

## Propiedades físico-mecánicas de las maderas de *Simarouba amara* (Aubl.) y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) de plantaciones de diferentes edades, San Juan Bautista, Loreto, Perú

### Physical and mechanical wood properties of *Simarouba amara* (Aubl.) and *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) in plantation of different ages, San Juan Bautista, Loreto, Peru

Saron Quintana V.<sup>1</sup>, Abrahan Cabudivo M.<sup>2</sup>, Jorge M. Espíritu P.<sup>2</sup> y Jhonny M. Cabudivo E.<sup>3</sup>

Recibido: mayo 2011

Aceptado: junio 2011

#### RESUMEN

Con la finalidad de determinar la edad óptima de aprovechamiento de *Simarouba amara* (Aubl.), marupa, y *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), tornillo, se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera proveniente de plantaciones de 15 a 20 años, de 20 a 25 años, de 25 a 30 años y de 30 a 40 años establecidas en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (Ciefor) de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Puerto Almendra, San Juan Bautista, Loreto, Perú. Los ensayos físicos y mecánicos se realizaron de acuerdo a las especificaciones de las normas técnicas peruanas (NTP): NTP 251.010, NTP 251.011, NTP 251.012, NTP 251.014, NTP 251.016 y NTP 251.017. Los resultados muestran que la madera de ambas especies y en todas las edades, presentan contracción muy baja, muy buen comportamiento al secado y tienen dimensiones muy estables. *S. amara* de 20 a 25 años tiene una densidad básica de 361 kg/m<sup>3</sup>; en flexión estática el esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP) es 333 kg/cm<sup>2</sup>, el módulo de elasticidad (MOE) de 78 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo de ruptura (MOR) de 593 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que *C. cateniformis* del mismo rango de edad tiene una densidad básica de 473 kg/m<sup>3</sup>; en flexión estática el ELP es 388 kg/cm<sup>2</sup>, MOE de 86 kg/cm<sup>2</sup> y MOR de 744 kg/cm<sup>2</sup>, valores que son similares a los de la madera de estas especies proveniente del bosque natural en edad de aprovechamiento, concluyendo que el periodo óptimo de utilización de los árboles de ambas especies está entre 20 y 25 años de edad.

**Palabras claves:** *Simarouba amara*, *Cedrelinga cateniformis*, propiedades físico-mecánicas, plantaciones, Loreto.

#### ABSTRACT

In order to determine the optimal age of harvesting, physical and mechanical properties of woods of *Simarouba amara* (Aubl.) marupa, and *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), were evaluated coming from plantations of 15 to 20 years, 20 to 25 years and from 30 to 40 years established in the Education and Research Forestry Center (CIEFOR) of the Faculty of Forestry Sciences (FSC) of the Peruvian Amazon National University (UNAP) in Puerto Almendra, District of San Juan Bautista, Loreto in Peru. Physical and mechanical tests were carried out according to the standards NTP 251.009, NTP 251.010, NTP 251.011, NTP 251.012, NTP 251.013, NTP 251.014 and NTP 251.017. Results show that both *S. amara* and *C. cateniformis* of all ages have very low shrinkage, very good drying behavior and dimensionally behave very stable. Wood from the 20-to-25-year plantation presents the best properties, where *S. amara* basic density is 361 kg/m<sup>3</sup>, in static bending ELP is 333 kg/cm<sup>2</sup>, MOE is 86 kg/cm<sup>2</sup> and MOR is 593 kg/cm<sup>2</sup>, while *C. cateniformis* basic density is 473 kg/m<sup>3</sup>, in static bending, ELP is 388 kg/cm<sup>2</sup>, MOE is 86

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP). Calvo de Araujo 2039, Iquitos, Perú. Correo electrónico: saronquintana@yahoo.com

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Forestales. UNAP. Iquitos, Perú.

<sup>3</sup> Conservera Amazónica. Iquitos, Perú.

kg/cm<sup>2</sup> and MOR is 744 kg/cm<sup>2</sup>, similar to those in natural plantations at harvesting age, hence logging at 20 to 25 years old years is recommended in both species.

