

## Nota Técnica

# ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN COMERCIAL POR PRODUCTO PARA RODALES DE TECA EN EL PACÍFICO DE COSTA RICA

Fernando Mora\*, William Hernández<sup>1/\*</sup>

**Palabras clave:** Teca, *Tectona grandis*, volumen, biometría de productos, producción.

**Keywords:** Teak, *Tectona grandis*, volume, products biometry, yield.

Recibido: 24/11/06

Aceptado: 05/03/07

## RESUMEN

Se utilizó una muestra compuesta por 22 “árboles tipo” talados y seccionados, a lo largo del Pacífico de Costa Rica, para someterlos a un análisis fustal completo. A través de este proceso, que permite reconstruir las dimensiones de los árboles a lo largo de toda su vida, se generó información equivalente a 373 árboles. Los árboles fueron cubicados para obtener el volumen correspondiente de los siguientes productos: aserrío grueso ( $\geq 30$  cm de diámetro), aserrío delgado ( $< 30$  cm  $\geq 15$  cm), postes ( $< 15$  cm  $\geq 10$  cm) y leña ( $< 10$  cm  $\geq 5$  cm). Los datos del volumen de todos los árboles, se agruparon por tipo de producto y se distribuyeron por clase diamétrica. Se construyó tablas de despieces comerciales para rodales de teca en el Pacífico de Costa Rica en  $m^3$  y pmt. El aserrío grueso y el delgado alcanzan en conjunto, a partir del diámetro de 30 cm, un rendimiento  $>90\%$  del volumen comercial. El aserrío delgado es el producto de mayor proporción, entre la clase de 20 y 40 cm. En el caso de la leña y los postes, los volúmenes mayores se registran en las clases  $< 20$  cm. La autovalidación de la tabla reflejó un error promedio para leña de  $0,0097 m^3$ ; de  $-0,0105 m^3$  para postes; de  $0,0193 m^3$  para el aserrío delgado y de  $-0,0256 m^3$  para aserrío grueso.

## ABSTRACT

**Commercial volume estimation by product for teak stands at the Pacific coast of Costa Rica.** The present study used a compound sample of 22 “mean trees” harvested and sectioned along the Pacific coast of Costa Rica. Through this process, that allows to reconstruct all the dimensions of the tree along its life, information of 373 trees was generated. All trees were used for volume estimations for each one of the products included in the study: large logs for sawmill ( $\geq 30$  cm-diameter), small logs for sawmill ( $< 30$  cm  $\geq 15$  cm), poles ( $< 15$  cm  $\geq 10$  cm) and firewood ( $< 10$  cm  $\geq 5$  cm). Data from all trees were grouped, separated by type of product and utilized for building the diametrical classes for each one of the 4 products. A commercial teak table for individual trees in the Pacifics of Costa Rica was developed. Large and small logs for sawmill, together reached from the 30 cm diameter a yield  $>90\%$  of the commercial volume. Small logs for sawmill is the product with the largest commercial volume proportion in the 20 and 40 cm-diameter classe. In the case of poles and firewood, they represent the main commercial volumes in diameter classes  $< 20$  cm. Self-validation of the products table found an average error of  $0.0097 m^3$  for firewood;  $-0.0105 m^3$  for poles;  $0.0193 m^3$  for small logs; and  $-0.0256 m^3$  for large logs.

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: whernan@una.ac.cr

\* Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.

## INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* Linn.), es una de las especies exóticas que ha tenido mejor aceptación en el mercado de la madera, tanto a nivel nacional como internacional; sobre todo por sus características de trabajabilidad y durabilidad. Hoy día, el tipo de productos obtenido de la madera de las plantaciones de teca es muy variado.

Sin embargo, en los trabajos que se ha realizado para teca en Costa Rica, con la finalidad de cuantificar o estimar los volúmenes, no se ha tomado en cuenta la variedad de productos que se puede obtener de la madera rolliza y en la mayoría de los casos se ha escogido para trabajar alguna función o alguna tabla de volumen. Este tipo de tabla o ecuación, por lo general, brinda el volumen total del árbol, o el volumen total del fuste (hasta un diámetro mínimo), lo que equivale al volumen comercial neto; pero sin llegar a considerar las dimensiones y las diferencias en calidad que distinguen a los diferentes productos que componen el tronco y que se pueden obtener durante la explotación de la madera. Keogh *et al.* (1978), ajustaron una ecuación para el volumen del fuste ( $m^3$  sin corteza), desde 0,3 m sobre el nivel del suelo hasta un diámetro mínimo de 8 cm (sin corteza), aplicable a árboles de teca, en la región del Pacífico Central (Parrita-Quepos). Por su parte, Fallas (1986) llevó a cabo una validación de dicha ecuación y propuso una función para calcular el volumen total del fuste (con corteza) hasta un diámetro mínimo  $>10$  cm, para árboles de teca en la zona de Parrita-Quepos.

Con el trabajo de Camacho y Madrigal (1997) aparecieron en el país las funciones de volumen para teca que establecen, por primera vez, una diferenciación entre productos, al considerar diferentes límites diamétricos en la estimación del volumen. Estos autores, trabajando con árboles de teca provenientes del Pacífico Seco, de la Zona Norte y de la Zona del Caribe de Costa Rica (diámetros  $<30$  cm en su mayoría) ajustaron 6 modelos de la siguiente manera: a) 2 para estimar el volumen total del árbol (con corteza y sin corteza); b) 2 para el volumen del fuste (con

corteza y sin corteza), hasta un diámetro mínimo de 8 cm; y, c) 2 para el volumen del fuste (con corteza y sin corteza), hasta un diámetro mínimo de 5 cm.

