

Propuesta de un **sistema de clasificación visual** de la **madera** por defectos admisibles para tres grados estructurales en Costa Rica

**Proposal of visual structural classification of wood by permissible defects for three structural grades in Costa Rica**

Monzerrath Rivera-Tenorio<sup>1</sup>

Roger Moya-Roque<sup>1</sup>

**Abstract**

The system of visual classification of wood was analyzed by admissible structural defects in Costa Rica. It was proposed to include in the INTECO standard 06-07-03: 2011 of Costa Rica a visual evaluation table of the sawn wood by three structural grades, according to admissible defects. Its applicability in *Cupressus lusitanica* and *Alnus acuminata* sawn wood, is shown and the classification is compared with the real values of lumber modulus of elasticity for the different structural grades 1, 2 and 3. It was found that with the addition of the new parameters in the standard a structural classification is obtained close to the real values of lumber modulus of elasticity.

**Key words:** Construction enginery, structural wood, visual classification, lumber modulus of elasticity, Costa Rica.

1. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica; [r.monse05@gmail.com](mailto:r.monse05@gmail.com); [rmoya@tec.ac.cr](mailto:rmoya@tec.ac.cr)

Recibido: 04/08/2017

Aceptado: 04/12/2017

Publicado: 14/12/2017

## Introducción

La madera como material estructural, es históricamente uno de los materiales de construcción más utilizado (Villar, Crespo, Lorenzana y Guaita, 2015). Aunque en otros países el consumo de la madera en construcción aumenta (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016); en Costa Rica, en el sector su consumo disminuyó luego del año 2009 (ONF, 2015), debido a la crisis financiera internacional (Chaves, 2012).

Ese decrecimiento del uso de la madera en países como Costa Rica, se le atribuye además a una serie de dificultades que van desde el aprovechamiento forestal hasta su uso en construcción (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAE, 2015). Otros factores que explican ese decaimiento del uso de la madera, son la falta de especificaciones técnicas como lo tienen otros materiales de la construcción, como el acero o el concreto (Coto, 2015). Por consecuencia, su uso quedó rezagado a un material de acabado y carpintería (Zhou, Tam y Lau, 2015).

Sin embargo; en los últimos años se manifestó un importante resurgimiento del uso de la madera con funciones estructurales en países como España. Íñiguez (2007) anotó una serie de carencias relacionadas con la dificultad para evaluar las propiedades mecánicas y de resistencia como material estructural. El profesional estructural requiere para sus propuestas de diseño de cálculos estructurales, de información confiable para proyectar las dimensiones de los elementos y los valores de resistencia de las conexiones que componen la estructura de la construcción, tales como vigas, columnas y armaduras (Moya y González 2014, Tuk, 2010).

En Costa Rica recientemente apareció una normativa de clasificación de la madera para el uso estructural (Coto, 2015), que pretende solventar la falta de información de las características estructurales de la madera; conocida como “Madera estructural-clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante evaluación visual” y que pertenece al Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) 06-07-03:2011. A pesar de este primer intento de normalizar el uso de la madera estructural, se han observado algunas debilidades en el momento de clasificar la madera.

Según CEN (2011) en trabajos realizados también en España, existen una gran variedad de normas de clasificación visual que responden a diferentes criterios como: la práctica histórica, especies o grupos de especies, procedencias geográficas, requisitos dimensionales, etc. González (2013), en un estudio realizado en Chile, comparó los estándares de clasificación visual de la Unión Europea, Australia y Estados Unidos. Los estándares de los países europeos

de clasificación visual se limitan a entregar principios básicos que deben ser adoptados por las diferentes normas de clasificación visual de cada país; además, ofrecen una metodología de agrupamiento de la madera de diferentes calidades visuales en un sistema único de clases resistentes. Se hace una adecuada diferenciación entre evaluación visual o mecánica. En Australia, la norma de clasificación visual pasa a un segundo plano y lo que realmente importa, es la demostración de que la madera cumple con los requerimientos de resistencia y rigidez para el grado asignado (CHHWA, 2013). Un caso ideal es el sistema norteamericano, el cual no contempla ensayos mecánicos para la evaluación del método de clasificación visual; ya que este se basa en la estricta aplicación de normas de clasificación que son regularmente actualizadas por agencias redactoras de normas bajo la supervisión del American Lumber Standard Committee (ALSC, 2012).

