contenido de humedad promedio de 11,4 %; el 85 % de las piezas se encontraron en el rango de 10,4 a 12,6 %. Además, la totalidad de las muestras mostraron una categorización según la norma INTE C99-2014, al cumplir con el criterio para madera seca (inferior al 19 %) establecido en la norma. En el caso de ADITIBRI (Figura 2b), para la especie *C. alliodora* el rango para el contenido de humedad fue de 7,0 a 79,8 %; el 86 % de las muestras analizadas se clasificaron en estado verde (promedio con un CH del 55 %), únicamente el 14 % en estado seco. Finalmente, en SOMABACU, para la especie *Pinus* sp. (Pino Amarillo del Sur) el contenido de humedad promedio varía entre el 14,95 y 20,32 %; por otra parte, la madera de *C. alliodora* varió entre el 16,9 y el 83,2 %, en la cual el 42,5 % del material evaluado incumplió la norma, siendo considerado como madera seca únicamente el 57,5 %.

La poca variación del contenido de humedad del *P. radiata* y *Pinus* sp se debe a que es un material importado de Chile, por lo que en el proceso de exportación se seca al horno con un contenido de humedad final del 10 %. Miranda *et al.*, (2010) menciona que en la exportación de la madera se busca que las piezas estén secas, con el fin de reducir costos y uniformizar la calidad y dimensionalidad del material; por lo que es de esperar que el material cumpliera lo establecido por la norma. En el caso de la madera de *C. alliodora*, a nivel nacional se comercializa tanto condición seca como húmeda, ya que el mercado no cuenta con un contenido de humedad de aceptación definido (Moya *et al.*, 2010), se explica que en regiones tropicales, la demanda de madera no considera los rangos de humedad de esta en la construcción habitacional, debido a que se asume que en el proceso de edificación la misma se secará, además que, comprar la madera verde implica un ahorro económico; sin embargo, no se toman en cuenta los defectos, deformaciones y reducciones de la calidad que la edificación tendrá durante el proceso de secado de las piezas instaladas (Salazar, 2008).