Más recientemente, Pérez y Kanninen (2002), utilizando una muestra de árboles provenientes de plantaciones de teca, tanto de la zona seca como de la zona húmeda de Costa Rica, propusieron 8 ecuaciones para el volumen total y comercial. El trabajo desarrollado por ellos permitió obtener: a) 2 ecuaciones para el volumen total del árbol (con corteza y sin corteza), utilizando una sola variable independiente; b) 2 para el volumen total del árbol (con corteza y sin corteza), con 2 variables independientes; c) 2 ecuaciones que estiman el volumen comercial (con corteza y sin corteza), hasta cualquier diámetro mínimo deseado (con parámetros de corrección basados en factores de reducción diamétrica implícitos en la relación diámetro a la altura del pecho (dap)–diámetro comercial); y, d) otras 2 ecuaciones para estimar el volumen comercial (con corteza y sin corteza) hasta cualquier altura comercial prefijada (a partir del dap, la altura total y la altura comercial propuesta).

Mora y Gómez (2003), utilizando información generada mediante el análisis fustal de 19 árboles, propusieron 2 ecuaciones para estimar el volumen total con corteza de los árboles individuales de teca el Pacífico; a) el primero era un modelo simple, de variable combinada, con base en el dap, para confeccionar una tabla de una sola entrada; y, b) el segundo era un modelo polinomial, con base en el dap y en la altura total, para la construcción de una tabla de doble entrada.

Ese mismo año, Gómez y Mora (2003) se dieron a la tarea de compilar todos los modelos existentes en nuestro país para estimar el volumen individual (total y comercial) de los árboles de teca. Estos autores determinaron que existía un total de 18 tablas o funciones de volumen publicadas o en proceso de publicación, que permitían estimar el volumen de los árboles individuales de esta especie, creciendo en plantaciones localizadas en 5 regiones geográficas del país. Dichas funciones se desglosan de la siguiente manera:

a) 5 que estiman el volumen total con corteza; b) 3 para el volumen total sin corteza; c) 5 para determinar el volumen comercial con corteza; y, d) 5 para estimar el volumen comercial sin corteza.

Los mismos autores, ese mismo año, realizaron un proceso de comparación y unificación de todos los modelos existentes, lo cual permitió generar una función representativa para cada uno de los 4 grupos de volumen mencionados: a) 1 para estimar el volumen total con corteza; b) otro para obtener el volumen total sin corteza; c) 1 más que estima el volumen comercial con corteza; y, d) el último para calcular el volumen comercial sin corteza, lo que elevó la lista a 22 ecuaciones desarrolladas para estimar el volumen de los árboles individuales de teca, en Costa Rica. Sin embargo, hasta el día de hoy, las tablas y funciones de volumen que han sido desarrolladas para esta especie en Costa Rica solo proporcionan un volumen global (ya sea para todo el árbol, o bien, para todo el fuste), lo que no permite realizar la estimación del volumen para los diferentes productos que se pueden obtener de la madera rolliza.

### Método de los despieces comerciales

En Costa Rica, al igual que en el resto de Latinoamérica, el método de los despieces comerciales para el cálculo del volumen comercial ha sido muy poco abordado en la literatura; posiblemente por la necesidad de contar con una amplia base de datos que respalde la estimación de los volúmenes por producto. Hoy día la mayoría de los proyectos forestales no cuentan con tablas de despieces comerciales y se escoge para trabajar alguna función o tabla de volumen, o alguna de crecimiento y rendimiento.

La tabla de despieces comerciales constituye una herramienta de fácil aplicación, que simplifica la estimación del volumen de rodales forestales a partir de mediciones simples; específicamente, a partir del diámetro normal (dap). La misma es elaborada a partir de una muestra de árboles seleccionados y medidos por secciones cuidadosamente, lo que permite calcular el

volumen para cada uno de los posibles productos a obtener. La suma de los volúmenes parciales de los diferentes productos a extraer constituye el volumen comercial del árbol, o bien, el volumen comercial neto del fuste.

De acuerdo con Husch *et al.* (1982), los volúmenes por árbol pueden ser estimados a partir de relaciones previamente establecidas entre ciertas dimensiones del árbol y su volumen. El diámetro, la altura y la forma son las variables independientes que más comúnmente se utiliza para determinar los valores de la variable dependiente (alguna expresión del volumen). El resultado final es presentado en la forma de una tabla o de una fórmula. La tabla o la función de volumen, entonces, presenta el contenido promedio de los árboles individuales (en pies tablares, pies cúbicos, metros cúbicos, cuerdas de leña u otras unidades), en términos de una sola entrada (tabla simple) o de varias entradas (tabla compuesta), de acuerdo con las dimensiones previamente mencionadas.

La tabla de despieces comerciales puede ser considerada como equivalente a una tabla simple (de una sola entrada), es decir, que en su aplicación únicamente se considera la variable diámetro normal (d) como entrada única de la tabla. A diferencia de las tablas de volumen comunes, la tabla de despieces comerciales muestra para una especie en particular y para cada clase de diámetro, los valores del volumen correspondientes a cada uno de los productos que se puede obtener de la madera rolliza. Estos valores del volumen, expresados en metros cúbicos ( $m^3$ ) o pulgadas madereras ticas (pmt), también pueden ser convertidos a valores relativos, por clase diamétrica, lo que convierte a la tabla de despieces comerciales en una “tabla porcentual de despieces comerciales”. Es usual que se trabaje con valores porcentuales para obtener el precio medio del despiece comercial de los productos. Esto último, constituye un paso previo en el cálculo de la tabla dineraria, la cual es un requisito en el procedimiento que se sigue para valorar una plantación de una especie forestal en particular.

