


Distribución del volumen comercial por índice de sitio en plantaciones clonales de *Tectona grandis* L.f en la zona norte de Costa Rica

Commercial volume distribution by site index in clonal plantations of *Tectona grandis* L.f in the Northern Zone of Costa Rica

Katherine Barrantes-Madrigal¹  • Rafael Murillo-Cruz²  • Carlos Enrique Ávila-Arias² 
• William Fonseca-González²  • Ana Isabel Barquero Elizondo² 

Recibido: 3/9/2020

Aceptado: 6/5/2021

Publicado: 29/7/2021

Abstract

Forest production requires knowing the volume of marketable diameters. The objective of this study was to generate a volume distribution table according to the minimum commercial diameter for different site index (SI) labels for the Northern Zone of Costa Rica. A sample of 119, 120 and 28 trees established within the forest plantations at the 27, 24 and 21 m indices, respectively, the diameters were measured at the stump height, normal diameter at 1.3 m on the stem and the diameters in different sections on the stem with a spacing of 1.5 m until reaching the total height and zero diameter. The volume of each section was obtained with the Smalian formula and the volume of the tree by adding the sections. The following minimum commercial diameters were considered: coarse saw: ≥ 30 cm in diameter, thin saw: $\geq 20 < 30$ cm, pallet: $\geq 12 < 20$ cm, firewood: $\geq 5 < 12$ cm and waste: < 5 cm. The volume for coarse sawmill increased as the diameter of the tree increased. In the 27 m IS, diameters less than 13 cm correspond to 40 % firewood, between 13 cm and 24 cm pallet predominates, henceforth thin sawmills predominate; with more than 28 cm, the coarse and thin sawmills represent more than 75 % of the commercial volume. The five diametric minima evaluated are present in trees that grow at the 27 m and 24 m IS labels; while, in the IS 21 m, no wood for sawmill was recorded. The volume distribution tables by minimum commercial diameter are a useful tool to determine the trend and distribution of commercial volume by type of utility for this species.

Key words: *Tectona grandis*, commercial volume, minimum diameter, site quality, Costa Rica .

1. Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico katherine.barrantes.madrigal@est.una.ac.cr

2. Instituto de Investigación y Servicios Forestales, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. murillorafael5454@yahoo.com, carlos.avila.arias@una.ac.cr, wfonseca@una.ac.cr, ana.barquero.elizondo@una.ac.cr

Resumen

La producción forestal requiere conocer el volumen de los diámetros comercializables. El objetivo de este estudio fue generar una tabla de distribución del volumen según diámetro mínimo comercial para distintas etiquetas de índice de sitio (IS) para la Zona Norte de Costa Rica. A una muestra de 119, 120 y 28 árboles establecidos dentro de las plantaciones forestales en los índices de 27 m, 24 m y 21 m, respectivamente se midieron los diámetros a la altura de tocón, diámetro normal a 1,3 m sobre el fuste y los diámetros en distintas secciones sobre el fuste con un distanciamiento de 1,5 m hasta alcanzar la altura total y diámetro cero. El volumen de cada sección se obtuvo con la fórmula de Smalian y el volumen del árbol mediante la sumatoria de las secciones. Se consideraron los siguientes diámetros mínimos comerciales: aserrío grueso: ≥ 30 cm de diámetro, aserrío delgado: $\geq 20 < 30$ cm, tarima: $\geq 12 < 20$ cm, leña: $\geq 5 < 12$ cm y residuos: < 5 cm. El volumen para aserrío grueso aumentó conforme incrementa el diámetro de árbol. En el IS de 27 m, los diámetros menores a 13 cm corresponden a leña el 40 %, entre 13 cm y 24 cm predomina tarima, en adelante domina el aserrío delgado; con más de 28 cm el aserrío grueso y delgado representan más del 75 % del volumen comercial. Los cinco mínimos diamétricos evaluados están presentes en árboles que crecen en las etiquetas de IS de 27 m y 24 m; mientras que, en el IS 21 m no se registró madera para aserrío. Las tablas de distribución de volumen por diámetro mínimo comercial son una herramienta útil para determinar la tendencia y distribución del volumen comercial por tipo de utilidad para esta especie.

Palabras clave: *Tectona grandis*, volumen comercial, diámetro mínimo, calidad de sitio, Costa Rica.

Introducción

Tectona grandis L. f. (teca) es una especie de rápido crecimiento, posicionada en el mercado mundial por la calidad de su madera y alto valor económico. En el planeta, se estima un área plantada de 6,8 millones de hectáreas [1] y en Costa Rica es la más utilizada en la reforestación con fines comerciales con 47167 hectáreas [2]. La madera se destaca por su durabilidad natural, trabajabilidad, calidad y resistencia a condiciones ambientales [3] [4], de ahí su gran potencial para utilizarla en la elaboración de diversos productos forestales [5] [6] [7].

