

***“Productividad y cuantificación económica de los productos de raleos en Turrialba, Costa Rica.*”**

Erasm<sup>o</sup> Otárola A.  
Luis A. Ugalde A.

**Palabras claves:** Productividad, raleos, productos, postes, índice de sitio, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus deglupta*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus oocarpa*, predicción, modelos.

Para hacer factible y atractivo el manejo en lo referente a aclareos, los finqueros y empresas dueñas de plantaciones, requieren resarcirse de los gastos que implican estas intervenciones, por lo que, aprovechamiento, cuantificación y comercialización de productos resultantes de los raleos son muy importantes en este aspecto. Experiencias en otros países con mayor tradición forestal revelan que un elevado porcentaje del valor total y del volumen producido durante el turno de una plantación, puede ser extraído en los raleos.

El objetivo general de esta investigación fue la cuantificación económica, la predicción del crecimiento en pie y el rendimiento en producto de raleos, en plantaciones forestales de los géneros *Pinus*, *Cupressus* y *Eucalyptus* establecidas bajo diferentes condiciones en Turrialba, Costa Rica.

Se plantearon como objetivos específicos la clasificación de las plantaciones de la zona por crecimiento y por productividad, el análisis de las variables de sitio y suelo que influyen sobre la productividad en términos de calidad de sitio de las plantaciones.

Además se estimó el rendimiento total de estas plantaciones utilizando modelos sencillos del rendimiento por hectárea y se realizó una valoración y análisis financiero de los productos de raleos y cortas totales a fin de proporcionar a los técnicos forestales y finqueros reforestadores una herramienta de decisión para apoyar las prácticas silviculturales, que permita analizar con mayor objetividad los posibles beneficios y costos del raleo, así como optimizar la producción de los raleos de acuerdo a sus objetivos.

Uno de los objetivos específicos más importantes fue la identificación y evaluación de parámetros críticos que puedan inferir en la sensibilidad de un modelo para predecir el rendimiento en productos provenientes del raleo en plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus*. En

base a estos se desarrolló un programa computadorizado para predecir el rendimiento en productos provenientes de raleos a diferentes intensidades de estas plantaciones.

Se establecieron parcelas de evaluación en plantaciones de *E. deglupta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *P. oocarpa* y *C. lusitanica* en diferentes sitios del Cantón de Turrialba, de acuerdo a la metodología MIRA, en estas se tomaron los valores dasométricos usuales y se evaluó el desarrollo de estas plantaciones.

Se evaluaron factores químicos del suelo a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm (pH, Ca, Mg, P, K, M.O. Acd. Ext.) y físicos (% de Arena, Arcilla y Limo, Textura).

En las parcelas se realizaron raleos al 50% en número de árboles, los árboles raleados fueron trozados de manera que se maximizó el rendimiento en volumen de productos (diferentes medidas para postes de cerca y construcción, postes de electrificación, trozas para tarimas, leña, etc.), se anotaron el número y tipo de producto obtenido de cada árbol. Para el análisis financiero se tomaron tiempos y movimientos de cada proceso de esta faena de raleo, así como costos de insumos y mano de obra.

**Cuadro 1** Dimensiones de los productos que se cuantificaron en los raleos

Dimensiones	Postes de Cerca y construcción	Postes electrificación	Trozas de Tarimas	Leña	Trozas Aserrío
Diámetro medio (cm)	3.8, 6.4, 8.90, 11.4, 14, 16.5, 19.1	23, 25, 27, 29, 31	>15	5, 10, 15, 20, 25, 30	>25
Largo (m)	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	8.15, 9.65, 11.2, 12.7, 14.25.	5.28, 4.10	1.00	3.36

Se crearon tres bases de datos una para los promedios de crecimiento y rendimiento del rodal, para los datos económicos y otra de productividad en donde se separaron los productos por clase diamétrica de dos centímetros.

