

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
(EDECO)

ESCUELA DE POSTGRADO

PRODUCTIVIDAD Y CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DE LOS PRODUCTOS
PROVENIENTES DE RALEOS EN PLANTACIONES FORESTALES DE
Eucalyptus, Pinus, Cupressus EN TURRIALBA COSTA RICA.

Tesis sometida a consideración por el Comité Técnico Académico y Capacitación del
Programa de Enseñanza de Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro
Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Para optar el grado de:

Magister Scientiae

por:

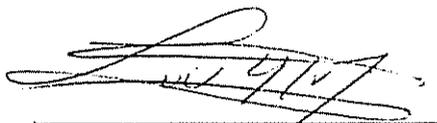
ERASMO OTAROLA ACEVEDO

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1996

Esta Tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Área de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado:

MAGISTER SCIENTIAE

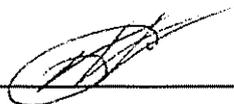
FIRMANTES:



Luis Ugalde, Ph.D.
Profesor Consejero



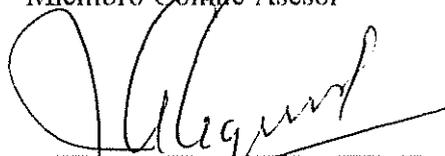
José Arze, Msc.
Miembro Comité Asesor



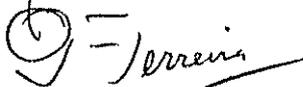
Willian Vásquez, Msc.
Miembro Comité Asesor



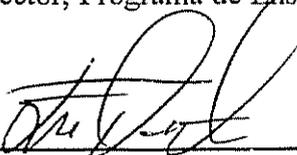
Manuel Gómez, Msc.
Miembro Comité Asesor



Juan Antonio Aguirre, Ph.D.
Jefe Área de Postgrado



Pedro Ferreira, Ph. D.
Director, Programa de Enseñanza



Desiderio E. Otárola A.
Candidato

DEDICATORIA

A la Memoria de mi Padre:

Próspero Serafín

Mi Luz, mi esperanza.

a mi madre y hermanos

A Fabiola, mi esposa.

AGRADECIMIENTOS

El autor manifiesta un sincero agradecimiento a:

Al Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), por darme la oportunidad de realizar a satisfacción mis estudios de Postgrado

A la Agencia Española de Cooperación Internacional por su decisivo apoyo en el financiamiento de mis estudios.

Al Dr. Luis Ugalde, mi profesor consejero, por su ayuda incondicional y su amistad.

A los miembros de mi comité, Sr José Arce, Sr. William Vásquez, Sr. Manuel Gómez por sus excelentes aportes al estudio.

Al Centro Agrícola Cantonal de Turrialba (CACTU) por su apoyo en el trabajo de campo y en el contacto con las fincas, en especial al Ing. Rolando Camacho.

A la Finca del CATIE, La Fortuna y Hda. Juan Viñas por el apoyo.

Al Sr. Gerardo Molina por su valioso trabajo y experiencia.

A todo el personal de Postgrado.

A todo el personal de la Biblioteca Orton.

A todos los que de alguna forma participaron en la elaboración de este trabajo

A los compañeros de estudio.

GRACIAS

Tabla de contenido

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 Objetivos específicos | 14 |
| 3. HIPÓTESIS DE TRABAJO | 14 |
| 4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 4.1 Definiciones básicas | 15 |
| 4.1.1 Definiciones de raleo | 15 |
| 4.1.2 Objetivos del raleo | 15 |
| 4.1.3 Tipos de raleo | 16 |
| 4.2 Criterios para determinar el momento y la intensidad del raleo | 17 |
| 4.2.2 Área basal | 18 |
| 4.2.3 Sistema del índice del espaciamiento relativo ó índice de Hart (S%) | 18 |
| 4.2.4 Índice de densidad relativa de Reineke (IDR) | 19 |
| 4.2.5 Parcelas de calibración | 20 |
| 4.3 Efectos del raleo en el desarrollo y producción del rodal. | 20 |
| 4.3.1 Efecto del raleo en el crecimiento en altura | 20 |
| 4.3.2 Efecto del raleo en el área basal | 20 |
| 4.3.3 Efecto del raleo en la calidad de la madera | 21 |
| 4.3.4 Efecto del raleo en la producción económica y volumétrica de un rodal | 21 |
| 4.4 El raleo comercial y sus productos. | 23 |
| 4.4.1 Usos comerciales de la madera proveniente de raleos | 23 |
| 4.5 Rendimiento en producto de los raleos | 26 |
| 4.5.1 Rendimientos por tipos de raleo | 27 |
| 4.5.2 Rendimientos de raleo por calidad de sitio y espaciamiento de la plantación | 28 |
| 4.5.3 Rendimiento por intensidad de raleo | 31 |
| 4.6 Rentabilidad del Raleo | 32 |
| 4.7 Estimación del volumen real de árboles individuales | 34 |
| 4.8 Optimización de trozado de productos del raleo | 35 |
| 4.9 Modelos de simulación para rendimiento forestal. | 35 |
| 5. MATERIALES Y MÉTODOS | 37 |
| 5.1 Localización del estudio: | 37 |
| 5.2 Apoyo recibido para la implementación de este estudio. | 37 |
| 5.3 Establecimiento de parcelas | 39 |
| 5.4 Análisis de la información | 39 |
| 5.5 Descripción de las unidades muestrales. | 40 |
| 5.5.1 Muestra del rodal a ralear | 40 |
| 5.5.2 Variables evaluadas | 40 |
| 5.5.3 Datos obtenidos en los raleos | 41 |
| 5.6 Elaboración del modelo de predicción del rendimiento en productos. | 41 |
| 5.6.1 Modelo global computadorizado para predicción de productos resultantes del raleo | 42 |
| 5.7 Estimación del índice de sitio: | 43 |
| 5.7.1 Curvas de índice de sitio | 44 |
| 5.7.2 Clasificación por índice de sitio y productividad | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 5.8 Estimación de volumen total y comercial de <i>Pinus oocarpa</i> y <i>Eucalyptus saligna</i> con y sin corteza mediante modelos de regresión. | 45 |
| 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 47 |
| 6.1 Estimación del índice de sitio de <i>Pinus oocarpa</i> | 47 |
| 6.2 Clasificación por clases de índice de sitio y de productividad | 47 |
| 6.2.1 Caracterización de las clases de sitio para <i>C. lusitanica</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> y <i>P. oocarpa</i> | 47 |
| 6.2.2 Caracterización de las clases de productividad para <i>C. lusitanica</i> , <i>E. deglupta</i> , <i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> y <i>P. oocarpa</i> | 55 |
| 6.3 Factores de sitios asociados al crecimiento | 62 |
| 6.3.1 Factores químicos | 62 |
| 6.3.2 Modelos de estimación de índice de sitio en base a factores físicos y químicos | 66 |
| 6.4 Modelos de estimación de volumen individual | 67 |
| 6.4.1 Modelos de regresión de volumen de <i>Pinus oocarpa</i> | 67 |
| 6.4.2 Modelos de regresión de volumen para <i>Eucalyptus saligna</i> | 68 |
| 6.5 Modelos de estimación para el volumen total por hectárea | 69 |
| 6.6 Rendimientos y costos en cortas totales para <i>Pinus oocarpa</i> | 72 |
| 6.6.1 Costos totales en el aprovechamiento de plantaciones de <i>Pinus oocarpa</i> | 72 |
| 6.6.2 Rendimientos y costos entre cada proceso de transformación | 75 |
| 6.6.3 Análisis financiero para la corta total de plantaciones de <i>Pinus oocarpa</i> a los 13 años | 79 |
| 6.7 Costos de raleos y factores que más afectan la rentabilidad del raleo | 81 |
| 6.7.1 Análisis financiero de los raleos | 84 |
| 6.8 Predicción de productos para <i>E. saligna</i>, <i>E. grandis</i> y <i>Pinus oocarpa</i> | 86 |
| 6.8.1 Modelos de predicción de volúmenes de producto relativos | 87 |
| 6.8.2 Modelos de predicción en número y tipo de productos | 88 |
| 6.8.3 Verificación de los modelos de predicción de volumen | 90 |
| 7 CONCLUSIONES | 91 |
| VIII. Bibliografía | 95 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| <i>Cuadro 1 Especificaciones Dimensionales de Postes de Cerca y Construcción de mayor Utilización (CACTU 1995).</i> | 25 |
| <i>Cuadro 2 Especificaciones Técnicas y Mercado para los Postes de Cerca y Construcción (Gómez 1991).</i> | 25 |
| <i>Cuadro 3. Especificaciones dimensionales de los Postes de Electrificación más Comerciales (CACTU 1995).</i> | 25 |
| <i>Cuadro 4. Rendimientos en volumen por Tipo de raleo en <u>Gmelina arborea</u> (Fierros 1980).</i> | 27 |
| <i>Cuadro 5. Producción de postes y volumen de raleo (40% y 60%) en plantaciones de <u>Eucalyptus deglupta</u> de 3.5 años de edad en Turrialba, Costa Rica (CATIE 1994).</i> | 31 |
| <i>Cuadro 6. Características Generales de los Lotes de <u>Eucalyptus deglupta</u> Investigados en la Hacienda Azul, Turrialba, Costa Rica (Salas 1993).</i> | 32 |
| <i>Cuadro 7. Producción e ingresos extraídos del raleo en tres lotes de <u>Eucalyptus deglupta</u>, en la Hacienda Azul, Turrialba, Costa Rica (Salas 1993).</i> | 33 |
| <i>Cuadro 8. Resumen de los sitios y parcelas donde se realizaron los raleos, cuantificación, dimensionamiento de productos y toma de muestras de suelo, en Turrialba, Costa Rica.</i> | 38 |
| <i>Cuadro 9 Información complementaria que se utilizó en el estudio</i> | 38 |
| <i>Cuadro 10 Dimensiones de los productos que se cuantificaron en los raleos</i> | 41 |
| <i>Cuadro 11. Coeficientes de la ecuación de altura dominante calculados por Sánchez (1994) Vásquez (1991) y Chávez y Fonseca (1991), para la zona de Turrialba</i> | 43 |
| <i>Cuadro 12. Ámbito de valores del índice de sitio y número de observaciones para las cinco especies del estudio en Turrialba, Costa Rica.</i> | 45 |
| <i>Cuadro 23 Resultados de la verificación de los modelos de estimación indirecta de índice de sitio para 4 especies en Turrialba, Costa Rica</i> | 67 |
| <i>Cuadro 24 Ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza para <u>Pinus oocarpa</u> en Turrialba, Costa Rica.</i> | 67 |
| <i>Cuadro 25 Factores de forma calculados para 6 tipos de volúmenes de <u>P. oocarpa</u> a los 12 y 14 años en Turrialba, Costa Rica.</i> | 68 |
| <i>Cuadro 26 Ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza para <u>E. saligna</u> en Turrialba Costa Rica.</i> | 69 |
| <i>Cuadro 27 El factor mórfico para 6 tipos de volumen de árbol individual en plantaciones de <u>E. saligna</u> jóvenes en Turrialba Costa Rica.</i> | 69 |
| <i>Cuadro 28 Modelos de regresión para estimar volumen por hectárea en plantaciones de <u>C. lusitanica</u>, <u>E. deglupta</u>, <u>E. grandis</u>, <u>E. saligna</u>, <u>P. oocarpa</u>. en Turrialba Costa Rica</i> | 70 |
| <i>Cuadro 29 Coeficiente de determinación y coeficiente de variación y promedio de la diferencia de lo observado y estimado por cada modelo de regresión de volumen total por hectarea en <u>C. lusitanica</u>, <u>E. deglupta</u>, <u>E. grandis</u>, <u>E. saligna</u>, <u>P. oocarpa</u> en Turrialba Costa Rica.</i> | 71 |

| | |
|---|----|
| <i>Cuadro 30 Costos de Extracción Final hasta el patio del aserradero en plantaciones de Pinus oocarpa de 13 años, en La Fortuna de Moravia, Lote EEUU P-5 (1100 m²), Turrialba Costa Rica</i> | 72 |
| <i>Cuadro 31 Costos de Extracción Final hasta el patio del aserradero en plantaciones de Pinus oocarpa de 13 años La Fortuna de Moravia, Lote EEUU P-6 (900 m²), Turrialba Costa Rica</i> | 72 |
| <i>Cuadro 32. Rendimiento en productos por corta total en la Parcela 5 EEUU, de Pinus oocarpa en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.</i> | 73 |
| <i>Cuadro 33. Rendimiento en productos por corta total en la Parcela 6 EEUU, de Pinus oocarpa en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica</i> | 73 |
| <i>Cuadro 34 Estimación del Costo por Tarima en el aserradero de la finca la Fortuna en Turrialba Costa Rica.</i> | 74 |
| <i>Cuadro 35 Rendimientos y costos por hectárea de la corta total de plantaciones de P. oocarpa de 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica</i> | 75 |
| <i>Cuadro 36 Factores de Conversión para los procesos de transformación del aprovechamiento de la madera de plantaciones de Pinus oocarpa hasta producto comercial, en Turrialba, Costa Rica</i> | 77 |
| <i>Cuadro 37 Análisis financiero para el aprovechamiento total en plantaciones de Pinus oocarpa a los 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica</i> | 80 |
| <i>Cuadro 38 Análisis de sensibilidad del aprovechamiento total en plantaciones de Pinus oocarpa a los 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica</i> | 80 |
| <i>Cuadro 39. Análisis de riesgo para extracción total de una plantación de Pinus oocarpa para uso de tarimas, postes y leña.</i> | 81 |
| <i>Cuadro 40 Costos de extracción de raleos al 50% en número de árboles, hasta el patio del aserradero, en plantaciones de Pinus oocarpa de 15 años en La Fortuna de Moravia, Costa Rica.</i> | 82 |
| <i>Cuadro 41. Volúmenes de producto en m³ por hectárea obtenidos de raleos al 50% en número de árboles de Pinus oocarpa de 15 años en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.</i> | 85 |
| <i>Cuadro 42 Costos e ingresos por hectárea en colones para raleos al 50% en número de árboles en plantaciones de Pinus oocarpa de 15 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.</i> | 85 |
| <i>Cuadro 43 Margen bruto y relación beneficio-costo en cuatro raleos al 50% en número de árboles para plantaciones de Pinus oocarpa de 15 años, en Turrialba Costa Rica.</i> | 85 |
| <i>Cuadro 44 Ingresos en colones para raleos al 50% en plantaciones de E. grandis por edad e índice de sitio en Turrialba Costa Rica.</i> | 86 |
| <i>Cuadro 45 Diferencias entre volumen observado y el volumen estimado por los modelos de predicción de productos, en m³ y porcentaje.</i> | 90 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Rendimiento en Área Basal de <i>Pinus caribaea</i> en tres tratamientos: Sin raleo, con raleo medio, y con raleo fuerte (Vásquez 1986). | 21 |
| Figura 2. Comportamiento de S% y el volumen en pie luego de varios años de aplicado un raleo fuerte en un rodal de <i>Pinus caribaea</i> (Vásquez 1986) | 22 |
| Figura 3. Comportamiento de S% y volumen en pie en un rodal sin raleo de <i>P. caribaea</i> (Vásquez 1986) | 22 |
| Figura 5 Rendimiento de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> para índice de sitio 10 y 18 metros y para densidades iniciales de 1111, 1600, 2500 árboles por hectárea (Hughell 1990). | 30 |
| Figura 6. Curvas de índice de sitio y clases de sitio local para plantaciones de <i>Cupressus lusitanica</i> , a una edad base de 20 años en la finca La Fortuna en Turrialba, Costa Rica | 52 |
| Figura 7. Curvas de índice de sitio y clases de sitio local para plantaciones de <i>Eucalyptus deglupta</i> , a una edad base de 48 meses en Turrialba, Costa Rica | 53 |
| Figura 8. Curvas de índice de sitio y clases de sitio local para plantaciones de <i>Eucalyptus grandis</i> , a una edad base de 48 meses, en Turrialba, Costa Rica. | 53 |
| Figura 9. Clases de índice de sitio para plantaciones de <i>E. saligna</i> , a una edad base de 6 años, en Turrialba, Costa Rica | 54 |
| Figura 10. Clases de índice sitio para plantaciones de <i>Pinus oocarpa</i> , a una edad base de 12 años, en Turrialba, Costa Rica. | 54 |
| Figura 11 Comparación del crecimiento histórico entre plantaciones de <i>Eucalyptus deglupta</i> con y sin manejo en Turrialba, Costa Rica. | 56 |
| Figura 12 Diferencias entre clases de productividad para <i>Cupressus lusitanica</i> en la finca la Fortuna de Moravia en Turrialba, Costa Rica. | 59 |
| Figura 13 Diferencias entre clases de productividad en plantaciones de <i>Eucalyptus deglupta</i> en Turrialba, Costa Rica. | 59 |
| Figura 14 Diferencias de entre clases de productividad para <i>Eucalyptus grandis</i> en Turrialba, Costa Rica | 60 |
| Figura 15 Diferencias entre clases de productividad de <i>Eucalyptus saligna</i> , en Turrialba Costa Rica | 60 |
| Figura 16. Diferencias entre clases de productividad para plantaciones de <i>P. oocarpa</i> , en Turrialba, Costa Rica. | 61 |
| Figura 17. Relación de Calcio a 0-20 cm de profundidad del suelo y el índice de Sitio, para plantaciones de <i>Cupressus lusitanica</i> en Turrialba, Costa Rica. | 62 |
| Figura 18. Diferencias entre clases de sitio en contenidos de calcio, magnesio y potasio superficiales (0-20 cm) para plantaciones de <i>Cupressus lusitanica</i> en Turrialba, Costa Rica. | 63 |
| Figura 19. Diferencias de porcentaje promedio de materia orgánica entre clases de índice de sitio, a dos profundidades del suelo, para plantaciones de <i>E. grandis</i> en Turrialba Costa Rica | 64 |
| Figura 20. Relación de Potasio a 20-40 cm de profundidad del suelo, con el índice de sitio para plantaciones de <i>E. saligna</i> en Turrialba, Costa Rica | 65 |
| Figura 21. Relación de Acidez extraíble a la profundidad (20-40) y el calcio superficial con el índice sitio en plantaciones de <i>Pinus oocarpa</i> en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica | 65 |
| Figura 22 Curvas de costos totales en cortas finales en plantaciones de <i>Pinus oocarpa</i> de 13 años, a diferentes pendientes y distancias de arrastre con bueyes, en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica | 84 |
| Figura 23 Ingresos en colones por los productos resultantes de raleos al 50% en número de árboles por índice de sitio y por edad de plantaciones de <i>E. grandis</i> en Turrialba, Costa Rica. | 86 |
| Figura 24. Frecuencia de volumen de postes de cerca y construcción y leña por hectárea por clase diamétrica para una plantación de <i>E. grandis</i> de 5 años de edad en La Fuente, Turrialba, C.R. | 89 |
| Figura 25. Frecuencia de volumen de postes de cerca y construcción y leña por hectárea por clase diamétrica para una plantación de <i>E. grandis</i> de 2.3 años en Florencia, Turrialba, CR. | 89 |

OTÁROLA A, D. 1996. Productividad y rendimiento económico de los productos provenientes de raleos en plantaciones de *Eucalyptus*, *Pinus* y *Cupressus* en el cantón de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 109 p.

Palabras Claves: *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus oocarpa*, *Cupressus lusitanica*, crecimiento, productividad, raleo, índice de sitio, factores de suelo, productos forestales, producción de raleos, volumen comercial, análisis financiero, análisis de sensibilidad, rendimiento, tarimas, leña, postes de cercas, modelo de predicción.

RESUMEN

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.

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 los lotes evaluados en cada especie, en *Pinus oocarpa* se desarrollaron modelos de índice de sitio para realizar la clasificación.

Se encontró para las especies *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus 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.

No importando 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 *Cupressus lusitanica*: el calcio superficial intercambiable, para *Eucalyptus grandis* la materia orgánica a las dos profundidades evaluadas (0-20 y 20-40 cm). El crecimiento de *Eucalyptus saligna* estuvo mejor explicado por el potasio a una profundidad de 20-40 cm. Para *Pinus oocarpa* el factor químico más relacionado al índice de sitio fue la acidez extraíble y el calcio que la explicaron en un 87%.

Los factores físico-edáficos que tuvieron un mayor índice de correlación con el índice de sitio fueron: en *Cupressus 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 *Pinus oocarpa*

Se desarrollaron ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza a diferentes diámetros mínimos para las especies de *Pinus 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 *Pinus 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 *Pinus 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 *Pinus 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, manteniendo 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 *Pinus oocarpa*, para *Eucalyptus grandis* el error fue de 5.86% y para *Eucalyptus saligna* el error de estimación por verificación fue de 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 entre otros. Este modelo usa como insumos los diámetros y áreas efectivas de parcelas de calibración, 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.

OTÁROLA A, D.E. 1996. Productivity and economic yield of products from thinnings of *Eucalyptus*, *Pinus* and *Cupressus* in Turrialba County, Costa Rica. MSc. Thesis, CATIE, Turrialba C.R. 105p.

Keywords: *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus oocarpa*, *Cupressus lusitanica*, growth, productivity, thinning, site index, soil factors, forest products, production thinning, commercial volume, financial analysis, profitability analysis, bullock extraction, yield, saw logs, pallets, firewood, fence posts, prediction models

SUMMARY

Evaluation plots were established in plantations of *Eucalyptus deglupta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *Pinus oocarpa* and *Cupressus lusitanica* on different sites within Turrialba County, according to MIRA methodology. Densimetric data on height, DBH, dominant height, spacing, basal area, volume etc. were taken in order to evaluate the development of these plantations.

Soil chemical factors were evaluated at two depths 0-20 and 20-40 cm (pH, Ca, Mg, P, K, M.O.) and physical (% sand, clay and silt, texture) in some cases physiographic data were taken (slope, length of slope).

Plots were thinned by 50% in number of trees, thinned trees were bucked to products in order to maximise volume yield (different lengths for fence and construction posts, power poles, logs for pallets and firewood etc.), number and types of products obtained for each tree were carefully recorded. For the financial analysis, time and movement requirements in each phase of the thinning were noted as were input and labour costs.