En Costa Rica, la norma INTECO 06-07-03:2011, presenta una clasificación visual que determina los esfuerzos admisibles mediante pruebas mecánicas. El presente trabajo describe una serie de normas de clasificación visual estructural de la madera aserrada en diferentes países y se hace una comparación con la Norma INTECO 06-07-03:2011, con el objetivo de mejorar la norma actual y proponer los nuevos elementos de clasificación que se deben considerar en la norma de INTECO 06-07-03:2011 para la comercialización de la madera.

## Material y métodos

Se revisaron las normas de clasificación visual estructural de madera aserrada en diferentes países y la norma INTECO 06-07-03:2011, en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicado en Cartago, Costa Rica, en las coordenadas WGS89: 9,8572°N y 83,9123°O, entre los meses de mayo a junio del 2017.

### Revisión de normas de clasificación visual de madera estructural en otros países

Se hizo una revisión bibliográfica de las normas de clasificación visual para los países: Uruguay con la Norma IRAM 9664. “Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad” (Guillaumet, 2012). Chile con la norma NCh 1207. “Pino radiata – Clasificación visual para uso estructural” (González, 2013). España con la norma UNE 56544:2003. “Clasificación Visual de la Madera Aserrada con destino Estructural” (AITIM, 1999). Australia con la norma AS 2082. “Madera latifoliadas. Clasificación visual para usos estructurales” (CHHWA, 2013). El resumen de la información de cada una de estas normas se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resumen de clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural, mediante para Uruguay, Chile, Unión Europea y Australia.

Table 1. Summary of visual classification of sawn timber for structural use, through Uruguay, Chile, European Union and Australia.

Clase Defectos	Uruguay			Clase Defectos	Chile		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3		Grado Selecto (GS) sin borde	Grado N°1 (G1) sin borde	Grado N°2 (G2) ancho ≤ 150 mm
Médula	No se admite	Se admite	Se admite	Razón de Área Nudosa en la Zona de Borde (RANB)	≤ 50%	Sin restricciones	Nudos General
Nudo o Grupo de Nudos	Menor al 40 %	Menor al 60 %	Mayor al 60 %	Razón de Área Nudosa Total (RANT)	≤ 33 %	≤ 50 %	≤ 66 %
Longitud máxima de fisura que no atraviesan la pieza	Solo se admiten en los extremos de la pieza y con longitud menor a la anchura de la misma	Se admite hasta 1 metro o 1/4 de la longitud pieza, lo que resulte menor.	Razón de Área Nudosa Individual (RANI)	--	--	≤ 50 %	Nudos de Canto
Deformación Previa de curvatura longitudinal de cara	10 mm/ 2000 mm	20 mm/ 2000 mm	Razón de Área Nudos de Nudo Alargado (RANNA)	No se acepta	≤ 25 %	≤ 33 %	Nudos de Margen
Deformación Previa de curvatura longitudinal de canto	8 mm/ 2000 mm	12 mm/ 2000 mm	Inclinación de Fibra	01:08	01:06	01:06	Nudos de Arista
Deformación Previa de alabeo	1 mm/ 25 mm de anchura	2 mm/ 25 mm de anchura	Médula	No se acepta	Se acepta sólo en la mitad central del ancho	Se acepta sin restricciones	Desviación de la Fibra
Deformación Previa de curvatura transversal	Sin restricciones	Arista Faltante	El canto muerto no puede ser mayor a un cuarto del ancho y a un cuarto del espesor de la pieza	Bolsa de Resina	352	0	43
Ataque activo de insecto	No se admite	Bolsillos de Resina	Acepta bolsillos de hasta 20 mm de ancho y 200 mm de largo, o superficie equivalente	Gemas	377	10	8
Arista Faltante	No debe reducir la anchura ni el grosor a menos de 2/3 de su dimensión básica	Grietas	Se ignora si su profundidad es menor a 10 mm	Deformaciones	338	52	5

Continúa en la siguiente página.