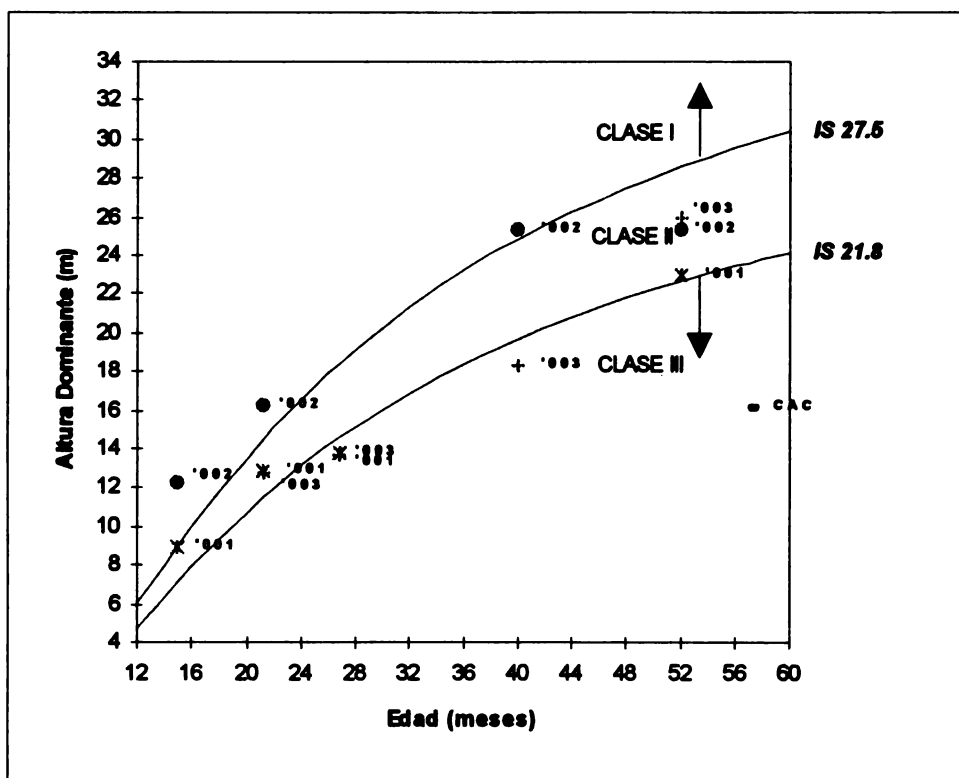
Se clasificaron por índice de sitio y por productividad en base al incremento medio anual en volumen los lotes evaluados en cada especie, en *P. oocarpa* se desarrollaron modelos de índice de sitio para realizar la clasificación pues no existía en la literatura esta información.

**Cuadro 2.** *Ámbito de valores del índice de sitio y número de cinco especies del estudio en Turrialba, Costa Rica.*

observaciones para las

<b>Ámbito</b>	<b><i>C. lusitanica</i></b>	<b><i>P. oocarpa</i></b>	<b><i>E. grandis</i></b>	<b><i>E. deglupta</i></b>	<b><i>E. saligna</i></b>
<b>N</b>	20	25	15	13	10
<b>Min</b>	21.81	19.22	19.53	14.89	21.27
<b>Max</b>	32.22	33.22	29.76	37.66	28.92
<b>Media</b>	27.97	24.25	24.51	24.67	25.31
<b>Dev. Std.</b>	2.38	3.83	3.22	5.67	2.58

Se trazaron curvas anomórficas de índice de sitio que definieran los límites de las clases de sitio, esto con la finalidad de ubicar gráficamente los lotes evaluados de cada especie, en la figura 1 se presenta un ejemplo para la especie *E. deglupta*.



**Figura 1.** Curvas de índice de sitio y clases de sitio para plantaciones de *Eucalyptus deglupta*, a una edad base de 4 años en Turrialba, Costa Rica.

Los valores promedios de crecimiento y productividad para cada especie y cada clase de índice de sitio se presentan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3 Promedios de productividad y crecimiento por clase de índice de sitio y por especie**