Two data bases were created, one with mean growth and yield per stand and the other of productivity where products were separated into 2 cm DBH classes.

For the species *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* it was found that the classification of Site Index did not coincide with the classification for productivity, the latter being more appropriate for the stratification of plantations for management, as more significant differences were found between classes.

Across the sites the five species in the study with ages between 3 and 15 years and thinning intensity of 50+/-5% in number of trees, a mean of 57 to 75% of harvested volume was recovered as product depending on species.

The chemical variables most related with site index in the Turrialba area were: for *Cupressus lusitanica*: superficial exchangeable calcium, for *Eucalyptus grandis* organic material at the two depths evaluated (0-20 cm and 20-40 cm). The growth of *Eucalyptus saligna* was best explained by amount of Potassium at a depth of 20-40 cm. For the chemical factor most related to site index was extractable acidity and calcium that described an 87% of variation.

The soil structure factors with major correlation with site index were: percentage of sand for *Cupressus lusitanica* which was negatively correlated with site index. The percentage of silt best explained site index for *Eucalyptus grandis*. Soil structure factors were not related to site index for the species *Eucalyptus saligna* or *Pinus oocarpa*.

Total and commercial volume equations with and without bark were developed to different minimum diameters for *Pinus oocarpa* and *E. saligna* using a set of 15 regression models in order to estimate product yield.

The direct cost most significant in the clearfelling of *Pinus oocarpa* plantations at 12 years was hauling with bullocks, representing an average of almost 50% of total harvesting costs. In the sawing of roundwood for pallets, labour is the most important cost being almost 42% of total sawing costs.

Conversion of standing wood volume in *Pinus oocarpa* plantations to finished product for pallets was 11.5%, conversion percentage doubled if fence posts were also considered.

Clearfell profitability for pallet production has a direct relationship with site quality and productivity for plantations of *Pinus oocarpa*, 12 year old plantations in high site class had a net present value of 600 000 colones with an maximum internal rate of return of 15% meanwhile low site class gave 190 000 colones per hectare with an IRR of 9%

The financial analysis of harvesting for pallet production showed that high class sites permit a 43% drop in prices before profitability is lost, meanwhile low quality sites permit only a 22% drop in prices before profitability is lost.

Correlation matrices of the species *C lusitanica*, *E grandis* and *E saligna* showed a strong relationship between BA in a diameter class (relative percentage of BA) and the volume of products of similar diameter dimensions, some products such as firewood depend on harvest yield (a negative correlation), or in the case of electrification posts, on mean height, as there is a minimum length of straight stem required for this product. The multiple regression equations with the highest R^2 logically correspond to the models presented in the study.

It was found that it was possible to predict volumes of different thinning products in this case fence, electricity and construction posts, pallet logs and firewood, on the basis of critical parameters. For the species *Pinus oocarpa* the estimation error was 4 percent, for *E. grandis* 5.86% and for *E. saligna* the estimation error of the verification was only 1% for total volume of products. The product most difficult to estimate was firewood which was not directly related to diameter classes, giving estimation errors of up to 50% for *E. saligna*.

A model for volume and piece number estimation was developed for different thinning intensities, utilising the spreadsheet Excel Version 5 and highly sensitive factors such as relative basal areas of diameter classes, harvest percentage, thinning intensity, total volume per hectare and others. Inputs to this model are DBH and effective area of calibration plots, it is also necessary to indicate trees to be thinned and dominant height to be able to classify the plantation by site index and productivity.

Productividad y cuantificación económica de los productos provenientes de raleos en plantaciones forestales de Eucalyptus, Pinus, Cupressus en Turrialba Costa Rica.

1. INTRODUCCIÓN

Miles de hectáreas de plantaciones en Costa Rica necesitan urgentemente iniciar o realizar un manejo oportuno para poder cumplir eficientemente y en los plazos fijados sus objetivos, de lo contrario mucho de este esfuerzo en reforestación puede ser perdido, con el consecuente daño económico para finqueros que han establecido estas plantaciones, así como para el estado ha apoyado con incentivos parte de estas.

Por tanto en Costa Rica existe la necesidad de planificar y ejecutar las actividades de manejo, especialmente la de los raleos, con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos para las mismas. Para hacer factible y atractivo el manejo, 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. La proporción del beneficio total de los raleos es una buena medida de la intensidad de la práctica silvícola. Hawley y Smith (1982) encuentran bajo una práctica intensiva en el sur de Suecia, que del 50% al 90% del volumen talado en un turno completo procedía de los aclareos. Los mismos autores indican que raleos de *Pinus resinosa* en Minnesota suponen la extracción del 60% de la producción total en volumen, lo que representaría aproximadamente el 49% del valor total producido durante el turno.

En el valle de Turrialba donde se realizó el presente estudio se encuentran plantaciones de *Eucalyptus sp*, *Pinus caribaea*, *Cupressus lusitanica* y *Pinus oocarpa*, hasta un total de 2200 hectáreas, sin considerar las plantaciones pequeñas que pueden acumular hasta 500 hectáreas más (Gómez, 1990). Dichas plantaciones, como muchas en el país, requieren con urgencia de intensos raleos para cumplir con su objetivo final, lo que implica no sólo extraer árboles mal formados o suprimidos, también implica el aprovechamiento de árboles con forma y diámetros que permitan obtener productos de cierta rentabilidad para el mercado local.

Sin embargo, el aprovechamiento económico de los raleos presenta algunos problemas como diámetros pequeños que restringen su utilización y conversión a ciertos productos, otro problema crítico es el mercado y la distancia al mismo; los cuales son fundamentales para que un raleo tenga

rentabilidad económica. Se debe reconocer que las condiciones para el aprovechamiento rentable ya se están dando en el país, con la adquisición en los últimos años de aserraderos para diámetros pequeños, o de industrias de preservación de madera, que proporcionan el valor agregado a los productos resultantes.

Por lo tanto es de gran importancia para el finquero y para el técnico forestal determinar cuántos y qué tipos de productos se pueden obtener de los raleos para las condiciones particulares de su plantación; cuál producto es él más rentable, cuáles son los probables mercados para estos productos y consecuentemente, cuál será la rentabilidad de esta intervención en el presente y en el futuro. Esta información les permitiría desarrollar con mayor objetividad los perfiles de manejo de su plantación para lograr una producción sostenida y rentable. En este estudio se analizan estos aspectos, lo que contribuye y se enmarca en la estrategia general del CATIE en lo que se refiere al manejo sostenible de los recursos.

2. OBJETIVOS

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

2.1 Objetivos específicos

Clasificar las plantaciones de la zona por crecimiento y por productividad.

Analizar las variables de sitio y suelo que influyen sobre la productividad en términos de calidad de sitio de las plantaciones.

Estimar el rendimiento total de estas plantaciones utilizando modelos sencillos del rendimiento por hectárea.

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.

La valoración y análisis financiero de los productos de raleos y cortas totales

Identificar y evaluar 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*.

Desarrollar un programa computadorizado para predecir el rendimiento en productos provenientes de raleos en plantaciones de *Pinus* y *Eucalyptus*.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La densidad, la edad y la variación en la calidad de sitio por especie en las plantaciones, no influyen directamente sobre el porcentaje de volumen aprovechado en los diferentes tipos de productos ni sobre la rentabilidad económica de los raleos.

No hay una relación directa entre índice de sitio y clase de productividad para las plantaciones estudiadas.

La accesibilidad y la localización de la plantación a ralear no influyen significativamente sobre la rentabilidad financiera del raleo.

Los Ingresos de los primeros raleos no son económicamente rentables con el actual mercado de productos local.

No es posible predecir el rendimiento en tipo de producto de los raleos con un programa computadorizado que utilice parámetros críticos de alta sensibilidad.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Con la finalidad de desarrollar las bases del estudio, en el presente capítulo se revisa el estado del conocimiento primero sobre la razón y las diferentes metodología de aplicación de los raleos, los efectos de los mismos sobre el crecimiento y rendimiento del rodal, usos comerciales de los productos obtenidos de estas intervenciones, la rentabilidad del raleo comercial, las funciones de ahusamiento para estimar el volumen y el desarrollo de modelos para predecir el rendimiento forestal.

4.1 Definiciones básicas

4.1.1 Definiciones de raleo

Entendemos por raleo el acto de remoción de algunos árboles de un rodal con la finalidad de proporcionar a los que quedan en pie, mejores condiciones de crecimiento y producción de madera de alta calidad (Braathe 1978).

En general muchos autores coinciden en afirmar que al raleo consiste en la remoción de árboles vivos después de su establecimiento a fin de concentrar el potencial de crecimiento de un sitio en pocos árboles, este manejo da como resultando árboles grandes de alta calidad y de cortas y oportunas rotaciones (Schönau, 1989; Ortiz, 1971; Camacho 1980; Hawley y Smith, 1972).

Se debe mencionar que con el raleo no se obtiene mayores rendimientos físicos (biomasa) de la plantación si no mayores rendimientos de madera comercial.

4.1.2 Objetivos del raleo

Camacho (1980) plantea los siguientes objetivos para los raleos:

- ◇ Preparar el rodal para aprovechar la producción potencial de madera en un número de árboles seleccionados.
- ◇ Redistribuir la producción potencial para un óptimo aprovechamiento.
- ◇ Distribuir el espacio de crecimiento para el beneficio del rodal existente.

Hawley y Smith (1982) proponen también:

- Utilizar todo el material comerciable producido por la masa durante un turno.

A estos objetivos falta agregar algunos de carácter fitosanitario y de manejo, como son:

Los de eliminar árboles muertos o enfermos, o cualquier árbol que podría ser foco de una infección, eliminar los individuos mal formados que consumen

recursos vanamente, por último uno de mucha importancia para la sostenibilidad de las plantaciones forestales en Latinoamérica es la de proveer ingresos económicos antes de la cosecha final (raleos comerciales).

4.1.3 Tipos de raleo

4.1.3.1 Raleo selectivo

La escogencia de los árboles a eliminar se hace de acuerdo el criterio del técnico que ejecuta el raleo y los objetivos de la plantación (Sánchez, 1985). Sus modalidades son:

A. Aclareo por lo bajo: Tiene el objetivo de liberar los árboles dominantes y codominantes y eliminar las clases inferiores de copas, se puede aplicar en diferentes grados (Troensegaard, 1971). Su desventaja es que los árboles que se cortan son más pequeños, con menor valor comercial, su principal beneficio es como inversión en el futuro del rodal.

B. Aclareo por lo alto: Tiene el objetivo de liberar a los árboles útiles en posiciones dominantes y codominantes con características adecuadas, mediante la eliminación de otros dominantes y codominantes que ejercen una fuerza competitiva.

El raleo por lo alto produce ganancias económicas inmediatas pero el daño potencial ocasionado al rodal residual por la caída de los grandes árboles puede ser mucho mayor si se exagera el uso de este método se puede degenerar el bosque (Troensegaard, 1971).

4.1.3.2 Raleo sistemático

En este tipo de raleo los árboles a cortar se escogen sin evaluar sus características individuales, sino que son escogidos de acuerdo a una regla o norma sistemática (Ortiz 1994)

Los árboles son seleccionados de acuerdo a un espaciamiento pre-seleccionado o diseño pre-determinado y son apropiados para rodales uniformes, sin raleos anteriores. Este tipo de raleo es a menudo no comercial y sirve solamente para aumentar el espaciamiento entre los árboles remanentes; es una inversión en el futuro crecimiento del rodal (Troensegaard 1971).

4.1.3.3 Métodos especiales de raleo (Ortiz 1994)

A. Sistema Carolina

Este sistema es en esencia un raleo sistemático con elementos de selección por lo bajo. En este sistema cada cuarta fila de árboles es extraída de la plantación en forma sistemática, y dentro de las tres filas centrales se

eliminan árboles más pequeños, enfermos y de menor calidad. La ventaja del sistema es que permite reducir los costos del aclareo.

B. Sistema Queensland

Este sistema se cataloga como un sistema selectivo con elemento de sistemático. Este método es utilizado en plantaciones del sur-este asiático en Teca y está orientado a la producción de árboles de alto valor económico en el menor tiempo posible. Comprende los siguientes pasos :

1. Antes de realizar el primer raleo se seleccionan los 400 mejores árboles por hectárea, que pasarán a ser los árboles de la cosecha final (árboles selectos)
2. En el primer raleo se remueven tres de cada siete árboles ubicados a lo largo de cada fila de la plantación, escogiéndose los árboles de acuerdo a las siguientes prioridades:
 - A. Cortar los árboles enfermos, suprimidos y mal formados.
 - B. Cortar los dominantes o codominantes con algún defecto que estén compitiendo con árboles selectos.
 - C. Cortar los árboles con dos o más ejes.
 - D. Cortar cualquier otro árbol compitiendo con un árbol selecto
3. En el segundo raleo se cortan todos los árboles no selectos que todavía quedan en pie.
4. Durante el tercer y cuarto raleo se remueven los árboles selectos de menor calidad y desarrollo.

4.2 Criterios para determinar el momento y la intensidad del raleo

Estos criterios generalmente se basan en principios biológicos y de rendimientos al final de la cosecha. Cuando existe mercado para los productos del raleo, el dinero que se obtiene por la venta de los productos llevados (mediante una tasa de interés) al año de la cosecha final, van a representar un valor muy significativo que se debe intentar evaluar, también, el valor presente de estos productos es de suma importancia para el finquero ya que ayuda a resarcirse de los costos de mantenimiento de la plantación. Medina (1989) plantea el uso de modelos de programación dinámica para determinar regímenes de raleo y corta para solucionar problemas que involucran decisiones interrelacionadas en el tiempo.

Los criterios aplicados normalmente para planificar los raleos se presentan a continuación:

Antes de elaborar un programa de aclareos, se debe determinar alguna medida de ocupación del sitio que pueda ser utilizada para valorar la cantidad de espacio de crecimiento ocupado por los árboles de todos los tamaños, con este fin se han propuesto muchos índices pero ninguno se ha aceptado universalmente (Chavez 1988).

4.2.2 Área basal

Este es un índice sencillo y que tiene gran vigencia aún, el problema es determinar el área basal mínima que hay que mantener en las diferentes fases del raleo. Este límite inferior es muy importante ya que define la densidad de la plantación después de cada aclareo. El área basal da una idea más clara del nivel de espesura de una masa siempre que se asocie con el número de árboles, además permite establecer tamaños mínimos que se desean obtener, modificando el número de árboles por hectárea. Se puede utilizar tanto en coníferas como en latifoliadas, aunque es preferible utilizarlo en estas últimas (Chavez 1988).

Para calcular el número de árboles a cortar (N_c) se debe calcular primero el número de árboles que deben quedar en pie (N_p) para alcanzar un objetivo de manejo determinado. Para el caso del sistema de área basal este objetivo se traduce en establecer el diámetro medio (d_{meta}) que se desea que tengan los árboles al momento de un próximo raleo o al momento de la corta final. N_p Se calcula como:

$$N_p = \frac{\text{área basal máxima para el objetivo del manejo}}{\text{área basimétrica del árbol deseado en el futuro}}$$

$$N_p = G_{max} / 0.7854 (d_{meta})^2$$

$$N_c = N_a - N_p$$

$$\text{Intensidad de raleo (\%)} = (N_c / N_a) \times 100$$

d_{meta} en metros

N_a es el número de árboles/ha antes del raleo

4.2.3 Sistema del índice del espaciamiento relativo ó índice de Hart (S%)

Este índice se denomina "índice de espacio relativo" o S% y correlaciona el espaciamiento promedio con la altura promedio de los árboles dominantes. (Troensegaard 1971).

El espacio disponible por árbol se expresa mediante la relación en porcentaje propuesta por Hart (1928), y se expresa así:

$$S\% = \frac{a}{H_{dom}} \times 100$$

Donde:

a = espaciamiento promedio entre árboles en metros.

H_{dom} = altura promedio de los 100 árboles más altos en una hectárea.

El distanciamiento promedio entre árboles se obtiene en el campo con la fórmula:

$$a = (10000 \div N_{ns})^{1/2} \quad \text{Cuando la plantación está en trazado cuadrangular}$$

$$a = (11547 \div N_{ns})^{1/2} \quad \text{Cuando la plantación está en trazado triangular}$$

Donde:

N_{ns} es el número de árboles/ha **no suprimidos** y se calcula como el número de árboles/ha (N_a) menos el número de árboles suprimidos (N_s).

El número de árboles a quedar en pie se calcula de la siguiente forma:

$$a_d = (S\%_d \times H_{dom}) / 100$$

$$N_p = 10000 + a_d^2 \quad \text{Cuando la plantación está en trazado cuadrangular}$$

$$N_p = 11547 + a_d^2 \quad \text{Cuando la plantación está en trazado triangular}$$

$$N_c = N_a - N_p$$

Se calcula el S% actual con la altura dominante y el espaciamiento promedio. Luego introduciendo el S% deseado, con igual altura dominante se calcula el N- deseado, la diferencia entre N-actual y N-deseado determina al número de árboles a entresacar. Una vez calculado este número se puede hacer un raleo de selección. (Lemckert 1978).

4.2.4 Índice de densidad relativa de Reineke (IDR)

Este índice puede ser la mejor herramienta cuando el manejo intensivo del rodal requiere de un método refinado, para regular la densidad y ajustarla a metas previamente establecidas (Daniel *et al.* 1982). La variable índice de densidad del rodal es considerada como la mejor ya que tiene las siguientes aplicaciones prácticas:

- Permite la comparación de las densidades de los rodales sin importar sitio y diferencia de edad; pudiéndose comparar incluso densidades de rodales de diferentes especies o mezcla de ellos.
- Dado un rodal maduro que sea considerado ideal para acoplarse a los objetivos de la plantación, el silvicultor puede calcular mediante el uso del

IDR el número óptimo de árboles que deben mantenerse en un rodal inmaduro para que al madurar llegue a tener la densidad ideal.

- Los estudios del raleo y control de la población de rodales permite establecer el límite inferior y superior del área basal deseable.
- Este índice permite hacer la prescripción de regímenes de aclareo; que resulta no ambiguos, contrario a los regímenes basados en el área basal.

El índice de densidad del rodal se fundamenta en la regla del autoraleo, o sea en la relación existente entre el número de árboles por hectárea y su tamaño medio (Ortiz 1986). Esta ley describe como se comporta la mortalidad en rodales en condiciones de intensa competencia.

4.2.5. Parcelas de calibración

Este método consiste en tomar las pequeñas porciones representativas del área a ralear, delimitando parcelas a las cuales se les aplica raleos selectivos. Se determinan los árboles a extraer según criterios de selección basados en apertura de espacio para entrada de luz, forma, estado fitosanitario y desarrollo logrado de los árboles. Para este último parámetro se mide diámetro a altura del pecho y altura total de todos los individuos en la parcela. Posteriormente se analizan los resultados de aclareo "ejecutado" en la parcela y se proyectan los criterios de eliminación a toda la plantación, extrapolando estos valores a hectáreas (Sánchez 1985).

4.3 Efectos del raleo en el desarrollo y producción del rodal.

4.3.1 Efecto del raleo en el crecimiento en altura

El efecto del raleo en la altura es pequeño, sobre todo en sitios de buena productividad, algunas veces se puede retrasar el crecimiento en altura luego de raleos fuertes y tardíos.

4.3.2 Efecto del raleo en el área basal

El incremento en el área basal de un rodal puede considerarse constante dentro de un amplio rango de intensidades de raleo, pero como efecto de la disminución de la densidad, la cantidad que se le atribuye a cada árbol puede tener un gran incremento por una mayor expansión de la copa y el aumento consiguiente de la superficie foliar. La producción del volumen total de un rodal está determinado por el sitio y es constante y óptimo dentro de un amplio margen de densidades. (Hawley y Smith 1972) Ver Figura 1.

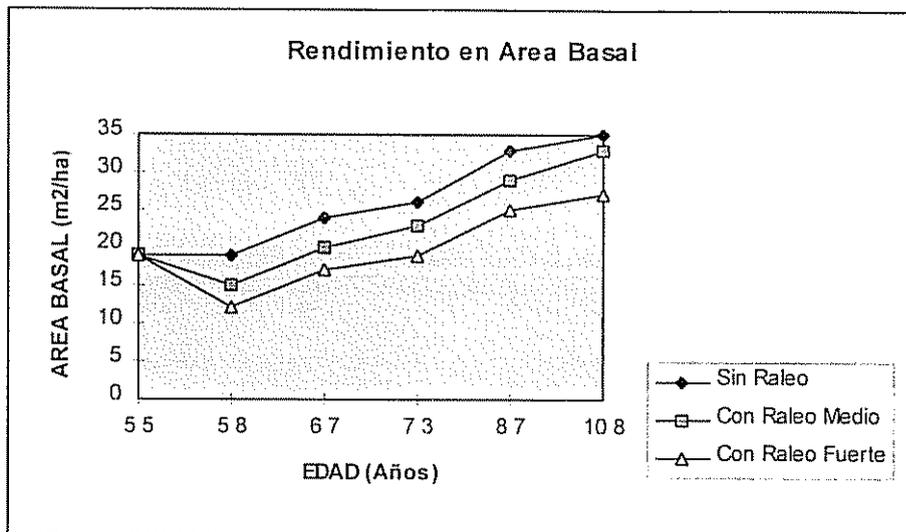


Figura 1. Rendimiento en área basal de *Pinus caribaea* en tres tratamientos: Sin raleo, con raleo medio, y con raleo fuerte (Vásquez 1986).

4.3.3. Efecto del raleo en la calidad de la madera

El raleo representa una de las formas fundamentales por la que el forestal puede controlar la calidad y cantidad de madera comercial producida por el árbol, existen efectos sutiles de las claras sobre el árbol individual, que son parcialmente factibles de controlar con la práctica silvícola, como el adelgazamiento hacia arriba del tronco del árbol que es incrementado por los raleos, esto sucede por la relación directa entre la razón de copa viva y el grado de adelgazamiento debido a que los árboles desarrollan copas profundas y al mismo tiempo formas fuertemente cónicas.