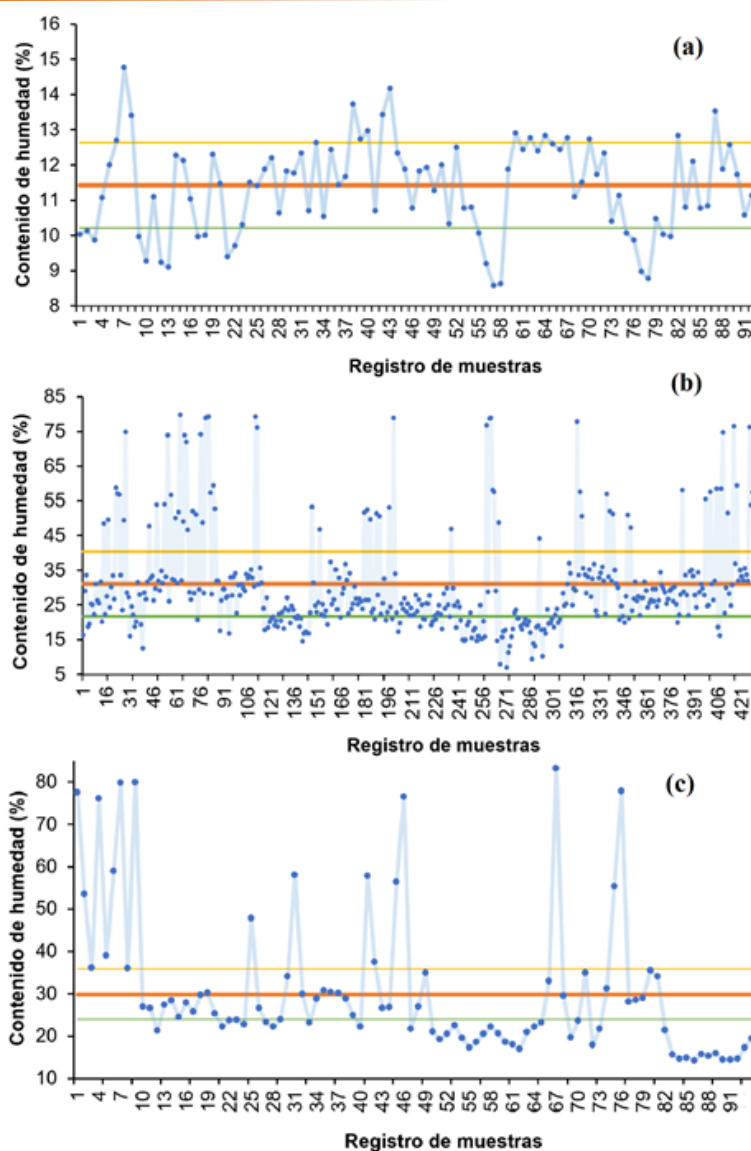


Figura 2. - Variación del contenido de humedad obtenido en los productos de madera de *P. radiata* usado en Ecohouse (a), *C. alliodora* en ADITIBRI (b) y *Pinus* sp en SOMABACU

Caracterización dimensional de los materiales

Con respecto a la variabilidad de las piezas, de forma general se determinaron los siguientes aspectos (Tabla 2):

1. De las tres especies analizadas, los materiales utilizados con *P. radiata* mostraron la mayor estabilidad dimensional y cumplimiento de los rangos de variación según la norma **INTE C99-2014**, que no deben superar el 5 %.
2. Las únicas piezas que mostraron disconformidades en *P. radiata* fue en el producto balaustres (en las tres variables), pasamanos (en el ancho) y postes (en ancho y longitud).



3. *C. alliodora* fue la especie de menor uniformidad del material, encontrando problemas en espesor (en clavadores, peldaños, petatillo y piso), ancho (en petatillo y piso) y longitud (en todos los materiales).
4. Con la especie *Pinus* sp., la no conformidad en espesor se dio en los materiales: petatillo y pilotes; en ancho se dio en pilotes y la longitud se dio en todos los materiales evaluados.

La poca inconformidad en *P. radiata* se debe a la homogeneidad del material importado (el cual se determinó para el estudio que está cepillado). Según Mora, (2016), el éxito de la comercialización de productos maderables en altos volúmenes es la homogeneidad dimensional del material; según los lotes tengan poca variabilidad, generará en el usuario la percepción de facilidad de conseguir materiales en el tiempo que le permitan estandarizar los procesos productivos, en este caso en sistemas constructivos. Por su parte, con las piezas de *C. alliodora* y *Pinus* sp., el problema encontrado en espesor y ancho de las piezas se debe directamente a la variación encontrada en los contenidos de humedad (Figura 2). Lizán-Narro, (2018) menciona que la madera verde puede tener reducciones del 10 al 25 % en la dimensionalidad debido a la pérdida de humedad. En el caso encontrado, la variabilidad se puede incrementar conforme se dé una pérdida de humedad del material.

Tabla 2. - Variación del espesor, ancho y longitud obtenidos en los productos de madera de *P. radiata* usado por Ecohouse, *C. alliodora* en ADITIBRI y *Pinus* sp. en SOMABACU implementados en casas de bienestar social en Costa Rica