**Key words:** *Simarouba amara*, *Cedrelinga cateniformis*, physical and mechanical properties, plantations, Loreto.

## INTRODUCCIÓN

El Gobierno peruano a partir del año 2002 ha dado en concesión más de siete millones de hectáreas de bosques a pequeños y medianos productores forestales que se comprometieron formalmente a implementar planes de manejo sostenible. Asimismo, más de ocho millones de hectáreas de bosques en las comunidades nativas, podrían ser utilizadas bajo el sistema de aprovechamiento forestal sostenible (Sibille, 2006). En la selva baja, además de los bosques naturales, existen algunas plantaciones de *S. amara* y *C. cateniformis* que se han adaptado bien a los suelos ácidos de la selva baja. Estas plantaciones están ubicadas en Jenaro Herrera, en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) carretera Iquitos-Nauta km 2,5, Ciefor-Puerto Almendra e inclusive en el Bosque Nacional Alexander von Humboldt en Pucallpa. Estos cultivos carecen de estudios básicos referentes a sus propiedades físicas y mecánicas en diferentes edades de su desarrollo para promover su aprovechamiento y manejo oportuno para su transformación (Cabudivo et al., 2011).

La madera almacena agua en sus paredes celulares, en el interior de sus cavidades celulares y en su constitución propia (Junac, 1984; Junac, 1976; Geocities, 2009). Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre la masa de agua contenida en una pieza y la masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se lo conoce como contenido de humedad (CH). Se ha comprobado que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas (Kollmann, 1959), esto es, cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad

relativa del aire) la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, alcanzando un valor máximo de 30%. Dicha condición se produce en casi todas las especies cuando el agua libre ha sido liberada al ambiente y solamente permanece agua en las paredes celulares, a este punto de humedad se le denomina punto de saturación de la fibra (PSF). Por encima de este punto la madera tiene la condición de madera verde (es decir, húmeda). Cuando la madera tiene un contenido de humedad por debajo del PSF se habla de madera seca. Sin embargo, para ser utilizada como material de construcción, y específicamente con fines estructurales, el contenido de humedad debe ser inferior a 15%.

Por efectos de la humedad, la madera experimenta variaciones en su volumen, es decir, se contrae cuando pierde humedad o se hincha cuando gana humedad. Al punto al cual las fibras de la madera están saturadas en humedad y ya no absorben más agua se le denomina **punto de intersección** e indica el contenido de humedad a partir del cual la madera empieza a sufrir contracciones e hinchamientos. Como consecuencia de la anisotropía que muestra la madera, estas contracciones e hinchamientos son diferentes en las tres direcciones principales. Así, las variaciones axiales son muy pequeñas (< 1%), en la dirección radial pueden llegar a 6% y en la dirección tangencial pueden alcanzar 18%. (Junac, 1984; Junac, 1976).

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad ya sea

anhidra o saturada. La densidad es un parámetro importante en el cálculo de la resistencia mecánica de la madera, ya que depende de varios factores como la composición de la pared celular, grosor de la pared celular, tamaño de los poros y composición de la celulosa (Valderrama, 1992). La cantidad relativa de sustancia de la pared celular determina su peso específico (Arroyo, 1983) y es el mejor indicador para predecir la resistencia mecánica de la madera. Sin embargo, la efectividad de una madera para resistir cualquier fuerza es función no solo de la cantidad de sustancia de la pared celular sino de las proporciones en que se encuentran los componentes de esa pared celular en una pieza dada y también de la cantidad de extractivos depositados en los lúmenes de las células.

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas (Valderrama, 2005), entendiéndose por fuerza externa cualquier aplicación de carga que actuando exteriormente altera su tamaño, su dimensión o la deforme. El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene sometiendo al material a diversos ensayos que determinan los valores de diversos esfuerzos mecánicos. Para determinar la flexión estática se utiliza la relación carga-deflexión de una viga que soporta diferentes patrones de pesos (Ross y Pellerin, 1994); el módulo de elasticidad puede ser obtenido usando ecuaciones derivadas de mecánica fundamental de materiales, utilizadas para inferir resistencia. Este método es el más comúnmente usado para la clasificación estructural de la madera. La tensión unitaria es el esfuerzo que soporta un cuerpo por unidad de superficie (Geocities, 2009). Al aplicar una carga a un cuerpo se produce una deformación que se incrementa en forma directamente proporcional a la carga. Esta relación entre la carga aplicada y la deformación que sufre un cuerpo es representada gráficamente por una recta que se detiene en el punto llamado