Las consecuencias del aumento de la forma cónica son perjudiciales pues reduce la esperanza de que los árboles puedan ser utilizados como postes y otras clase de productos de sección redondeada (Craib 1947; Citado por Hawley y Smith 1982)

Las aceleraciones súbitas del crecimiento en volumen perjudican las propiedades fisico-mecánicas de la madera y existe una fuerte tendencia a que se produzcan grietas en las zonas de aceleración. Una tabla que contenga madera de crecimiento lento y de crecimiento rápido se albeará con facilidad y no es homogéneamente adecuada para un propósito determinado (Hawley y Smith 1982).

4.3.4 Efecto del raleo en la producción económica y volumétrica de un rodal

El raleo, al favorecer a los mejores árboles, permite que estos aprovechen mejor el potencial del sitio, convirtiendo más eficientemente los recursos en producto comercial.

Vásquez encontró que el volumen en pie en una parcela con raleo es menor a la de una sin raleo, sin embargo la relación de espaciamiento y altura

dominante es mayor en la primera, concentrando el volumen comercial en pocos individuos (Figuras 2 y 3).

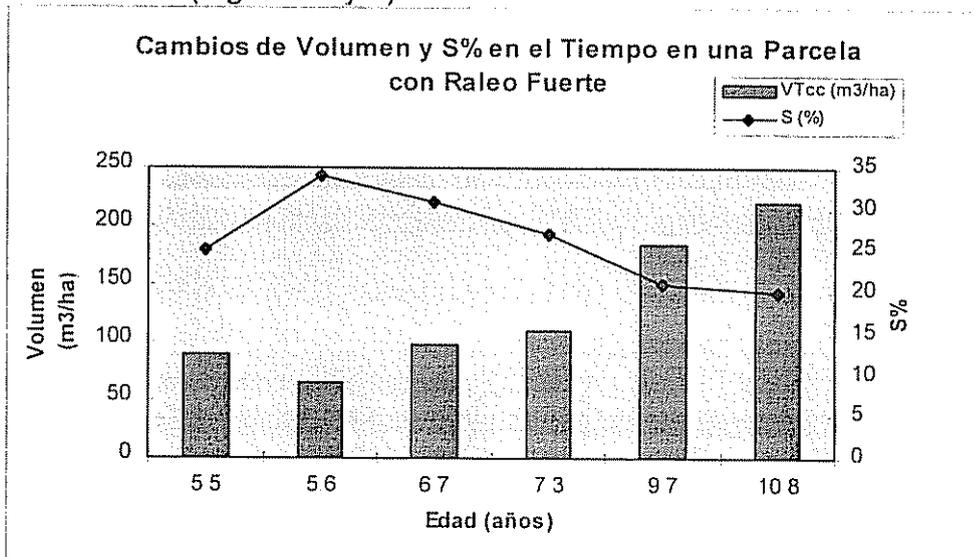


Figura 2. Comportamiento de S% y el volumen en pie luego de varios años de aplicado un raleo fuerte en un rodal de *Pinus caribaea* (Vásquez 1986)

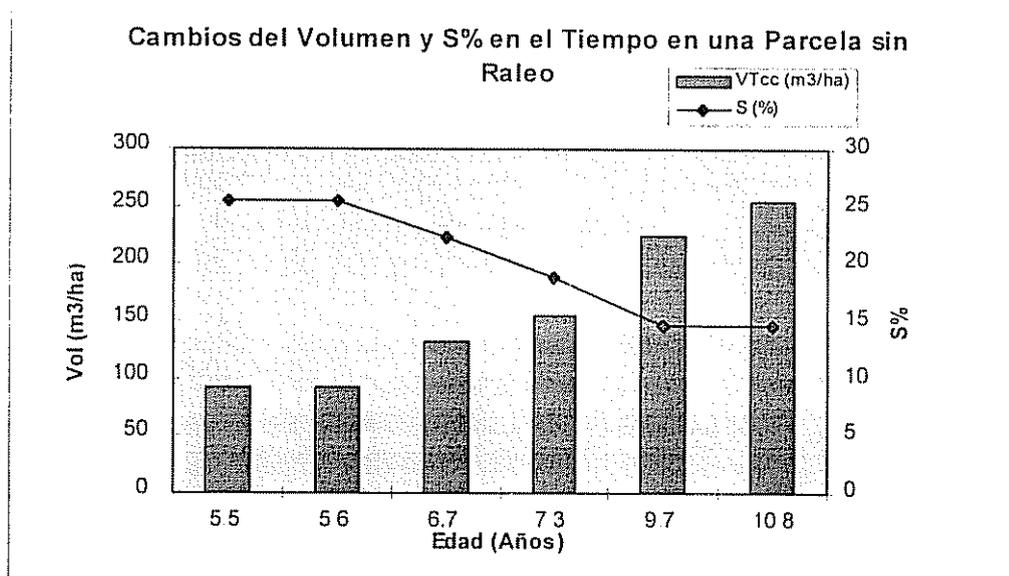


Figura 3. Comportamiento de S% y el volumen en pie en un rodal sin raleo de *Pinus caribaea* (Vásquez 1986)

Sin embargo la forma como se aplique el raleo también influye sobre el rendimiento en volumen del rodal. Schönau (1989) en un experimento factorial de raleo en Sudáfrica con *Eucalyptus grandis*, obtuvo interesantes resultados luego de 20 años de efectuada la intervención. Se efectuaron dos tratamientos; raleos poco intensos (volumen remanente 236 m³/ha) con intervalos cortos de 2 años, y raleos intensos (volumen remanente de 148 m³/ha) con intervalos de 4 años. Se determinó que el total de madera en pie

por ha es afectado por el intervalo de raleo y el remanente de volumen final siendo la diferencia de 302 m³ por hectárea en 20 años. Pequeños intervalos de raleo y alto volumen remanente incrementan el volumen y se observa una respuesta lineal. Estos tratamientos explican el 68% de la variancia con un CV de 11.3% extremadamente bajo para estos parámetros en un experimento tan largo (20 años). El significado de primer orden de la interacción entre el intervalo de raleo y la intensidad se simplifica en que largos intervalos y altas intensidades decrecen el volumen en pie.

4.4 El raleo comercial y sus productos

Los raleos son labores silviculturales que deben ser aplicados oportunamente, sin embargo el raleo significa una inversión económica que muchos finqueros o dueños de plantaciones no están dispuestos o no tienen el capital para afrontar. Las circunstancias son más favorables si por los productos del raleo se obtiene un beneficio significativo inmediato que permita cubrir los costos de la operación, resarcirse de los costos de la plantación y aporten también un ingreso al finquero antes del turno, a esto se denomina raleo comercial.

Ortiz (1991), divide el proceso de raleo comercial en 8 etapas consecutivas:

- Etapa I. Inventarios
- Etapa II. Determinación de las necesidades de raleo
- Etapa III. Intensidad del raleo
- Etapa IV. Sistema de raleo y marcación
- Etapa V. Ejecución
- Etapa VI. Verificación
- Etapa VII. Informe y recomendación de próxima intervención
- Etapa VIII. Documentación y archivo

La restricción principal del uso de los productos del raleo son los diámetros pequeños que se obtienen, sobre todo en los primeros raleos, esta limitación puede ser superada empleando tecnología adecuada como aserraderos para diámetros menores o dirigir su uso hacia productos que no requieran de aserrío como lo constituyen los postes de cerca y construcción. Otra restricción importante la constituye su característica intrínseca de madera joven que afecta su comportamiento para el uso comercial o industrial.

4.4.1 Usos comerciales de la madera proveniente de raleos

Existen mucho posibles usos comerciales de la madera proveniente de los raleos, aquí algunos estudios al respecto:

Altuve (1986) realizó el estudio tecnológico de la Madera de *Tectona grandis* de aclareos, en Mérida-Venezuela, los resultados de los ensayos físico-mecánicos revelaron que esta madera, utilizándose técnicas de procesamiento especiales (aserrado y liberación de tensiones) puede ser utilizada ampliamente en diversos objetos de madera de diferentes

dimensiones (Describe cientos posibles productos según afinidades) debido a que posee propiedades de resistencia a la flexión, compresión y tenacidad moderadamente altas.

Manzanares (1991) examinó algunos tipos de residuos de material de raleo de las especies de *Pinus caribaea*, *P. tropicalis* y *Eucalyptus spp.* provenientes de plantaciones en Cuba, con el objetivo de evaluar su compatibilidad con el cemento portland a fin de fabricar tableros aglomerados, la madera de los pinos resultó de excelentes aptitudes, el eucalipto requiere un tiempo de elevación de temperatura más largo, sin embargo la madera proveniente de raleos a pesar de su corta edad, en ambos géneros, cumplen los requisitos para la industria de productos de fibro-cemento.

CANEFOR (1988) realizó un estudio de mercado de los productos de las podas y los raleos de cinco especies teca, melina, pino, ciprés y eucalipto en Costa Rica, con un universo de 729 empresas encontrándose usos para esta madera en los siguientes rubros: Ebanistería-Mueblería, puertas ventanas y accesorios, cajas de madera, instrumentos musicales, torno, laminado y contrachapado, zapatería, artículos de madera prefabricados, artesanías, duelas y paneles, construcción naval, fábrica de billares, juguetería, papelería, carrocería y postería.

Gómez (1991) en Turrialba, Costa Rica encontró que para el material de los raleos de dimensiones pequeñas, resulta más económico su utilización en forma redonda (postes principalmente) dándosele mayor duración y valor agregado mediante un tratamiento de preservación. Establecer un sistema de integración vertical entre los productores de árboles y las industrias permitiría aprovechar mejor la materia prima de los raleos, bajo un sistema así, los productores podrían alcanzar un TIR de alrededor de 22%, solamente para los postes obtenidos de raleo.

El equipo de preservación al vacío-presión del Centro de Diversificación Agrícola (CACTU), esta procesando materia prima proveniente de raleos, en esta se realiza las etapas de descortezado, secado y preservado, generando así el valor agregado al producto final. Los principales productos obtenidos son los postes preservados de cerca y construcción y los postes de tendido eléctrico de los cuales se describirán sus características de mercadeo y especificaciones técnicas

4.4.1.1 Postes preservados de cerca y construcción

El mercado de los postes de cerca y construcción es muy variado, se distribuye entre construcciones rurales, fincas de café, plantaciones, y construcción en general. El CACTU para llegar a los diferentes consumidores desarrolló una estrategia agresiva de promoción, para lo que contrató a un personal exclusivo para realizar esta labor. La promoción de los productos se centran en el envío de faxes, visitas personales del vendedor, entrega de folletos y demostraciones de las cualidades y beneficios de estos.

Esto nos da una ejemplo que con buenas estrategias de mercadeo de los productos del raleo se obtendría un seguro y rentable mercado.

Los productos provenientes del raleo que poseen una mayor demanda para el CACTU son descritos en los siguientes los Cuadros 1, 2 y 3:

Cuadro 1 *Especificaciones dimensionales de postes de cerca y construcción de mayor utilización (CACTU 1995).*

| Largo/Diámetro m (m) (cm) | 5.0-8.0 | 8.1-10.0 | 10.1-13.0 | 13.1-16.0 | 16.1-18.0 | 18.1-20.0 |
|---------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2.0 | X | | | | | |
| 2.5 | X | X | | | | |
| 3.0 | | X | X | | | |
| 3.5 | | | | | | |
| 4.0 | | X | X | X | | |
| 4.5 | | | | | | |
| 5.0 | | | X | X | X | |
| 5.5 | | | | | | |
| 6.0 | | | | | | |
| 6.5 | | | | | | |
| 7.0 | | | | | | |
| 7.5 | | | | | | |
| 8.0 | | | | X | X | X |

Diámetro medido en el centro del poste

Cuadro 2 *Especificaciones técnicas y mercado para los postes de cerca y construcción en Turrialba, Costa Rica (Gómez 1991).*

| Especies Utilizadas | Capacidad de Producción del CACTU | Especificación Preservación | Segmento de Consumo | Usos |
|---|--|--|--|---|
| <i>E. grandis.</i> <i>E. deglupta</i> <i>P. oocarpa</i> <i>P. caribaea</i> | 2800 m ³ /año 24 m ³ /día Incluye otros tipos de poste | Penetración: Total Retención: 3-5 kg de OT/m ³ | Casas 8%, Fincas de café 3%, fincas con plantaciones 72%, otras construcciones 17% (Gómez, 1990) | Cercas de Ganadería, Apuntalamiento aéreo de plantaciones, construcciones rurales |

Cuadro 3. *Especificaciones dimensionales de los postes de electrificación más comerciales (CACTU 1995).*

| Longitud (m) | Corte en el Campo | Línea de Tierra distancia a la base (cm) | Clase 5 Diámetro (cm) | Clase 6 Diámetro (cm) | Clase 7 Diámetro (cm) |
|--------------|-------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 8.0 | 8.15 | 160 | 21.0 | 19.4 | 17.8 |
| 9.0 | 9.65 | 170 | 22.6 | 21.0 | 19.4 |
| 11.0 | 11.20 | 180 | 24.3 | 22.2 | 20.6 |
| 12.0 | 12.70 | 190 | 25.5 | 23.4 | |
| 14.0 | 14.25 | 200 | 26.7 | 24.7 | |

Diámetro medido en la línea de tierra

En la zona de Turrialba, Costa Rica, también se están estableciendo aserraderos para diámetros pequeños que permiten obtener piezas de aserrío con mejor valor en el mercado. En la finca La Fortuna, por ejemplo, se ha establecido un aserradero que tiene como sus productos principales la piezas para tarimas, la madera procesada proviene de su propia plantación de *Pinus oocarpa*. Las trozas demasiado delgadas para ser procesadas en el aserradero, son vendidas al CACTU para su transformación a postes preservados de cerca y construcción.

4.5 Rendimiento en producto de los raleos

Ugalde (1980) en plantaciones de *Eucalyptus deglupta* en Turrialba, Costa Rica, con dos intensidades de raleo (40 y 60%), encontró porcentajes de aprovechamiento altos para ambas intervenciones, con un promedio de 77% del volumen total raleado convertido a producto. Se explica en parte este alto aprovechamiento por el hecho de contar en ese momento con un mercado de productos bastante amplio, tanto como para postes, puntales de banano, como para separadores de alambre, lo que permitió un aprovechamiento intensivo de la madera, hasta diámetros muy pequeños, además por el bajo porcentaje de corteza de esta especie.

El raleo de 60% en base al número de árboles, permitió un 65.5% más de aprovechamiento en volumen que el raleo al 40%. El mayor volumen fue aportado por los postes, los cuales alcanzaron 85% del volumen de total de productos en el raleo de 40% y un 91% en el raleo de 60%, mientras que los puntales y separadores aportan únicamente con un 15% y 9% para ambos tratamientos respectivamente. Esto se explicó por las dimensiones relativamente pequeñas de los puntales y separadores.

En el noroeste de Estados Unidos, Craft (1979) describe un experimento de raleos comerciales en rodales *Quercus* y *Carya*. La primera parcela se raleo con una intensidad de 45% con diámetros que oscilaron entre 17,5 cm a 20 cm y la segunda parcela se raleo al 75% de intensidad en número de árboles para diámetros que oscilaron entre 17.8 a 24.6 cm.

Para ambas parcelas los productos que se consideraron mercadeables tuvieron las siguientes dimensiones:

Piezas que varía en largo desde 1.2 a 4.2 metros

Las mejores trozas para aserrío con mínimo 19.5 cms. y 2.5 metros de largo, trozas menores para aserrío con mínimo 14.3 cms. por 1.2 metros de largo.

Postes de piezas de 2.5 m de largo y 14.3 a 19.5 cms. de diámetro.

Madera para pulpa, con piezas de 10 a 15 cms. de diámetro por 1.5 metros de largo (piezas que no fueron suficientemente rectas para ser trozas menores de aserrío).

Leña, piezas pequeñas que no calificaron ni para pulpa, ni para troza.

El rendimiento en producto de los raleos fue el siguiente:

Para las parcelas 1 y 2 combinadas, 74% de la biomasa disponible fue removida en forma de productos de madera redonda en promedio 33% de este volumen correspondió a madera para pulpa y leña, 42% fue para pequeñas trozas y postes y 25% para trozas de aserrío. Siempre se obtuvo el rendimiento en trozas de aserrío en el raleo de mayor intensidad.

Las dos citas anteriores tienen en común un alto porcentaje de aprovechamiento en producto superior al 70% de el total de madera extraída del raleo, siendo el principal producto los postes que por su sección redondeada permiten el uso intensivo de la madera.

4.5.1 Rendimientos por tipos de raleo

Se mencionó anteriormente que la metodología de aplicación del raleo inferiría sobre el rendimiento en volumen. Fierros (1980) en raleos de plantaciones de *Gmelina arborea* Roxb. en Turrialba, Costa Rica, encontró que el raleo selectivo es superior al raleo sistemático, tanto en crecimiento como en calidad del rodal residual (Cuadro 4). Diferentes niveles de raleo selectivo permiten obtener árboles de mayor crecimiento y calidad pero no contribuyen a aumentar la productividad del rodal. Concluye también que es posible obtener de los raleos productos de utilidad para el pequeño propietario, como son postes para cerca, y leña, a partir de plantaciones de *G. arborea* de 1.5 años de edad, establecidas en el sistema taungya, sin merma de la productividad de la plantación y mejorando su calidad.

Cuadro 4. Rendimientos en volumen por tipo de raleo en *Gmelina arborea* (Fierros 1980).

| Tratamiento Rend(%) | Nº de árboles por hectárea | | Volumen (m ³ /ha) | | Volumen de Raleo (m ³) | |
|------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------------|--------|
| | antes | después | antes | después | | |
| A. Se + R | 5000 | 2472 | 58.29 | 40.59 | 17.70 | 30.36% |
| B. Se - R | 4944 | 2486 | 60.53 | 40.59 | 19.94 | 32.95% |
| C. Si + R | 5000 | 2275 | 60.96 | 30.90 | 30.06 | 49.31% |
| D. Si - R | 4888 | 2163 | 59.41 | 28.37 | 31.04 | 52.25% |

Se: Raleo selectivo

Si: Raleo sistemático

R : Rebrotos.

Espaciamiento inicial 2 x 1 m

4.5.2 Rendimientos de raleo por calidad de sitio y espaciamiento de la plantación

4.5.2.1 Rendimientos en volumen total y comercial por espaciamiento

Un menor espaciamiento determinará un mayor volumen total a corto plazo, sin embargo este volumen se acumulará en mayor número de individuos. En un raleo comercial con espaciamientos estrechos se obtendrá un mayor número de productos pero con diámetros menores.

Diferentes espaciamientos en una determinada calidad de sitio determinarán particulares rendimientos en volumen como se ilustra en las *Figura 5* para *Eucalyptus camaldulensis*.

Al respecto Vásquez y Ugalde (1995) en un ensayo de espaciamientos con *Eucalyptus grandis*, en Turrialba y la Fortuna de San Carlos, Costa Rica, determinaron que los espaciamientos afectan los rendimientos en tipo de producto cosechados, así con espaciamientos iniciales de más de 2500 árboles por hectárea se tiende a producir un mayor número de postes de construcción (213 a 246 m³/ha) debido a la fuerte competencia y a lo delgado de los árboles. En los tratamientos de 1666 y 1250 árboles/ha se tiende a producir más postes de tendido eléctrico (50 a 108 m³/ha), debido a que son espaciamientos que permiten un mayor crecimiento en diámetro. En cuanto a trozas de aserrío, los espaciamientos más estrechos fueron los que proporcionaron un mayor número, esto debido a la sinuosidades en la parte superior de los árboles, sólo pudiéndose utilizar la parte inferior como trozas de aserrío pero de un tamaño promedio muy pequeño (0,11 m³/ha).

Los porcentajes de aprovechamiento en volumen total para este mismo ensayo, variaron de 61% en el espaciamiento 2 x 1 m., hasta 91% en el tratamiento 2 x 2 m. Cuando consideraron sólo madera para aserrío y postes de tendido eléctrico que requirieron de mayor diámetro, observaron una tendencia de mayor volumen comercial a mayor espaciamiento, variando de 23% a un distanciamiento de 2 x 1 , hasta 45% en el tratamiento 2 x 4 m.

Además se observa una mayor producción de volumen total en los espaciamientos con más de 2500 árboles/ha, sin embargo hay un mayor volumen comercial de diámetros mayores en los espaciamientos de 1666 y 1250 árboles/ha. Por último recomiendan que se realice un análisis financiero que analice el espaciamiento más rentable, de acuerdo a la disponibilidad de mercado y tipo de productos deseados.

4.5.2.2 Rendimiento y crecimiento por calidad de sitio

La calidad de sitio se considera como el potencial para sostener o permitir un crecimiento dado de una especie. También nos determina el régimen silvicultural; además permite hacer comparaciones e interpolaciones sobre resultados de investigaciones en otros lugares. (Inions, citado por Sánchez 1994)

Calidad de sitio es el resultado de la interacción entre los factores ambientales (bióticos y abióticos) y la vegetación existente. Clutter et al (1983) define la calidad de sitio en términos de el manejo de la madera, como la producción potencial de maderas de un sitio para una especie en particular o tipo de bosque; las palabras "bueno" y "pobre" son frecuentemente usadas para referirse a la calidad de sitio.

De este modo, el índice de sitio, influye en el tiempo en que se realizaran las intervenciones silviculturales, que incluyen el raleo, y por supuesto su producción en volumen. En la zona de Turrialba, Costa Rica, Sánchez (1994) encontró que el crecimiento de *Eucalyptus deglupta* dependió básicamente de la calidad de sitio donde se estableció el rodal; así los incrementos medios anuales (IMA) en volumen fueron de 26, 11 y 2 m³ para sitios clase I, II y III respectivamente. Con *E. grandis* la diferencia fue mayor aún entre clases, con 32.5, 14, 1.4 m³ de IMA, el crecimiento anual en altura y diámetro oscilaron entre 0.76 a 5.63 m y 0.82 a 5.20 cm, respectivamente para ambas especies.

En relación a lo anterior Fierros (1980) resume: "Los regímenes de raleo varían de acuerdo a la especie y calidad de sitio y están definidos por el tipo de producto final que se desea obtener, la factibilidad económica de su ejecución y la posibilidad de aprovechar la materia prima que se producirá".