Unión Europea				Sistema Australiano - Neozelandés				
Clase	ME-1	ME-2	Rechazo	Clase	N°1	N°2	N°3	N°4
Defectos	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Defectos				
27	298	70	Nudos	Que no exceda Ancho/7 en la cara Espesor/7 en el canto	Que no exceda Ancho/4 en la cara Espesor/4 en el canto	Que no exceda Ancho/3 en la cara Espesor/3 en el canto	Que no exceda 3Ancho/8 en la cara 3Espesor/8 en el canto	--
Nudos de Cara	61	281	53	Fibra levantada	Que no exceda 1 en 15	Que no exceda 1 en 10	Que no exceda 1 en 8	Que no exceda 1 en 6
42	331	22	Médula	Que no exceda 1/20 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/9 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/6 del área de la sección transversal	Que no exceda 1/3 del área de la sección transversal	--
88	302	5	Bolsas de Goma	Que no exceda Largo/4	Ilimitado			--
367	24	4	Partiduras en los extremos	Que no exceda 100 mm	Que no exceda 100 mm	Que no exceda 150 mm	Que no exceda 150 mm	--
327	59	9	Grietas	Ancho: que no exceda 3 mm; Largo: que no exceda L/4	Ancho: que no exceda 3 mm; Largo: que no exceda L/3	Ancho: que no exceda 3 mm; Largo: que no exceda L/2	Ancho: que no exceda 3 mm; Largo: que no exceda L/2	--
Canto muerto	Que no exceda 1/10 del área transversal	Que no exceda 1/5 del área transversal	--	--	--	--	--	--
Mal cepillado	Que no exceda los 3 mm	--	--	--	--	--	--	--
Acanaladura	Que no exceda 1 mm por cada 50 mm de Ancho	--	--	--	--	--	--	--

## Propuesta de modificación de la Norma INTECO de Costa Rica

Se partió de las razones de resistencia y conceptos de cada defecto, presentes en los apartados número cinco y seis de la norma INTECO 06-07-03:2011. Además se tomó en consideración, la clasificación visual en grados estructurales de las normas extranjeras. Con lo que se establecieron tres clases resistentes para cada defecto admisible (Cuadro 2).

### Comprobación de la aplicación de nuevos criterios en la norma de clasificación para madera aserrada mediante Evaluación Visual INTECO 06-07-03:2011 para *Cupressus lusitanica* y *Alnus acuminata* de Costa Rica

- Especie de madera, dimensiones y condiciones de la madera.

Se realizó una evaluación visual a 65 piezas de madera con corte tangencial, se seleccionó esta cantidad de piezas, ya que la norma costarricense INTECO 06-07-03:2011 no establece un límite máximo o mínimo de piezas a evaluar. La distribución de piezas fue: 34 piezas de Ciprés (*Cupressus lusitanica*) y 31 piezas de Jaúl (*Alnus acuminata*). Se seleccionaron dichas especies por su rápido crecimiento, de uso común en plantaciones y por su valor comercial. La madera fue obtenida de la producción de dos aserraderos en la provincia de Cartago Costa Rica, donde las piezas de madera en el caso de *A. acuminata* provenían de rodales naturales y el *C. lusitanica* de plantaciones comerciales de dicha provincia. Las dimensiones de las piezas de madera eran de 7,5 cm de ancho, 3,5 de alto o peralte y 231,0 cm de largo. La madera recién aserrada fue secada en un secador de horno NARDI® de 2 m<sup>3</sup> de capacidad de calentamiento eléctrico. Los programas de secado aplicados a las dos especies están especificados en Moya, Ureña, Salas, Muñoz y Espinosa (2013).

- Clasificación Visual por defectos.

Las piezas fueron clasificadas estructuralmente según la nueva propuesta (Cuadro 2) por cantidad y cobertura de nudos, inclinación de grano y curvatura.

Determinación del módulo de elasticidad en flexión: Se realizaron las pruebas del módulo de elasticidad en flexión (MOE), de cada una de las 65 piezas acorde con la norma ASTM D198-15 (ASTM 2015). El MOE se determinó de forma no destructiva, sin quebrar la totalidad de las 65 piezas de madera. Primeramente para conocer la carga de ruptura máxima se seleccionaron tres piezas de madera por cada especie y se llevaron al punto de quiebre. De las tres piezas se seleccionó la pieza con menor resistencia a carga, donde se determinó que la carga máxima para *C. lusitanica* fue de 151 Kg y para *A. acuminata* de 131 Kg. Posteriormente para determinar el

MOE de las restantes 59 piezas, se ensayaron al 70 % de esta carga máxima. Las pruebas se llevaron a cabo en una máquina de prueba marca Tinius Olsen con una capacidad de 60 toneladas (figura 1). En la prueba, se aplicó la carga de manera que el desplazamiento de la articulación siguió el plano de la carga, a una velocidad de 2 mm.min<sup>-1</sup> a dos cargas. El ensayo se realizó en un lapso promedio de 12 min, lo cual es consistente con la norma, que establece que el fallo debe ocurrir entre 5 y 15 min (ASTM 2015).