límite elástico. Si se sigue aumentando la carga, la deformación se desacelera hasta lograr la rotura del material. El esfuerzo necesario para llevar un material hasta el límite elástico determina la tensión en el límite de proporcionalidad que es la carga máxima a que se puede someter sin que se produzcan deformaciones permanentes (Parker, 1987).

La rigidez de un cuerpo se define como la propiedad que tiene para resistir la deformación al aplicársele fuerzas externas. La medida de rigidez de la madera se conoce como módulo de elasticidad (MOE) o coeficiente de elasticidad, calculado por la razón entre esfuerzo por unidad de superficie y deformación por unidad de longitud. Cuando la carga resulta mayor a la del límite elástico, la pieza continúa deformándose hasta llegar a colapsar, obteniendo la tensión de rotura de la pieza de madera (Nolasco, 2009). La flexión estática es la resistencia de la viga a una carga puntual aplicada en el centro de la luz (Pereyra *et al.*, 2006); en ella se determinan la tensión en el límite de proporcionalidad, la tensión de rotura y el MOE. La tracción paralela a las fibras es la resistencia del material a la acción de una carga en el sentido axial de la pieza, la tracción perpendicular a las fibras es la resistencia que opone la madera a una carga de tracción en la dirección perpendicular a las fibras. Según la posición del plano de falla con respecto a los anillos de crecimiento, se pueden distinguir la tracción normal tangencial y la tracción normal radial (Arroyo, 1983). Algunos de los factores que afectan las propiedades mecánicas de la madera son la densidad y el contenido de humedad (Valenzuela *et al.*, 1991), existiendo una relación directa entre la densidad y la resistencia, a mayor densidad mayor resistencia.

## MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se ejecutó en el año 2011, con la madera proveniente de plantaciones de 15 a

20 años, de 20 a 25 años, de 25 a 30 años y de 30 a 40 años, establecidas en el Centro de Investigación y Enseñanza Forestal (Ciefor) de la FCF de la UNAP, Puerto Almendra, margen derecha del río Nanay a 22 km en dirección suroeste de la ciudad de Iquitos (3° 49' 40" LS y 73° 22' 30" LO), 122 msnm, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto (Onern, 1982). Los ensayos físicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la FCF de la UNAP, y los ensayos mecánicos en el Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

## Método

El diseño de la investigación para evaluar las propiedades físico-mecánicas de la madera de *S. amara* y *C. cateniformis* fue de efecto simultáneo de dos factores (especies versus edad de la plantación). El factor A tuvo dos niveles:  $a_0$ : *S. amara* y  $a_1$ : *C. cateniformis*; el factor B tuvo cuatro niveles:  $b_0$ : >15 a 20 años,  $b_1$ : >20 a 25 años,  $b_2$ : >25 a 30 años y  $b_3$ : >30 a 40 años. La población estuvo conformada por todos los árboles de *S. amara* y *C. cateniformis* en las plantaciones de diferentes edades en estudio (Cabudivo, 2005). La muestra representativa fue de dos árboles por plantación, establecida según el proyecto "Turno tecnológico de aprovechamiento de la madera de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades en Puerto Almendra, San Juan Bautista, Loreto, Perú" (Cabudivo et al., 2011).