Sin embargo mejores calidades de sitio provocarán que la diferenciación por competencia ocurra más rápidamente en la plantación (Galloway 1995) lo cual afectará el rendimiento en producto de los raleos en el tiempo, Al respecto Jiménez (1988) en Cartago, Costa Rica trabajando con *Eucalyptus saligna* determinó que existen mejores ingresos económicos de la extracción y venta de los productos del raleo en las plantaciones establecidas en lugares con los mejores índices de sitio.

Pero la calidad de sitio afectará también la intensidad y el rendimiento en volumen del raleo. Una determinada calidad de sitio soportará un área basal máxima que a su vez proyectará, de acuerdo a los objetivos de la plantación, el número de árboles por hectárea para el turno final (área basal máxima por ha entre el área basal del árbol tipo para cosecha) por lo tanto afectará el número de árboles a entresacar y sus dimensiones (influyendo sobre la distribución de las clases diamétricas) afectando también significativamente el aprovechamiento en producto de los raleos

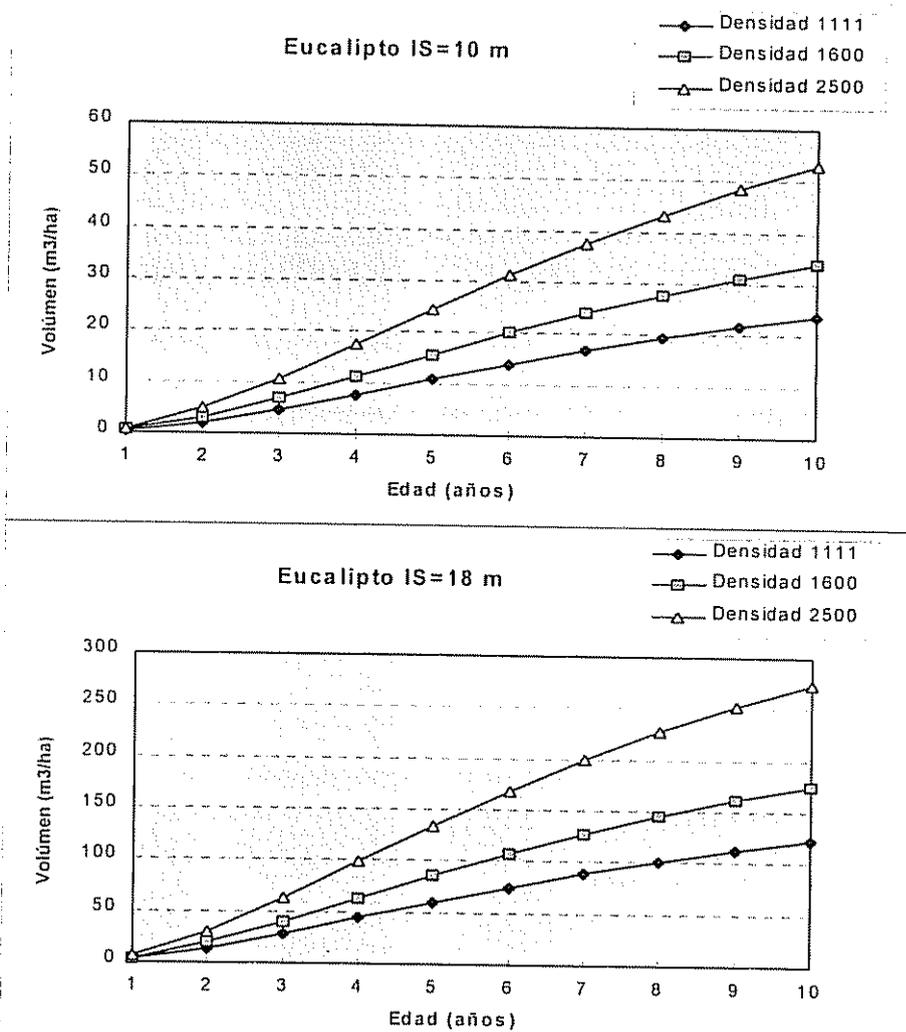


Figura 5 Rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis* para índice de sitio 10 y 18 metros y para densidades iniciales de 1111, 1600, 2500 árboles por hectárea (Hughell 1990).

4.5.2.2.1 Determinación de la calidad de sitio.

La calidad de sitio de un rodal puede determinarse por métodos directos donde se evalúan las siguientes variables:

- Registros históricos de rendimiento
- Datos del volumen del rodal
- Datos de altura del rodal
- Datos periódicos de crecimiento en altura

También puede estimarse por métodos indirectos

- Como la relación interespecífica con vegetación asociada al sitio.
- Por las características de la vegetación menor (sotobosque)
- y por factores topográficos, climáticos y edáficos.

Como ejemplo se puede mencionar el estudio realizado por Vásquez (1987) quién determinó que la variación en el índice de sitio en rodales de *Pinus*

caribaea var. hondurensis en la reserva forestal de la Yeguada en Panamá está explicada en más de un 90% por la acidez alta ($\text{pH} \leq 5.2$ y acidez extraíble $> 56\%$), la fertilidad baja, la posición topográfica, el drenaje interno y la variación en el contenido de limo entre 30 y 50 cm de profundidad.

Sánchez (1994) en Turrialba, Costa Rica encontró que la variación en volumen para *Eucalyptus deglupta* fue explicada en un 97% por el índice de sitio y la edad. La ecuación que estimó esta relación fue:

$$\text{Ln}(\text{vol.}) = -5,324 - 78,987/\text{edad} + 3,398 * \text{Ln}(\text{IS}) \quad R^2 = 97\%$$

La variación en volumen para *Eucalyptus grandis* fue explicada en un 99% por el índice de sitio y la edad. La ecuación que estimó esta relación fue:

$$\text{Ln}(\text{vol.}) = -3,08 - 119,55/\text{edad} + 3,614 * \text{Ln}(\text{IS}) \quad R^2 = 99\%$$

Estas ecuaciones nos permitirán estimar el volumen de los rodales estudiados con diferentes índices de sitio y edades.

4.5.3 Rendimiento por intensidad de raleo

En el estudio anteriormente mencionado de Ugalde (1980) se encontró que un raleo de 60% de *E. deglupta* ofrece una mayor retribución económica que un raleo al 40% lo que se explica por el hecho el primero permite la extracción de diámetros mayores con mejor forma (ver Cuadro 4).

También, el crecimiento en diámetro expresado en área basal en el periodo de observación del experimento no muestra diferencias entre un testigo sin raleo y una parcela raleada al 40% pero si existen diferencias significativas con el raleo al 60%.

Cuadro 5. Producción de postes y volumen de raleo (40% y 60%) en plantaciones de *Eucalyptus deglupta* de 3.5 años de edad en Turrialba, Costa Rica (CATIE 1994).

| | Clase diamétrica en pulgadas | | | | | | Total | Rango |
|------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|-------|---------------|
| | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | | |
| Raleo 40% | | | | | | | | |
| Nº Postes/ha | 320 | 907 | 338 | 55 | 22 | 22 | 1664 | (1067-2177) |
| Vol.m ³ /ha | 0.76 | 6.03 | 4.40 | 0.96 | 0.71 | 0.99 | 13.85 | (5.53-18.19) |
| Raleo 60% | | | | | | | | |
| Nº Postes/ha | 449 | 126 | 689 | 124 | 52 | 22 | 2602 | (1933-3444) |
| Vol.m ³ /ha | 1.07 | 8.42 | 8.98 | 2.68 | 1.66 | 0.98 | 23.80 | (13.50-31.33) |

Vásquez (1986) en raleos de *Pinus caribaea* encontró rendimientos a los 10.8 años de 235 m³ cc ha⁻¹ para raleos "fuertes" (34% de Índice de Hart) contra un rendimiento de 254 m³ cc ha⁻¹ en los dos tratamientos, raleo mediano(28%) y sin raleo. La distribución del volumen tomando como base

un diámetro mínimo de utilización de 24 cm para poste de electrificación, indica que el raleo fuerte contiene entre 20 y 16 m³ cc ha⁻¹ más que los otros dos tratamientos (sin raleo y raleo medio). Recomienda que se haga un raleo fuerte cuando el objetivo es madera para aserrio y postes de electrificación y las otras dos intensidades cuando el objetivo es maximizar la producción en volumen.

4.6 Rentabilidad del raleo

Salas (1993), recopiló información de las actividades de raleo forestal de *Eucalyptus deglupta*, en la Hacienda Azul, propiedad de la industria nacional de cemento S.A. en Turrialba, Costa Rica se evaluaron tres lotes con características de manejo, edáficas y topográficas distintas.

Cuadro 6. Características Generales de los Lotes de Eucalyptus deglupta Investigados en la Hacienda Azul, Turrialba, Costa Rica (Salas 1993).

| Características | Lote 5 | Lote 10 | Lote 11 |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------------|
| Área de Muestra (ha) | 1,3 | 1,0 | 0,5 |
| Edad (años) | 3,5 | 4,5 | 4,5 |
| Elevación (msnm) | 740,0 | 780,0 | 770,0 |
| Pendiente Promedio (%) | 64,0 | 43,0 | 70,0 |
| Densidad de árboles (n/ha) | 1851,0 | 1360,0 | 540,0 |
| Distancia al sitio de Carga (m) | 100,0 | 180,0 | 300,0 |
| Textura de Suelo | Arcilloso | Franco arcilloso | Franco arcilloso |

Se recopiló información de los costos y rendimientos en los distintos lotes de la Hacienda Azul, se seleccionaron muestras en cada uno, con condiciones diferentes de pendiente, distancia al sitio de carga y vegetación predominante.

Se señala que a pesar de que el propósito principal del primer raleo en la finca Hacienda Azul fue el de eliminar árboles bifurcados, enfermos y dominados al aplicársele una intensidad de raleo de 60%, se obtuvo también árboles comercializables, que se vendieron como postes para cerca, a Diversificación Agrícola de Turrialba, en donde adicionaron valor agregado al producto, con el tratamiento de la preservación. Se recalca en el estudio la importancia de la existencia del mercado para los productos del raleo.

Se determinó que los métodos de extracción y raleos aplicados, así como, la ubicación y accesibilidad de una plantación, afectan sensiblemente los costos del raleo y por supuesto su rentabilidad a corto plazo.

En este estudio de caso el principal producto obtenido del raleo fueron los postes para cerca y construcción, la producción e ingresos económicos se detallan en el Cuadro 6.

Cuadro 7 *Producción e ingresos extraídos del raleo en tres lotes de Eucalyptus deglupta, en la Hacienda Azul, Turrialba, Costa Rica (Salas 1993).*

| Producción | Lote 5 | Lote 10 | Lote 11 |
|-----------------------------------|--------|---------|---------|
| Postes por ha. | 282,0 | 327,0 | 110,0 |
| DAP (mm) | 87,0 | 96,0 | 92,0 |
| Alt. Prom. Pie (cm) | 160,0 | 150,0 | 160,0 |
| Diam. Menor (cm) | 7,2 | 8,6 | 8,4 |
| Diam. Mayor (cm) | 8,9 | 9,7 | 9,4 |
| Largo Prom Poste (cm) | 229,3 | 333,6 | 436,8 |
| Volumen poste (m ³) | 0,0116 | 0,0215 | 0,0265 |
| Volumen m ³ estéreo/ha | 4,3 | 9,25 | 3,84 |
| Ingreso Bruto \$ | 7310,0 | 15725,0 | 6528,0 |
| Costo Directo \$ | 8176,0 | 16410,0 | 8605,0 |
| Margen bruto \$ | -866,0 | -685,0 | -2077,0 |

Aunque se incluyeron en el estudio las modalidades de mano de obra, fija y contratada, las actividades de labor manual y mecánica (volteo, troceo y preparación del producto y transporte), agrupadas, constituyen los mayores rubros de los costos directos en cada uno de los lotes.

Este trabajo concluye que los ingresos de los raleos de los tres lotes no cubren los costos directos; generando un ligero margen negativo. El autor toma en consideración que el raleo es una etapa más en el proceso de producción de árboles; esta intervención silvicultural, aunque ahora ocasiona un costo, permite obtener al final del ciclo de la especie, productos con mayor volumen y calidad. Al analizar las variables de campo, las que más afectaron la ejecución del raleo fueron la pendiente, la vegetación predominante y la distancia al lugar de carga de los productos.

Actualmente en Turrialba, Costa Rica se están pagando mejores precios por la madera para postes de cerca y construcción, debido a que en los dos últimos años se ha incrementado significativamente los precios de estos productos (CACTU, comunicación personal), esto provoca que la rentabilidad de algunos raleos de por sí, sea positiva. Además el valor del ingreso obtenido por la venta de productos del raleo llevados al año de la cosecha final representa una suma considerable, esto sin considerar los ingresos obtenidos de los subsiguientes raleos que probablemente tengan mejor calidad y se puedan obtener postes para electrificación que tiene mejores precios.

4.7 *Estimación del volumen real de árboles individuales*

Es necesario estimar el volumen real de los árboles individuales, a fin de poder compararlo con el volumen de los productos y obtener con mayor precisión los rendimientos del raleo. Al respecto, Biging (1984) considera que el uso de ecuaciones de conicidad es superior al uso de simples ecuaciones de volumen, porque las ecuaciones de conicidad facilitan la estimación de rendimiento en los diferentes productos posibles, aspecto que no se facilita utilizando ecuaciones de volumen.

Larson (1963) describe la tendencia de reducción en conicidad del fuste en árboles suprimidos (como muchos de los obtenidos de raleos, dependiendo del método). Árboles suprimidos expresaron menor crecimiento en las partes inferiores del fuste dando una forma de fuste más cilíndrico conforme pasa el tiempo. El autor también identifica varios métodos para asignar árboles a clases de forma, comentando que para árboles de la misma clase de altura la conicidad aumenta con mayores valores de DAP y por el contrario para árboles de la misma clase de diamétrica la conicidad se reduce conforme aumenta altura.

Kartunnen (1995) propone una metodología para estimar diámetros y volúmenes de árboles individuales en *Pinus oocarpa* usando la curva polinómica del Sr. Laasasenaho. Esta metodología consiste en cinco etapas: (I) selección de los árboles (II) estimación de los diámetros a diferentes alturas de los árboles usando spline cuadrático o cúbico del fuste, (III) cálculo de los coeficientes de la ecuación de conicidad usando análisis de regresión, (IV) derivación de los volúmenes usando funciones de curvas de conicidad polinomial y funciones spline, y (V) comparación de los volúmenes de las curvas de conicidad polinómica y aquellos estimados con funciones spline.

El modelo polinómico propuesto por curva de fuste fue el siguiente:

$$d_1/d_{2h} = b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^5 + b_6x^{13} + b_7x^{21} + b_8x^{34}$$

d_{2h} = Diámetro base al 20% de la altura

d_1 = Diámetro a la altura 1 del suelo

x = $1-1/h$ o distancia relativa desde el ápice.

Salazar y Palmer (1984), utilizando 15 modelos para ecuaciones de volumen seleccionan el de mayor ajuste en base al índice de Fúrnival, la distribución de residuales, el coeficiente de determinación, y la significancia de los coeficientes de la ecuación.

4.8 Optimización de trozado de productos del raleo

Con la posibilidad de obtener diferentes tipos de producto que pueden obtenerse de los raleos se hace necesario la ponderación de la producción de un determinado producto por las ganancias que reporte. En un proceso de trozado optimizado se obtiene uno o más trozos de la porción comercial del fuste, observando que estos cumplan con los requisitos de longitud y de diámetros mínimo y máximo, si este proceso no se realiza eficientemente puede reducir el rendimiento total (Cancino, 1993). El fuste de un árbol de determinado tamaño y forma pueden convertirse en trozas de una manera óptima, buscando maximizar el volumen utilizable o buscando el mayor retorno económico.

Al respecto Pnevmaticos y Mann (1972) manifiestan que se puede aumentarse significativamente la rentabilidad de las empresas forestales con un uso mas eficiente de las trozas. El punto clave en el aumento en eficiencia es la asignación de porciones del árbol a los diferentes posibles productos (madera de aserrío, contrachapas, pulpa, etc.) de acuerdo con las especificaciones para cada uso. El autor sugiere, para uso en el campo, la generación de una tabla con todas las variantes de características de fuste lo cual puede ser empleada para asistir en el proceso de selección del procedimiento mas apropiado de trozado *in situ*.

El primer intento de desarrollar un modelo para seleccionar patrones de trozado para el recurso forestal en base al uso final de los productos demandados, fue desarrollado por Smith and Harrell en 1961 en programación lineal (LP) (Eng, Daellenbach y Whyte 1986).

Cancino (1993) desarrolló un modelo que determina el patrón de trozado óptimo, señala la posición de los cortes en el fuste y los productos a obtener; además, cubica y clasifica las piezas obtenidas de cada producto según el diámetro menor. Sin embargo, el programa presenta algunas anomalías, debido a que no se consideran algunas trozas intermedias aprovechables por su longitud y diámetro. Cancino también recomienda investigar el efecto de la calidad de sitio en el ahusamiento.

Garland et al. (1989) investigó el problema de troceo *en situ* usando las soluciones calculadas de troceo, se logró aumentar el promedio de volumen comercial total de fuste en un 1.5% pero al asignar secciones de fuste a clases de troza de mayor valor aumentó el valor medio en un 8.4%.

4.9 Modelos de simulación para rendimiento Forestal

Los modelos predictivos son el producto de la aproximación de la biología y de la estadística para expresar de una manera simple los patrones que presentan un conjunto de datos (Campos 1989)

Los objetivos que persigue un modelo de simulación forestal es facilitar el manejo de las plantaciones con el fin de maximizar los beneficios de la producción forestal.

Las inversiones en manejo son altas y con mucha incertidumbre porque transcurren varios años antes de explotar los rodales. Los modelos constituyen una herramienta muy eficaz para evaluar múltiples alternativas de escenarios silvícolas, de mercado y otras variables tanto biológicas como de régimen silvicultural y determinar cual de ellas se ajusta más a la situación que enfrenta en ese momento un bosque en particular (Chile Forestal 1985).

Existen diferentes tipos de modelos, el término de modelo puede referirse a cada ecuación o a la unión de una serie de ecuaciones de un modelo global. Sin embargo los modelos tiene ciertas limitaciones pues responde con precisión sólo a cierto rango de condiciones, él que es llamado su ámbito de validez.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 *Localización del estudio*

El presente trabajo se realizó en diferentes sitios del Cantón de Turrialba, Costa Rica, el cual cubre un rango altitudinal de entre 500 a 1400 msnm, precipitación media anual de 2600 mm y pertenece a la zona de vida de bosque muy húmedo Pre montano (bmh-P) según el sistema Holdridge (1979). Las coordenadas geográficas son 9° 50' latitud norte y 83° 30' longitud oeste.

5.2 *Apoyo recibido para la implementación de este estudio*

La institución que apoyó en el trabajo de campo fue el Centro Agrícola Cantonal de Turrialba (CACTU) proporcionando personal experto en la medición de productos de postera de cerca, construcción y eléctrica, esta institución también aportó parte de los datos económicos. Los datos de campo fueron colectados en fincas con plantaciones establecidas en diferentes sitios del cantón. La mayor parte de estas plantaciones están bajo un convenio comercial con el CACTU para vender o procesar los productos resultantes de sus actividades de manejo. Los propietarios y administradores de estas fincas también proporcionaron un apoyo decisivo en la culminación del trabajo de campo, proporcionando personal, maquinaria y semovientes en los raleos efectuados.

Las dimensiones de los productos obtenidos de los raleos fueron los que el CACTU procesa y estos son básicamente, postes para tendido eléctrico y postes de cerca y construcción de diferentes dimensiones ambos preservados en autoclave al vacío-presión.

En el caso de la Finca la Fortuna debido a que posee un aserradero moderno para diámetros menores y plantaciones adultas de *Pinus oocarpa*, *Cupressus lusitana* y *Eucalyptus saligna*; los productos que se cuantificaron, además de postes de cerca y construcción, fueron madera para aserrio y trozas para tarimas.

En el caso de la Hacienda Juan Viñas los productos que se cuantificaron fueron básicamente postes de diferentes dimensiones que podrían ser usados en labores agrícolas de la finca de café y caña, y leña para el Ingenio.

En las fincas La Fortuna y la del CATIE se recopiló información silvicultural y dasométrica de mediciones anteriores de los sitios donde se montaron parcelas, lo que permitió hacer un seguimiento histórico de los crecimientos de los diferentes lotes de la plantación.