La planificación estratégica en manejo forestal, maximiza los beneficios económicos [6] [7] el uso de material genético con algún grado de selección para incrementar el rendimiento volumétrico comercial [8] [9] [10], o la selección de sitios para mejorar el crecimiento en altura, diámetro y la calidad de la madera, es decir, aumentar el volumen comercial por tipo de diámetro mínimo comercial [5] [4] [11]. Emplear prácticas silvícolas requiere de herramientas técnico-científicas de fácil aplicación que permitan planificar los procesos de producción [5] e incrementar la confiabilidad en las estimaciones [12].

Determinar el volumen comercial total es insuficiente para garantizar la óptima planificación de negocios forestales, pero conocer el volumen de los posibles productos comercializables se vuelve necesario [13]. La tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial o tabla de cubicación del árbol es el término empleado para resumir la cantidad de madera negociable, con base en una lista de posibles usos según sus dimensiones [3] [14] [5] [13]. Es la herramienta técnica ideal para planificar estratégicamente el manejo de la masa forestal [13] y su principal objetivo es agregar valor a la materia prima [11] y precisar el cálculo del retorno financiero del rodal [14].

Debido a la importancia de entender la dinámica de la distribución del volumen por diámetro mínimo comercializable, y en ausencia de esta información para plantaciones clonales de *Tectona grandis*, se planteó el objetivo de generar una tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial para distintas etiquetas de índice de sitio (IS) para la Zona Norte de Costa Rica.

Materiales y métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el año 2016 en plantaciones clonales de *T. grandis* de diez años de edad en una finca privada de más de 70 ha, la cual, fue plantada y manejada en forma homogénea; la preparación del terreno incluyó rastra, se realizaron 2 raleos, enmiendas al suelo y control de malezas. El material clonal fue producido por la empresa y se utilizaron 20 genotipos.

El sitio se localiza en el distrito Pocosol, cantón San Carlos, provincia Alajuela, en la zona norte de Costa Rica, en las coordenadas geográficas 10°49'34,607" N y 84°25'45.287" O (Figura 1), a una altitud promedio de 100 msnm. La zona presenta un clima lluvioso, un promedio anual de precipitación de 3020 mm y una temperatura media de 26 °C. La topografía es moderadamente ondulada con pendientes de 15 y 30 %. En su mayoría,

los suelos son de tipo Ultisol, por lo general profundos y bien drenados, color rojo o amarillo y de baja fertilidad [8].

Índice de sitio (IS)

La empresa propietaria de las plantaciones aportó la base de datos con información dasométricas, obtenida por medio de la medición de parcelas permanentes de monitoreo (PPM). De estas se determinó la altura dominante como el promedio de la altura total (At) del 10 % de los árboles más gruesos y más altos de cada unidad de muestreo [17]. Para ello, se eligieron árboles utilizando tanto el Dn como la altura total, y con ambos crear un índice que identificara los más gruesos y más altos.

Se le dio un peso en la ponderación de 30 % (Dn) y 70 % (At), de esta forma se evita utilizar árboles que fueran gruesos, pero bajo o altos pero delgados, es decir, árboles gruesos pero bajos o árboles altos pero delgados. Para utilizar el índice, creado, se reordenaron los árboles de mayor a menor, con base en la altura total, luego se promedió la altura de los árboles que representan el 10 %. El IS se determinó al contrastar la altura dominante obtenida para cada lote con las curvas de IS desarrolladas por [17] para Costa Rica a una edad base de dieciséis años.

Selección de árboles para calcular el volumen

Inicialmente, se seleccionaron en forma aleatoria 2 parcelas para cada IS; sin embargo, encampo se

decidió eliminar una parcela del IS con la etiqueta de 21 m debido a la poca homogeneidad del lote donde se ubicaba. Se determinó en oficina la cantidad de árboles en una distribución diamétrica de 3cm para cada PPM. Se localizó en campo las PPM para marcar y cortar los árboles de la muestra.

En total se cortaron 266 árboles, 119 para IS27, 119 para el IS24 y 28 para el IS21. Antes de derribar cada árbol, se midió su Dn y se hizo una marca en el fuste a esta altura; posterior, se midió el diámetro en centímetros a la base a 10 cm del suelo, y a partir de este punto cada 1.5 m hasta el ápice. Además, se midió la altura comercial en metros (Ac) hasta un diámetro mínimo de 15 cm con corteza (Figura 2).