Entre las propiedades físicas se determinó el contenido de humedad (CH), de acuerdo a las especificaciones de la NTP 251.010 (Indecopi, 2005) y se calculó mediante la fórmula  $CH = [(P_i - P_{sh}) / P_{sh}] * 100$ ; donde: CH = contenido de humedad en porcentaje,  $P_i$  = peso inicial de la probeta en gramos,  $P_{sh}$  = peso seco al horno de la probeta en gramos. También se determinó la densidad básica

(Db), de acuerdo al procedimiento especificado en la NTP 251.011 (Indecopi, 2005), con la fórmula  $Db = P_{sm} / V_{hm}$ ; donde: Db = densidad básica en  $kg/m^3$ ,  $P_{sm}$  = peso seco de la muestra en kg y  $V_{hm}$  = volumen húmedo de la muestra en  $m^3$ . Asimismo, se determinó la contracción volumétrica según la NTP 251.012 (Indecopi, 2005), mediante diferencia volumétrica entre la probeta saturada y la probeta seca al horno, que se calculó según la fórmula  $CVt = [(V_s - V_o) / V_s] * 100$ ; donde: CVt = contracción volumétrica total en %;  $V_s$  = volumen saturado en  $m^3$  y  $V_o$  = volumen seco al horno en  $m^3$ ; la contracción tangencial es  $CT (\%) = [(T_s - T_o) / T_s] * 100$  y contracción radial CR (%) =  $[(R_s - R_o) / R_s] * 100$ ; donde:  $T_s$  = dimensión tangencial saturada,  $T_o$  = dimensión tangencial seca al horno,  $R_s$  = dimensión radial saturada,  $R_o$  = dimensión radial seca al horno.

Las propiedades mecánicas se evaluaron siguiendo las especificaciones de la NTP 251.017 (Indecopi, 2005), donde: esfuerzo de las fibras al límite proporcional (EFLP) =  $3P_1L / 2ae^2$ ; módulo de ruptura (MOR) =  $3PL / 2ae^2$  y módulo de elasticidad (MOE) =  $P_1L^3 / 4ae^3Y$ , carga al límite proporcional de las fibras en kg ( $P_1$ ); carga total en kg (P), longitud de la probeta = 41 cm (L); ancho de la probeta = 2,5 cm (a); espesor de la probeta = 2,5 cm (e) y deformación al límite proporcional de las fibras (Y).

La comprensión paralela al grano se evaluó según la NTP 251.014 (Indecopi, 2005), donde: esfuerzo de las fibras al límite proporcional (ELP) =  $P' / A$ ; módulo de ruptura (MOR) =  $P / A$ ; carga al límite proporcional de las fibras en kg ( $P'$ ), carga máxima soportada por la probeta en kg (P), superficie de la sección transversal de la probeta (A). La comprensión perpendicular al grano se evaluó según la NTP 251.016 (Indecopi, 2005), donde: el esfuerzo de las fibras en el límite proporcional (EL) =  $P' / A$ ; carga al límite proporcional en kg ( $P'$ ) y superficie

comprimida por la pieza metálica sobre la probeta (A). La resistencia de la madera a la tracción perpendicular al grano se evaluó sobre la base de la norma COPANT 743-1975, donde: el esfuerzo unitario a la tracción perpendicular al grano (ET) = P/A; carga máxima en kg (P), área de la sección mínima en cm<sup>2</sup> (A).

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la madera de ambas especies se reportan en la tabla 1. La densidad básica y la contracción volumétrica para *S. amara* de todas las edades es baja (II) de 327 kg/m<sup>3</sup> a 370 kg/m<sup>3</sup> y para *C. cateniformis* es media (III) de 423 kg/m<sup>3</sup> a 473 kg/m<sup>3</sup>; la anisotropía es muy estable para ambas especies. En lo que respecta al MOE en flexión estática la madera de *S. amara* es muy flexible (I) para todas las edades de la plantación de 73 kg/cm<sup>2</sup> a 81 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para *C. cateniformis* es

flexible (I) 86 kg/cm<sup>2</sup> para madera proveniente de plantaciones de 20 a 25 años, flexible (II) 112 kg/cm<sup>2</sup> y 111 kg/cm<sup>2</sup> para madera de 15 a 20 años y de 25 a 30 años respectivamente, y poco rígida (III) 128 kg/cm<sup>2</sup> para madera de 30 a 40 años.