### Tipos de tablas para despieces comerciales

Las tablas de despieces comerciales muestran una gran versatilidad, pues se pueden construir tanto a nivel local como a nivel regional, e igualmente se pueden construir para árboles individuales como para rodales. En tales casos se debería hablar de: a) *tablas locales de despieces comerciales*; b) *tablas regionales de despieces comerciales*; c) *tablas de despieces comerciales para árboles individuales*; y, d) *tablas de despieces comerciales para rodales*; o bien, cualquier combinación que se pueda dar entre dichas categorías. Para todas estas modalidades de tablas, la estructura y el diseño seguido en su construcción debe de ser el mismo, pues todas van a tener, como única entrada, el diámetro normal; lo que las diferencia es el tamaño de la muestra y las características de los árboles utilizados en su elaboración.

Al igual que con las tablas de volumen local, si se desea construir una *tabla local de despieces comerciales* se va a requerir una muestra de 30-60 árboles, bien repartidos por clase diamétrica. En el caso de las tablas de despieces comerciales, al igual que con las tablas de volumen, se puede recurrir a una muestra de árboles mas grande, para poder extender su aplicación a áreas con condiciones más diversas y poder desarrollar tablas regionales. Lógicamente, la muestra deberá reflejar la diversidad de condiciones existentes en el arbolado, debido a su manejo y a la variación en los factores ambientales. Para una *tabla regional de despieces comerciales*, se necesita una muestra más grande, ya que según el tamaño y las condiciones de la región, podríamos hablar de 300-1200 árboles o más (aquí también todas las clases diamétricas deberán quedar bien cubiertas). Los costos de operación, las dificultades técnicas y los problemas logísticos serán mayores para quien decida trabajar en una operación a escala regional.

Cuando se trata de una *tabla de despieces para árboles individuales*, se debe pensar en el árbol como la unidad estadística y la tabla deberá estar construida para permitir el ingreso de los datos, que bien puede ser un sólo árbol o

un grupo de ellos, pertenecientes a una parcela, una plantación o un rodal. En cualquier caso, los árboles medidos deberán ser agrupados en clases diamétricas y se deberá ingresar a la tabla con las frecuencias correspondientes a cada categoría. Para ello se acostumbra construir la tabla lo mas detallada posible, utilizando clases de 5 cm divididas en subclases de 1 cm, por ejemplo.

La *tabla de despieces para rodales*, se puede construir a partir de una muestra de árboles promedio (“árboles medios”), seleccionados con el *método de los árboles tipo*; o bien, se puede seleccionar una muestra de *árboles dominantes y codominantes* del rodal, los cuales, además de formar parte de la masa remanente, tienen una alta probabilidad de ser parte de la cosecha final. Cualquiera de los 2 procedimientos que se utilice deberá estar claramente especificado. En el caso de las tablas que se construyen para rodales, se deberá calcular el diámetro medio cuadrático (dg) de la masa y ubicar este valor en una clase diamétrica; posteriormente, se deberá hacer uso de la frecuencia para obtener el total de los volúmenes correspondientes a los diferentes productos. Se debe tener claro que las tablas de despieces comerciales son específicas; es decir, que son construidas para una sola especie, en todos los casos.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados provienen del análisis fustal completo de 22 “árboles tipo” de teca, taldos y seccionados a lo largo del Pacífico de Costa Rica. A través de este análisis se pudo reconstruir las dimensiones de cada árbol, para todos los años de su vida. Este proceso generó información equivalente a un total de 373 árboles, con edades de 3-40 años. Los diámetros con corteza oscilaron entre 7,88-47,80 cm a la altura del pecho y la longitud comercial varió de 3,60-30,96 m.

La información de las secciones (rodajas, discos o galletas) analizadas se transfirió al programa para análisis fustal “AF2K PLUS”, para Excel 98/2000.

El programa "AF2K PLUS" calcula los volúmenes por troza con la fórmula de Smallian y obtiene el volumen del árbol completo, al acumular los volúmenes de todas las trozas, a las diferentes edades. El volumen del ápice, para cada edad, lo calcula utilizando la fórmula del cono. La hoja denominada "detalle del análisis" despliega toda la información detallada correspondiente a la cubicación por secciones de cada árbol, por troza para cada año. Esta hoja fue copiada en un archivo de Excel, que contenía la información de los 373 árboles generados mediante la técnica de análisis fustal. Para trabajar con los datos se creó, dentro de este archivo, una hoja para cada uno de los árboles incluidos en la muestra, donde aparece desglosado, para cada año, el volumen con corteza y sin corteza para cada una de las trozas en que fue cortado el árbol, desde la base hasta el ápice. El volumen de la parte comercial del tronco se obtuvo de la sumatoria del volumen de todas las trozas comprendidas en el fuste, hasta el diámetro mínimo establecido como límite comercial, de acuerdo a las especificaciones definidas en esta metodología.