Procesamiento de la información

El volumen del árbol se obtuvo mediante la hoja de cálculo de Excel, como la sumatoria del valor de cada segmento obtenido con la fórmula de Smalian (ecuación 1) y se clasificó según el diámetro mínimo utilizable de la siguiente manera: aserrío grueso ≥ 30 cm, aserrío delgado ≥ 20 y < 30 cm, tarima ≥ 12 y < 20 cm, leña ≥ 5 y < 12 cm y residuos < 5 cm. El volumen por árbol para cada uno de los diámetros mínimos considerados se agrupó en clases diamétricas de 1 cm y se calculó el promedio, con esta información se desarrolló la tabla distribución de volumen por diámetro mínimo comercial por IS.

$$Vm^3: \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{d_1+d_2}{2} \right)^2 * \pi/4 * l \right] \quad (1)$$

Donde:

V = volumen del árbol en metros cúbicos.

l = longitud del segmento en metros.

d_1 = diámetro con corteza en el extremo mayor de la troza, en metros.

d_2 = diámetro con corteza en el extremo menor de la troza, en metros.

Resultados

Estado silvicultural del ecosistema

En el IS con etiqueta de 27 m se observó una amplitud diamétrica de 19,3 cm y 11,2 m en altura total; mientras que para el IS de etiqueta de 24 m fue de 19 cm y 9,7 respectivamente, para lo que respecta IS con etiqueta de 21 m fue de 10,0 cm en diámetro y 8,6 en altura total (cuadro 1).

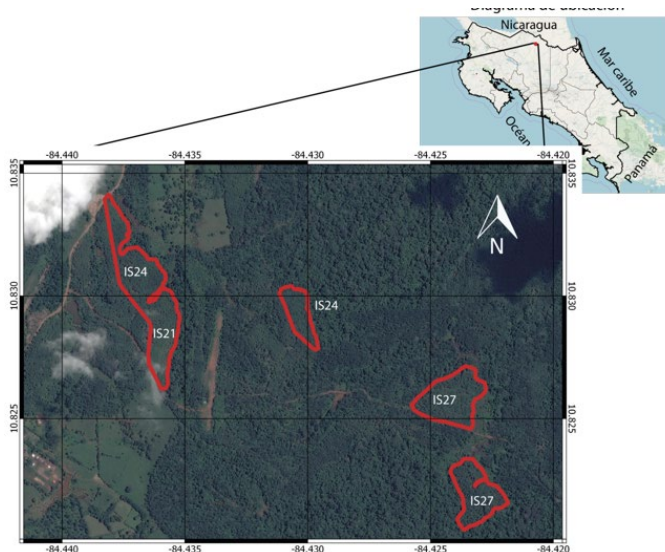


Figura 1. Ubicación de las plantaciones de teca evaluadas, Zona norte, Costa Rica.

Figure 1. Location of the teak plantations evaluated, Northern zone, Costa Rica.

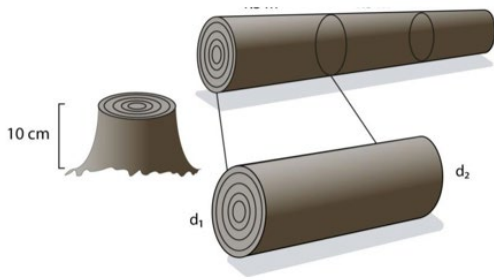


Figura 2. Cubicación de las trozas.

Figure 2. Logs cubing.

La mayoría de árboles se agruparon en la clase diamétrica de 20-25,9 cm con 65 árboles; 16-22,9 cm con 70 árboles, y de 12-14,9 cm con 14 árboles, para los IS de 27 m, 24 m y 21 m, respectivamente. (Figura 3).

Tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial

La distribución del volumen por diámetro mínimo comercial para árboles de *Tectona grandis* en las etiquetas de IS correspondientes a 27 m, 24 m y 21 m se presenta en los Cuadros 2, 3 y 4, respectivamente, de donde es posible obtener el volumen por producto durante su crecimiento con solo conocer el diámetro. La tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial se elaboró para un rango diamétrico de entre 9 cm y 33 cm y conforme el árbol crece en diámetro, aumenta el volumen de los productos de mayor valor y tamaño.

La tendencia de crecimiento es similar entre los sitios y la cantidad de residuos fue baja, menos del 10 % del volumen total. Árboles con Dn mayor a 10 cm tienen

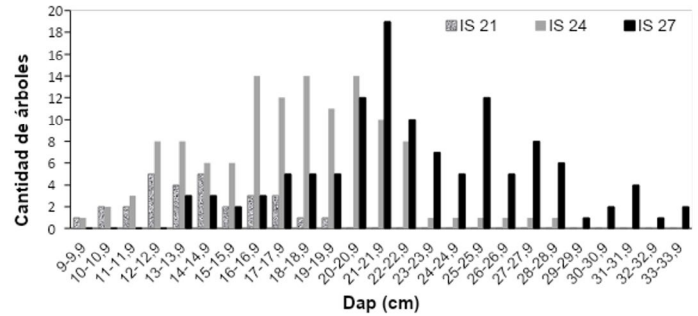


Figura 3. Distribución diamétrica de los árboles por índice de sitio.