En la compresión paralela el ELP es de calidad muy baja (I) para ambas especies y para todas las edades de la plantación y el MOR está en los rangos de muy bajo (I) 225 kg/cm<sup>2</sup>, bajo (II) 226 kg/cm<sup>2</sup> y mediano (III) 251 kg/cm<sup>2</sup> y 259 kg/cm<sup>2</sup> para *S. amara* de 30 a 40 años, 20 a 25 años, 15 a 20 años y 25 a 30 años, respectivamente y mediano (III) 254 kg/cm<sup>2</sup> a 333 kg/cm<sup>2</sup> para *C. cateniformis* de todas las edades. En la compresión perpendicular el ELP es de calidad baja (II) de 25 kg/cm<sup>2</sup> a 28 kg/cm<sup>2</sup> para *S. amara* en todas las edades y baja (II) a mediano (III) para *C. cateniformis*. Asimismo, en la tracción perpendicular el esfuerzo de tracción en la sección tangencial (ET Tg) es bajo para ambas especies y diferentes edades.

**Tabla 1.** Propiedades físico-mecánicas de la madera de *S. amara* y *C. cateniformis* de diferentes edades.

Propiedades	Ensayos	Unidades	Plantación							
			<i>S. amara</i>				<i>C. cateniformis</i>			
			>15 - 20	>20-25	>25-30	>30-40	>15-20	>20-25	>25-30	>30-40
<b>Físicas</b>										
Contenido de humedad (CH)	Verde	(%)	140,80	115,63	130,20	111,13	45,10	39,93	42,67	36,80
Contenido de humedad (CH)	Seco/aire	(%)	15,36	15,38	15,35	15,49	15,38	15,38	14,86	14,10
Densidad básica		(kg/m <sup>3</sup> )	II - 327	II - 361	II - 369	II - 370	III - 423	III - 473	III - 470	III - 470
Anisotropía (T/R)		(%)	I - 1,25	I - 1,32	I - 1,21	I - 1,26	I - 1,41	I - 1,29	I - 1,36	I - 1,33
Contracción volumétrica		(%)	II - 9,07	II - 8,87	II - 7,93	II - 8,00	III - 11,47	III - 11,17	III - 11,30	III - 10,90
<b>Mecánicas</b>										
Flexión estática	ELP	(kg/cm <sup>2</sup> )	I - 317	I - 333	I - 306	I - 255	I - 362	I - 388	I - 314	II - 542
	MOE	(kg/cm <sup>2</sup> )	I - 79	I - 78	I - 81	I - 73	II - 112	I - 86	II - 111	III - 128
	MOR	(kg/cm <sup>2</sup> )	III - 547	III - 593	III - 537	II - 559	III - 758	III - 744	IV - 843	V - 918
Compresión paralela	ELP	(kg/cm <sup>2</sup> )	I - 118	I - 97	I - 136	I - 109	I - 97	I - 100	I - 79	I - 145
	MOR	(kg/cm <sup>2</sup> )	III - 251	II - 226	III - 259	I - 225	III - 269	III - 254	III - 294	III - 333
Compresión perpendicular	ELP	(kg/cm <sup>2</sup> )	II - 25	II - 28	II - 27	II - 25	III - 43	II - 24	II - 33	III - 60
Tracción perpendicular	ET (Tg)	(kg/cm <sup>2</sup> )	II - 24	II - 27	II - 29	II - 24	II - 40	II - 37	II - 37	II - 33
	ET (Rd)	(kg/cm <sup>2</sup> )	28	29	37	27	39	40	39	40

Densidad básica (calidad): II = baja, III = media; anisotropía (calidad): I = muy estable; contracción volumétrica (calidad): II = baja, III = media; flexión estática ELP (calidad): I = baja, II = mediana; flexión estática MOE (calidad): I = muy flexible, II = flexible, III = poco rígida; flexión estática MOR (calidad) II = baja, III = mediana, IV = alta; compresión paralela ELP (calidad): I = muy baja; compresión paralela MOR (calidad): I = muy baja, II = baja, III = media; compresión perpendicular (calidad): II = baja y III = media, tracción perpendicular (calidad): II = baja.