Especie	Clase	Edad (años)	N2 (ha)	DAP (cm)	Htotal (m)	Abasal (m <sup>2</sup> /ha)	VTcc (m <sup>3</sup> /ha)	DAP (cm)	Htotal (m)	Hdom (m)	AB (m <sup>2</sup> /ha)	VTcc (m <sup>3</sup> /ha)	IS (m/año)
C. lusitanica	I	11.40	399	25.95	18.66	19.24	147.59	2.18	1.66	2.04	1.67	12.88	1.57
	II	9.16	759	18.99	14.25	20.32	123.35	2.10	1.58	1.99	2.31	13.65	1.39
	III	8.10	847	16.43		18.65	100.40	2.03	1.55	1.82	2.34	12.60	1.27
E. deglupta	I	1.90	1367	10.30	12.736	10.19	75.42	4.72	5.93	8.48	4.80	30.79	7.78
	II	3.31	1114	12.66	16.55	12.24	112.48	4.03	5.22	6.34	4.04	33.03	6.01
	III	3.14	1230	12.57	14.09	13.76	93.51	3.92	4.51	5.29	4.37	25.80	4.76
E. saligna	I	6.38	775	16.47	20.22	16.67	165.93	2.59	3.20	4.61	2.59	26.50	4.66
	II	7.43	655	16.02	19.22	15.88	158.20	2.26	2.66	3.83	2.14	20.54	4.10
	III	7.43	384	16.96	19.65	17.23	154.89	2.33	2.76	3.54	2.60	23.00	3.74
E. grandis	I	4.26	883	16.87	21.47	22.17	245.77	3.97	5.03	6.72	4.50	49.50	7.08
	II	5.34	601	20.83	24.57	24.52	223.56	3.94	4.65	5.66	3.77	40.84	6.26
	III	3.03	671	11.20	12.36	7.24	45.45	3.64	4.04	5.28	2.31	14.29	5.20
P. cocarpa	I	9.67	855	19.38	14.69	25.44	227.82	2.01	1.49	2.71	2.67	21.85	2.14
	II	9.57	777	19.80	13.64	22.85	183.07	1.99	1.39	2.53	2.43	18.17	1.95
	III	11.32	709	20.05	14.67	23.81	204.20	1.80	1.27	2.05	2.12	16.83	1.82

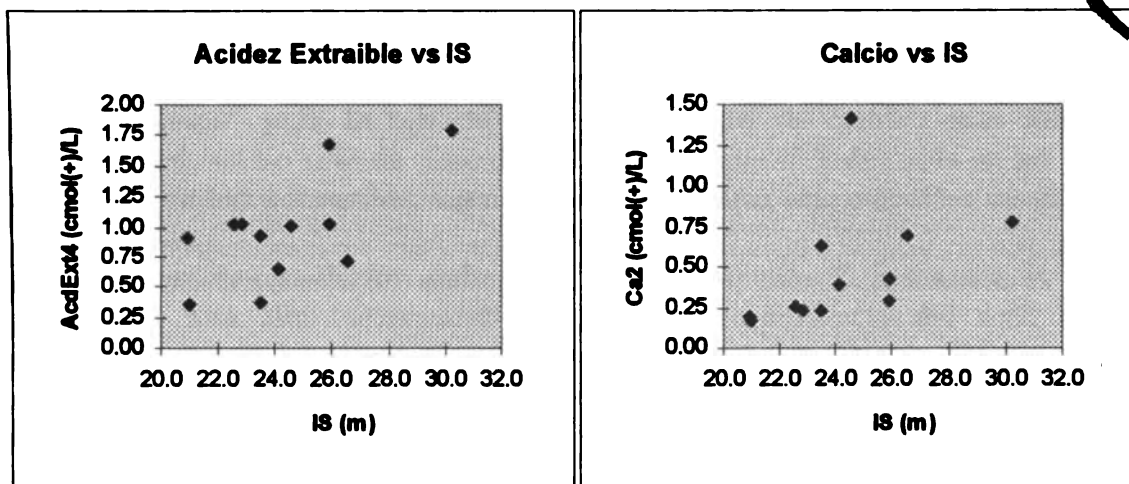
En el cuadro 3 se puede observar que la especie que ha alcanzado mayor productividad en la zona de Turrialba fue E. grandis, en segundo lugar estuvo E. deglupta.

Se encontró para las especies C. lusitanica y E. saligna que la clasificación por índice de sitio no coincidió con la clasificación por productividad, siendo esta última más adecuada para estratificar las plantaciones para la producción.

Los resultados más importantes que se obtuvieron en esta investigación se presentan a continuación:

Sin importar, el sitio para las cinco especies del estudio con edades que varían entre 3 y 15 años y con intensidades de raleo de 50+/-5% en número de árboles, se tuvo en promedio de 57 a 75% de aprovechamiento en volumen como producto en forma de postes de cerca y construcción, postes de electrificación, trozas de tarima y leña.

Las variables químicas más relacionadas con el índice de sitio en la zona de Turrialba fueron: para C. lusitanica: el calcio superficial intercambiable, para E. grandis la materia orgánica a las dos profundidades evaluadas (0-20 y 20-40 cm). El crecimiento de E. saligna estuvo mejor explicado por el potasio a una profundidad de 20-40 cm. Para P. oocarpa el factor químico más relacionado al índice de sitio fue la acidez extraíble y el calcio que la explicaron en un 87%. En la figura 1 se presenta un ejemplo de la relación de la acidez extraíble y el calcio con el crecimiento de P. oocarpa expresado en forma de índice de sitio.