Figure 3. Diametric distribution of trees by site index.

troncos con dimensiones adecuadas para madera de tarimas, este producto debería reducirse a partir de 20 cm, para dar paso a madera para aserrío delgado y grueso.

El aserrío delgado aparece en la clase diamétrica de 14,5 cm en todos los sitios. El aserrío grueso en el IS de 27 m representa entre el 5,2 % en árboles de 20 cm de Dn a 30,2 % cuando alcanza 34 cm. Este producto disminuye en etiqueta de IS 24 m y no se registra en la etiqueta de IS 21 m (Cuadros 2, 3 y 4).

La madera para leña y tarima en los Índices de sitio 24 m y 21 m representa el 88 % en las primeras clases diamétricas; baja a 36 % en el IS de 27 m a los 13 cm, y después de los 20 cm ambos productos simbolizan menos del 10 %.

Los productos de mayor valor económico (aserrío grueso y delgado) en los índices de sitio 27 m y 24 m, tienden a incrementar conforme el árbol crece en Dn, excepto para los Dn mayor a 29,5 cm donde se reduce el aserrío delgado, pero aumenta el aserrío grueso.

Cuadro 1. Estadísticos de las variables evaluadas en árboles de *Tectona grandis*. por IS.

Table 1. Statistics of the variables evaluated in *Tectona grandis* trees by SI.

Estadísticos/ Índices de sitio	27 m			24 m			21 m		
	Dn	At	VT	Dn	At	VT	Dn	At	VT
n	119	119	119	119	119	119	28	28	28
X	0,22	19,4	0,36	0,17	15,41	0,17	0,13	12,06	0,09
SD	0,04	2,09	0,04	0,03	2,22	0,07	0,02	2,11	0,04
CV	19,10	10,8	38,9	18,9	14,4	44,10	17,32	17,5	43,20
Mínimo	0,13	12,6	0,10	0,09	10,3	0,03	0,09	7,90	0,03
Máximo	0,33	23,8	0,70	0,28	20,0	0,47	0,19	16,5	0,20

n: tamaño de la muestra, X: promedio SD: desviación estándar, CV: coeficiente de variación (%), Dn (m), VT : volumen total (m³*árbol⁻¹), At: altura total (m).

Cuadro 2. Distribución del volumen por diámetro mínimo comercial de *T. grandis* a los diez años en el IS 27, Zona Norte de Costa Rica.**Table 2.** Volume distribution by minimum commercial diameter of *T. grandis* at ten years in SI 27, in the Northern Zone of Costa Rica.

DN	HT	Aserrío grueso		Aserrío delgado		Tarima		Leña		Residuos		VT
(cm)	(m)	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)
13-13,9	16,4	0,000	0,0	0,002	1,5	0,077	59,8	0,047	36,2	0,003	2,5	0,129
14-14,9	14,1	0,000	0,0	0,000	0,0	0,081	67,8	0,035	29,4	0,003	2,8	0,119
15-15,9	14,4	0,000	0,0	0,014	11,8	0,072	61,3	0,028	24,1	0,003	2,8	0,117
16-16,9	16,8	0,000	0,0	0,012	7,1	0,112	66,9	0,042	24,9	0,002	1,1	0,167
17-17,9	17,7	0,000	0,0	0,022	11,5	0,132	70,1	0,031	16,6	0,003	1,7	0,189
18-18,9	18,6	0,000	0,0	0,036	16,0	0,155	68,3	0,034	14,9	0,002	0,8	0,227
19-19,9	19,5	0,000	0,0	0,047	18,4	0,161	63,8	0,043	16,9	0,002	0,9	0,253
20-20,9	18,3	0,015	5,2	0,068	23,5	0,170	58,7	0,034	11,9	0,002	0,6	0,289
21-21,9	19	0,016	4,9	0,095	29,3	0,181	55,5	0,032	9,9	0,002	0,5	0,325
22-22,9	20	0,022	6,0	0,128	35,3	0,178	49,1	0,033	9,1	0,002	0,6	0,363
23-23,9	20	0,034	8,6	0,153	39,5	0,172	44,4	0,028	7,1	0,002	0,4	0,388
24-24,9	20,4	0,018	4,4	0,145	36,0	0,205	50,7	0,035	8,6	0,001	0,3	0,404
25-25,9	20,4	0,042	9,5	0,198	44,6	0,176	39,5	0,027	6,0	0,002	0,5	0,445
26-26,9	20	0,048	10,4	0,246	53,2	0,142	30,6	0,025	5,4	0,002	0,4	0,462
27-27,9	20,8	0,067	13,4	0,280	56,1	0,125	25,1	0,025	5,0	0,002	0,4	0,499
28-28,8	21,3	0,085	15,2	0,331	59,3	0,112	20,1	0,028	5,0	0,002	0,4	0,558
29-29,9	22,3	0,103	16,4	0,439	70,0	0,050	7,9	0,033	5,3	0,002	0,4	0,627
30-30,9	21,7	0,139	21,6	0,350	54,3	0,136	21,1	0,017	2,7	0,002	0,3	0,646
31-31,9	21,5	0,158	25,3	0,321	51,5	0,119	19,1	0,024	3,8	0,002	0,3	0,623
32-32,9	20,9	0,172	27,7	0,301	48,4	0,124	20,0	0,023	3,7	0,001	0,2	0,621
33-33,9	20,3	0,187	30,2	0,282	45,5	0,126	20,4	0,023	3,6	0,001	0,2	0,619