**Fuente:** datos de laboratorio (los autores).

## DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

La madera de *S. amara* de menor edad (>15 a 20 años) presenta el mayor porcentaje de CH en estado verde (141%) porque tiene mayores espacios porosos en su estructura anatómica demostrado por su baja densidad básica ( $327 \text{ kg/m}^3$ ), lo que no ocurre con la madera de la misma especie pero de mayor edad donde el CH en estado verde es menor y la densidad básica tiende a incrementarse hasta alcanzar  $370 \text{ kg/m}^3$ , así como también su densidad en estado anhidro de  $400 \text{ kg/m}^3$  para maderas entre >30 y 40 años; resultados similares tuvieron Rodríguez y Vergara (2008) en *Pinus canariensis*, determinando que los menores valores de densidad obtenidos fueron en maderas de menor edad (46 años). Sibille (2006) y Aróstegui y Sato (1975) mencionan que la densidad básica de la madera de *S. amara* de bosque natural es de  $360 \text{ kg/m}^3$ , similar a lo encontrado en la madera de >20 a 25 años.

En la contracción volumétrica de las maderas de todas las edades existe un rango porcentual entre 7,9% y 9%, encontrándose en el grupo II cuya calidad es baja, es decir, la contracción es muy reducida. Por otro lado, la anisotropía de todas las maderas ensayadas se encuentran en el rango de 1,2% a 1,3%, clasificándose en el grupo I de muy baja contracción, muy bueno en calidad de secado y muy estable dimensionalmente (Aróstegui y Sato, 1970), comparado con las maderas procedentes de bosque natural que tienen un coeficiente de anisotropía de 2,2% (Aróstegui y Sato, 1975).

La madera de *C. cateniformis* de menor edad (>15-20 años) presenta el mayor porcentaje de CH en estado verde (45,1%) porque tiene mayores espacios porosos en su estructura anatómica demostrado por su menor densidad básica ( $423 \text{ kg/m}^3$ ), lo que no

ocurre con las maderas de la misma especie pero de mayor edad, donde el CH en estado verde es menor y la densidad básica tiende a incrementarse hasta alcanzar  $470 \text{ kg/m}^3$  para maderas entre >30 y 40 años; esto lo confirman Rodríguez y Vergara (2008) en *P. canariensis* determinando que los menores valores de densidad obtenidos en este estudio fueron en maderas de menor edad (46 años) con respecto de aquellos informados por Peraza y López (1967) explicados por la mayor edad de los árboles, como también influenciados por las diferencias en las condiciones de sitio. Por su parte, Aróstegui y Sato (1975) mencionan que la densidad básica de *C. cateniformis* de bosque natural llega a  $440 \text{ kg/m}^3$ , clasificándose como mediana y de contracción estable con un coeficiente de anisotropía de 1,65%, parecidos a lo encontrado en la madera proveniente de plantaciones de >20 a 25 años con una densidad media de  $361 \text{ kg/m}^3$  y con un coeficiente de anisotropía de 1,32%, esto es, contracción estable. De estos resultados se puede concluir que las maderas a partir de >20-25 años tienen condiciones similares a los de bosque natural en cuanto se refiere a las propiedades físicas.

### Propiedades mecánicas

En las maderas de plantaciones de *S. amara* con contenido de humedad al 15,4%, el mayor ELP en flexión estática es  $333 \text{ kg/cm}^2$  en la madera >20-25 años y el menor en plantaciones de >30-40 años de  $255 \text{ kg/cm}^2$ ; estos valores son mayores a los encontrados por Aróstegui y Sato (1975) en maderas de la misma especie pero de bosque natural que llegan a  $253,5 \text{ kg/cm}^2$  ensayados con maderas con contenido de humedad al 143%, clasificando con calidad muy baja grado II (Sibille, 2006). Con respecto al MOR en flexión estática se ha determinado la mayor carga a la rotura que soporta la madera de *S. amara*, es en la plantación de >20 a 25 años con  $593 \text{ kg/cm}^2$ , clasificando como de

mediano grado III, siendo mayor en todas las maderas de las diferentes edades con respecto a las maderas procedentes de bosques naturales ( $506,8 \text{ kg/cm}^2$ ) (Aróstegui y Sato, 1975) y  $427 \text{ kg/cm}^2$  (Sibille, 2006). El MOE en flexión estática se encuentra dentro del rango de las maderas de bosque natural en ambas especies (Sibille, 2006). En la compresión paralela y perpendicular, los valores de ELP, MOR y MOE fueron similares a los de la madera de bosque natural, clasificados como muy bajo, bajo y mediano; el esfuerzo al límite proporcional (ELP) es de calidad baja (II) para *S. amara* en todas las edades y baja (II) a mediana (III) para *C. cateniformis* (Sibille, 2006); los valores de tracción perpendicular a las fibras también son similares a los del bosque natural en la madera de 20 años en adelante, clasificándose como de calidad baja (II), como indica Sibille (2006).