*Figura 2. Relación de acidez extraíble a la profundidad (20-40) y el calcio superficial con el índice en plantaciones de Pinus oocarpa en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.*

Los factores físico-edáficos que tuvieron un mayor índice de correlación con el índice de sitio fueron: en *C. lusitanica* el porcentaje de arena, (correlación negativa). En la especie *E. grandis* fue el porcentaje de limo, los factores físicos no explicaron significativamente el índice de sitio para la especie *E. saligna*, del mismo modo para *P. oocarpa*.

Se desarrollaron ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza a diferentes diámetros mínimos para las especies de *P. oocarpa* y *E. saligna* probando quince modelos de regresión para cada tipo de volumen con la finalidad de evaluar el rendimiento entre estos.

El costo directo más significativo en la corta total de plantaciones de *P. oocarpa* a los 12 años fue el acarreo con bueyes que significa casi un 50% en promedio sobre los costos totales de esta actividad. En el aserrío para tarimas, la mano de obra directa representa el costo más importante, con 42% de los costos totales de aserrío.

Los rendimientos de aprovechamiento de la madera en plantaciones de *P. oocarpa* desde volumen en pie hasta producto acabado fueron: incluyendo sólo piezas de tarima, 11.5% y si a estas se le incluye postes de cerca y el rendimiento aumenta al doble.

La rentabilidad del aprovechamiento total para producir tarimas tiene una relación directa con la calidad y productividad del sitio para plantaciones de *P. oocarpa*, así para plantaciones de 12 años en clase de sitio alta se obtuvo un VAN para una tasa real de actualización de 5%, de 600 000 colones con un TIR mayor al 15% mientras que en un sitio de clase baja se obtuvo 190 000 colones por hectárea con un TIR de 9%.

**El análisis financiero reveló que para aprovechamientos que tuvieron como producto prioritario tarimas, los rubros que con más sensibilidad afectan la rentabilidad son los ingresos relacionados directamente con los precios de ventas de las tarimas, sin embargo sitios "buenos" para la especie, permiten rangos de cambio más altos manteniendo su rentabilidad, así un sitio de clase de sitio alta permite 43% de caída en los precios, mateniendo una rentabilidad permisible, mientras que sitios bajos sólo permiten un 22% como máximo.**

**Las matrices de correlación elaboradas para las especies *C. lusitanica*, *E. grandis* y *E. saligna* mostraron una alta correspondencia entre la importancia del área basal de una clase diamétrica (área basal relativa en porcentaje) y el volumen de productos de similares dimensiones en diámetro, algunos productos como la leña dependen también de valores como el rendimiento del aprovechamiento (con correlación negativa), en el caso de postes de electrificación fue la altura promedio.**

**Se encontró que fue posible predecir mediante parámetros críticos de alta sensibilidad volúmenes relativos de tipos de productos de raleos como postes de cerca y construcción, postes de electrificación, leña y trozas para tarimas con errores de estimación de 4% para la especie *P. oocarpa*, para *E. grandis* el error fue de 5.86% y para *E. saligna* el error de estimación por verificación fue sólo 1% para el volumen total de productos. El producto más difícil de estimar por el modelo fue leña pues depende de factores no relacionados directamente con las clases diamétricas, existiendo errores extremos de su estimación de hasta 50% en el caso de *E. saligna*.**

**Se desarrolló un modelo de predicción de volúmenes y número de piezas de producto resultantes de raleos a diferentes intensidades, utilizando el programa Excel de Microsoft y factores de alta sensibilidad, como áreas basales relativas de clases diamétricas, porcentaje de aprovechamiento, intensidad de raleo, volumen total por hectárea entreo otros. Este modelo usa como insumos los diámetros y áreas efectivas de parcelas de calibración de 50 a 81 árboles, también es necesario señalar los árboles a ralearse e indicar la altura dominante con el objetivo de clasificar la plantación por índice de sitio y productividad.**

**Los resultados que presenta este modelo son los valores promedios de crecimiento y productividad de la plantación antes y después del raleo, la clasificación por índice de sitio y por productividad para la zona de Turrialba, datos sobre la intensidad del raleo en volumen, área basal y número de árboles. Índice de Hart, DAP esperado al final del turno o al final de este ciclo de manejo para intensidad de raleo aplicado, recomendación acerca de la intensidad de raleo aplicada. Distribución de frecuencias gráficas antes y después de la aplicación del raleo.**

En el cuadro 4 muestra un ejemplo para la zona de Pavones en Turrialba de los resultados productividad y crecimiento del modelo computadorizado de E. saligna el modelo también clasifica la plantación por la productividad e índice de sitio para la zona de Turrialba, en el ejemplo Pavones pertenece a una clase de sitio alta pero a una clase de productividad baja.