Distribución del volumen por diámetro mínimo comercial por IS

El volumen de madera para tarima predomina en todos los índices de sitio, representa en promedio el 40 %. El volumen para el diámetro mínimo comercial para aserrío grueso posee mayor valor en el mercado y solo aparecen en los índices de 27 m y 24 m, con 9 y 3 %, respectivamente. El aserrío delgado presentó 35 % y 24 % en ambos IS (Figura 4).

El volumen para aserrío delgado aumentó rápidamente con la calidad de sitio, representó el 8 % y 33 % para el IS de 21 m e IS de 27 m, respectivamente. La leña acumula un 27 %, 42 % y 11 % en los índices de 24 m, 21 m y 27 m. El volumen de residuos en los tres IS fue menor al 3 %.

Discusión

Estado silvicultural del ecosistema

Los árboles en el IS de 27 m se concentran en un rango diamétrico de 20 cm a 25 cm con 65 árboles, similar a lo que reportó [3] en plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica, donde la mayor abundancia tuvo un Dn de 20 a 24,9 cm; pero diferente de [18] quién reportó que la mayoría tenían un Dn de 15 a 20 cm en plantaciones clonales de 3 a 12 años. Según [4], en plantaciones de *Tectona grandis* de 16 años y en sitios de más alta calidad, la mayoría individuos tiene un diámetro de entre 20 cm y 30 cm, e indica que conforme aumenta la calidad de sitio, los árboles se concentran en las clases superiores.

El reducido número de árboles con diámetro mayor a 30 cm en este estudio, puede ser por su corta edad, lo cual coincide con lo reportado por [18] quien encontró pocos individuos en categorías diamétricas mayores a

Cuadro 3. Distribución del volumen por diámetro mínimo comercial de *T. grandis* a los diez años en IS 24, en Zona Norte de Costa Rica.**Table 3.** Volume distribution by minimum commercial diameter of *T. grandis* at ten years in SI 24, in the Northern Zone of Costa Rica

DN (cm)	HT (m)	Aserrío grueso		Aserrío delgado		Tarima		Leña		Residuos		VT
		(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)
9-9,9	10,2	0,000	0,0	0,000	0,0	0	0,0	0,034	88,4	0,004	11,6	0,038
10-10,9	13,1	0,000	0,0	0,000	0,0	0,011	17,0	0,048	76,3	0,004	6,7	0,063
11-11,9	12,7	0,000	0,0	0,000	0,0	0,015	22,5	0,047	72,3	0,003	5,2	0,065
12-12,9	12,5	0,000	0,0	0,000	0,0	0,031	40,9	0,042	55,3	0,003	3,9	0,076
13-13,9	13,2	0,000	0,0	0,000	0,0	0,05	53,5	0,04	43,1	0,003	3,3	0,093
14-14,9	13,1	0,000	0,0	0,001	0,8	0,064	64,0	0,032	32,3	0,003	2,9	0,100
15-15,9	14,3	0,000	0,0	0,003	2,3	0,081	68,0	0,032	26,9	0,003	2,8	0,119
16-16,9	14,7	0,000	0,0	0,013	9,3	0,09	63,1	0,036	25,5	0,003	2,1	0,142
17-17,9	15,7	0,000	0,0	0,02	11,4	0,117	67,8	0,033	18,9	0,003	1,8	0,173
18-18,9	15,8	0,000	0,0	0,032	16,6	0,124	64,5	0,034	17,5	0,003	1,5	0,193
19-19,9	16	0,003	1,5	0,042	19,4	0,134	62,7	0,033	15,2	0,003	1,3	0,215
20-20,9	16,5	0,000	0,0	0,058	24,5	0,146	61,5	0,031	13,1	0,002	0,9	0,237
21-21,9	17,3	0,014	4,8	0,095	33,4	0,148	52,0	0,025	8,7	0,003	1,1	0,285
22-22,9	17,2	0,007	2,5	0,105	36,9	0,141	49,5	0,029	10,1	0,003	1,0	0,285
23-23,9	16,3	0,000	0,0	0,090	37,3	0,123	50,9	0,027	11,0	0,002	0,8	0,242
24-24,9	19,7	0,014	3,6	0,165	43,6	0,173	45,6	0,025	6,6	0,003	0,7	0,380
25-25,9	19,8	0,025	6,3	0,202	50,8	0,146	36,6	0,022	5,6	0,003	0,6	0,398
26-26,9	19,9	0,037	8,8	0,240	57,4	0,119	28,5	0,020	4,8	0,002	0,6	0,418
27-27,9	20	0,048	11,0	0,277	63,5	0,092	21,0	0,017	4,0	0,002	0,5	0,436
28-28,9	20	0,060	12,5	0,314	66,1	0,065	13,6	0,035	7,3	0,002	0,4	0,476