Sitio	Especificación por pieza	Espesor (mm)		Ancho (mm)		Longitud (mm)	
		Promedio	E (±)	Promedio	E (±)	Promedio	E (±)
Ecohouses	Balaustrés 41 x 41 x 800	43,33*	0,15	42,48*	0,15	803,86*	0,17
	Cadenillo 41 x 140 x 3200	43,48*	0,49	140,74	0,22	3204,89	0,89
	Columna A 127 x 115 x 3050	126,37	0,51	117,23	0,57	3203,40	0,60
	Columna C 127 x 115 x 2440	125,73	0,70	117,6	0,48	2442,90	0,44
	Columna D 127 x 115 x 3050	126,39	0,64	116,22	0,88	3204,33	0,63
	Huellas 41 x 140 x 960	43,58*	0,74	140,21	0,68	963,00	0,55
	Pasamano 41 x 90 x 3200	43,15	0,89	92,69*	1,32	3205,54	0,80
	Poste 65 x 65 x 1060	66,80	0,27	68,50*	0,25	1068,00*	0,00
	Tablero 41 x 140 x 700	41,67	0,05	140,03	0,53	702,10	0,24
	Tablero 41 x 140 x 820	41,63	0,19	139,87	0,34	822,80	0,14
	Clavador 25 x 100 x 4250	27,33*	0,19	101,8	0,48	4224,05*	3,47
	Corona 50 x 75 x 3360	50,67	0,36	76,71	0,81	3554,13*	46,68
	Corona 50 x 75 x 3780	50,10	0,48	79,12	0,35	3886,59*	24,91
	Esquineros 75 x 75 x 2500	77,33	0,44	77,50	0,43	2568,50*	5,38
ADITIBRI	Peldaño 50 x 250 x 1100	54,57*	0,52	254,97	1,15	1228,70*	16,86
	Petatillo 13 x 50 x 2500	14,76*	0,30	52,73*	0,25	2624,16*	19,42
	Piso 25 x 150 x 3100	27,28*	0,13	149,96*	0,90	3136,73*	5,98
	Piso 25 x 150 x 3250	26,56*	0,79	154,50*	0,76	3610,17*	142,07
	Viga corta 125 x 125 x 3000	125,60	0,77	125,60	1,43	3154,20*	13,57
	Viga corta 125 x 125 x 3500	127,41	1,13	128,19	0,80	3562,11*	57,33
	Alero, baño y puerta 25 x 75 x 2500	23,77	0,27	73,23	0,53	2556,80*	28,25
	Aleros y barandas 25 x 75 x 840	24,13	0,78	74,20	0,67	883,70*	6,31
	Artesones y caballete 38 x 125 x 2500	36,83	0,32	124,03	0,46	2533,50*	6,72
	Cadenillo 50 x 100 x 2500	49,97	0,80	100,3	0,79	2533,60*	7,58
ASOMABACU	Forro 25 x 125 x 3650	22,83	0,72	135,83	0,43	3677,80*	2,10
	Petatillo 13 x 50 x 1300	12,64*	0,33	47,40	0,43	1343,47*	13,33
	Pilotes 100 x 100 x 2500	107,90*	0,84	107,40*	1,47	2582,00*	35,34
	Pilotes 90 x 90 x 2440	92,53*	0,50	92,97*	0,62	2466,80*	7,25
	Soleras 75 x 75 x 2500	74,10	0,49	74,30	0,58	2568,50*	21,63
	Tabla para piso 25 X 125 X 2500	26,33	0,53	124,53	1,03	2536,00*	13,83

Nota: *se denota para piezas que demuestran una variación de la dimensionalidad de las piezas que no es conforme según la norma INTE C99-2014



Clasificación visual de los materiales

En la calidad visual de los materiales (Figura 3) se encontró, para las piezas de *P. radiata*, que el 65 % del material evaluado no presentó defecto alguno; sin embargo, el 35 % del material restante mostró presencia de uno de los siguientes seis tipos de defectos identificados: corteza incluida, grietas por secado en cara, médula incluida, nudo muerto y nudo vivo (Figura 3a). El nudo vivo fue el defecto dominante presente en el 50 % del material; esto se debe, según [Camacho-Padilla, \(2014\)](#), a que la madera importada de Chile proviene de plantaciones maderables intensivas en las que el estímulo de crecimiento incide en que los árboles generen una gran cantidad de nudos, que se denotan en las piezas exteriores del fuste, caracterizándose por tener una calidad menor y que generalmente son consumidas por los mercados Centroamericanos. En caso de los restantes defectos, se deben a la calidad de material. [Trujillo et al., \(2011\)](#) destaca que el 60 % de la madera importada de Chile presenta calidad 3 o 4, considerada como de categoría media, por lo que es común la presencia de una gran densidad de nudos y defectos.

En el caso de las piezas de *C. alliodora* (Figura 3b), se encontró un cumplimiento del 55 % del material con las normas visuales, el restante 45 % presentó alguno de los siguientes 10 defectos: nudo vivo (21 %), rajaduras (18 %), nudo muerto (16 %), corteza incluida (13 %), marca de sierra (11 %), arista faltante (9 %), grano levantado (6 %), agujeros (4 %) y taladro (2 %). Los defectos identificados se caracterizaron por ser de carácter natural de la especie (nudos, agujeros, grano), pero en su mayoría por un procesamiento deficiente del material (marcas de sierra, arista faltante, taladro y corteza incluida). [Mora \(2016\)](#) menciona que, generalmente, las especies tropicales muestran defectos estéticos producto de la mala manipulación y procesamiento de las trozas, del uso de equipo o patrones de corte deficiente, incidiendo en que la calidad del material sea menor y requiriendo el empleo de procesos secundarios para incrementar la calidad de las piezas. Finalmente, con las piezas de *Pinus radiata* (Figura 3c), el 71 % del material no presentó algún tipo de defecto, el restante 29 % presentó alguno de los siguientes defectos: nudos vivos (40 %), falta de cepillo (20 %), taladro (15 %) grietas por secado (10 %), arista faltante (10 %), nudo muerto (4 %) y marca de sierra (1 %). Los defectos identificados se deben a las mismas razones mencionadas para *C. alliodora*, así como a la combinación de las características de la especie en conjunto a un manejo con deficiencias del material.