### Análisis estadístico

En el caso de la clasificación visual, cada pieza se especificó en clases por cada defecto admisible según el cuadro 2. Además, se realizó una distribución de cantidad de piezas por defecto y especie (figura 2).

A cada pieza se le calculó el valor MOE (Ecuación 1) y se clasificó según el valor MOE establecido por Moya y González (2014), que es de 75000 Kg/m<sup>3</sup> para ambas especies. Según el parámetro establecido y los porcentajes que se rigen por la norma INTECO, las piezas en clase 1 fueron las que obtuvieron un MOE



Figura 1. Método de ensayo de resistencia en flexión para propiedades de elementos estructurales.

Figure 1. Method of testing for resistance in flexion for properties of structural elements.

Cuadro 2. Resumen Clasificación para la madera aserrada mediante evaluación visual para Costa Rica.

Table 2. Summary classification for the sawn timber through visual assessment for Costa Rica.

Defectos Admisibles	Clase Resistente		
	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Cantidad de Nudos	Máximo 3 (Distanciados mínimo un metro)	3 a 6 (Distanciados mínimo un metro)	Más de 6 (Distanciados mínimo un metro)
Cobertura de Nudos en el largo de la pieza *	Menor al 40%	Menor al 60%	Mayor al 60%
Nudos Muertos	No se permiten	No se permiten	No se permiten
Inclinación del Grano **	1 en 6	1 en 8	1 en 15
		1 en 10	1 en 16
		1 en 12	1 en 18
		1 en 14	1 en 20
Médula	No se admite	Se admite	Se admite
Grietas y Rajaduras	Se restringen en cada extremo; y se admiten en una distancia igual a tres veces el ancho de la cara ancha.	Se admite hasta 1 metro o 1/4 de la longitud pieza, lo que resulte menor. En los extremos de la pieza se admiten con longitud menor a 2 veces la anchura de la pieza.	--
Curvatura	10 mm/2m largo pieza	20 mm/2 m largo pieza	--
Encorvadura	8 mm/2m largo pieza	12 mm/2 m largo pieza	--
Acanalado	1 mm/25 mm de anchura	1 mm/25 mm de anchura	--
Arista Faltante	No se permite	No debe reducir la anchura ni el grosor a menos de 2/3 de su dimensión básica	--

\* Razones de Resistencia: Cuadros 4, 5 y 6 Norma INTE 06-07-03:2011

\*\* Razón de Resistencia: Cuadro 2 Norma INTE 06-07-03:2011

Nota: Se recomienda para la adecuada aplicación de esta evaluación revisar la Norma de INTE 06-07-01:2011

mayor o igual que el 55 % , en la clase 2 las piezas entre 45 % y 54 % y la clase 3 las piezas con un valor menor o igual que 44 %.

$$MOE = \frac{P_{LP} * L^3}{4 * b * d^3 * Y_{LP}} \quad (1)$$

Donde:

MOE es el módulo de elasticidad (km/m<sup>3</sup>)

L es la distancia entre apoyos o luz (m)

b es el ancho de probeta (m)

d es la altura de probeta (m)

PLP es la carga en el límite de proporcionalidad (kg)

YLP es la deflexión al eje neutro (m)

Con la ayuda del programa Minitab 18; se desarrolló un análisis de estadística descriptiva, con el cálculo de los valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para el valor MOE según clase. Además, para esta clasificación por MOE, se aplicó un análisis de varianza para confirmar la existencia de diferencias significativas entre los promedios de las variables (P <0,05) para cada especie, según la distribución por clases (1, 2 y 3) y finalmente se aplicó la prueba de Tukey para determinar las diferencias estadísticas entre las medias.