Durante el manejo de la información, en la Fase I, se procedió a crear, para cada uno de los árboles, 4 copias del archivo original para la cubicación de los diferentes productos: a) aserrío grueso; b) aserrío delgado; c) postes; y d) leña. Los distintos productos a obtener del árbol individual son definidos, en función del diámetro, de la siguiente manera: aserrío grueso ( $\geq 30$  cm), aserrío delgado ( $< 30$  cm  $\geq 15$  cm), postes ( $< 15$  cm  $\geq 10$  cm), leña ( $< 10$  cm  $\geq 5$  cm). Estas dimensiones son fijadas por la industria.

Hechos los grupos, cada árbol fue cubicado en 4 ocasiones diferentes, para obtener el volumen de cada producto por separado, conforme a sus dimensiones. En las edades avanzadas todos los árboles produjeron volúmenes para los 4 productos; mientras que los mismos árboles en sus edades tempranas solamente produjeron volúmenes de pequeñas dimensiones (leña, postes, aserrío delgado). El procedimiento anterior sirvió para elaborar una tabla de despieces comerciales expresada en  $m^3$ , en el caso de la tabla elaborada en pmt la

cubicación y el resto del procedimiento se realizó únicamente para el aserrío grueso y aserrío delgado, pues son los únicos productos que se cubican y comercializan en dichas unidades.

Para definir los productos mencionados se les impuso ciertas restricciones referidas a su longitud. Para aserrío grueso y el aserrío delgado el largo mínimo de la troza fue de 2,54 m (3 varas), para postes la longitud seleccionada fue de 2 m y para la leña la longitud mínima fue de 0,84 m (1 vara).

El grosor de corteza, utilizado para los diámetros sin corteza de las edades intermedias (anillos internos), se tomó de la diferencia del diámetro con corteza y sin corteza correspondiente a la última medición (anillo externo), obtenida a la edad en la que el árbol fue cortado, para cada altura en particular. La altura del diámetro comercial fue estimada por interpolación. Una vez obtenidos los volúmenes netos por producto, para los 373 árboles de la muestra, se procedió a crear 4 archivos (uno por producto) con los volúmenes acumulados de todos los árboles, de la siguiente manera: hasta 30,0 cm de diámetro para aserrío grueso, de 29,99-15,0 cm para aserrío delgado, de 14,99-10,0 cm para postes y de 9,99- 5,0 cm para leña.

Luego se agruparon los datos (edad, dap, altura comercial y volumen comercial del fuste con corteza y sin corteza), de todos los árboles, separados por producto. Como paso siguiente, se procedió a graficar el volumen versus la edad, el dap y la altura para cada producto, con la finalidad de observar el comportamiento de la variable dependiente y poder descartar estimaciones erróneas del volumen. Una vez obtenidos los volúmenes por producto, se procedió a construir las clases diamétricas para cada uno de los productos. Se elaboró en total 9 clases diamétricas para la tabla de despieces en  $m^3$ , desde 5 hasta 50 cm, en intervalos de 5 cm; esto permitió abarcar la totalidad de los datos, con el fin de lograr una distribución de frecuencias por clase diamétrica, lo más uniforme posible. En el caso de la tabla de despieces comerciales en pmt se elaboró un total de 8 clases diamétricas.

Definidas las clases diamétricas se procedió a calcular para cada uno de los productos los valores promedio para el dap, la altura comercial y el volumen comercial (con corteza y sin corteza), así como los valores totales para la frecuencia de ambos volúmenes comerciales.

Como siguiente paso, se construyó una tabla preliminar para cada uno de los 4 productos ( $m^3$ ). Como un paso previo a la construcción de cada tabla final, se procedió a graficar las variables volumen comercial-edad, volumen comercial-dap y volumen comercial-altura comercial para cada grupo, con la finalidad de observar los patrones que exhiben y considerar las relaciones existentes entre las distintas variables. Posteriormente, se procedió a unificar estas tablas, dando origen a una tabla final de despieces comerciales en  $m^3$ . Para los volúmenes en pulgadas madereras ticas (pmt) se desarrolló 2 tablas, las cuales se unificaron para formar una sola tabla de despieces comerciales.

Se procedió a validar los resultados de la tabla ( $m^3$ ), por clase diamétrica, para cada uno de los productos. A falta de una muestra de datos independientes, se recurrió a un procedimiento de autovalidación, tomando aleatoriamente un

10% de los árboles de la muestra y seleccionándolos por la edad. Con estos árboles se obtuvo los “valores reales” del volumen, para contrastarlos con los “valores estimados” de la tabla para cada una de las clases diamétricas y para cada uno de los productos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos procesados de los árboles que componen la muestra, se procedió a elaborar 2 tablas de despieces comerciales las cuales se muestran en los cuadros 1 y 2. El cuadro 1 se divide en 9 clases de diámetro, que inician con la clase de 5 cm y finalizan con la de 45 cm; además, se muestra el total de árboles que compone la muestra por clase diamétrica y el volumen en  $m^3$  con corteza en términos absolutos y relativos, correspondiente a los productos obtenidos del árbol. Todos los datos del volumen por despiece comercial y clase diamétrica son valores promedio.

En el cuadro 1 se observa el comportamiento y la evolución de los productos que se puede obtener de la especie durante su crecimen-

Cuadro 1. Despiece comercial ( $m^3$ ) para rodales de teca (*Tectona grandis*) en el Pacífico de Costa Rica.