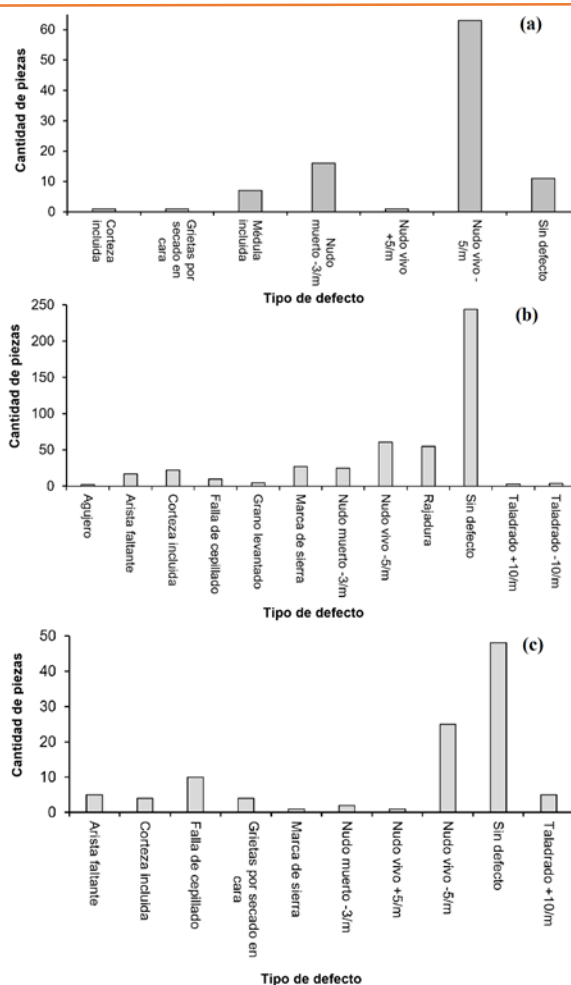


Figura - 3. Defectos visuales para la madera de *P. radiata* utilizada por Ecohouse en (a), *C. alliodora* en ADITIBRI (b) y *Pinus* sp. en SOMABACU presentes en piezas de madera aserrada a ser utilizadas en casas de bienestar social

Calidad de preservación

En cuanto a la preservación de los materiales, se obtuvo para las tres especies implementadas el cumplimiento de la penetración del preservante en albura del 100 % (exceptuando los aleros de SOMABACU que mostraron una penetración del 0 % debido a que las piezas estaban manufacturadas en duramen). Los valores de penetración fueron congruentes a los presentados por *Moya et al., (2010)*, en los que se encontró para las especies estudiadas una penetración total, ya que la permeabilidad de la albura en condición verde es ideal para la entrada de preservantes. Por su parte, *Harb et al., (2018)* identificó para especies del género *Pinus* penetraciones del 95 %, debido a que el sistema conductivo de las traqueidas es ideal para la inyección de preservantes por autoclavado. (Tabla 3)



Tabla 3. - Porcentaje de penetración del preservante aplicado en las piezas de madera aserrada en las especies *P. radiata* y *C. alliodora*

Sitio	Material	Penetración (%)
Ecohouses	Columna	100
ADITIBRI	Cadenillo	100
	Escalera	100
	Piso	100
SOMABACU	Pilotes	100
	Alero	0

Con respecto a la retención del preservante, evaluado en *P. radiata*, *C. alliodora* y *Pinus sp* se determinó un incumplimiento total de la retención del preservante que, según las especificaciones, deben ser de 3,3; 1,1 y 2,4 kg/m³ para las especies, respectivamente. Los valores obtenidos son extremadamente bajos para el caso de *C. alliodora*; esto se debe a que el sistema de preservación empleado fue del tipo inmersión, el cual, si bien permitió una presencia total del preservante, la concentración del mismo es extremadamente baja. Robey *et al.*, (2018) mencionan que una baja retención de preservante con penetraciones totales se debe a que la concentración de la disolución fue baja, el sistema de preservación y secado no fue óptimo y generó pérdida de preservante por lixiviación o bien la calidad del preservante no fue la mejor (Tabla 4).