Con respecto a las propiedades mecánicas de la madera de plantaciones de *C. cateniformis* con 14% a 15% de CH, el mayor ELP en flexión estática es  $541,98 \text{ kg/cm}^2$  en la madera de >30-40 años, seguido de la plantación de >20-25 años con  $388,43 \text{ kg/cm}^2$ ; estos valores son mayores si los comparamos con los encontrados por Aróstegui y Sato (1975) en maderas de la misma especie pero de bosque natural que llegan a  $362,8 \text{ kg/cm}^2$  ensayados con maderas con contenido de humedad al 14,5% clasificando como de calidad muy bajo (I) (Sibille, 2006). El mayor valor de MOR en flexión estática corresponde a la madera de *C. cateniformis* de >30 a 40 años de edad con  $918 \text{ kg/cm}^2$ , seguido de la madera de >25 a 30 años con  $842,53 \text{ kg/cm}^2$ , clasificando como de calidad alta (IV), siendo mayor en todas las maderas de las diferentes edades con respecto a las maderas procedentes de bosques naturales ( $722 \text{ kg/cm}^2$ ) (Aróstegui y Sato, 1975). El MOE en flexión estática se encuentra dentro del rango de las maderas de bosque natural en todas las

edades de las plantaciones ensayadas (Aróstegui y Sato, 1975). En compresión paralela, la madera ofrece menor resistencia con respecto a la madera de bosque natural, sin embargo en compresión perpendicular es similar al del bosque natural, por lo tanto, la clasificación se encuentra dentro del rango de baja a mediana como lo manifiesta Sibille (2006), y en tracción perpendicular a las fibras, los resultados obtenidos son muy cercanos a los encontrados por Aróstegui y Sato (1975).

## CONCLUSIONES

Las maderas de ambas especies y en todas las edades tienen contracción muy baja, muy buen comportamiento al secado y son muy estables dimensionalmente. La madera de *S. amara* de >20 a 25 años tiene una densidad básica de  $361 \text{ kg/m}^3$ , ELP en flexión estática de  $333 \text{ kg/cm}^2$  y MOR en flexión estática de  $593 \text{ kg/cm}^2$ ; mientras que la madera de *C. cateniformis* de >20 a 25 años tiene una densidad básica de  $473 \text{ kg/m}^3$ , ELP en flexión estática de  $388 \text{ kg/cm}^2$  y MOR en flexión estática de  $744 \text{ kg/cm}^2$ . La madera de plantaciones a partir de 20 años tiene propiedades físico-mecánicas similares a los de la madera de bosque natural; la edad de la madera de *C. cateniformis* mantiene una relación directa con las propiedades físicas y mecánicas, es decir, a mayor edad, mayor densidad y mayores valores de flexión estática, compresión paralela y compresión perpendicular.