Cuadro 4. Distribución del volumen por diámetro mínimo comercial de *T. grandis* a los diez años en el IS 21, Zona Norte de Costa Rica.**Table 4.** Volume distribution by minimum commercial diameter of *T. grandis* at ten years in SI 21, in the Northern Zone of Costa Rica

DN (cm)	HT (m)	Aserrío grueso		Aserrío delgado		Tarima		Leña		Residuos		VT
		(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)
9-9,9	9,8	0,00	0,0	0,000	0,0	0,001	2,9	0,031	88,6	0,003	8,6	0,035
10-10,9	11,1	0,00	0,0	0,000	0,0	0,011	20,8	0,039	73,6	0,003	5,7	0,053
11-11,9	9,4	0,00	0,0	0,000	0,0	0,014	28,6	0,033	67,3	0,002	4,1	0,049
12-12,9	10,3	0,00	0,0	0,000	0,0	0,026	40,0	0,037	56,9	0,002	3,1	0,065
13-13,9	10,9	0,00	0,0	0,000	0,0	0,041	50,6	0,038	46,9	0,002	2,5	0,081
14-14,9	13,1	0,00	0,0	0,009	8,0	0,066	58,9	0,035	31,3	0,002	1,8	0,112
15-15,9	14,7	0,00	0,0	0,006	4,6	0,081	62,3	0,041	31,5	0,002	1,5	0,13
16-16,9	13,6	0,00	0,0	0,019	14,7	0,072	55,8	0,036	27,9	0,002	1,6	0,13
17-17,9	13,4	0,00	0,0	0,026	17,2	0,090	59,6	0,033	21,9	0,002	1,3	0,151
18-18,9	14,9	0,00	0,0	0,037	20,5	0,112	62,6	0,028	15,7	0,002	1,1	0,178
19-19,9	16,5	0,00	0,0	0,047	22,9	0,133	64,9	0,023	11,2	0,002	1,0	0,205

25 cm, para plantaciones clonales de teca en el país, con edades desde uno hasta once años de edad, pero es inconveniente afirmar que esto sea consecuencia únicamente a la relación Dn versus edad, es bien conocida la estrecha relación que mantiene el desarrollo en diámetro ante cambios en la densidad o competencia del rodal [15]. A pesar de que las plantaciones evaluadas fueron igualmente manejadas; la variación del efecto del sitio, tratamientos silvícolas inadecuados, una mala selección de los árboles a extraer en los raleos, pudieron influir significativamente en la variación en el crecimiento diamétrico como ha sido reportado en otros estudios en teca [18] [19] [20] [16] [21].

Tabla de distribución del volumen comercial

Los árboles de mayor dimensión con $Dn \geq 25$ cm presentan todos los productos comerciales, estos disminuyen conforme baja el Dn. El diámetro al cual se obtiene aserrío grueso es menor al reportado por [3], quien determinó que es a partir de 30 cm. Sin embargo, cada vez que el árbol alcanza las dimensiones para un producto de mayor valor por su tamaño, tienden a disminuir los de menor dimensión, lo que hace que el rodal adquiera mayor cuantía monetaria. Esta tendencia fue descrita por [3] para *Tectona grandis* en el pacífico de Costa Rica, este autor encontró que el volumen para aserrío delgado disminuyó a partir del momento en que se registró mayor proporción de volumen para aserrío grueso.

En Brasil [5] para árboles con diámetro mayor a 30 cm obtuvo tres de los cinco productos comerciales evaluados, y hasta los 58 cm registró volumen para todos los otros dos, lo cual ratifica el patrón de que el rodal se diversifica con el crecimiento en diámetro. Para *Pinus taeda* [11] [15] [16], observaron una tendencia similar en la evolución de los productos, la madera destinada para aserrío aumentó con la edad, al incrementar el diámetro. [22] determinaron que el volumen total de un árbol de Araucaria con Dn de 20 cm y 10,4 m de altura, clasifica 100 % para el producto de menor valor que corresponde por lo general a madera para energía, mientras que uno con 78 cm y 20 m de altura posee el 1,1 % para energía y el 90 % corresponde a los productos de mayor valor.