**Cuadro 4** Ejemplo de resultados parciales del modelo computadorizado de predicción del rendimiento de productos del raleo de una parcela de calibración en la zona de Pavones en Turrialba, Costa Rica.

	Ant. Raleo	Desp. Raleo	IMAS		Sugerencia sobre el raleo
Arb/ha:	807	391	IMA (vol m3)	18.01	Aumentar la Intensidad! del raleo o realizar un nuevo raleo dentro de: 1.37 años
AB/parc:	0.77	0.51	IMA (Alt m)	3.64	
AB/ha:	10.06	6.67	IMA (AB m2)	2.08	
Volple/parc:	6.68	4.66	IMA (DAP cm)	2.40	
Volple/ha:	86.97	60.65	IMAS (m)	4.61	
Dist Prom:	3.78	5.44	EDAD	4.83	
Alt Prom:	17.58	21.16	%Sobrev:	72.94	
DAP Prom:	11.60	14.10	IS	27.69	
DAP Desv:	6.52	7.29	DAP Prom		
S%	15.44	22.19	Esperado*:	18.11	
<b>Intensidad de Raleo</b>					
Por arb(%):	51.61	N° Arb/ha:	416.67	Clase de Sitio:	ALTA
Por AB(%):	33.74	AB Ral/ha:	3.40	Clase de Productividad:	BAJA
Por Vol(%):	30.26	Vol Ral/ha:	26.32		

Los resultados más importantes del sistema son la productividad, pues el modelo computadorizado también estima el volumen total de productos obtenidos para la intensidad de raleo escogida, el volumen de cada tipo de producto que incluye, postes de cerca y construcción de diferentes dimensiones leña y tarimas en el caso del modelo de Pinus ocarpa. Además aproxima el número de piezas de cada producto por hectárea y los ingresos que se pueden obtener por la venta de estos, el modelo de P. ocarpa además calcula los costos de extracción de los raleos de acuerdo a las condiciones de sitio como diferentes pendientes y distancias de arrastre. En el Cuadro 5 se aprecia la salida del modelo computadorizado que proporciona los datos sobre el rendimiento en productos de raleo, para el ejemplo, en la misma zona que el resultado parcial anterior, se puede apreciar que el producto de mayor volumen estimado es postes de cerca y construcción de 4 a 5 pulgadas de diámetro medido en el centro, obteniéndose hasta 5m<sup>3</sup> por hectárea de este producto a la intensidad de raleo aplicada (51.6% en selección). La leña que se puede obtener es 1.7m<sup>3</sup>/ha y los ingresos por la venta, puesto en el patio de la planta de preservación, de estos productos es de casi 39000 colones.

**Cuadro 5 Ejemplo de resultados del modelo computadorizado en número y volumen de tipos de productos por hectarea para raleos al 51.6% de intensidad en n° árboles de *E. saligna* en el lote Pavones, Turrialba, Costa Rica.**

de

Tipo de Producto		N° de Productos			Ingresos
Postes	Volumen	2 m	4 m	8 m	*Colones
1-2"	0.063	26			157.52
2-3"	2.449	55	164		6123.57
3-4"	3.576		144		8938.96
4-5"	5.235		127		13086.64
5-6"	3.746			31	9364.82
6-7"	0.026			0	65.78
7-8"	0.000			0	0.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>15.095</b>	<b>81</b>	<b>435</b>	<b>31</b>	<b>37737.29</b>
Leña		N° de Productos		Ingresos	
5 cm	0.477	243	Volumen de Prod		310.19
10 cm	0.966	123	Total m3 16.84		627.83
15 cm	0.305	17	Numero de piezas		198.51
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1.749</b>	<b>383</b>	Total N° 930		<b>1136.53</b>
<b>INGRESOS TOTALES</b>					<b>38873.82</b>

\* Ingresos con productos puestos en el patio de la planta de preservación, secos y descortezados