## AGRADECIMIENTOS

A Moisés Acevedo Mallqui, por su apoyo profesional en la conducción de la investigación; a Hermógenes Vicente Cuba Huamán, por el apoyo técnico en los ensayos mecánicos de laboratorio; a Jarlin Arellano Valderrama, Heiner Ruiz Angulo, Sonia Castro Marín y Silvia Meléndez Dávila, por el apoyo técnico en las labores de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aróstegui A, Sato A. 1975. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la madera de 16 especies forestales del Perú. *Revista Forestal del Perú* 4 (1):1-13.
- Aróstegui A, Sato A. 1970. Propiedades físico-mecánicas y usos de las especies de *Podocarpus rospigliosi* Pilger y *P. montanus*. *Revista Forestal del Perú*. 4(1-2):1-10.
- Arroyo P. 1983. Propiedades físico-mecánicas de la madera; texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. 198 pp.
- Cabudivo A. 2005. Cuantificación del efecto del ciclaje de biomasa en la concentración de nutrientes en suelos de plantaciones forestales. Puerto Almendra, Loreto. Artículo científico. Oficina General de Investigación. UNAP. Iquitos, Perú. 15 pp.
- Cabudivo A. et al. 2011. Turno tecnológico de aprovechamiento de la madera de *Simarouba amara* "marupa" Aubl. y *Cedrelinga cateniformis* Ducke "tornillo" de diferentes edades en Puerto Almendra, Iquitos, Perú. Proyecto de Investigación. Oficina General de Investigación. UNAP. Iquitos. 29 pp.
- Geocities. 2009. María del karmen´s. [Fecha de consulta: 15 de febrero 2009]. Disponible en: <http://www.geocities.com>  
También disponible en: [http://www.geocities.com\\_cokevilchez/madera.htm](http://www.geocities.com_cokevilchez/madera.htm)
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Contenido de humedad en probetas de madera. NTP 251.010:2004. Lima, Perú, 2 pp.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Densidad y peso específico de la madera NTP 251.011:2004. Lima, Perú, 2 pp.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Método de determinación de la contracción. NTP 251.012:2004. Lima, Perú, 6 pp.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Resistencia de la madera a la compresión paralela al grano. NTP 251.014:2004. Lima, Perú, 2 pp.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Resistencia de la madera a la compresión perpendicular al grano. NTP 251.016:2004. Lima, Perú, 2 pp.
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) - Perú. 2005. Maderas. Resistencia de la madera a la flexión estática. NTP 251.017:2004. Lima, Perú, 2 pp.
- Junac. 1976. Normas y metodología para actividades tecnológicas. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT. Lima, Perú. 41 pp.
- Junac. 1984. Tablas de propiedades físicas y mecánicas de la madera de 20 especies

- del Perú. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REFORT. Lima, Perú. 53 pp.
- Kollmann F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo I. Traducción del alemán al español. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigación y Servicios de la Madera. Madrid. 675 pp.
- Nolasco R. 2009. Architecs site. Publicado en *Arqhys*. Argentina. [Fecha de consulta: 7 de julio 2009]. Disponible en: <http://www.arqhys.com>  
También disponible en:  
<http://www.arqhys.com/contenidos/madera-propiedades.html>
- Onern. 1982. Clasificación de las tierras del Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales. Lima. 161 pp.
- Parker H. 1987. Diseño simplificado para arquitectos y constructores. Biblioteca Simplificada de la Construcción. Edit. Del Valle de México. S. A. México. 289 pp.
- Peraza C, López A. 1967. Estudio de las principales maderas de Canarias. Madrid, España. Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Ministerio de Agricultura. 220 pp.
- Pereyra O, Suirezs T, Pitsch C, Báez R. 2006. Estudio de las propiedades físico-mecánicas y comportamiento en procesos industriales de la madera de kiri, grevillea, paraíso y toona. *Floresta*. 36 (2):4-7.
- Rodríguez C, Vergara E. 2008. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus canariensis* crecido en el secano de la Región del Maul, Chile. *Bosque* 29(3):192-196.
- Ross RJ, Pellerin RF. 1994. Nondestructive testing for assessing wood members in structures: A review. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 (Rev.). Madison, WI. U.S. Department of Agriculture, Forest service, Forest Products Laboratory. USA.
- Sibille AM. 2006. Guía del procesamiento industrial para la fabricación de muebles con maderas poco conocidas - LKS. Usaid-Prompex Perú. Lima. 73 pp.
- Valderrama H. 2005. Apuntes de clases de propiedades físico-mecánicas de la madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos. 58 pp.
- Valderrama H. 1992. Influencia de la estructura anatómica en el comportamiento tecnológico de treinta especies forestales. *Conocimiento* 2(1):13-23.
- Valenzuela W, Morse S, Carre J. 1991. Paneles de fibrocemento. Fabricación, características y usos. Serie Técnica número 1. Redinfor. Lima, Perú. 25 pp.