Por último, se calculó el porcentaje de piezas por clase según las dos clasificaciones: Visual y MOE por especie.

## Resultados y discusión

### Clasificación Visual por defectos

En la figura 2, se muestra la distribución de clases de resistencia por defectos de las piezas de *C. lusitanica* y *A. acuminata*. Se observó que en las dos especies, la mayor cantidad de las piezas se clasificaron en la calidad 2, cuando se evaluaron los nudos e inclinación de la fibra. Los defectos en curvatura en la mayoría de las piezas fueron catalogadas como calidad 1. En el caso de nudos para *C. lusitanica*, 25 piezas fueron clase 3 y 9 piezas clase 2. En *A. acuminata* se encontraron piezas en todas las clases, con una mayor concentración en la clase 2 con 17 piezas. En la inclinación del grano en ambas especies sólo se encontraron piezas con clases 1 y 2, con una mayor distribución en clase 2 (25 piezas de *C. lusitanica* y 26 piezas de *A. acuminata*), lo que concuerda con lo que encontraron Moya y González (2014), donde *C. lusitanica* y *A. acuminata* están en los valores intermedios (Clase 2) de especificaciones admisibles de diseño por grado estructural.

Finalmente, en la clasificación por curvaturas se encontraron en *A. acuminata* un total de 18 piezas que presentaron curvas con menos de 10 mm en una pieza de 2,54 m de largo, al igual que para 7 piezas en el caso de *C. lusitanica*, por lo que se al ser curvaturas menores de 10 mm, se clasificaron las piezas como clase 1.

### Clasificación mediante Módulo de elasticidad en flexión

En el cuadro 4, se presenta el MOE promedio por cada clase y especie. El MOE promedio para las clases 1 y 3 es más alto para *A. acuminata* y en la clase 2 el MOE promedio es más alto para *C. lusitanica*. Sin embargo, se encontró que en la clasificación para *C. lusitanica* entre las tres clases no hay diferencias significativas. En la

clasificación de *A. acuminata* se encontraron diferencias significativas entre las clases 1 y 3. Entre las clases 1 y 2 y 2 y 3 no hubo diferencias significativas.

Para ambas especies, el parámetro de MOE menor, es decir, en el grado estructural 3, según porcentaje menor o igual que 44 %, establecido por la norma INTECO, fue de 60000 Kg/m<sup>3</sup> (Moya y González, 2014); y como se observa el MOE promedio en ambas especies para la presente clasificación, en la clase 3 está por debajo del mínimo de resistencia. Las razones que puede explicar estos resultados son que la madera aserrada proviene de un tronco sin importar la especie y el tamaño, y es sumamente variable en propiedades, dentro de ellas las mecánicas (Coto, 2015). Como lo menciona Gálvez (2011) en su trabajo en madera estructural en España, las piezas de madera aserrada suelen diferir en resistencia hasta 10 veces dentro de la madera de un mismo árbol.

### Clasificación: Visual y MOE por especie

En el caso de *C. lusitanica* la evaluación visual, se dividió sólo en dos clases, donde se obtuvo una distribución de las piezas de un 32 % en la clase 2 y en la clase 3 un 68 %. En la evaluación MOE si se encontró una distribución en 3 clases, con 94 % en la clase 3 y un 3 % para las clases 1 y 2. En el caso de la madera de *A. acuminata*, la evaluación visual presentó una distribución sólo en las clases 2 y 3 con un 87 % y 13 % respectivamente. La evaluación MOE tuvo una distribución en las tres clases, las clases 1 y 2 con 10 % cada una y en la clase 3 un 80 % (figura 3).

Según el trabajo comparativo de normas internacionales de González (2013), la relación de la clasificación visual con los valores mecánicos, tiende a subestimar la capacidad de la madera estructural, porque la

Cuadro 4. Clasificación módulo de elasticidad (MOE) para madera aserrada de *C. lusitanica* y *A. acuminata*.

Table 4. Classification modulus of elasticity (MOE) for sawn timber of *C. lusitanica* and *A. acuminata*.

Especie	Clasificación	MOE (Kg/m <sup>3</sup> )
<i>C. lusitanica</i>	1	65550,97A (0,00)*
	2	64520,06A (0,00)*
	3	41144,37A (25,45)
<i>A. acuminata</i>	1	76096,83A (23,35)
	2	61402,56AB (25,75)
	3	43655,17B (35,03)

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden al coeficiente de variación de cada dato. Las letras unidas a los promedios indican diferencias estadísticamente significativas entre las especies al 95 %.