En una de tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial para Eucalypto, [14] mostró la evolución del diámetro y determinó que los individuos con dimensiones mayores presentan mejores posibilidades de diversificar su comercialización; en clases de diámetro más pequeñas, la mayor proporción de la madera se destina a pulpa y energía; mientras que los troncos de mayor diámetro son utilizados para productos de mayor valor, con un bajo volumen de residuos, madera para energía y pulpa. En este estudio al superar un diámetro

de 30 cm, los árboles aportan materia para aserrío grueso 21,6 % y aserrío delgado 54,3 %, y un porcentaje muy bajo para productos como leña 2,7 %, similar a lo obtenido por [3] para los mismos productos. Las clases diamétricas superiores son más productivas en aserrío grueso, lo cual muestra el potencial valor económico que puede tener la madera de teca conforme aumenta en diámetro.

La diversidad de productos comerciales de las plantaciones durante su crecimiento, amplía los posibles mercados a acceder, y potencia el ingreso económico, esto lo ratifica [12], quien obtuvo un incremento de 65 % en los ingresos, al convertir el cultivo en multiproductos, comparado con el ingreso promedio de un rodal con un solo producto. [3], Señalan que, a través de la tabla de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial, el volumen para productos como leña y postes, cobra importancia al cuantificar la dimensión real de su aporte, sobre todo en las primeras clases de diámetro; lo que aumenta el valor económico del rodal, ya que, por lo general, no se incluye dentro del valor del sistema, al utilizar métodos que solo cuantifican el volumen total como tablas y ecuaciones de volumen.

Distribución del volumen por diámetro mínimo comercial por IS

Los árboles en sitios con etiqueta de IS inferior se vieron limitados para generar diámetros mínimos con mayor valor de mercado, o bien, requieren de más tiempo para lograrlo, lo cual refuerza la afirmación de que los mejores sitios son más productivos, y, en consecuencia, generarán mayores ingresos. Los efectos del sitio son más evidentes al comparar la producción es decir el volumen de madera entre índices de sitio.

Al respecto [5] concluyó que, uno de los productos de más valor, solo se presentó en los índices de sitio de mayor calidad y [23] menciona que el volumen total en *Tectona grandis* es dependiente y directamente proporcional a factores como la calidad de estación. En esta misma línea [5] observó que la distribución del volumen para *Tectona grandis* en Brasil registró una fuerte variabilidad índices de sitio, en la misma clase diamétrica; atribuible al hecho que la forma del árbol se ve afectada por el crecimiento y medio ambiente, por lo tanto, árboles del mismo Dn, en diferentes sitios, no tienen la misma forma del tronco. Resultados similares fueron registrados por [11], quienes afirman que los mejores sitios producen mayores registros en menor tiempo y por ende mayor variedad de los productos.

Conclusiones

Los índices IS de 27 m y 24 m producen madera para cinco de los diámetros mínimos comerciales de aserrío grueso y delgado, tarima, leña y residuos, mientras que el IS 21 m solo madera para aserrío delgado, tarima, leña y residuos.

La calidad de estación de las áreas forestales en donde se desea establecer plantaciones comerciales influye en la dinámica de distribución de los productos comerciales, por tanto, la determinación de los rendimientos en los diferentes índices de sitio es crucial para la planificación estratégica del manejo forestal.

Las tablas de distribución del volumen por diámetro mínimo comercial por IS, son una herramienta fácil de aplicar para determinar la producción en plantaciones jóvenes de *Tectona grandis*, y con solo medir el diámetro se puede conocer con facilidad la distribución del volumen por diámetro mínimo comercial de los árboles individuales.

Con fin de obtener productos de alto valor en los sitios más productivos, se recomienda intensificar la evaluación de los sitios a plantar para ubicar la plantación en los lugares de mayor rendimiento según los objetivos planteados.