Tabla 4. - Porcentaje de retención del preservante aplicado en las piezas de madera aserrada en las especies *P. radiata* y *C. alliodora*

Sitio	Pieza	Cobre (mg/m ³)	Retención (kg/m ³)	Retención promedio (kg/m ³)	CV (%)
Ecohouses	Columna	1349,0	0,001	0,002 (0,001)	67,79
	Pasamanos	1291,0	0,001		
	Cercha	3866,0	0,004		
ADITIBRI	Peldaño	4649,0	0,005	0,003 (0,005)	158,6
	Forro	14032,0	0,014		
	Viga larga	0,1	0,000		
	Cadenillo Corto	850,0	0,001		
	Corona	0,1	0,000		
	Parales clavadores	1747,0	0,002		
	Marco de ventana y puertas	920,0	0,001		
	Piso	1548,0	0,002		
	SOMABACU*	Columna	1291,0		

Nota: Valores entre paréntesis representan la desviación estándar, en el caso del asterisco (*) solo se aplicó una prueba en Pino amarillo del sur, ya que el procediendo empleado en *C. alliodora* fue una aspersión superficial sobre las piezas



Criterio de aceptabilidad de calidad

Se determinó que únicamente las piezas de madera propiedad de la empresa Ecohouse, de *P. radiata* presentaron un estatus de aceptación en cuanto a calidad, siendo la retención el parámetro que presentó menor nota debido a los bajos niveles de retención del producto aplicado Salazar, (2008) mencionó que los estándares de calidad en construcción con madera homogénea tiende a ser elevado debido a la poca variación del material, que permite al desarrollador construir con mayor facilidad y sistematizar los procesos constructivos (Tabla 5).

En el caso de los otros dos sitios la aceptación fue menor al 60 %, debido a que la mayoría de la madera evaluada presentó un elevado contenido de humedad, clasificando la madera como verde; asimismo, existió incumplimiento total en la longitud de las piezas e igualmente los valores de retención del preservante están muy por debajo de los requerimientos mínimos establecidos, por lo que se debe dar un mayor control y acompañamiento a las construcciones desarrolladas con ambas especies con el fin de generar construcciones de mayor calidad. Qu et al., (2012) mencionan que edificaciones con alta variabilidad dimensional y humedad en las piezas pueden ser la base para defectos constructivos en los primeros cinco años de vida del proyecto, ya que el proceso de secado genera una reducción en las piezas, curvaturas o afectaciones en el acabado que generará afectación en la estética; además pueden ser puntos ideales para la presencia de hongos y patógenos que generen un deterioro mayor en la construcción.

Tabla 5. - Análisis de aceptación de la madera utilizada en casas de bienestar social en Costa Rica

Especie	Aceptación (%)					Estatus considerado
	Contenido humedad	Dimensionalidad	Caracterización visual	Preservación	Promedio	
<i>P. radiata</i>	100,0	94,0	65,0	50,0	77,3	Aceptable
<i>C. alliodora</i>	14,0	62,0	55,0	50,0	45,3	No aceptable
<i>Pinus sp.</i>	57,5	59,0	71,0	50,0	59,4	No aceptable