\*El coeficiente de variación para los datos es cero, porque sólo muestra un dato para esa clasificación.

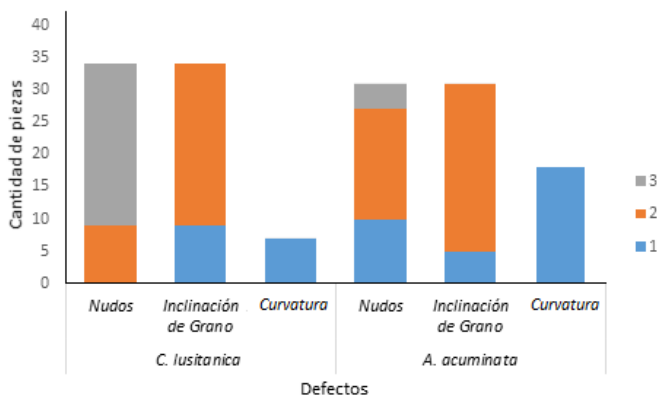


Figura 2. Distribución de defectos admisibles en clasificación visual para madera aserrada de *C. lusitanica* y *A. acuminata*.

Figure 2. Distribution of defects admissible in visual classification for sawn wood of *C. lusitanica* and *A. acuminata*.

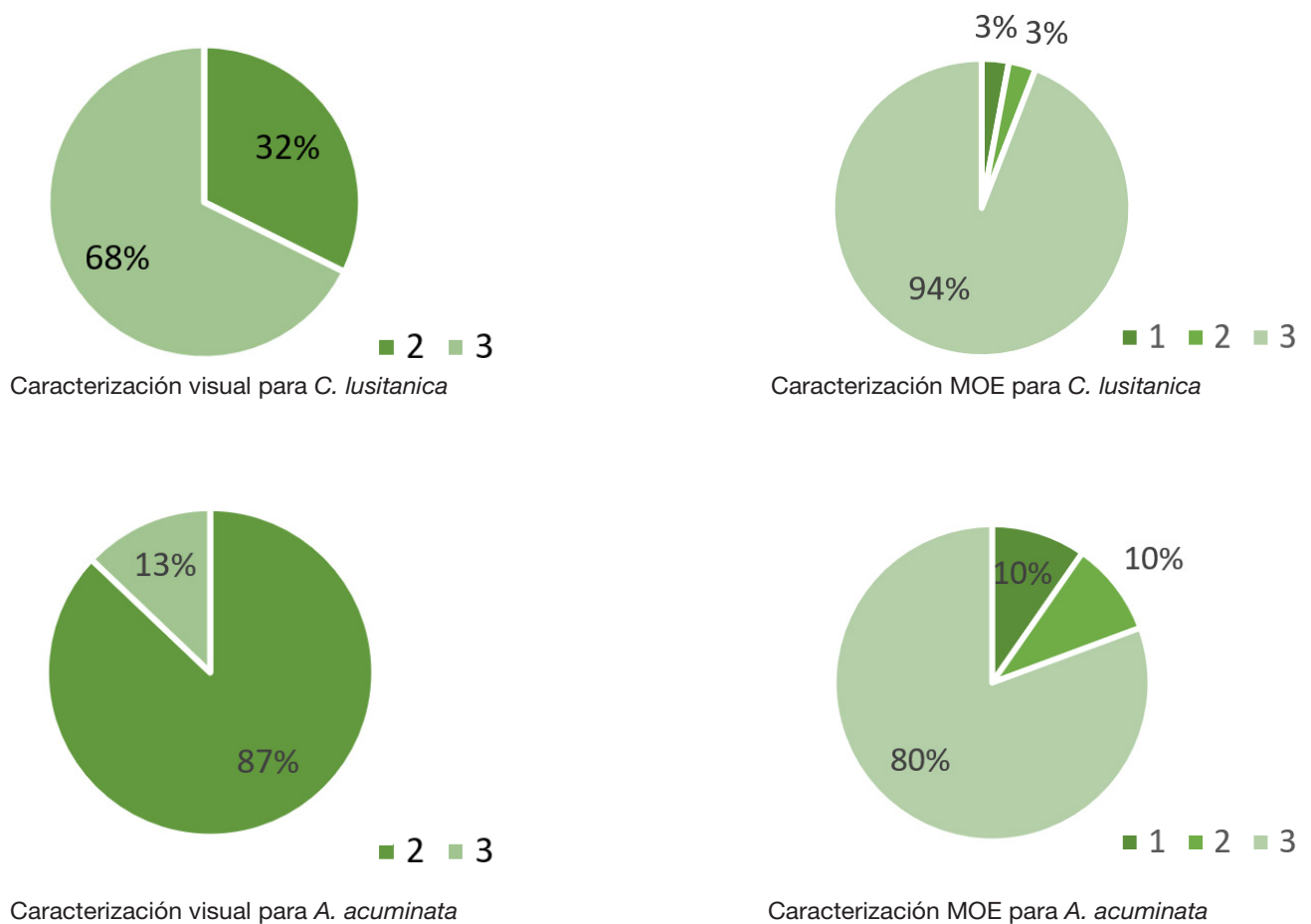


Figura 3. Distribución en clasificación visual y MOE, para madera aserrada de *C. lusitanica* y *A. acuminata*.

Figure 3. Distribution in visual and MOE classification, for sawn timber of *C. lusitanica* and *A. acuminata*.

cuantificación visual de los parámetros conlleva cierta complejidad de interpretación que en muchos casos, queda en la subjetividad del clasificador (Íñiguez, 2007). En nuestro trabajo, al comparar la distribución visual y mecánica, se obtuvo que para *C. lusitanica* 21 de las piezas coincidieron para la clase 3. En 11 piezas la evaluación visual subestimó la clase de resistencia en comparación a la evaluación MOE y para las 2 piezas restantes se sobrestimó la resistencia visual.

Para *A. acuminata* la comparación visual y mecánica, para la clase 2 en ambas evaluaciones coincidieron en 3 piezas; para la clase 3 coincidieron 4 piezas. En 21 piezas la clase resistente visual subestimó al valor MOE y 3 piezas se sobrestimaron. En resumen, la evaluación visual llevada a cabo a partir del Cuadro 2, subestimó la capacidad de la madera estructural en un 49,23 % de las piezas evaluadas al compararse con la clasificación MOE.

Se corroboró que la propuesta de evaluación visual por defectos admisibles en la que se basa la norma