Clase diamétrica (cm)	Número de árboles	Volumen comercial con corteza									
		Volumen total comercial	Aserrío grueso (dap $\geq$ 30 cm)		Aserrío delgado (dap <30 cm $\geq$ 15 cm)		Postes (dap <15 cm $\geq$ 10 cm)		Leña (dap <10 cm $\geq$ 5 cm)		
		( $m^3$ )	( $m^3$ )	%	( $m^3$ )	%	( $m^3$ )	%	( $m^3$ )	%	
5,0 - 9,99	9	0,0301								0,0301	100,0
10,0 - 14,99	62	0,1153					0,0598	51,9	0,0555	48,1	
15,0 - 19,99	117	0,2479			0,0911	36,7	0,1153	46,5	0,0416	16,8	
20,0 - 24,99	154	0,2983			0,1766	59,2	0,0876	29,4	0,0341	11,4	
25,0 - 29,99	156	0,4896			0,3820	78,0	0,0729	14,9	0,0347	7,1	
30,0 - 34,99	151	1,0226	0,2691	26,3	0,6596	64,5	0,0685	6,7	0,0254	2,5	
35,0 - 39,99	194	1,1425	0,4363	38,2	0,6231	54,5	0,0568	5,0	0,0264	2,3	
40,0 - 44,99	156	1,6151	0,7570	46,9	0,7796	48,3	0,0562	3,5	0,0223	1,4	
45,0 - 50,00	52	1,9097	1,1108	58,2	0,7216	37,8	0,0623	3,3	0,0151	0,8	

Cuadro 2. Valores mínimos y máximos del error de estimación, por producto, para rodales de teca (*Tectona grandis*) en el Pacífico de Costa Rica.

Clase diamétrica (cm)	Aserrío grueso		Aserrío delgado		Postes		Leña	
	Valor mínimo (m <sup>3</sup> )	Valor máximo (m <sup>3</sup> )	Valor mínimo (m <sup>3</sup> )	Valor máximo (m <sup>3</sup> )	Valor mínimo (m <sup>3</sup> )	Valor máximo (m <sup>3</sup> )	Valor mínimo (m <sup>3</sup> )	Valor máximo (m <sup>3</sup> )
20,0 - 24,99			-0,0039			-0,0486		-0,0399
25,0 - 29,99				0,0519			0,0001	
35,0 - 39,99	-0,0248				0,0022			
45,0 - 50,00		-0,1683						
Error promedio	-0,0256		0,0193		-0,0105		-0,0097	

to. Conforme el rodal crece se va diversificando la producción, que aumenta de acuerdo con el diámetro que presentan los árboles; sin embargo, hay puntos de inflexión en el volumen, cada vez que el árbol presenta en su estructura fustal un producto nuevo, que hace que este aumente paulatinamente y los anteriores disminuyan. Por ejemplo, conforme el árbol crece, el volumen de leña y postes disminuye y el volumen de aserrío delgado y aserrío grueso aumentan, situación que se refleja entre una clase diamétrica y otra. Lo que a su vez permite que el rodal vaya adquiriendo mayor valor económico conforme aumenta su edad.

Cabe destacar que dentro del esquema de producción que se presenta, la especie ofrece los 4 productos a partir del momento en que los árboles alcanzan un diámetro de 30 cm. Sin embargo, la producción de postes y de leña comienza a decaer notablemente y el producto predominante es el aserrío delgado, seguido del aserrío grueso. Además, a partir de este diámetro la especie comienza a producir aserrío grueso que, en términos económicos, representa el mayor valor de la madera que se puede producir. En la clase diamétrica >45 cm, el árbol alcanza su máxima producción de aserrío grueso (58,2% del total comercial), que junto con el aserrío delgado (37,8%) componen el 96% del volumen total comercial. En el caso de la leña, que esta presente en todas las clases de diámetro, muestra un volumen bajo comparado con el resto de

la producción. Con excepción de las primeras 2 clases diamétricas, que es donde se observa un mayor volumen de esta (100% y 48,1%, respectivamente) respecto del volumen total comercial. En el caso de los postes, el comportamiento es similar al de la leña. En las primeras 2 clases de diámetro este producto logra aportar un 51,9% y 46,5% del volumen total comercial, sin embargo, comienza a decrecer paulatinamente.

El cuadro 2 muestra los valores extremos encontrados en el proceso de autovalidación de la tabla de despieces comerciales. Valga decir que los errores encontrados en las clases diamétricas inferiores están comprendidos, por su magnitud, dentro de los intervalos referidos. De acuerdo con estos resultados, es posible realizar a partir de simples mediciones diamétricas, la valoración de los rodales de teca, utilizando únicamente la información del diámetro, lo cual disminuiría de manera considerable los costos de operación en los que se incurre a la hora de evaluar las plantaciones de esta especie.