De las especies utilizadas, el *P. radiata* obtuvo una aceptación del 77,3 % en cuanto a la calidad, debido a la uniformidad en cuanto al contenido de humedad, dimensiones, estética (que mostró limitación principal de nudos vivos) y en menor medida en la preservación (con una penetración total, pero una retención debajo de lo establecido), estos buenos resultados se deben a que es material importado con homogeneidad en dimensiones y procesos previos. Caso contrario con *C. alliodora* y *Pinus sp.*, que presentaron una aprobación menor al 55 %, con contenidos de humedad que consideran la madera como verde (promedio 60 %), la uniformidad dimensional es deficiente (con énfasis en la longitud) y en menor medida en los defectos (enfaticados en naturales como nudos y manejo como marcas de sierra). Finalmente, en cuanto a la preservación, específicamente en la retención, para ninguna de las especies en estudio se alcanzó el valor mínimo requerido.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, 1996a. UNE-EN 844-1:1996 *Madera aserrada y madera en rollo. Terminología. Parte 1: Términos generales comunes a la madera aserrada y a la madera en rollo* [en línea]. 1996. S.l.: UNE. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0009196>.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, 1996b. UNE-EN 844-3:1996. *Madera aserrada y madera en rollo. Terminología. Parte 3: Términos generales relativos a la madera aserrada* [en línea]. 1996. S.l.: UNE. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0009198>.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, 2007. UNE 56544:2007 *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas* [en línea]. 2007. S.l.: UNE. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0039192>.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, 2014. UNE-EN 336:2014 *Madera estructural. Medidas y tolerancias* [en línea]. 2014. S.l.: UNE. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0052989>.
- CABLÉ, A., GEORGES, L., PERIGNÉ, P., SKREIBERG, O. y DRUETTE, L., 2019. *Evaluation of a new system combining wood-burning stove, flue gas heat exchanger and mechanical ventilation with heat recovery in highly-insulated houses*. Applied Thermal Engineering [en línea], vol. 157. DOI <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.103>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431118371321>.
- CAMACHO PADILLA, J., 2014. *Parámetros de sostenibilidad en tipologías de viviendas de interés social tramitadas en el periodo de abril a agosto del año 2014 en el cantón central de Cartago* [en línea]. Tesis de Maestría. Costa Rica: Tecnológico de Costa Rica. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3929>.
- CONTRERAS MIRANDA, W., OWEN, M., BARRIOS PÉREZ, E., RONDÓN SULBARAN, M., CLOQUELL BALLESTER, V. y GATICA RÍSPOLI, I., 2010. *Conceptos propositivos de viviendas sociales en zonas de riesgo en Venezuela y Brasil, a partir de sistemas constructivos tradicionales, madera sólida y productos forestales*. Revista Forestal Venezolana, vol. 54, no. 2, pp. 237-249. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/274711685_Conceptos_propositivos_de_viviendas_sociales_en_zonas_de_riesgo_en_Venezuela_y_Brasil_a_partir_de_sistemas_constructivos_tradicionales_madera_solida_y_productos_forestales
- DIYAMANDOGLU, V. y FORTUNA, L.M., 2015. *Deconstruction of wood-framed houses: Material recovery and environmental impact*. Resources, Conservation and Recycling, vol. 100, pp. 21-30. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915000841>



- HARB, P., LOCOGE, N. y THEVENET, F., 2018. *Emissions and treatment of VOCs emitted from wood-based construction materials: Impact on indoor air quality*. Chemical Engineering Journal, vol. 354, pp. 641-652. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718315596>
- HERMAWAN, A., PRIANTO, E. y SETYOWATI, E., 2015. *Thermal Comfort of Wood-wall House in Coastal and Mountainous Region in Tropical Area*. Procedia Engineering, vol. 125, pp. 725-731. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894718315596>
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN, 1972. NCh 993:1972 Madera. *Procedimientos y criterios de evaluación para la clasificación* [en línea]. 1972. S.l.: Instituto Nacional de Normalización. Disponible en: http://200.14.86.24/ipac20/ipac.jsp?session=157B63319U756.1054556&profile=bder&uri=link=3100007~!59217~!3100001~!3100002&aspect=basic_search&menu=search&ri=1&source=~!biblioteca&term=Norma+chilena+oficial+NCh+993+.+EOF72&index=TITLE.
- INTECO, 2005. INTE/ISO 2859-1:2005. *Procedimiento de muestreo para la inspección por atributos. Parte 1: planes de muestreo para las inspecciones lote por lote, tabulados según el nivel de calidad aceptable (NCA)* [en línea]. 2005. S.l.: INTECO. Disponible en: <https://www.inteco.org/shop/product/inte-iso-2859-1-procedimiento-de-muestreo-para-la-inspeccion-por-atributos-parte-1-planes-de-muestreo-para-las-inspecciones-lote-por-lote-tabulados-segun-el-nivel-de-calidad-aceptable-nca-1070>.
- INTECO, 2014. INTE C99:2014 *Madera aserrada para uso general. Requisitos* [en línea]. 2014. S.l.: INTECO. Disponible en: <https://www.inteco.org/shop/product/inte-c99-madera-aserrada-para-uso-general-requisitos-39>.
- INTECO, 2015. INTE C98:2015. *Norma de terminología de maderas* [en línea]. 2015. S.l.: INTECO. Disponible en: <https://www.inteco.org/shop/product/inte-c98-norma-de-terminologia-de-maderas-2055?variant=87>.
- INTECO, 2018. INTE C333:2018. *Preservación de madera. Terminología* [en línea]. 2018. S.l.: INTECO. Disponible en: <https://www.inteco.org/shop/product/inte-c333-preservacion-de-madera-terminologia-3045>.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1972. NCh 992:1972. *Madera - Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición* [en línea]. 1972. S.l.: International Organization for Standardization. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/364236771/NCh0992-1972>.
- KERN, A.P., VARGAS, L., CIRELLI, S. y MONTELONGO, A., 2018. *Factors influencing temporary wood waste generation in high-rise building construction*. Waste Management, vol. 78, pp. 446-455. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/325989725_Factors_influencing_temporary_wood_waste_generation_in_high-rise_building_construction