Referencias

- [1] R. A. Madeiros, H. Nogueira, F. Siqueira y H. Garcia, "Growth and yield of teak stands at different spacing", *Pesq. Agropec. Bras. Brasília*, vol. 53, no. 10, Oct., pp. 1109-1118, 2018.
- [2] INEC (Instituto Nacional de Estadística y censos), VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales 2015. Disponible en: <http://inec.cr/documento/cenagro-2014-cultivos-agricolas-total-de-fincas-con-cultivo-de-teca-por-extension-sembrada>. [Último acceso: 03 02 2018].
- [3] F. Mora y W. Hernández, "Estimación del volumen comercial por producto para rodales de teca en el Pacífico de Costa Rica", *Agronomía Costarricense*, vol. 31, no.1, Mar., pp. 101- 112, 2007.
- [4] C. M. Cometti, "Estruturação da produção de *Tectona grandis* Linn f. em Mato Grosso, Santa Maria", Dr. Tese, Universidade Federal de Santa Maria Santa Maria, RS, 2018.
- [5] K. Da Rocha, "Afilamento e otimização de sortimentos de *Tectona grandis* Linn f. para maximização do volume e da renda, Santa Maria, 2018," Dr. Tese, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.
- [6] D. D. Armijos, "Construcción de tablas volumétricas y cálculo de factor de forma (ff.) para dos especies, teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en tres plantaciones de la empresa Reybanpac ca rn la provincia de Los Ríos. Ecuador," Tesis de Licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba, 2013.
- [7] S. Molina, C. Alfaro, O. Murillo, Y. Badilla, R. Luján, "Evaluación del comportamiento de clones de *Tectona grandis* L.f. en suelos vertisoles de la Península de Nicoya, Costa Rica," *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol.16, no. 38, pp. 24-34, 2018.
- [8] E. González, "Determinación del momento óptimo de cosecha final en una plantación de *Tectona grandis* de la zona norte de Costa Rica," M. S. Tesis, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR, 2014.
- [9] S. Kohler, H. Kohler, A. Figueiredo, J. E. Arce y S. Do Amaral, "Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina, " *Floresta*, vol. 45, no. 3, Jan., pp. 545-554, 2015.
- [10] Y. Badilla y O. Murillo, "Ganancia realizada en plantaciones clonales de teca en Costa Rica", presentado en I Simposio Internacional GENFORES, Cartago, Costa Rica, 2017.
- [11] S. Kohler, N. Wolff, A. Figueiredo y J. E. Arce, "Dynamic of assortment of *Pinus taeda* L. plantation in different site classes in Southern Brazil", *Sci. For.*, vol. 42, no. 103, pp. 403-410, 2014.
- [12] B. P. Furtado, D. H. Breda, M. Lopes da Silva, H. Garcia y M. L. Marques da Silva, "Conversão de árvores em multiprodutos da madeira utilizando programação inteira", *Revista Árvore*, vol. 37, no. 5, Aug., pp. 881-887, 2013.
- [13] J. Hernández, A. Hernández, X. García, J. Tamarit, L. Martínez y J. García, "Ecuaciones de Volumen total y de razón para estimar el volumen comercial de *Swietenia macrophylla* King," *Colombia Forestal*, vol. 21, no. 1, Jan., pp. 34 – 46, 2018.
- [14] M. Aguiar, "Sortimentos de eucalipto na Região centro-oeste de Mato Grosso," M. S. Tese, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2019.
- [15] P. S. Pigatto, "Estrutura bi econômica da produção no manejo da densidade de *Pinus taeda* L. na região do planalto catarinense," Dr. Tese, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.
- [16] S. V. Kohler, "Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina, Mato Grosso, Brasil," M. S. Tese, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- [17] F. Mora y V. Meza, "Curvas de índice de sitio para Teca (*Tectona grandis* Linn.) en la Vertiente del Pacífico de Costa Rica, Posibilidades y perspectivas para su desarrollo," Seminario y Grupo de Discusión Virtual. [CD-ROM], Heredia, 2013.
- [18] J. Fallas, "Funciones alométricas, de volumen y de crecimiento para clones de teca (*Tectona grandis* L.f) en Costa Rica," M. S. Tesis, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, 2017.
- [19] E. Vaides, L. Ugalde, G. Galloway, "Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala," *Recursos Naturales y Ambiente*, no. 46-47,

Apr., pp. 137-145, 2004.

- [20] A. Barboza, "Uso da programação linear como suporte de decisão para regimes de manejo de teca (*Tectona grandis* L. f.)," Tesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.
- [21] A. Libanio, Pelissari, M. Roveda, S. F. Caldeira, C. R. Sanquetta, A. P. Dalla, C. Krulikowski, "Geostatistical modeling of timber volume spatial variability for *Tectona grandis* L. f. precision forestry", CERNE, vol. 23, no.1, Mar., pp. 115-122, 2017.
- [22] E. A. Costa, C. A. Guimarães, P. R. Schneider, A F. Hess, "Função de afilamento e sortimentos de madeira para *Araucaria angustifolia*," *Ciência Florestal*, vol .26, no.2, Jun., pp. 523-533, 2016.
- [23] ISTF, (Sociedad Internacional de Forestales Tropicales), Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos, 2009. [Online], Disponible en http://www.istf-bethesda.org/specialreports/teca_teak/teca.pdf