En la figura 1 se muestra la distribución de los productos del volumen comercial promedio, conforme aumenta el diámetro. Se puede observar cómo evolucionan los despieces comerciales, donde la leña y los postes son los que registran menor volumen, pero se mantienen presentes en todas las clases diamétricas. Mientras que el aserrío delgado y el aserrío grueso presentan un volumen más alto, que se acentúa en las clases

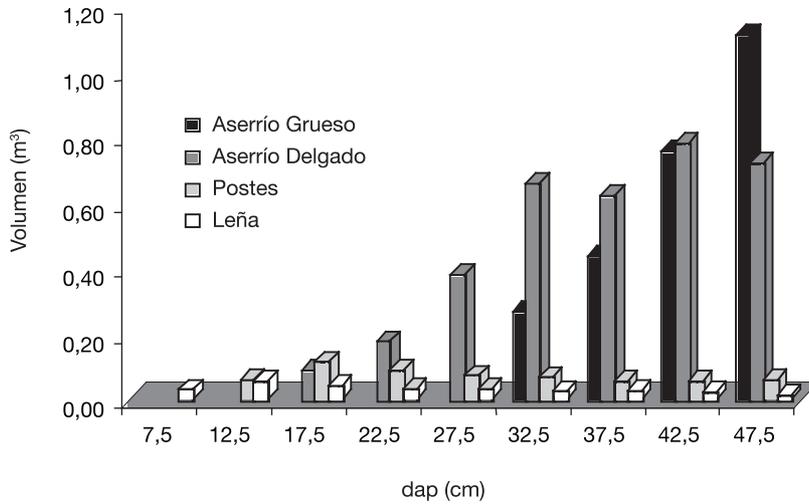


Fig. 1. Volumen sin corteza de despiece comercial por clase diamétrica para *Tectona grandis* en el Pacífico de Costa Rica, 2006.

diamétricas mayores, disminuyendo la producción de leña y postes.

Como se puede observar en la figura 1, en la primera clase de diámetro (7,5 cm) solamente se refleja leña como producto comercial. A partir de la clase de 12,5 cm predomina el volumen de postes. En la clase de 17,5 cm en adelante se puede obtener aserrío delgado; sin embargo, el volumen comercial mayor corresponde al de postes. No obstante, a partir de la clase de 22,5 cm el volumen de aserrío delgado es mayor en relación con el resto de los productos. En la clase diamétrica de 32,5 cm, se comienza a producir aserrío grueso y se muestran, por primera vez, los 4 tipos de productos. En esta clase, el aserrío delgado continúa siendo el producto con mayor volumen, seguido del aserrío grueso, mientras que el volumen de leña y postes comienza a decrecer levemente, manteniendo una producción relativamente constante en todas las clases diamétricas. Posteriormente, en la clase de 35,5 cm y hasta la clase de 47,5 cm, el aserrío grueso aumenta rápidamente. Sin embargo, es en la última clase de diámetro que logra sobrepasar al volumen de aserrío delgado.

Las figuras de la 2 a la 5 muestran la distribución porcentual del despiece comercial en cada clase diamétrica. En la figura 2 se nota que en la clase de 5 cm el único producto que se obtiene de la plantación es la leña, con un 100% del total de la producción. En la figura 3 se refleja la distribución para la clase de 10 cm, los árboles generan madera para postes y leña, en este caso la producción de leña disminuye en con un 48% del total.

En la figura 4 se puede observar que a partir de la clase de 30 cm se puede obtener los 4 productos comerciales. Es a partir de esta clase que se inicia la producción del aserrío grueso, donde el aserrío delgado es el producto predominante en la producción con un 65% del total del volumen comercial. Seguido por el aserrío grueso con un 26%, mientras que el volumen de leña y postes disminuye sustancialmente hasta un 2% y un 7% del total de la producción, respectivamente.

En la figura 5 se muestra la variación que registró la producción con relación a la clase de 30 cm. Se registra una disminución de 27% del aserrío delgado, mientras que el aserrío grueso

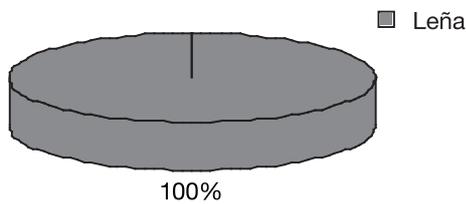


Fig. 2. Porcentaje por despiece para la clase diamétrica de 5,0-9,99 cm.

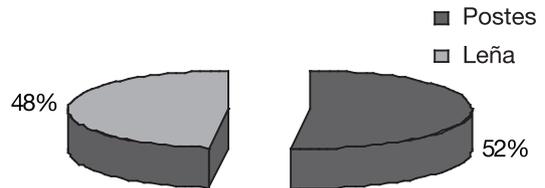


Fig. 3. Porcentaje por despiece para la clase diamétrica de 10,0-14,99 cm.

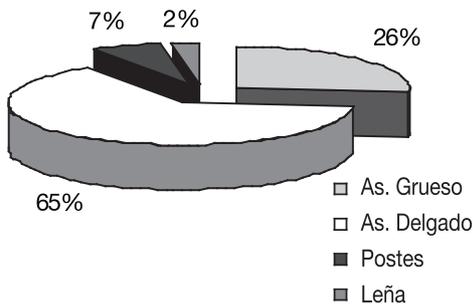


Fig. 4. Porcentaje por despiece para la clase diamétrica de 30,0-34,99 cm.

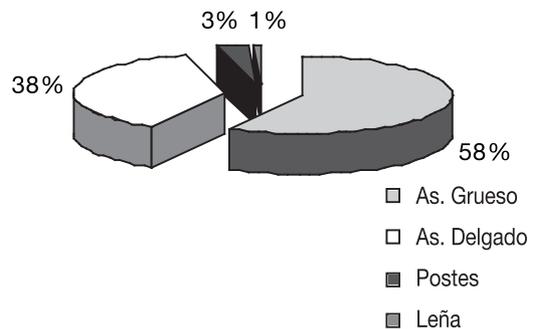


Fig. 5. Porcentaje por despiece para la clase diamétrica de 45,0-49,99 cm.

aumenta a un 32%. La leña y los postes reducen la producción en un 1% y 4%, respectivamente.