INTECO 06-07-03:2011, presenta un 43,08 % de piezas clasificadas igual a la clasificación MOE que se determinó por ensayo en flexión (Paniagua, 2010). Esta coincidencia viene a ser el primer paso para definir la clasificación de cada pieza de madera en grados estructurales, considerando los principales defectos de una pieza de madera y como lo menciona Coto (2015) sin la necesidad de recurrir a métodos mecánicos y/o destructivos.

## Conclusiones

Las normativas internacionales de madera estructural por clasificación visual muestran que primero se realiza con una clasificación por defectos presentes en cada pieza y estos se agrupan en grados estructurales.

Los defectos admisibles o presentes en cada pieza tales como presencia y cobertura de nudos, inclinación de grano, presencia de médula y torceduras, se evalúan de manera subjetiva en los aserraderos, depósitos y ventas



de madera, de modo que no son confiables para el uso estructural de la madera en la construcción.

Al comparar las normas internacionales con la norma nacional INTECO 06-07-03:2011, fue evidente que la agrupación por defectos visuales para Costa Rica no existe. Esta norma sólo presenta una clasificación por clase, que sólo considera el MOE.

La clasificación visual para uso estructural de la madera de *C. lusitanica* y *A. acuminata*, fue semejante y se colocó en la calidad 2.

Cuando se comparan las clasificaciones visual y mecánica, la resistencia en la evaluación visual, subestimó en un 49,23 %, sobrestimó en un 7,69 % y coincidió en un 43,08 %.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y al Aserradero La Lima que brindaron materiales para la fabricación de los ensayos.