Cuadro 8. Resumen de los sitios y parcelas donde se realizaron los raleos, cuantificación, dimensionamiento de productos y toma de muestras de suelo, en Turrialba, Costa Rica.

| | Finca: | Sitio: | Especie | Año | Muestras |
|--------------|-------------|-----------------|-----------------------------|------|-----------|
| 1 | Moravia | Italia | <i>Pinus oocarpa</i> | 1981 | 2 |
| 2 | La Fortuna | Italia | <i>Pinus oocarpa</i> | 1981 | 2 |
| 3 | | Inglaterra | <i>Pinus oocarpa</i> | 1981 | 2 |
| 4 | | Inglaterra | <i>Pinus oocarpa</i> | 1981 | 2 |
| 5 | | EEUU | <i>Pinus oocarpa</i> | 1983 | 2 |
| 6 | | EEUU | <i>Pinus oocarpa</i> | 1983 | 2 |
| 7 | | Cueva | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1986 | 2 |
| 8 | | Cueva | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1986 | 2 |
| 9 | | Nicaragua | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1983 | 2 |
| 10 | | Nicaragua | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1983 | 2 |
| 11 | | Híbridos | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1986 | 2 |
| 12 | | Cuba2 | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1986 | 2 |
| 13 | | El Salvador | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1983 | 2 |
| 14 | | El Salvador | <i>Cupressus lusitanica</i> | 1983 | 2 |
| 15 | | Mali | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1988 | 2 |
| 16 | | Mali | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1988 | 2 |
| 17 | | Angola2 | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1985 | 2 |
| 18 | | Angola2 | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1985 | 2 |
| 19 | H J Viñas | Río Chíz | <i>Pinus caribaea</i> | 1985 | 2 |
| 20 | | Río Chíz | <i>Pinus caribaea</i> | 1985 | 2 |
| 21 | | Tanque de Agua | <i>Pinus caribaea</i> | 1985 | 2 |
| 22 | | El Duraznal | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1990 | 2 |
| 23 | | El Duraznal | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1990 | 2 |
| 24 | CATIE | Flor. Sur | <i>Eucalyptus grandis</i> | 1993 | 2 |
| 25 | | Flor. Sur | <i>Eucalyptus grandis</i> | 1993 | 2 |
| 26 | | Flor. Norte | <i>Pinus oocarpa</i> | 1984 | 2 |
| 27 | | Flor. Norte | <i>Pinus oocarpa</i> | 1984 | 2 |
| 28 | | Flor. Norte | <i>Pinus oocarpa</i> | 1984 | 2 |
| 29 | | Florencia Norte | <i>Pinus oocarpa</i> | 1984 | 2 |
| 30 | Platanillo | Hda.L. Aragon | <i>Pinus caribaea</i> | 1987 | 2 |
| 31 | | Hda.L. Aragon | <i>Pinus caribaea</i> | 1987 | 2 |
| 32 | Pavones | Altos | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1991 | 2 |
| 33 | Hda. Leopl. | Altos | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1991 | 2 |
| 34 | Fernández | Bajos | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1991 | 2 |
| 35 | | Bajos | <i>Eucalyptus saligna</i> | 1991 | 2 |
| 36 | La Fuente | Hda.A. Monter | <i>Eucalyptus grandis</i> | 1991 | 2 |
| 37 | | Hda.A. Montero | <i>Eucalyptus grandis</i> | 1991 | 2 |
| 38 | CACTU | Planta | <i>E.deglupta</i> | 1991 | 2 |
| Total | | | | | 76 |

Cuadro 9 Información complementaria que se utilizó en el estudio

| Lugar | Especies | Fuente de Información |
|------------------------------------|---|---------------------------------|
| Finca Scott Paper | <i>Pinus caribaea</i> | Sistema Mira |
| Varios Sitios en Turrialba | <i>Eucalyptus deglupta</i> <i>Eucalyptus grandis</i> | Tesis Sánchez (1994) Sist. Mira |
| Finca La Fortuna | <i>Pinus oocarpa</i> <i>Cupressus lusitanica</i> | Parcelas medidas en 1991 y 1994 |
| Registros del Manejo Silvicultural | Todas las del estudio | Registro en Fincas. |

Ubicación de los sitios donde se montaron las parcelas para el estudio



5.3 Establecimiento de parcelas

Se establecieron parcelas de evaluación en las plantaciones de las fincas, estas fueron representativas de diferentes condiciones de sitio. Para las especies que se evaluaron se realizó un muestreo aleatorio estratificado por especie, por edad y por calidad de sitio dentro de cada finca.

En estas parcelas se tomaron los datos de campo, descritos en el punto 5.5.2., que sirvieron para los análisis estadísticos de rendimiento.

5.4 Análisis de la información

Para la elaboración del modelo computadorizado de predicción del rendimiento por tipo de producto resultante de los raleos, se aprovechó la información existente de investigaciones realizadas en la zona de estudio, como las ecuaciones de calidad de sitio desarrolladas para las especies de

Pinus, *Cupressus* y *Eucalyptus sp*, que sirvieron para clasificar los sitios y medir su efecto en el rendimiento.

Para el análisis económico se estudió el mercado local de los productos de raleo, se realizaron análisis financieros por accesibilidad de la plantación, análisis de riesgo de inversión, análisis de sensibilidad, análisis de valor actual neto (VAN), se estimó la relación beneficio-costos y tasa interna de retorno (TIR), entre otros, para esto se utilizó el programa Cash Flow que facilitó los cálculos del flujo financiero.

5.5 Descripción de las unidades muestrales

5.5.1 Muestra del rodal a ralear

La forma de la unidad muestral fue rectangular, variando su tamaño según las condiciones de la plantación (espaciamiento), en general Ugalde (1995) considera que para especies y dimensiones del producto final que requiera de únicamente uno a dos raleos, las parcelas podrían ser de unos 50 a 60 árboles. Este podría ser el caso también de parcelas en plantaciones con espaciamientos iniciales más amplios (3x4, 4x4, 5x4 m).

En el estudio se evaluó un sólo raleo por lo que parcelas temporales con 50 árboles se consideraron apropiadas, es decir con un área aproximada de 500 m² para un espaciamiento promedio de 3 x 3 metros, llegando hasta parcelas de 1200 metros cuadrados en segundos raleos.

5.5.2 Variables evaluadas.

En cada parcela se marcó y numeró todos los árboles originales de acuerdo a la metodología del sistema MIRA (Ugalde 1988). Las principales variables que se midieron fueron diámetro, altura total en pie y sobrevivencia, para ello se utilizó el formulario MIRA de árboles en pie que también permitió clasificar la forma de los árboles individuales. Se estimó la altura dominante de los árboles más altos de la parcela, en una proporción de 100 árboles por hectárea, lo que junto con la edad del rodal fueron utilizados en los modelos de índice de sitio desarrollados en Turrialba, Costa Rica para las especies de interés, esto permitió la comparación de crecimiento entre sitios dentro de la zona de estudio. Se calcularon las variables dasométricas antes y después del raleo, así como índices de intensidad del raleo. Otras variables estimadas fueron S% de Hart, IDR, volumen, supervivencia.

Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades: 0-20 y de 20-40 cm, en la parte media de las parcelas. En el laboratorio se determinó el PH, la acidez extraíble, los contenidos de Mg, Ca y P y K, así como factores físicos del suelo como textura, contenido de arena, limo y arcilla. Se estimó la accesibilidad de la parcela en base a variables fisiográficas.

La mayor parte de las parcelas fueron raleadas al 50% pudiendo variar un poco este porcentaje de acuerdo a las condiciones de la parcela. Para

realizar el raleo se empleó el sistema de caja de dos árboles, buscando una distribución más o menos uniforme en el rodal.

Para elaborar los modelos de regresión y tablas de volumen en los árboles muestreados se marcaron secciones cada dos metros hasta la altura comercial, en estas secciones se midieron los diámetros con y sin corteza. La primera sección del árbol fue dividida en dos partes para mayor precisión. Se utilizó el formulario CATIE 7/1 y 7/2 para medición de árboles en secciones, conocido como el formulario de tríos para cubicación de árboles.

5.5.3 Datos obtenidos en los raleos

5.5.3.1 Rendimiento en tipo de producto

Los raleos se hicieron a una intensidad de 50% +/- 5% en número de árboles sobre parcelas de 50 a 64 árboles instalados en plantaciones de *E. grandis*, *E. saligna*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus oocarpa*, y *E. deglupta*. En las parcelas previamente fueron medidos los diámetros, alturas y área, se cuantificaron y midieron los productos obtenidos del raleo, como; postes de cerca y construcción, postes de tendido eléctrico y leña en el caso de los eucaliptos. En las plantaciones de pinos y cipreses se cuantificaron la trozas para aserrío y trozas para tarimas de 4.10 y 5.28 metros para la tipo americana y europea respectivamente, además se clasificaron postes de tendido eléctrico, por tratarse de plantaciones de mayor edad y en segundo o tercer raleo. Esta cuantificación se realizó a dos niveles; por árbol y por parcela, de manera que se pudo saber exactamente de que árbol provinieron determinado(s) producto(s) y cuanto nos rindió determinada parcela en volumen y tipo de productos.

Cuadro 10 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 |

5.6 Elaboración del modelo de predicción del rendimiento en productos.

Además de la base de datos creada con los valores dasométricos de cada una de las parcelas, se creó otra base de datos de productos de la siguiente manera:

Mediante el programa estadístico SAS se separaron los rendimientos de volumen y número de productos (para cada tipo de producto) por clase diamétrica de dos centímetros, en cada una de las parcelas. Teniendo en cuenta que se manejaron muchos productos, esta base de datos fue relativamente extensa.

Se ordenó la base de datos de productos por especie, se obtuvo la distribución de frecuencias de clases diamétricas de 2 cm para el total de árboles de las parcelas y para los árboles raleados. En base a estas frecuencias se obtuvo el área basal de cada clase diamétrica y el área basal relativa (%) de cada clase. A esta nueva base de datos se incorporaron los valores dasométricos de cada parcela y el rendimiento relativo en volumen de tipos de productos.

Se calcularon en una tabla los promedios en número de productos por tipo en cada clase diamétrica de 2 cm, de todas las parcelas raleadas por especie.

Se realizaron matrices de correlación entre el volumen relativo de tipos de productos y las áreas basales relativas de las clases diamétricas, los valores dasométricos y los rendimientos del aprovechamiento del raleo.

Mediante regresiones múltiples con las variables que mostraron mayor correlación se construyeron los modelos parciales que explicaron cada tipo de producto.

5.6.1 Modelo global computadorizado para predicción de productos resultantes del raleo

Los coeficientes calculados por las regresiones múltiple para cada tipo de producto se utilizaron para contruir un modelo global de predicción, este se realizó en el programa de cálculo Excel 5.0 en español. Este modelo interactivo se diseño para efectuar raleos teóricos (para su posterior aplicación práctica) en parcelas de calibración.

5.6.1.1 Insumos del modelo de predicción

Requiere de datos básicos de una parcela de 50 a 81 árboles representativa del sitio, como diámetros a la altura del pecho, área de la parcela y edad de la plantación. Para estimar el índice de sitio requiere de la altura dominante (la altura total promedio de los tres árboles más altos de la parcela).

Se debe indicar al sistema el diámetro promedio que esperamos al final del turno según el objetivo final, por ejemplo para madera de aserrio menor (tarimas por ejemplo) se estima este valor en 30 cm y para postes de cerca este valor se estima entre 15 y 20 cm. En base a estos diámetros esperados el sistema recomendará sobre la intensidad del raleo o la fecha de uno próximo para llegar satisfactoriamente al objetivo final.

5.6.1.2 Resultados del modelo de predicción

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.

Los resultados más importantes de este modelo son los de productividad, pues 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 oocarpa*. También aproxima el número de piezas de cada producto por hectárea.

5.7 Estimación del índice de sitio

El índice de sitio se define como la altura dominante, que pueden alcanzar los árboles de un rodal a una edad determinada, la cual se toma como edad base. (Ugalde y Vásquez 1995).

Para estimar el comportamiento de la altura dominante con la edad en todas las especies se utilizó el modelo de Schumacher (Ecuación nº1)

$$\ln(H_d) = \beta_1 + \beta_2 * 1/edad^k \quad (1)$$

Ln: logaritmo natural β : coeficientes. K: constante

Los coeficientes de los modelos utilizados para las especies *E. grandis*, y *E. deglupta* para la zona de Turrialba, fueron calculados por Sánchez (1994) para una edad base de 4 años. Para la especie *Cupressus lusitanica* se utilizaron los coeficientes calculados por Chávez y Fonseca (1991) para Costa Rica a una edad base de 20 años y para *Eucalyptus saligna* se utilizaron los coeficientes calculados por Vásquez (1991), ver guía silvicultural de *E. saligna* CATIE (1991) calculados con 75% de los datos en Costa Rica, estos valores se pueden ver en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Coeficientes de la ecuación de altura dominante calculados por Sánchez (1994) Vásquez (1991) y Chávez y Fonseca (1991), para la zona de Turrialba

| Especie | β_1 | β_2 | K | R ² |
|----------------------|-----------|-----------|-------|----------------|
| <i>E. deglupta</i> | 3.3928 | 24.3100 | 1 | 72% |
| <i>E. grandis</i> | 3.8142 | -37.5420 | 1 | 70% |
| <i>C. lusitanica</i> | 5.60784 | -5.2811 | 0.299 | 89% |
| <i>E. saligna</i> | 5.5147 | -8.8525 | 0.25 | ND |

Ecuación nº1

El caso de *Pinus oocarpa* no se encontró referencias que estimen el comportamiento de la altura dominante con la edad en la zona de Turrialba o

Costa Rica, por lo que se ajustó el Modelo de Schumacher (1939) con los datos obtenidos en el campo (25 parcelas).

Para estimar el valor de K se probaron en las regresiones, varios valores para este coeficiente desde 0.05 hasta 2, escogiéndose el valor que arrojó el mayor coeficiente de determinación.

Para estimar la ecuación que estima el índice de sitio con base en la edad y la altura dominante se utilizó el método de la curva guía (Alder 1980).

Hugell (1991) describe el método de la curva guía en tres pasos;

1. Desarrollar una ecuación para estimar la altura dominante con base a la edad, la cual define la curva guía.
2. Seleccionar entre los modelos intercepto común y pendiente común para definir una familia de curvas de índice de sitio.
3. Aplicar el modelo seleccionado para calcular el índice de sitio para cada parcela.

El paso 1 ya está completo, por lo que, luego de obtener la ecuación que mejor ajusta a los datos disponibles en cada especie, se construyeron las curvas de índice de sitio por el método de pendiente común o curvas anamórficas

La ecuación simplificada que resultó fue:

$$\ln(IS) = \ln(Hd) + \beta_2 \left(1 / Eb^k - 1 / E^k \right)$$

Donde:

- IS: Índice de Sitio en metros
 Hd: Altura dominante
 β_2 : Coeficiente de la ecuación de altura dominante (1)
 Eb: Edad base
 E: Edad de la plantación
 K: Exponente de mejor ajuste (1)

5.7.1 Curvas de índice de sitio

El estudio del crecimiento y rendimiento posibilita el manejo de las plantaciones de manera sostenible y permite hacer cálculos acerca de la rentabilidad de la actividad al comparar los costos con los rendimientos a obtener, los cuales se traducen en ingresos económicos. Ubicar las plantaciones respecto a curvas de índice de sitio permite clasificarlas para orientar el manejo a su objetivo final.

Despejando la altura dominante se construyó la familia de curvas anamórficas (las que mejor ajustaron) para cada especie. Para ver su ajuste,

estas curvas se plotearon con los valores de las parcelas, luego se plotearon las curvas que definen los límites de las clases de sitio en cada especie.

5.7.2 Agrupación por clase de sitio y productividad

Luago de asignar el valor de índice de sitio a cada parcela y especie se hizo una agrupación en clases de sitio; Clase Alta (I), Clase Media (II), y Clase Baja (III), esta clasificación se hizo en base al índice de sitio. La clase media esta delimitada por el promedio de índice de sitio de la especie mas y menos la mitad de la desviación estándar, debajo de este rango se encuentra la clase baja y por encima la clase de sitio alta. También se hizo una clasificación por productividad donde las clases de productividad se definieron del mismo modo que para índice de sitio, tomando como referencia el incremento medio anual en volumen total.

El ámbito de índice de sitio y número de observaciones para cada especie se presentan el Cuadro 12.

Cuadro 12. Ámbito de valores del índice de sitio y número de observaciones para las cinco especies del estudio en Turrialba, Costa Rica.

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

5.8 Estimación de volumen total y comercial de *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus saligna* con y sin corteza mediante modelos de regresión.

Para complementar los modelos de predicción de volúmenes de productos se elaboraron tablas de volumen total, comercial con y sin corteza hasta 5 cm de diámetro mínimo sin incluir el tocón, esta última permitió estimar el volumen de madera para postes de cerca y construcción, dado que la clase de poste de cerca de menor diámetro es la de dos pulgadas (aprox. 5 cm).

También fueron elaboradas tablas de volumen comercial hasta 15 cm de diámetro con y sin corteza, esta permitió estimar el volumen aprovechable en trozas para tarimas, pues el diámetro mínimo de troza para el aserradero de diámetros menores de la finca La Fortuna fue de 6 pulgadas (aprox. 15 cm), de la misma forma esta tabla de volumen fue utilizada para estimar el posible volumen de madera de postes de telefonía y electrificación cuyo diámetro en la cúspide oscila entre 13 y 18 cm en pino y eucalipto.

Para la elaboración de estas tablas fueron muestreados 2 árboles por clase diamétrica de dos centímetros para el ámbito de diámetros de la parcelas evaluadas de *Pinus oocarpa* y *Eucalyptus saligna*, estos fueron tomados de la finca La Fortuna de Moravia y la Hacienda Juan Viñas. En estas muestras

se midieron diámetros con y sin corteza cada 2 metros hasta la altura comercial, luego mediante el programa VOLCALC de PSP (1989), se calculó el volumen individual de cada sección con la fórmula de Smalian que considera la última sección del árbol como un cono. El ámbito de validez para estos modelos fueron los siguientes:

Para *Pinus oocarpa*:

| | Promedio | Mínimo | Máximo |
|--------------------------|----------|--------|--------|
| VOLUMEN(m ³) | 0.636 | 0.288 | 1.611 |
| DIÁMETRO(cm) | 26.46 | 18.50 | 39.00 |
| ALTURA (m) | 21.63 | 17.50 | 24.00 |

Para *Eucalyptus saligna*

| | Promedio | Mínimo | Máximo |
|--------------------------|----------|--------|--------|
| VOLUMEN(m ³) | 0.215 | 0.040 | 0.418 |
| DIÁMETRO(cm) | 15.96 | 8.50 | 22.50 |
| ALTURA(m) | 20.21 | 15.00 | 24.50 |

Para la estimación de los 6 tipos de volúmenes con y sin corteza; volumen total, volumen hasta 5 cm de diámetro mínimo y volumen hasta 15 cm, se probaron quince modelos de regresión de volumen mediante el programa VOLREGS de Palmers Statical Package (1989) los cuales son:

- 1 $V = f_x(D)$
- 2 $V = f_x(D, D^2)$
- 3 $V = f_x(D^2)$
- 4 $V = f_x(D^2 H)$
- 5 $V = f_x(D^2, H, D^2 H)$
- 6 $V = f_x(D^2, DH, D^2 H)$
- 7 $\ln V = f_x(\ln D)$
- 8 $\ln V = f_x(\ln D, \ln H)$
- 9 $V/D^2 = f_x(1/D^2, 1/D)$
- 10 $V/D^2 = f_x(1/D^2)$
- 11 $V/D^2 H = f_x(1/D^2 H)$
- 12 $V/D^2 = f_x(1/D^2, H/D^2, H)$
- 13 $V/D^2 H = f_x(1/D^2 H, 1/H, 1/D^2)$
- 14 $V/D^2 = f_x(1/D^2, H/D, H)$
- 15 $V/D^2 H = f_x(1/D^2 H, 1/H, 1/D)$

Donde V: Volúmen (m³)
 D: DAP (cm)
 H: Altura total(m)

Para cada tipo de volumen se consideraron como mejores los modelos que presentaron el índice de Fúrnival más bajo, la distribución de residuales uniforme, el coeficiente de determinación más alto (R²), y la significancia de la prueba de "F" y "T" para el modelo y los coeficientes (Salazar y Palmer 1984).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Estimación del índice de sitio de *Pinus oocarpa*

Se utilizó el modelo de Schumacher (1939) para estimar la altura dominante de esta especie.

La regresión arrojó los siguientes coeficientes para el mejor valor de K:

| Especie | β_1 | β_2 | K | R ² | N |
|------------|-----------|-----------|------|----------------|----|
| P. oocarpa | 3.6112378 | 21.083268 | 1.52 | 94% | 25 |

Ver ecuación nº1

La edad base elegida fue de 12 años, ya que está bien representada en la base de datos.

Para estimar la ecuación que estima el índice de sitio con base en la edad y la altura dominante de *Pinus oocarpa*, se utilizó el método de la curva guía (Alder, 1980) (ver el ámbito de los datos en la metodología).

6.2 Clasificación por clases de índice de sitio y de productividad

6.2.1 Caracterización de las clases de sitio para *C. lusitanica*, *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna* y *P. oocarpa*

En la clasificación de las plantaciones de la zona de Turrialba por índice de sitio y por productividad, la especie *Cupresus lusitanica* se muestreó en la finca La Fortuna de Moravia donde se obtuvieron datos de 10 lotes diferentes, el promedio de índice de sitio de las veinte parcelas evaluadas fue de 27.97 metros a una edad base de 20 años. El crecimiento y la productividad por clase de sitio para esta especie no resultó con mayores diferencias lo que se explica por el hecho de que todas las parcelas correspondieron a una misma finca relativamente homogénea, pero si presentan diferencias importantes para los objetivos del estudio, sin embargo la clasificación por productividad, presentó mayores diferencias. (Cuadro 14)

Las parcelas de *E. deglupta* se instalaron en varias fincas del Cantón pero principalmente en las plantaciones del CATIE, cercanas al Centro de Diversificación Agrícola del Cantón de Turrialba. Se utilizaron datos anteriores de los experimentos 235L y 236L y se hicieron mediciones de estas parcelas. El promedio de índice de sitio de las trece parcelas evaluadas fue de 24.7 metros a una edad base de 4 años con una desviación estándar de 5.67, por tanto la clase II estuvo definida por 24.7 ± 2.84 metros (Cuadro 14).

Las parcelas de *E. grandis* se instalaron, en la zona de La Fuente cercana al Guayabo y en la Finca del CATIE. También se recopilaron informaciones de

anteriores mediciones para estas mismas plantaciones, el promedio de índice de sitio de todas las parcelas evaluadas fue de 24.5 metros a una edad base de 4 años, con una desviación estándar de 3.22, por tanto la clase II en esta especie estuvo definida por 24.5 ± 1.61 metros (Cuadro 16).

Para *E. saligna* el promedio de índice de sitio fue de 25.3 metros a una edad base de 6 años, con una desviación estándar de 2.6, por tanto la clase II de esta especie estuvo definida por 25.3 ± 1.3 metros (Cuadro 15).

Para *P. oocarpa* las parcelas se concentraron en la finca la Fortuna de Moravia, el promedio de índice de sitio de las veinticinco parcelas evaluadas fue de 23 metros a una edad base de 12 años, con una desviación estándar de 2.1, por tanto la clase II estuvo definida por 23 ± 1.05 metros (Cuadro 17).

6.2.1.1 Clase de índice de sitio alta

Para *C. lusitanica* clase de sitio alta presentó incrementos de 1.66 metros en altura lo que la ubicó por encima de lo encontrado en Guatemala por Martínez y Zanotti (1985) citado por Cháves y Fonseca (1991) pero es similar con el IMA de altura encontrado en la hacienda Azul de Turrialba.