El cuadro 3 muestra el volumen (pmt) por clase diamétrica, para el aserrío grueso y aserrío delgado. En el caso de los postes se muestra la

longitud promedio (m) de las trozas por clase diamétrica. A la vez, se presenta la cantidad de postes a obtener, tanto en volumen como en unidades (piezas). Los metros lineales correspondientes a los postes son datos promedio,

Cuadro 3. Despiece comercial (pmt) para rodales de teca (*Tectona grandis*) en el Pacífico de Costa Rica.

Clase diamétrica (cm)	Número de árboles	Volumen total comercial (pmt)	Volumen comercial con corteza					
			Aserrío grueso		Aserrío delgado		Postes	
			pmt	%	pmt	%	Longitud (m)	Cantidad
10,0 - 14,99	15					4	2	
15,0 - 19,99	70	23		23	100,0	7	3	
20,0 - 24,99	103	34		34	100,0	5	2	
25,0 - 29,99	104	62		62	100,0	4	2	
30,0 - 34,99	101	151	61	40,6	89	59,4	4	2
35,0 - 39,99	144	217	98	45,3	119	54,7	3	1
40,0 - 44,99	117	278	136	48,9	142	51,1	3	1
45,0 - 49,99	39	369	219	59,5	149	40,5	3	1

obtenidos de la muestra. También se presenta el número de árboles por clase diamétrica, lo cual se refiere al tamaño de la muestra para cada una de las clases.

En términos de la cantidad de postes por clase diamétrica se obtiene una mayor producción cuando los árboles alcanzan un diámetro >15 cm. Que es la clase donde se registra una mayor longitud, seguida de la clase de 20 cm con 5 m. En el resto de las clases se produce entre 1 y 2 postes, la longitud mínima de los postes es 2 m.

Al observar el volumen correspondiente al aserrío grueso y al aserrío delgado, el volumen de este último es mayor, en casi todas las clases diamétricas, superándolo en un 9% en la clase de 30 cm, hasta un 18,8% en la clase de 35 cm. No obstante, en la clase de 45 cm el aserrío grueso alcanza un volumen de 219 pmt, contra 149 pmt de aserrío delgado, es decir, un 32% más alto. Al observar el volumen total comercial se nota que las clases más productivas en aserrío grueso y aserrío delgado son las 4 superiores, donde se producen desde 151 pmt en la clase de 30 cm hasta 369 pmt en la clase de 45 cm. Esto refleja

que la producción del volumen comercial de teca se compone mayoritariamente de estos 2 productos comerciales, mostrando el potencial valor económico que puede tener la madera de esta especie, conforme aumenta su diámetro.

En la figura 6 se muestra la producción comercial en pulgadas madereras ticas, a partir de la clase de 15 cm, donde el aserrío delgado y el aserrío grueso constituyen la mayoría de los productos comercializables. Ni los postes ni la leña son productos que se comercializan en pulgadas de madera, de ahí que no se registra ninguna producción antes de la clase de 15 cm. Como es de esperar, el aserrío delgado es el producto que presenta el mayor volumen comercial en casi todas las clases diamétricas, con excepción de la última clase donde se da la mayor producción de aserrío grueso.

Cabe mencionar que la muestra utilizada esta compuesta por árboles dominantes, codominantes y árboles tipo, cuya forma y crecimiento pueden variar con respecto a otros árboles de la plantación. Por otro lado, existe una serie de factores, asociados a los árboles individuales, que

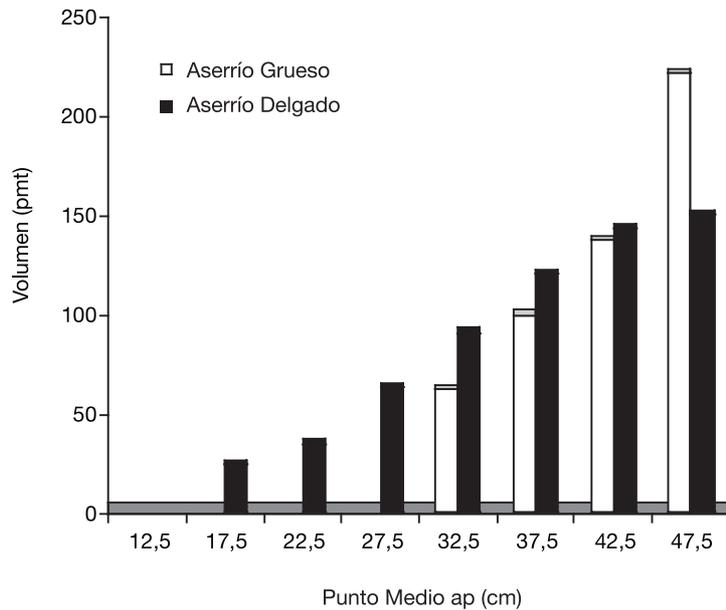


Fig. 6. Volumen sin corteza en pmt, por producto, por clase diamétrica, para *Tectona grandis* en el Pacífico de Costa Rica.

hacen variar la producción en las plantaciones de teca (bifurcaciones, forma del fuste, longitud comercial, etc.); hay otros asociados con el manejo (prácticas silvícolas); y un tercer grupo asociado con el ambiente (condiciones edáficas, climáticas y del sitio en general), los cuales pueden alterar los rendimientos esperados considerablemente, cuando se le compara con las tablas de volumen o con las tablas de despieces comerciales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las tablas de despieces comerciales constituyen una herramienta de fácil aplicación, ya que en la práctica, solamente se requiere del diámetro a la altura de pecho (dap) para su correcta utilización. Además, permiten realizar una estimación fiable del volumen comercial de las plantaciones forestales, al asumir un sistema de trozado basado en los productos derivados de los árboles (despiece comercial), de mayor demanda a nivel nacional.