- LENOCH, J. y HLAVÁÈKOVÁ, P., 2015. *Socio-economic Characteristics of Dissatisfied Users of Wood-based Houses in the Czech Republic*. *Procedia Economics and Finance*, vol. 34, pp. 58-65. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115016019>
- LIZÁN NARRO, P., 2018. *Construir en Madera* [en línea]. Tesis de Doctorado en Fundamentos de la Arquitectura. España: Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/99535>.
- LOUGHLIN, D. y DODDER, R.S., 2013. *Engineering economic assessment of whole-house residential wood heating in New York*. *Biomass and Bioenergy* [en línea], vol. 60. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259138722_Engineering_economic_assessment_of_whole-house_residential_wood_heating_in_New_York.
- MALESZA, J. y MIEDZIAŁOWSKI, C., 2017. *Current Directions in Development of Modern Wood-framed Houses*. *Procedia Engineering*, vol. 172, pp. 701-705. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817305908>
- MORA VICARIOLI, L., 2016. *Diseño de una herramienta digital para la inspección y mantenimiento de casas con madera* [en línea]. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Costa Rica: Escuela de Ingeniería en Construcción. Disponible en: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6549>.
- MOYA ROQUE, R., MUÑOZ ACOSTA, F., SALAS GARITA, C., BERROCAL JIMÉNEZ, A., LEANDRO ZÚÑIGA, L. y ESQUIVEL SEGURA, E., 2010. *Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas*. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 7, no. 18-19, pp. 207. Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/Tecnolog%C3%ADa-de-madera-de-plantaciones-forestales%3A-Moya-Roque-Mu%C3%B1oz-Acosta/be40ab92ae8e8ed9277fd731314b031ea1404ce6>
- QU, M., PELKONEN, P., TAHVANAINEN, L., AREVALO, J. y GRITTEND, D., 2012. *Experts' assessment of the development of wood framed houses in China*. *Journal of Cleaner Production*, vol. 31, pp. 100-105. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612001357>
- RISSE, M., WEBER BLASCHKE, G. y RICHTER, K., 2019. *Eco-efficiency analysis of recycling recovered solid wood from construction into laminated timber products*. *Science of The Total Environment*, vol. 661, pp. 107-119. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719301342>
- ROBEY, N.M., SOLO GABRIELE, H.M., JONES, A.S., MARINI, J. y TOWNSEND, T.G., 2018. *Metals content of recycled construction and demolition wood before and after implementation of best management practices*. *Environmental Pollution*, vol. 242, pp. 1198-1205. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118315057>
- SALAZAR, M., 2008. *Proyectos que buscan hacer de la vivienda de madera, una vivienda de calidad: Chile apuesta por la construcción en madera*. *Revista de la Construcción*, vol. 7, no. 1, pp. 114-116. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?idp=1&id=127612580012&cid=40061>



TONOOKA, Y., TAKAGUCHI, H., YASUI, K. y MAEDA, T., 2014. *Life Cycle Assessment of a Domestic Natural Materials Wood House*. Energy Procedia, vol. 61, pp. 1634-1637. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214033426>

TRUJILLO, A., VERA, J., LÓPEZ GARCÍA, S.I. y CARRETE, L., 2011. *Servir con calidad en México* [en línea]. México: LID Editorial. ISBN 978-607-7610-32-8. Disponible en: <https://www.oreilly.com/library/view/servir-con-calidad/9786077610328/>.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-
NoComercial 4.0 Internacional.
Copyright (c) 2020 José Luis Figueredo Fernández, Adonis Maikel Ramón Puebla,
Héctor Barrero Medel