El incremento en volumen con corteza para esta clase estimado en $16 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, también es sobresaliente respecto a lo reportado por Lamprecht (1990) en plantaciones de África (8 a $15 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$) pero todavía estuvo por debajo de lo reportado para sitios buenos por Alonso et al (1965) para la zona de Heredia en Costa Rica (21.6 a $23.6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$). Los resultados del análisis del suelo (que se discutirá más adelante) indican que estos valores de productividad relativamente bajos para la zona y para esta clase de índice de sitio, se pueden atribuir a problemas de sitio (acidez), también pueden deberse al material genético utilizado (no se tiene datos sobre la procedencia), o de un deficiente manejo o combinación de estos problemas.

Un 20 por ciento de la plantación muestreada en la finca La Fortuna, se encontró en este rango de crecimiento. Los sitios fueron los siguientes: El Salvador, sin embargo este lote no es homogéneo ya que posee ciertas áreas que corresponden a la clase de sitio media. Nicaragua en cambio tiene un comportamiento más homogéneo al igual que Cuba ubicándose en toda su extensión en sitios de buen crecimiento. El lote Híbridos tiene micrositios con diferencias más extremas que en el Salvador, pues existen áreas en la clase de sitio alta y otras en clase la clase baja, por lo que para fines de manejo este lote debe ser estratificado.

Para *E. deglupta* la clase alta presenta crecimientos que lo califican como sitios sobresalientes respecto a los parámetros de Costa Rica, pues se encontraron por encima de lo reportado por CATIE (1994) para Turrialba, con incrementos medios anuales de 4.4 metros en altura total y 4.5 cm en DAP para una plantación de 2.5 años.

Un 31 por ciento de la plantación muestreada presentó este crecimiento superior, sitios que tienen buenas posibilidades de cumplir rápidamente con su objetivo final. La parcela crec002 a lo largo del tiempo se encontró en esta clase de sitio.

Para *E. grandis* los incrementos medios anuales encontrados en esta clase fueron de 4 cm y 5 metros respectivamente para dap y altura respectivamente, estos son excelentes crecimientos para la zona, cuando se comparan con el ensayo Nelder de Vásquez y Navarro (1993) citado por CATIE (1994) que reportan para Turrialba incrementos medios anuales de 3.03 cm y 3.7 metros en diámetro y altura respectivamente, para un espaciamiento de inicial de 4.1 x 4.1m.

En productividad esta especie presentó incrementos medios anuales de 49.5 m³/año de volumen y 4.5 m²/año de área basal, estos son rendimientos también muy elevados que concuerdan con los reportados como sitios de buen crecimiento por FAO (1981) con rendimientos que oscilan entre 30 y 55 m³/ha/año, esto sin llegar a extremos, como los reportados en Brasil con rangos desde 25 a 110 m³/ha/año.

Un 27 por ciento de las parcelas evaluadas para esta especie tienen crecimiento superior, estas tienen muy buenas posibilidades de cumplir rápidamente con su objetivo final (madera para aserrío). Los mejores lotes se encontraron en la zona de la Fuente con índices de sitio superiores a 29 m, el dap, la altura y el volumen promedio encontrado en esta lote fueron de 23.5 cm, 27.6 m y 357 m³/ha a los 5 años respectivamente, que lo califica como un sitio excelente para esta especie.

Los crecimientos de *Eucalyptus saligna* en esta clase corresponden a crecimientos medios de acuerdo a la clasificación de Ugalde (1990) para esta especie, que reporta un incremento promedio de 2.64 cm y en altura 2.76 m. El incremento medio anual en altura dominante fue de 4.6 metros.

Tal como se aprecia en la Figura 9 de curvas de índice de sitio para esta especie, en un lote de las plantaciones de la Finca de Leopoldo Fernández ubicado en la localidad de Pavones (lote con 200 m más de altitud que los de menor crecimiento) se encontraron los más altos crecimientos; con índices de sitios mayores a 28 m a una edad base de 6 años, esto a pesar que en el momento de la evaluación no presentaban manejo apreciable.

Para *Pinus oocarpa* los incrementos medio anuales para esta clase fueron 21.85 m³/año de volumen y 2.7 m²/año de área basal, esta característica correspondieron a un 22 por ciento de la plantación muestreada, lotes que tienen buenas posibilidades de cumplir rápidamente y económicamente con su objetivo final. Parte de los lotes Estados Unidos e Inglaterra en la finca La Fortuna pertenecen a esta clase de Índice de sitio que los hace económicamente muy atractivos (ver análisis financiero, sección 6.7).

6.2.1.2 Clase de índice de sitio media

La productividad promedio en esta clase para *Cupressus lusitanica* no muestra mucha diferencias entre sitios, esto puede deberse a que la muestra de esta especie correspondió a una sola finca, y esta presenta una productividad similar entre sus diferentes lotes. Los lotes pertenecientes a esta clase de sitio fueron: Cueva y Colombia.

Este clase de sitio agrupa 35% de los lotes muestreados y presenta incrementos medios mayores a los indicados por Chavez y Fonseca (1991) para la plantaciones de esta especie establecidas en Centro América (alrededor de 1 m/año en altura y 0.65 a 1.4 cm/año en dap) ver el Cuadro 13.

Para *Eucalyptus deglupta* el IMA en altura total para esta clase fue de 5.2 m y en DAP fue de 4 cm. lo que sigue siendo muy bueno comparado con otros sitios de Costa Rica como los sitios 729, 738, 722, según la metodología de MIRA considerados sitios de alto rendimiento en Centro América. La parcela crec001 presentó estas características de crecimiento.

En *Eucalyptus grandis* los incrementos no varían mucho respecto a los de la clase superior, sin embargo en productividad presenta mayores diferencias con un incremento en área basal de 3.77 m²/año y un incremento anual en volumen de 40.8 m³.

Las parcelas crec001 y crec002 de esta especie tuvieron un comportamiento similar y constante a lo largo del tiempo que las ubica en la clase sitio media, destacándose ligeramente la crec001.

Para *Eucalyptus saligna* los lotes de la zona baja de la hacienda de Leopoldo Fernández en Pavones se encontraron en esta clase de sitio, lo mismo que el Duraznal ubicado en la Hacienda Juan Viñas y Malí en la hacienda la Fortuna de Moravia, la diferencia de estos lotes en crecimiento respecto a los de la clase superior es mínima sólo la altura dominante muestra mayores diferencias.

Para *Pinus oocarpa* la productividad promedio de los lotes perteneciente a esta clase fue de 183 m³ con un área basal de 22.8 m² a los 9.5 años. Los incrementos medio anuales fueron de 18.1 m³/ha/año y 2.4 m²/ha/año para esta mismas variables. Los lotes Estado Unidos a los 13 años de edad, así como parte de el lote de Italia presentan estas característica de productividad y crecimiento. Los lotes del río Chiz en la hacienda Juan Viñas fueron similares.

6.2.1.3 Clase de índice de sitio baja

Para *Cupressus lusitanica* esta clase estuvo conformada por el 45% de la muestra, presentó bajos crecimientos de 16.4 cm a los 8 años y una altura promedio de 12 metros. Los sitios que entran en esta categoría tuvieron un

crecimiento marginal, por lo que difícilmente son rentables en lo que respecta a su objetivo final. Los Lotes que corresponden a esta categoría son básicamente parte de los lotes Cueva e Híbridos de La Fortuna.

Cabe destacar que sitios considerados marginales para Ciprés en Costa Rica reportan un IMA en altura de 0.78 m/año, lo que está por debajo de lo reportado para esta clase baja.

Para *Eucalyptus deglupta* esta clase presentó los menores crecimientos de la muestra, sin embargo pueden considerarse buenos comparados con otros sitios de Costa Rica. Con un crecimiento promedio en diámetro de 12.5 cm a los 3.1 años y una altura promedio de 14 metros e IMAS de DAP en 3.9 cm y 4.5 en altura. La parcela crec003 tuvo un comportamiento consistente en el tiempo en esta clase de sitio, este crecimiento menor se le puede atribuir a la ausencia de manejo y no al sitio, ya que es una parcela testigo. También la parcela ubicada cerca a la planta de preservación del CACTU tuvo este comportamiento debido fundamentalmente al sitio como tal, pues esta sí tuvo un manejo oportuno.

Para *Eucalyptus grandis* la clase de sitio baja a pesar de presentar una sobrevivencia similar a la de la clase media, presenta crecimientos más bajos con un diámetro de 11 cm y una altura promedio de 12.3 metros a los 3 años. Las diferencias en productividad fueron aún más acentuadas entre sitios, existiendo una diferencia de más de 35 m³/ha/año en el incremento medio anual de volumen entre la clase alta y esta clase, la cual tuvo un promedio de volumen a los 3 años de 45.4 m³/ha y un DAP promedio de 11.2 cm, los IMAS fueron del orden de 2.3 m²/ha/año y 14.3 m³/ha/año para área basal y volumen respectivamente. Esto concuerda con la gran variabilidad de rendimientos encontrados en la zona de Turrialba por Ugalde y Vásquez (1993).

El lote de Florencia presenta un comportamiento muy variable, por lo que se deduce que hay mucha diferencia entre micrositios en cuanto al crecimiento dentro del mismo lote, existen sitios de alto crecimiento, como sitios del más pobre crecimiento que lo ubican en esta clase de sitio.

En *Eucalyptus saligna* los lotes que entraron en esta categoría tuvieron crecimientos muy cercanos a los de la categoría inmediata superior por lo que es más conveniente clasificarlos por productividad, estos crecimientos también corresponden a los medios según la clasificación de Ugalde (1990). Por eso para fines de clasificación a esta clase de sitio se denominó Calidad de sitio media II.

Básicamente El lote Angola en la hacienda de La Fortuna se encontró en esta clase de índice sitio.

En *Pinus oocarpa* esta clase estuvo conformada por el 22% de la muestra. Los lotes que correspondieron a esta categoría tuvieron un crecimiento

marginal, que dificultará que lleguen de manera rentable a su objetivo final. El IMA de volumen encontrado, fue de sólo 16 m³/ha/año. Lotes como Italia y parte de Inglaterra a los 15 años fueron representativos de esta clase de sitio.

En resumen se puede decir que los lotes de *Pinus oocarpa* en la finca La Fortuna tienen un comportamiento variable dentro de la plantación misma, así se puede apreciar que Inglaterra tiene áreas con excelentes crecimientos ubicados en la clase I, pero también existen áreas dentro de este lote que corresponden a la clase III con crecimiento marginal, lo mismo ocurre con las parcelas ubicadas en el lote EE.UU. por lo que estos lotes, para fines de manejo, no deben ser tratados en -cuanto al manejo- del mismo modo en toda su extensión, Comportamientos más consistentes con el índice de sitio presentaron los lotes de Italia (de crecimiento medio a bajo)

Los Cuadros 13 al 22 resumen las estadísticas de crecimiento y productividad para cada una de las clases de índice de sitio para las cinco especies. En las Figuras del 6 a 10 se ubican gráficamente las parcelas respecto a las clases de sitio, definidas para cada especie por las curvas anamórficas de índice de sitio respectivas.

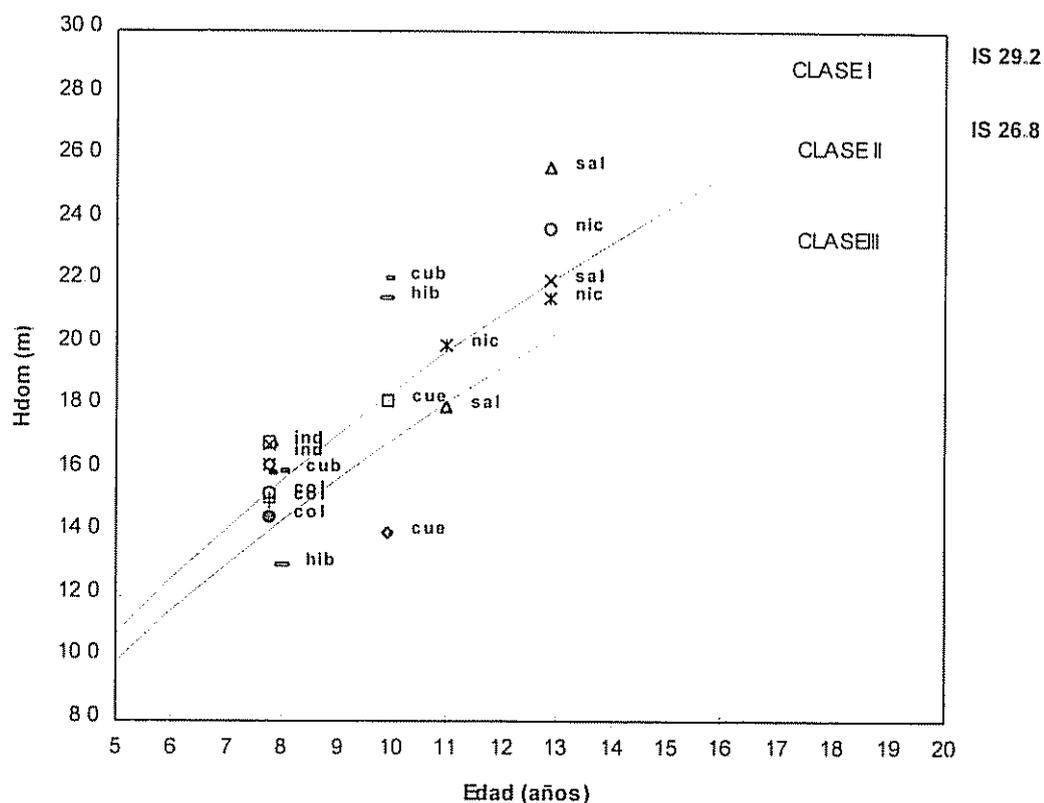


Figura 6. Curvas de índice de sitio y clases de sitio para plantaciones de *Cupressus lusitanica*, a una edad base de 20 años en la finca La Fortuna en Turrialba, Costa Rica.

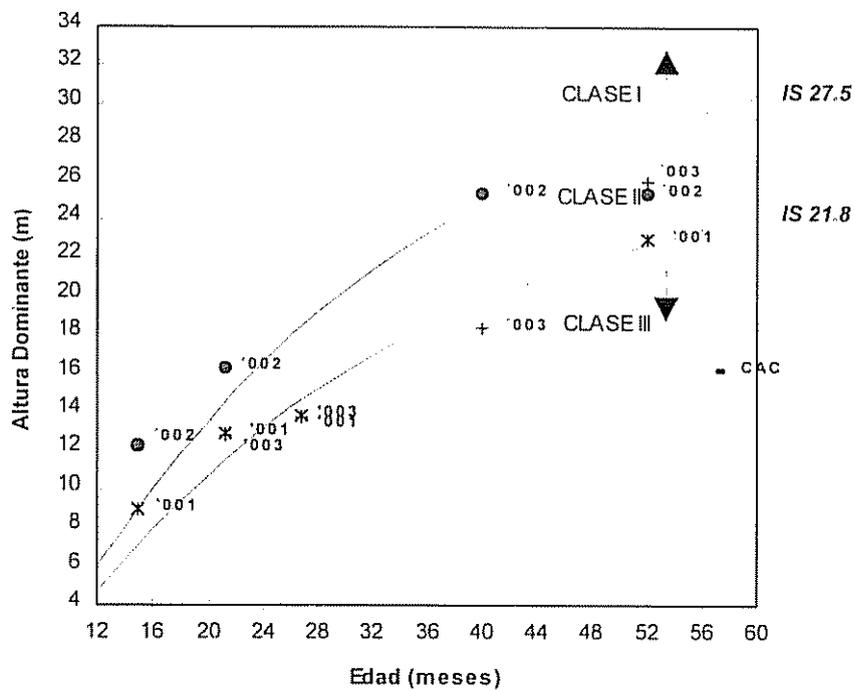


Figura 7. Curvas de índice de sitio y clases de sitio para plantaciones de Eucalyptus deglupta, a una edad base de 4 años en Turrialba, Costa Rica.

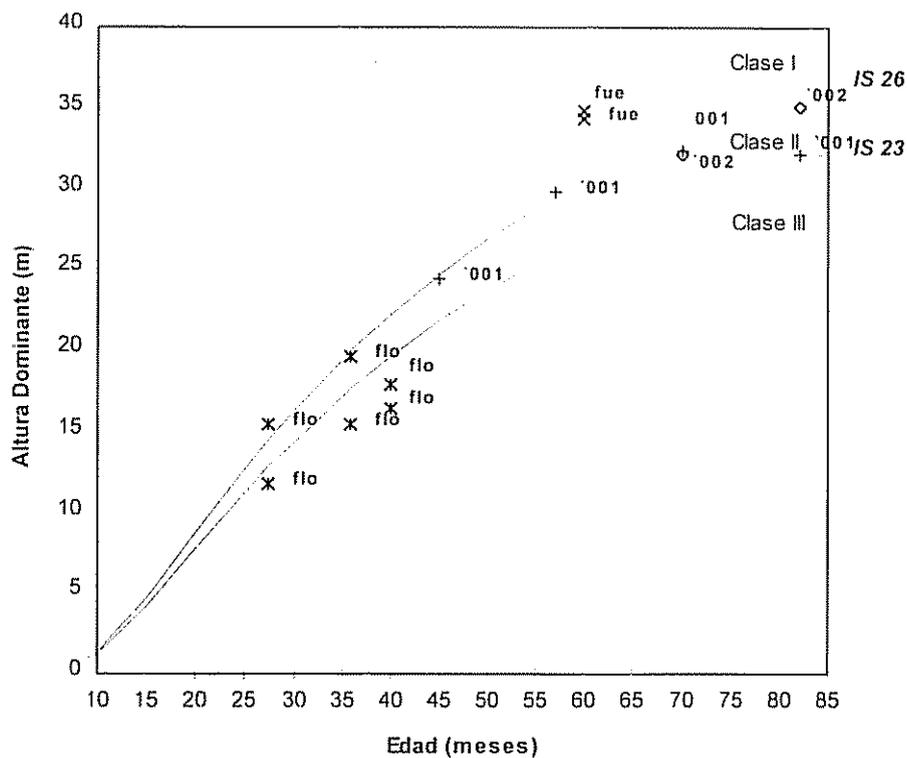


Figura 8. Curvas de índice de sitio y clases de sitio para plantaciones de Eucalyptus grandis, a una edad base de 4 años, en Turrialba, Costa Rica.

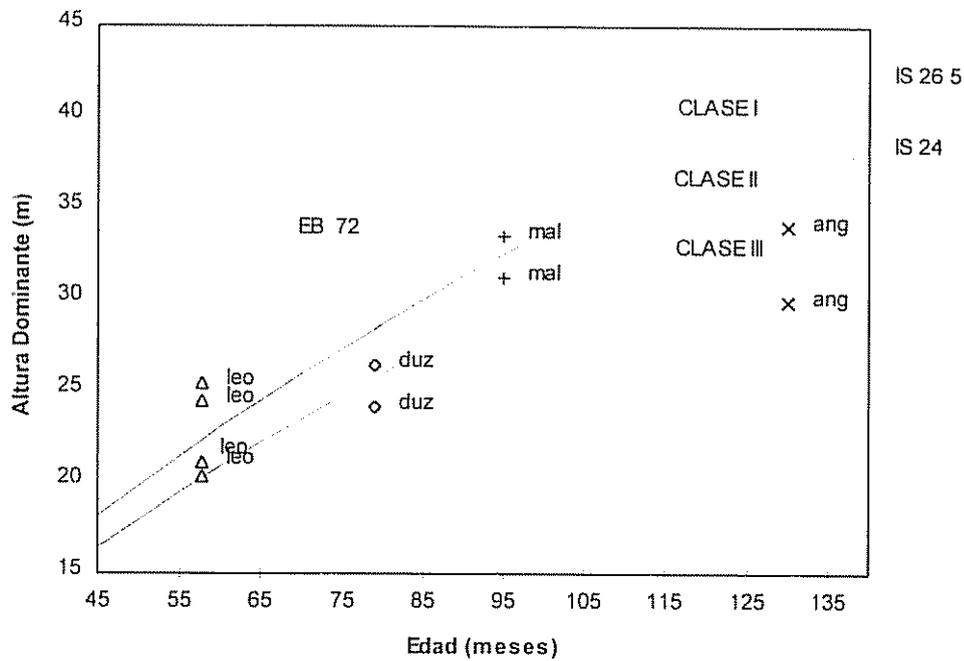


Figura 9. Clases de índice de sitio para plantaciones de *Eucalyptus saligna*, a una edad base de 6 años, en Turrialba, Costa Rica.

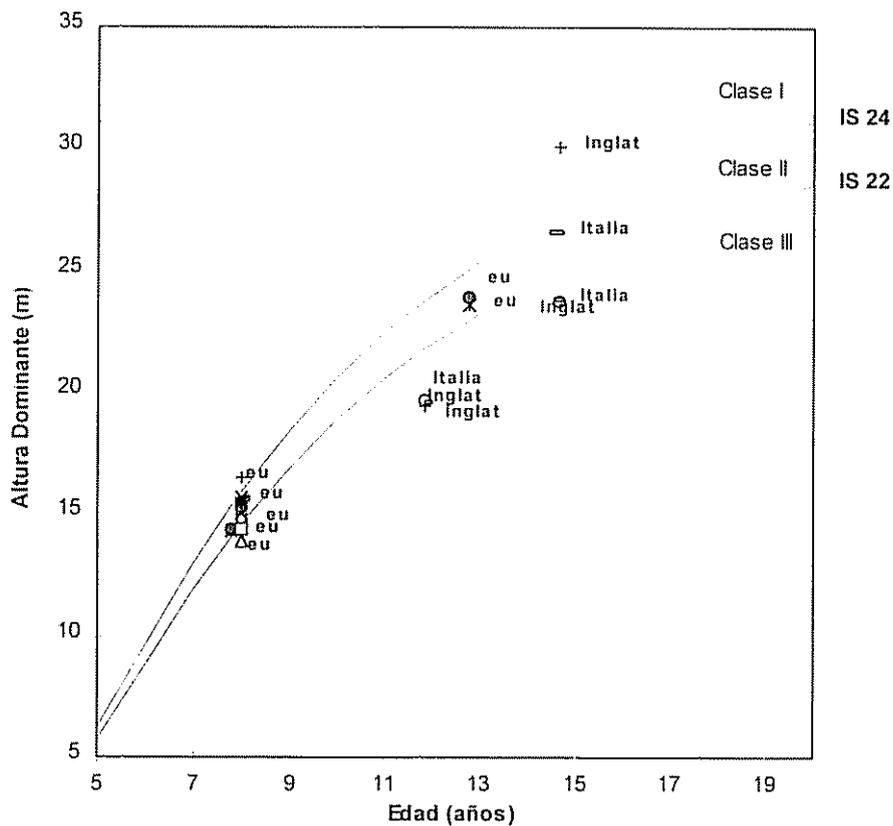


Figura 10. Clases de índice sitio para plantaciones de *Pinus oocarpa*, a una edad base de 12 años, en Turrialba, Costa Rica.