## Resumen

Se analizó el sistema de clasificación visual de la madera por defectos admisibles estructurales en Costa Rica. Se propuso incluir en la norma INTECO 06-07-03:2011 de Costa Rica un cuadro de evaluación visual de la madera aserrada por tres grados estructurales, según defectos admisibles. Se muestra su aplicabilidad en madera aserrada de *Cupressus lusitanica* y *Alnus acuminata* y se compara la clasificación con los valores reales de módulo de elasticidad en flexión para los diferentes grados estructurales 1, 2 y 3. Se encontró que con la adición de los nuevos parámetros en la norma se puede tener una clasificación estructural próxima a los valores reales de módulo de elasticidad de la pieza de madera.

**Palabras clave:** Ingeniería en construcción, madera estructural, clasificación visual, módulo de elasticidad, Costa Rica.

## Referencias

- AITIM (1999) Asociación de investigación de las industrias de la madera. Madera estructural clasificación. Boletín de Información Técnica. Recuperado de: <http://infomadera.net/modulos/revista.php?anyo=1999>
- ALSC (2012). American Lumber Standard Committee. Lumber of Review Regulations. 17p.
- ASTM D198-15. (2015). Standard test methods of static tests of

lumber in structural sizes.

- CEN. (2011). Comité Europeo de Normalización. EN 14081-1: Estructuras de madera – Madera estructural clasificada por su resistencia con sección transversal rectangular. Parte 1: Requerimientos generales. 32p.
- Chaves, E. (2012). Competitividad de los productos de madera en el mercado de la construcción en el gran área metropolitana de Costa Rica. Trabajo de Tesis. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 100p.
- CHHWA (2013) Carter Holt Harvey Woodproducts Australia. Structural building. LaserFrame Products. Recuperado de: [http://www.chhwoodproducts.com.au/userfiles/5/File/Laserframe\\_PDF.pdf](http://www.chhwoodproducts.com.au/userfiles/5/File/Laserframe_PDF.pdf)
- Coto, A. (2015). Manual de uso de la madera para la construcción. ONF/FONAFIFO. Grupo Nación. San José, Costa Rica. 155p.
- FAO (2016) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La producción mundial de madera crece impulsada por la construcción y las energías verdes. Recuperado de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/459939/icode/>
- Gálvez, B. (2011). Madera Estructural: tipología y cálculo de uniones (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Valencia, España.
- González, M. (2013). Bases de un sistema de certificación de madera para uso estructural en Chile (tesis de Maestría). Universidad del Bío-Bío. Concepción, Chile. 244p.
- Guillaumet, A. (2012). La madera como material estructural para la construcción. Facultad de Arquitectura. Universidad ORT Uruguay. Montevideo, Uruguay. 73p.
- INTECO (2011) Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. Madera Estructural. Clasificación en grados estructurales para la madera aserrada mediante una evaluación visual. INTE 06-07-03:2011. San José, Costa Rica. 40p.
- Íñiguez, G. (2007). Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 236p.
- MINAE (2015) Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. Estrategia nacional redd+ Costa Rica. Una iniciativa del programa de bosques y desarrollo rural. Borrador para consulta. San José, Costa Rica. 62 p.
- Moya, R., Ureña, E., Salas, C., Muñoz, F., Espinosa, O., (2013). Kiln drying behavior of lumber from ten fast-growth plantation species in Costa Rica. Wood Material Science and Engineering 8(1): 37-45.
- Moya, R., González, G. (2014). Esfuerzos admisibles de diseño por grado estructural para nueve maderas de plantación de Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana, 11(26): 1-12 p.
- ONF (2015) Oficina Nacional Forestal. El cultivo de la madera. Construya con madera. Grupo Nación. San José, Costa Rica. 31p.
- Paniagua, V. (2010). Guía de uso y aplicaciones de la madera en la arquitectura en Costa Rica. N°330-A8-158. Unidad de

Investigación de la Escuela de Arquitectura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 99p.

Tuk, J. 2010. Madera, diseño y construcción. 2a ed. San José, CR, Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica. p. 87-100.

Villar, J.R., Crespo, J., Lorenzana, J. A., Guaita, M. (2015). Análisis experimental y por elementos finitos del estado tensional de uniones tradicionales por embarbillado simple y doble en madera estructural. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería. Retos de la Nueva Agricultura Mediterránea. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España. 10p.

Zhou, A. Tam, L. Yu, Z. Lau, D. (2015). Effect of moisture on the mechanical properties of CFRP-wood composite: an experimental and atomistic investigation. Composites Part B: Engineering. 71: 63-73.