A través de la cuantificación del volumen comercial, las plantaciones de teca, muestran un gran potencial aprovechable, al registrarse en las diversas clases diamétricas altos porcentajes de aserrío delgado y aserrío grueso, ya que son los productos de mayor valor económico en el mercado nacional. Al aplicar la tabla de despieces comerciales ( $m^3$ ), en la valoración de las plantaciones de teca, el volumen de leña y postes cobra gran importancia, sobretudo en las primeras clases de diámetro. Esto genera un mayor valor económico a los rodales de esta especie pues, normalmente, el volumen de estos productos no se incluye en el valor total de la plantación, cuando se trabaja con los métodos tradicionales (tablas de volumen y ecuaciones de volumen), en la estimación del volumen comercial.

Las tablas de despieces comerciales que se presentan en este estudio son aplicables al Pacífico de Costa Rica y al igual que con cualquier otra herramienta desarrollada para cuantificar el volumen, se recomienda llevar a cabo una comprobación previa, que consiste en la

cubicación separada de los productos (despiece comercial), de por lo menos un “árbol tipo” por clase diamétrica, dentro del intervalo presente en la plantación. Si se quiere utilizarlas en otras regiones del país, se debe realizar una prueba similar pero con un tamaño de muestra mayor (al menos 3 árboles tipo por clase diamétrica).

En la elaboración de las tablas de despieces comerciales para rodales se trabajó con una muestra de “árboles tipo” por lo que para su correcta aplicación es necesario seleccionar árboles con características similares a los de la muestra, dentro de la plantación donde se aplicarán las tablas. Para la aplicación de las mismas se requiere realizar un muestreo, utilizando parcelas de tamaño fijo, que reflejen el estado presente del rodal, siendo de especial interés la distribución diamétrica de la masa.

El procedimiento requiere la medición del diámetro normal de todos los árboles, dentro de las unidades de muestreo, con el fin de calcular el “diámetro medio cuadrático” (dg) de la parcela y por medio de este, determinar de 2 a 3 “árboles tipo”, que permitan calcular el volumen promedio de la misma. Para esto, se deberá aplicar la tabla de despieces comerciales a los árboles seleccionados, lo cual proporcionará el volumen comercial promedio, desglosado por producto.

Estos valores promedio por unidad de muestreo se deben multiplicar por el total de árboles presentes dentro de la parcela, con el fin de obtener el volumen total por unidad de superficie (tamaño de las parcelas). Hecho esto, se deberá tomar los totales de todas las parcelas para promediarlos, con el fin de obtener el volumen comercial promedio de la muestra. Conociendo el tamaño de la unidad de medición se puede calcular el volumen comercial por hectárea y luego extrapolarlo al área total de la plantación.

En trabajos posteriores se recomienda cuantificar la leña en la parte de las ramas, pues en este trabajo no se incluyó. Se recomienda además, la validación de las tablas de despieces comerciales ( $m^3$ , pmt), con una muestra independiente, con características similares a la muestra analizada, de modo que permita evaluar el ajuste del modelo.

Para efectos de mejorar la precisión de las estimaciones, se recomienda elaborar tablas, en subclases de un 1 cm (m<sup>3</sup>, pmt), que permitan una mayor confiabilidad en la valoración de las plantaciones de teca, utilizando la metodología de los despieces comerciales.

### LITERATURA CITADA

- CAMACHO P., MADRIGAL T. 1997. Ecuaciones de volumen preliminares para *Tectona grandis*. Tercer Congreso Forestal Nacional. 27-29 agosto, San José, Costa Rica. p. 131-133.
- GÓMEZ M., MORA F. 2003. Comparación de modelos y unificación de ecuaciones de volumen para árboles individuales en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* Linn.) en Costa Rica. 24 p. <http://www.una.ac.cr/inis/discusion>.
- HUSCH B., MILLER C., BEERS T. 1982. Forest mensuration. United States of America. 3<sup>d</sup> ed. 337 p.
- KEOGH R., FALLAS J., MORA F. 1978. Teca (*Tectona grandis* Linn.) en Costa Rica. PNUD/FAO/COS/72/013. Documento de trabajo No. 16. Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Ambientales; Dirección General Forestal, Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 21 p.
- MACKAY E. 1964. Dasometría: Teoría y técnica de las mediciones forestales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. Capitulo IV. p. 95-144.
- MORA F., GÓMEZ M. 2003. Ecuaciones y tablas de volumen para árboles individuales en plantaciones de teca (*Tectona grandis* Linn.) en la Vertiente del Pacífico, Costa Rica. 22 p. <http://www.una.ac.cr/inis/discusion>.
- PÉREZ L.D., KANNINEN J. 2002. Estimación del volumen comercial a diámetros y alturas variables para árboles de teca (*Tectona grandis* Linn.) en Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana.
- PRODAN M., PETERS R., COX F., REAL P. 1997. Mensura forestal. IICA. San José, Costa Rica. p. 95 -144.