Cuadro 13: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Cupressus lusitanica* en Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Índice Sitio* | Incremento Medio Anual | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|---------|--------------|----------|------------|----------|-------------------------------|---------------------------|----------|------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------|--------|
| | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev S (%) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | A. Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | AB (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 29.2 m (20%) | 9.89 | 304 | 27.30 | 22.41 | 16.86 | 21.50 | 14.56 | 104.66 | 1.73 | 1.30 | 1.84 | 1.47 | 10.58 | 1.50 | 71.69 |
| | 11.40 | 399 | 35.91 | 25.95 | 18.66 | 23.27 | 19.24 | 147.59 | 2.18 | 1.66 | 2.04 | 1.67 | 12.88 | 1.57 | 76.24 |
| | 12.93 | 548 | 49.30 | 23.43 | 21.95 | 25.70 | 23.07 | 197.03 | 2.58 | 1.85 | 2.24 | 1.79 | 15.29 | 1.61 | 84.59 |
| MEDIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26.8 a 29.2 m (35%) | 7.78 | 333 | 29.95 | 14.28 | 11.91 | 15.90 | 17.24 | 94.92 | 1.73 | 1.33 | 1.67 | 1.56 | 11.65 | 1.34 | 67.66 |
| | 9.16 | 759 | 51.95 | 18.99 | 14.25 | 17.84 | 20.32 | 123.35 | 2.10 | 1.58 | 1.99 | 2.31 | 13.65 | 1.39 | 75.89 |
| | 12.93 | 1240 | 77.50 | 27.39 | 18.95 | 22.08 | 23.03 | 157.15 | 2.50 | 1.74 | 2.17 | 2.96 | 16.63 | 1.45 | 85.95 |
| BAJA | | | | | | | | | | | | | | | |
| <26.8 m (45%) | 7.78 | 485 | 38.13 | 14.08 | 11.64 | 14.05 | 14.03 | 73.55 | 1.81 | 1.24 | 1.42 | 1.57 | 7.74 | 1.09 | 61.68 |
| | 8.10 | 847 | 54.91 | 16.43 | 12.45 | 14.92 | 18.65 | 100.40 | 2.03 | 1.55 | 1.82 | 2.34 | 12.60 | 1.27 | 76.57 |
| | 10.00 | 1200 | 75.00 | 19.83 | 13.48 | 15.30 | 26.19 | 134.67 | 2.19 | 1.73 | 1.95 | 3.37 | 17.31 | 1.33 | 87.88 |

* Basado en índice de sitio a una edad base de 20 años

Cuadro 14: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Eucalyptus deglupta* en Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Índice Sitio* | Incremento Medio Anual | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|---------|--------------|----------|------------|----------|-------------------------------|---------------------------|----------|------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------|--------|
| | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev S (%) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | A. Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | AB (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA | | | | | | | | | | | | | | | |
| > 27.5 m (30.77%) | 1.24 | 859 | 55.00 | 6.45 | 7.47 | 9.00 | 5.69 | 26.45 | 4.29 | 5.80 | 7.26 | 4.32 | 21.33 | 6.95 | 108.42 |
| | 1.90 | 1367 | 75.75 | 10.30 | 12.73 | 15.72 | 10.19 | 75.42 | 4.72 | 5.93 | 8.48 | 4.80 | 30.79 | 7.78 | 121.83 |
| | 3.33 | 1568 | 98.00 | 14.30 | 20.09 | 25.38 | 14.38 | 145.86 | 5.20 | 6.03 | 9.84 | 5.18 | 43.80 | 9.42 | 140.49 |
| MEDIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21.8 a 27.5 m (38.46%) | 1.77 | 432 | 27.00 | 8.12 | 10.05 | 12.80 | 8.78 | 48.99 | 2.99 | 4.48 | 5.31 | 2.67 | 27.06 | 5.53 | 123.77 |
| | 3.31 | 1114 | 62.03 | 12.66 | 16.55 | 20.00 | 12.24 | 112.48 | 4.03 | 5.22 | 6.34 | 4.04 | 33.03 | 6.01 | 130.73 |
| | 4.33 | 1600 | 98.00 | 18.21 | 22.76 | 25.93 | 19.70 | 210.06 | 4.90 | 6.16 | 7.30 | 5.34 | 48.51 | 6.24 | 149.92 |
| BAJA | | | | | | | | | | | | | | | |
| <21.8 m (30.77%) | 2.24 | 595 | 37.00 | 10.26 | 12.29 | 13.70 | 11.15 | 76.02 | 2.83 | 2.80 | 3.40 | 2.35 | 16.00 | 3.72 | 88.42 |
| | 3.14 | 1230 | 53.53 | 12.57 | 14.09 | 15.49 | 13.76 | 93.51 | 3.92 | 4.51 | 5.29 | 4.37 | 25.80 | 4.76 | 113.76 |
| | 4.75 | 1568 | 86.10 | 15.02 | 16.29 | 18.33 | 17.41 | 143.95 | 5.09 | 5.98 | 6.16 | 5.77 | 34.54 | 5.14 | 132.76 |

* Basado en índice de sitio a una edad base de 4 años

Cuadro 15: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Eucalyptus saligna* en Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Índice Sitio* | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | A.Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | Incremento Medio Anual | | | | | | |
|-------------------------------|--------|-------------|---------|------------|-------|----------|------------|----------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------|--------|
| | | | | | | | | | | | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | AB (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | |
| ALTA- > 26.6 m (40%) | Mínimo | 4.83 | 483 | 30.19 | 12.11 | 11.60 | 14.90 | 24.50 | 10.06 | 88.89 | 2.40 | 2.88 | 3.93 | 3.40 | 18.40 | 4.47 | 120.00 |
| | Prom | 6.38 | 775 | 54.03 | 14.13 | 16.47 | 20.22 | 28.59 | 16.67 | 165.93 | 2.59 | 3.20 | 4.61 | 2.59 | 26.50 | 4.66 | 123.53 |
| | Máximo | 7.93 | 1234 | 76.92 | 15.44 | 21.50 | 26.02 | 33.43 | 20.54 | 205.00 | 2.85 | 3.55 | 5.23 | 2.85 | 38.62 | 4.82 | 128.45 |
| MEDIA 24 a 26.6 m (30%) | Mínimo | 4.83 | 627 | 42.25 | 12.15 | 10.77 | 12.99 | 21.13 | 6.71 | 54.50 | 1.68 | 2.27 | 3.13 | 1.39 | 11.28 | 4.01 | 104.95 |
| | Prom | 7.43 | 655 | 52.57 | 16.10 | 16.02 | 19.22 | 27.17 | 15.88 | 158.20 | 2.26 | 2.66 | 3.83 | 2.14 | 20.54 | 4.10 | 120.26 |
| | Máximo | 10.88 | 676 | 59.57 | 30.32 | 19.00 | 24.72 | 34.00 | 21.15 | 224.14 | 2.88 | 3.03 | 4.38 | 3.21 | 29.73 | 4.17 | 135.23 |
| MEDIA II <24 m (30%) | Mínimo | 4.83 | 357 | 22.32 | 13.83 | 11.65 | 15.17 | 20.33 | 16.04 | 138.51 | 2.11 | 2.23 | 2.75 | 1.47 | 14.07 | 3.55 | 105.48 |
| | Prom | 7.43 | 384 | 62.51 | 16.08 | 16.96 | 19.65 | 24.79 | 17.23 | 154.89 | 2.33 | 2.76 | 3.54 | 2.60 | 23.00 | 3.74 | 118.12 |
| | Máximo | 10.88 | 1460 | 90.20 | 19.03 | 23.00 | 24.26 | 29.88 | 18.88 | 173.04 | 2.46 | 3.14 | 4.21 | 3.47 | 28.68 | 3.87 | 130.22 |

* basado en índice de sitio a una edad base de 6 años

Cuadro 16: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Eucalyptus grandis* en Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Índice Sitio* | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | A.Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | Incremento Medio Anual | | | | | | |
|----------------------------------|--------|-------------|---------|------------|-------|----------|------------|----------|------------------------------|---------------------------|------------------------|------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------|--------|
| | | | | | | | | | | | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | AB (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | |
| ALTA > 26.12 m (26.67%) | Mínimo | 2.29 | 780 | 53.10 | 10.30 | 8.16 | 9.21 | 15.50 | 4.91 | 24.06 | 3.56 | 4.02 | 6.29 | 2.14 | 10.51 | 6.59 | 112.87 |
| | Prom | 4.26 | 883 | 69.74 | 14.30 | 16.87 | 21.47 | 28.63 | 22.17 | 245.77 | 3.97 | 5.03 | 6.72 | 4.50 | 49.50 | 7.08 | 125.04 |
| | Máximo | 5.00 | 1007 | 82.14 | 24.17 | 20.41 | 27.63 | 34.80 | 30.53 | 371.16 | 4.30 | 5.53 | 6.96 | 6.11 | 74.23 | 7.44 | 135.38 |
| MEDIA 22.9 a 26.12 m (40%) | Mínimo | 3.00 | 329 | 26.60 | 12.63 | 12.83 | 14.96 | 19.60 | 10.07 | 66.12 | 3.71 | 4.27 | 4.71 | 2.77 | 22.04 | 5.82 | 109.72 |
| | Prom | 5.34 | 601 | 52.71 | 15.81 | 20.83 | 24.57 | 29.30 | 24.52 | 223.56 | 3.94 | 4.65 | 5.66 | 3.77 | 40.84 | 6.26 | 118.06 |
| | Máximo | 6.83 | 1007 | 90.60 | 20.14 | 26.55 | 30.50 | 35.10 | 51.87 | 300.96 | 4.28 | 4.99 | 6.53 | 5.33 | 51.62 | 6.44 | 125.72 |
| BAJA <22.9 m (33.33%) | Mínimo | 2.29 | 439 | 41.70 | 20.08 | 7.17 | 8.32 | 11.74 | 2.92 | 12.31 | 2.72 | 3.37 | 5.02 | 1.28 | 5.37 | 4.88 | 97.86 |
| | Prom | 3.03 | 671 | 61.65 | 27.01 | 11.20 | 12.36 | 16.05 | 7.24 | 45.45 | 3.64 | 4.04 | 5.28 | 2.31 | 14.29 | 5.20 | 102.39 |
| | Máximo | 3.29 | 817 | 77.50 | 35.30 | 14.92 | 14.93 | 18.73 | 13.06 | 90.13 | 4.54 | 4.54 | 5.69 | 3.97 | 27.40 | 5.54 | 123.78 |

* basado en índice de sitio a una edad base de 4 años

Cuadro 17: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Pinus oocarpa* en Turmaliba, Costa Rica.

| Clase de Índice Sitio* | Edad | | N2 | Sobrev (%) | S (%) | DAP (cm) | Htotal (m) | Hdom (m) | A.Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | DAP (cm) | Incremento Medio Anual | | | | | |
|--------------------------------|----------|--------|------|------------|-------|----------|------------|----------|------------------------------|---------------------------|----------|------------------------|----------|-------------------------|---------------------------|------------|-------|
| | Ambito | (años) | | | | | | | | | | Htotal (m) | Hdom (m) | AB (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | |
| ALTA > 24 m (22.22%) | Minimo | 8.00 | 522 | 47.00 | 15.61 | 15.11 | 11.30 | 15.70 | 20.93 | 142.13 | 1.89 | 1.41 | 1.81 | 2.45 | 17.67 | 2.07 | 68.54 |
| | Promedio | 9.67 | 855 | 57.06 | 20.28 | 19.38 | 14.69 | 19.50 | 25.44 | 227.82 | 2.01 | 1.49 | 2.71 | 2.67 | 21.85 | 2.14 | 74.49 |
| | Maximo | 14.67 | 1140 | 71.25 | 23.90 | 29.18 | 24.19 | 30.10 | 35.92 | 466.72 | 2.14 | 1.69 | 3.11 | 2.95 | 31.81 | 2.21 | 82.90 |
| MEDIA 22 a 24 m (55.55%) | Minimo | 7.78 | 418 | 37.60 | 17.32 | 13.96 | 9.03 | 14.30 | 12.32 | 79.83 | 1.74 | 1.16 | 1.61 | 1.54 | 9.98 | 1.91 | 60.36 |
| | Promedio | 9.57 | 777 | 52.60 | 22.93 | 19.80 | 13.64 | 17.86 | 22.85 | 183.07 | 1.99 | 1.39 | 2.53 | 2.43 | 18.17 | 1.95 | 69.79 |
| | Maximo | 14.59 | 1130 | 70.72 | 26.91 | 29.20 | 21.91 | 26.60 | 34.34 | 358.81 | 2.29 | 1.68 | 2.94 | 3.02 | 28.12 | 1.97 | 85.65 |
| BAJA <22 m (22.22%) | Minimo | 8.00 | 540 | 48.60 | 17.78 | 14.93 | 9.03 | 13.90 | 16.29 | 90.14 | 1.71 | 1.13 | 1.43 | 1.92 | 11.27 | 1.74 | 60.36 |
| | Promedio | 11.32 | 709 | 52.46 | 22.55 | 20.05 | 14.67 | 18.97 | 23.81 | 204.20 | 1.80 | 1.27 | 2.05 | 2.12 | 16.83 | 1.82 | 71.10 |
| | Maximo | 14.67 | 870 | 58.10 | 27.68 | 25.26 | 20.35 | 23.80 | 32.83 | 338.25 | 1.87 | 1.39 | 2.72 | 2.26 | 23.06 | 1.88 | 81.21 |

* basado en índice de sitio a una edad base de 12 años

6.2.2 Caracterización de las clases de productividad para *C. lusitanica*, *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna* y *P. oocarpa*

Debido a que la clasificación por índice de sitio no presentó mayores diferencias en las variables de rendimiento, se hizo una clasificación por productividad.

6.2.2.1 Clase de productividad alta

Para *Cupressus lusitanica* en esta clase se encontraron incrementos medio anuales de los 16 m³ y 2.7m² de volumen y área basal respectivamente. En la Finca la Fortuna lotes como el Salvador cumplen con estas características de alta productividad, pero están por debajo de los incrementos promedios para sitios considerados de alto rendimiento como Heredia en Costa Rica.

En las plantaciones evaluadas de *Eucalyptus deglupta*, los promedios de productividad para esta clase fueron muy superiores a los encontrados en la clase alta de la clasificación por índice de sitio, por lo que para fines de productividad este tipo de clasificación es más objetiva. Los incrementos medio anuales para esta clase estuvieron en el orden de los 46 m³ en volumen y 4.44 m² en área basal. La parcela crec002 de la finca del CATIE a los 3.3 años tuvo esta alta productividad, años anteriores se encontró bajo a una productividad media, en cambio la crec003 de la misma finca, a pesar de no tener ningún manejo, se mantuvo consistentemente en esta clase de alta productividad, esto se debió a que el potencial del sitio en términos de área basal estuvo más ocupado en esta parcela que en las otras parcelas con manejo, sin embargo el crecimiento en diámetro de esta parcela fue mucho menor precisamente por la falta de raleos (1433 arb/ha), con un dap promedio de 12.9 cm a los 4.33 años, mientras que parcelas como la crec002 con manejo (dos raleos y 432 arb/ha) alcanzaron 18.3 cm a la misma edad en la misma plantación. En el último año la diferencia de crecimiento en dap en estas dos parcelas se hizo evidente pues la parcela testigo crec003 presentó un ICA de 2.01 cm, mientras que parcela crec002 con manejo tuvo un ICA de casi el doble con 3.91 cm. La Figura 9 ilustra como el crecimiento en dap y la altura se ven afectados por la competencia a lo largo del tiempo.

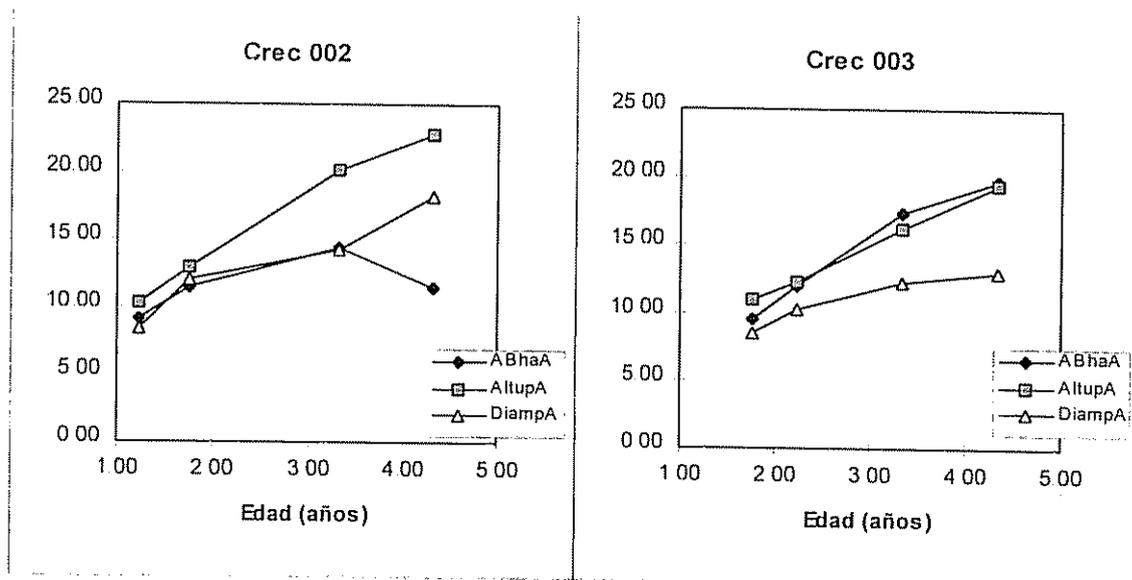


Figura 11 Comparación del crecimiento histórico entre plantaciones de *Eucalyptus deglupta* con y sin manejo en Turrialba, Costa Rica.

Donde:

ABhaA: Área basal por hectárea (m²)

AltupA: Altura promedio (m)

DiampA: Diámetro a la altura del pecho promedio (cm)

En las plantaciones de *Eucalyptus grandis* lotes como los encontrados en la zona de La Fuente alcanzaron incrementos en volumen de hasta 74 m³/ha/año que catalogan los promedios de esta clase de productividad como sobresaliente para Costa Rica.

Para esta clase en *Eucalyptus saligna* la productividad promedio fue de 32.34 m³ y 3.64 m² en volumen y área basal respectivamente. La parte superior de la finca de Leopoldo Fernández en Pavones y el estrato superior de la plantación El Duraznal en la hacienda Juan Viñas, presentaron esta buena productividad para la especie, que, sin embargo, se encontraron por debajo de lo estimado por el modelo de Vásquez (1991) a los 5 años de edad en una clase de sitio alta. Este especie puede alcanzar hasta 60 m³/ha/año de IMA de volumen en los mejores sitios, de lo que se deduce que los valores encontrados en esta clase superior están muy por debajo de lo óptimo para *E. saligna*, esto es debido fundamentalmente a la falta de manejo oportuno de las plantaciones muestreadas.

En la Finca del CATIE los lotes situados en el experimento 156 sitio 2 sobre procedencia de *P. caribaea* y *P. oocarpa* en Florencia Norte presentó un incremento a los 11.5 años de 49 m³/ha/año, lo situó en esta clase de productividad, básicamente por la influencia del *P. caribaea*.

6.2.2.2 Clase de productividad media

Para esta clase en la especie *Cupressus lusitanica* los incrementos medio anuales se encontraron en el orden de los 13 m³ y 2 m² de volumen y área basal respectivamente. En la finca la Fortuna lotes como Nicaragua y Cuba cumplieron con estas características productivas.

En las plantaciones de *Eucalyptus deglupta* en la finca de CATIE el sitio que representó la parcela crec002 generalmente se mantuvo en el tiempo en esta clase de productividad. Los lotes pertenecientes a esta clase todavía presentan una buena productividad según lo reportado para esta especie en Costa Rica.

Para *Eucalyptus grandis* las parcelas Crec001 y Crec002 de la finca de CATIE se ubican en esta clase de productividad, aunque su productividad a los 5.8 fue muy cercana a la clase alta, pero en general fueron muy consistentes sus comportamientos en el tiempo, respecto a esta clase.

En las plantaciones de *Eucalyptus saligna* evaluadas para esta clase de productividad, los incrementos medio anuales fueron 23.9 m³ y 2.31 m² de volumen y área basal respectivamente, valores por debajo de lo estimado por el modelo de Vásquez para 8 años de edad en sitios de calidad media en Costa Rica. En la hacienda la Fortuna, los lotes Malí y en menor medida Angola presentan una productividad media según esta clasificación.

En las plantaciones de *Pinus oocarpa* en la finca La Fortuna los lotes Inglaterra, EE.UU. a los 12.7 años y en menor medida Italia, en la Finca La Fortuna, presentaron incrementos medios entre 31 y 18 m³/ha/año que los situaron en esta clase de productividad.

6.2.2.3 Clase de productividad baja

Para *Cupressus lusitanica* las parcelas en esta clase presentaron en promedio 31 m³ menos de volumen por hectárea que la clase superior, los incrementos medio anuales para esta clase estuvieron en el orden de los 10.5 m³ y 1.7 m² de volumen y área basal respectivamente valores que corresponden a sitios como Híbridos y parte del lote Cueva.

La clasificación por productividad para esta especie funciona mejor para estratificar estas plantaciones por productividad, pues presentó diferencias mayores entre las variables de productividad que las clasificaciones por índice de sitio. La Figura 12 muestra las diferencias en productividad entre las tres clases de productividad propuestas.

Para *Eucalyptus deglupta* esta clase presenta 120 m³ menos en volumen que la clase superior y un área basal de 10.4 m², los incremento medio anuales estuvieron en el orden de los 18.9 m³ y 4.24 m² de volumen y área basal respectivamente. La parcela crec001 y la parcela montada junto a la planta de

preservación del CACTU, mantuvieron esta productividad baja y consistente en el tiempo, por lo que permanecieron en esta clase de productividad.

La clasificación por productividad para esta especie también funciona mejor para estratificar estas plantaciones para el manejo, pues presentan diferencias mayores entre las variables de productividad que las clasificaciones por índice de sitio. La Figura 13 muestra las diferencias en productividad entre las clases de productividad de *E. deglupta*.

Para *Eucalyptus grandis* los valores de productividad que presenta esta clase de baja son verdaderamente marginales para la zona y representan el 40% de la muestra. Probablemente el manejo para aserrío no sea económico para zonas que se ubican en esta clase.

Las plantaciones de la Finca del CATIE de esta especie en Florencia, aunque tienen mucha variabilidad de crecimientos por efectos de micrositio, la mayor parte se ubica en una clase de productividad baja donde los extremos de crecimiento van desde 27 a 5 m³/ha/año de incremento medio anual en volumen. Se pueden ver las diferencias de los valores promedios de productividad por clase en la Figura 14.

Eucalyptus saligna presenta incrementos medio anuales para esta clase de 14.5 m³ y 1.65 m² de volumen y área basal respectivamente, valores que se encontraron por debajo de lo estimado para la clase de sitio baja por el modelo de Vásquez. La parte inferior de la finca de Leopoldo Fernández en Pavones representó esta productividad marginal así como parte de el Lote Angola en la Hacienda la Fortuna.

La clasificación por incremento en volumen para esta especie, también funciona mejor para estratificar estas plantaciones para el manejo, pues presenta diferencias mayores entre las variables de productividad respecto a las clasificaciones por índice de sitio como se observa en la Figura 15

Para *Pinus oocarpa* los incrementos medio anuales en esta clase fueron de 13.85 m³ y 2.2 m² de volumen y área basal respectivamente. La plantación de la Fortuna a los 8 años presentaba incrementos marginales entre 9.9 y 20 m³/ha/año, esto se debió a un estancamiento de los incrementos por falta de manejo, el cual recién mejoró luego de estas mediciones (a la que siguieron los raleos).

Comparando las dos clasificaciones, la de productividad para esta especie funciona mejor para estratificar estas plantaciones para el manejo, pues presentó diferencias mayores entre sus variables que las clasificaciones por índice de sitio (Figura 16).

Los promedios de productividad para cada una de estas clases se presentan detallados en los Cuadros 18 al 22 para cada especie descrita.

Comparación entre Clases de Productividad

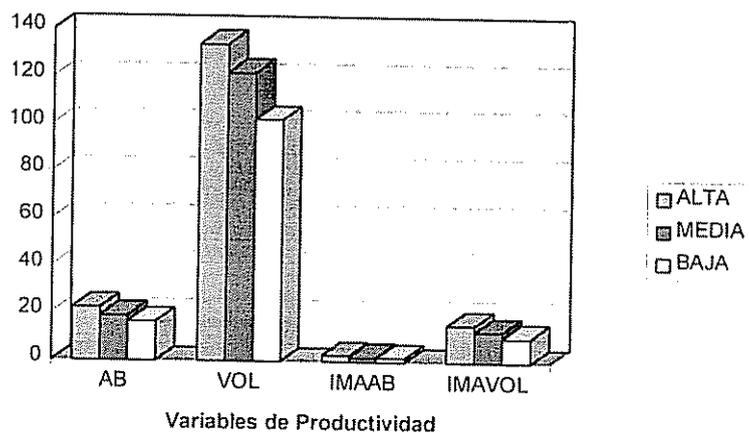


Figura 12 Diferencias entre clases de productividad para *Cupressus lusitanica* en la finca la Fortuna de Moravia en Turrialba, Costa Rica.

Comparación entre Clases de Productividad

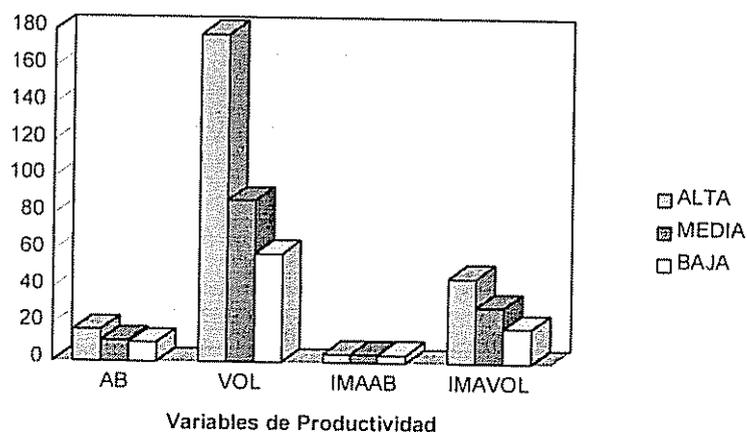


Figura 13 Diferencias entre clases de productividad en plantaciones de *Eucalyptus deglupta* en Turrialba, Costa Rica.

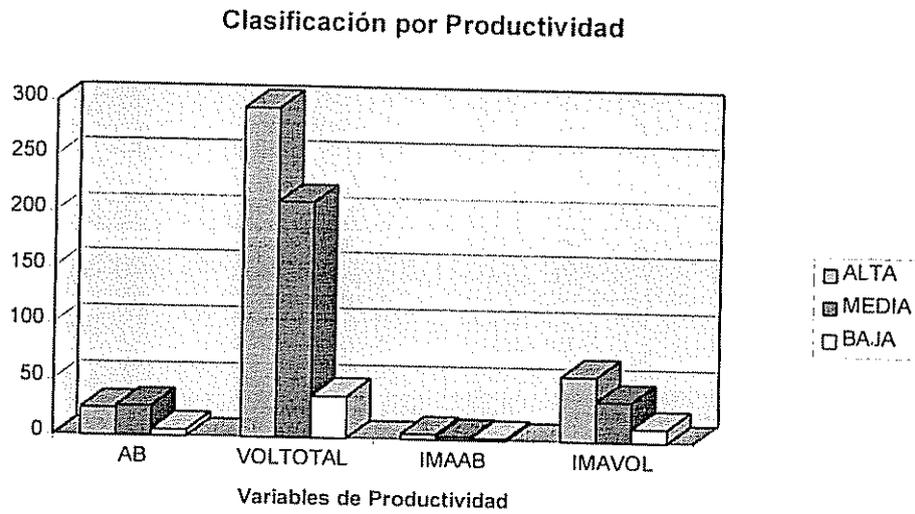


Figura 14 Diferencias entre clases de productividad para *Eucalyptus grandis* en Turrialba, Costa Rica

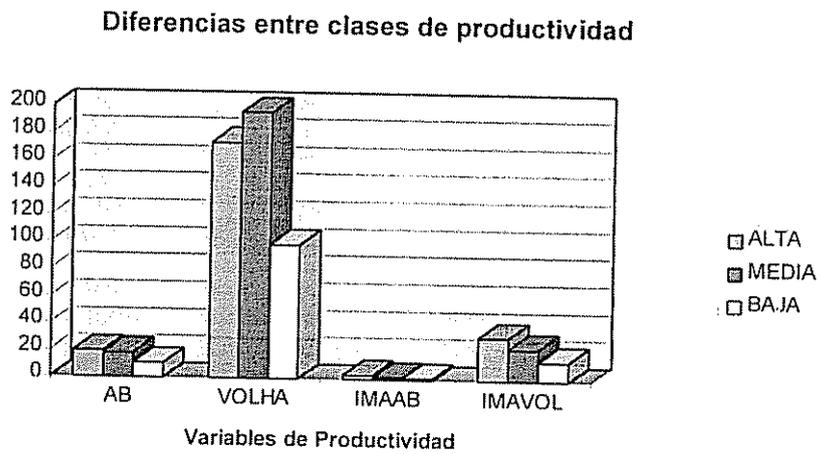


Figura 15 Diferencias entre clases de productividad de *Eucalyptus saligna*, en Turrialba Costa Rica

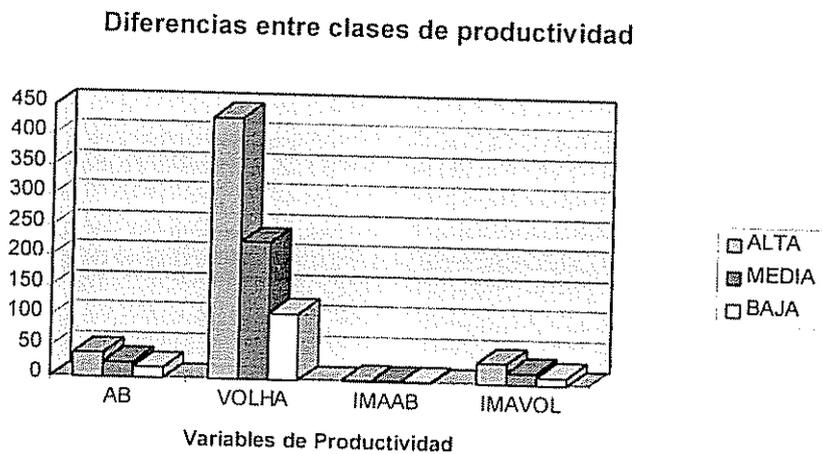


Figura 16. Diferencias entre clases de productividad para plantaciones de *Pinus oocarpa*, en Turrialba, Costa Rica.

Donde:

AB: Área basal (m^2)

VOL: Volumen por hectárea (m^3)

IMAAB: Incremento medio anual en área basal ($m^2/ha/año$)

IMAVOL: Incremento medio anual en volumen ($m^3/ha/año$)

Cuadro 18: Clasificación de rendimiento y productividad en Parcelas de Cupressus lusitanica en Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Sitio m ³ /ha/año | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | A.Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | AB (m ² /ha) | IMA | | |
|--|----------|----------------|------------|---------------|----------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|--------|
| | | | | | | | | | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA | Minimo | 7.78 | 430 | 38.70 | 18.84 | 20.11 | 113.20 | 1.79 | 14.55 | 1.28 | 67.66 |
| >14.4 (35%) | Promedio | 8.51 | 897 | 57.76 | 21.85 | 22.22 | 133.28 | 2.69 | 15.70 | 1.42 | 78.63 |
| | Maximo | 12.89 | 1240 | 77.50 | 25.82 | 26.19 | 197.03 | 3.37 | 17.31 | 1.61 | 87.88 |
| MEDIA | Minimo | 7.78 | 304 | 27.30 | 19.33 | 16.26 | 94.92 | 1.64 | 12.16 | 1.33 | 71.69 |
| 12 a 14.4 (35%) | Promedio | 9.55 | 676 | 47.79 | 23.41 | 19.30 | 122.49 | 2.08 | 12.96 | 1.42 | 77.05 |
| | Maximo | 12.93 | 1030 | 64.38 | 27.85 | 23.07 | 167.28 | 2.49 | 13.87 | 1.61 | 83.40 |
| BAJA | Minimo | 7.78 | 315 | 28.35 | 22.24 | 14.03 | 73.55 | 1.47 | 7.74 | 1.09 | 61.88 |
| <12 (30%) | Promedio | 9.70 | 557 | 42.78 | 27.41 | 16.63 | 102.15 | 1.74 | 10.48 | 1.35 | 72.37 |
| | Maximo | 12.89 | 1010 | 63.13 | 34.71 | 20.14 | 150.36 | 2.17 | 11.81 | 1.57 | 82.67 |

* Clasificación basada en IMAVOL.

Cuadro 19: Clasificación de rendimiento y productividad en Parcelas de Eucalyptus deglupta, en Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Sitio m ³ /ha/año | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | A.Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | AB (m ² /ha) | IMA | | |
|--|----------|----------------|------------|---------------|----------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|--------|
| | | | | | | | | | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA | Minimo | 3.33 | 859 | 55.00 | 11.16 | 14.38 | 145.86 | 4.32 | 43.80 | 6.24 | 140.49 |
| >34.6 (16%) | Promedio | 3.83 | 1118 | 70.55 | 12.80 | 17.04 | 177.96 | 4.44 | 46.16 | 6.63 | 145.21 |
| | Maximo | 4.33 | 1378 | 86.10 | 14.44 | 19.70 | 210.06 | 4.55 | 48.51 | 7.02 | 149.92 |
| MEDIA | Minimo | 1.24 | 432 | 27.00 | 15.69 | 8.78 | 48.99 | 2.67 | 27.06 | 5.08 | 108.42 |
| 25.6 a 34.6 (61%) | Promedio | 2.60 | 1248 | 66.35 | 19.76 | 11.45 | 87.88 | 4.42 | 30.31 | 6.39 | 123.41 |
| | Maximo | 4.33 | 1600 | 98.00 | 22.59 | 17.41 | 143.95 | 5.35 | 34.54 | 9.42 | 132.76 |
| BAJA | Minimo | 1.24 | 595 | 37.00 | 19.64 | 5.69 | 26.45 | 2.35 | 16.00 | 3.72 | 88.42 |
| <25.6 (23%) | Promedio | 2.74 | 1243 | 57.50 | 25.70 | 10.46 | 59.71 | 4.24 | 18.92 | 5.27 | 106.10 |
| | Maximo | 4.75 | 1568 | 98.00 | 30.15 | 14.55 | 76.67 | 5.77 | 21.33 | 6.95 | 115.81 |

* Clasificación basada en IMAVOL.

Cuadro 20: Clasificación de rendimiento y productividad en parcelas de *Eucalyptus saligna*, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Sitio m3/ha/año | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | A.Basal (m2/ha) | VTcc (m3/ha) | AB (m2/ha) | IMA | | |
|-------------------------------|--------|----------------|------------|---------------|----------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--------|
| | | | | | | | | | VTcc (m3/ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA >27.7 (30%) | Minimo | 4.83 | 661 | 59.52 | 12.11 | 16.77 | 138.51 | 3.21 | 28.68 | 3.87 | 104.95 |
| | Prom | 5.42 | 1118 | 75.55 | 13.93 | 19.49 | 173.66 | 3.64 | 32.34 | 4.26 | 119.93 |
| | Maximo | 6.59 | 1460 | 90.20 | 15.84 | 21.15 | 195.95 | 4.25 | 38.62 | 4.75 | 130.22 |
| MEDIA 19.7 a 27.7 (40%) | Minimo | 6.59 | 483 | 30.19 | 12.15 | 17.60 | 173.04 | 1.82 | 20.60 | 3.81 | 118.67 |
| | Prom | 8.33 | 643 | 45.88 | 14.13 | 18.69 | 196.37 | 2.31 | 23.96 | 4.31 | 123.73 |
| | Maximo | 10.88 | 834 | 75.00 | 15.39 | 19.79 | 224.14 | 2.87 | 26.26 | 4.82 | 135.23 |
| MEDIA II <19.7 (30%) | Minimo | 4.83 | 357 | 22.32 | 15.44 | 6.71 | 54.50 | 1.39 | 11.28 | 3.54 | 105.48 |
| | Prom | 6.85 | 597 | 50.40 | 18.26 | 10.94 | 98.84 | 1.65 | 14.58 | 4.06 | 118.18 |
| | Maximo | 10.88 | 807 | 72.94 | 20.32 | 16.04 | 153.13 | 2.08 | 14.40 | 4.62 | 128.45 |

* Clasificación basada en IMAVOL.

Cuadro 21: Clasificación de rendimiento y productividad en parcelas de *Eucalyptus grandis* en Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Sitio m3/ha/año | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | A.Basal (m2/ha) | VTcc (m3/ha) | AB (m2/ha) | IMA | | |
|-------------------------------|--------|----------------|------------|---------------|----------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--------|
| | | | | | | | | | VTcc (m3/ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA >45.3 (33%) | Minimo | 3.74 | 503 | 45.31 | 10.30 | 19.93 | 181.95 | 3.77 | 45.92 | 6.28 | 117.88 |
| | Prom | 5.08 | 773 | 68.54 | 12.53 | 24.96 | 295.80 | 4.99 | 58.37 | 6.77 | 126.08 |
| | Maximo | 5.83 | 1007 | 90.60 | 14.76 | 30.53 | 371.16 | 6.11 | 74.23 | 7.44 | 135.38 |
| MEDIA 23.3 a 45.3 (27%) | Minimo | 3.29 | 329 | 26.60 | 11.37 | 13.06 | 90.13 | 2.77 | 27.40 | 5.54 | 108.58 |
| | Prom | 5.42 | 642 | 47.32 | 16.22 | 27.27 | 211.35 | 3.52 | 36.46 | 6.07 | 114.30 |
| | Maximo | 6.83 | 1007 | 77.50 | 20.08 | 51.87 | 281.88 | 4.13 | 41.61 | 6.59 | 120.22 |
| BAJA <23.3 (40%) | Minimo | 2.29 | 439 | 41.70 | 20.14 | 2.92 | 12.31 | 1.28 | 5.37 | 4.88 | 97.85 |
| | Prom | 2.86 | 684 | 61.92 | 26.55 | 6.35 | 37.89 | 2.18 | 12.77 | 5.63 | 113.80 |
| | Maximo | 3.29 | 823 | 74.07 | 35.30 | 10.07 | 66.12 | 3.36 | 22.04 | 6.95 | 123.77 |

* Clasificación basada en IMAVOL.

Cuadro 22: Crecimiento y Productividad por Clase de Sitio en Parcelas de *Pinus oocarpa*, Turrialba, Costa Rica.

| Clase de Sitio | Ambito | Edad (años) | N2 (ha) | Sobrev (%) | S (%) | A. Basal (m ² /ha) | VTcc (m ³ /ha) | AB (m ² /ha) | IMA | | |
|--|----------|-------------|---------|------------|-------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------|--------|
| | | | | | | | | | VTcc (m ³ /ha) | IS (m/año) | Esbelz |
| ALTA > 29.2 m (28%) | Minimo | 11.56 | 500 | 45.00 | 12.39 | 34.34 | 345.11 | 2.45 | 28.12 | 1.91 | 55.36 |
| | Promedio | 12.22 | 723 | 65.06 | 15.66 | 40.56 | 433.05 | 3.36 | 35.72 | 2.17 | 81.40 |
| | Maximo | 14.67 | 962 | 86.67 | 20.12 | 47.01 | 567.79 | 4.07 | 49.12 | 2.52 | 96.97 |
| MEDIA 26.8 a 29.2 m (44%) | Minimo | 8.00 | 320 | 28.83 | 17.32 | 23.02 | 145.25 | 1.84 | 18.16 | 1.74 | 63.20 |
| | Promedio | 10.94 | 730 | 52.98 | 21.25 | 26.05 | 226.86 | 2.49 | 20.40 | 1.91 | 71.57 |
| | Maximo | 14.67 | 1140 | 71.25 | 25.13 | 32.83 | 343.97 | 3.02 | 23.58 | 2.07 | 85.65 |
| BAJA <26.8 m (28%) | Minimo | 7.78 | 700 | 43.75 | 22.32 | 12.32 | 79.83 | 1.54 | 9.98 | 1.75 | 60.36 |
| | Promedio | 7.94 | 822 | 51.43 | 25.40 | 17.62 | 109.97 | 2.22 | 13.85 | 1.88 | 66.46 |
| | Maximo | 8.00 | 940 | 58.75 | 27.68 | 21.33 | 142.26 | 2.67 | 17.78 | 1.97 | 72.78 |

* Clasificación basada en IMAVOL.

6.3 Factores de sitios asociados al crecimiento

6.3.1 Factores químicos

Se analizó la posible correlación de los elementos químicos con el crecimiento a través de su relación con el índice de sitio; se analizaron los contenidos de bases intercambiables de magnesio, calcio y potasio, contenido de materia orgánica y acidez de los suelos a dos niveles de profundidad, de 0-20 y de 20-40 cm.

Al realizar la matriz de correlación de Pearson entre las variables de suelo con el índice de sitio para cada especie, se encontró alta relación para *Cupressus lusitanica* con la acidez a una profundidad de 20-40 cm ($r = 0.49$), con el calcio a 0-20 y 20-40 cm. ($r=0.64, 0.54$), con el magnesio a las dos profundidades ($r=0.61, 0.55$), con el potasio y el fósforo a 0-20 ($r=0.50, -0.46$) y con la materia orgánica con correlación negativa a una profundidad de 20-40 cm ($r=-0.51$). El elemento calcio a 0-20 tuvo el mayor coeficiente de correlación por lo que por efecto de la alta colinealidad con los otros elementos, se consideró que este elemento aportó con mayor significancia al modelo de estimación de índice de sitio de esta especie (ver Figura 17).

Lo encontrado fue congruente con los resultados de el estudio de Fassbender y Tschinkel (1974), que encontraron una alta correlación significativa del magnesio y el potasio intercambiable que junto con el aluminio explicaron el 56% de la variación total del crecimiento en altura de plantaciones de *Cupressus lusitanica* en Colombia.

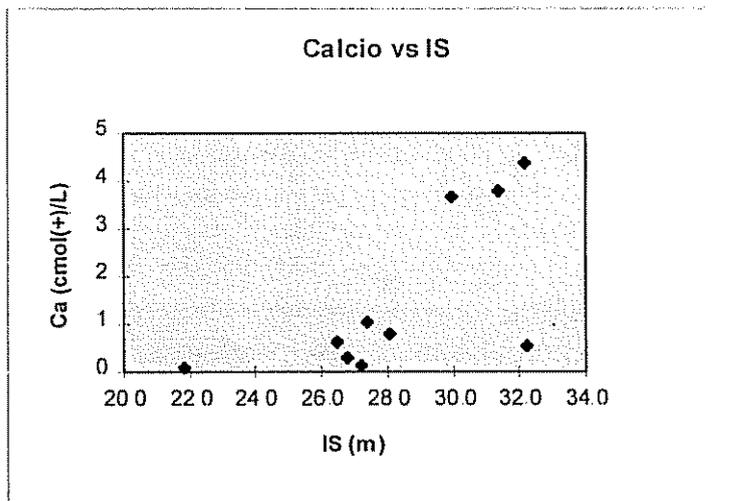


Figura 17. Relación de Calcio a 0-20 cm de profundidad del suelo y el índice de Sitio, para plantaciones de *Cupressus lusitanica* en Turrialba, Costa Rica.

En la Figura 17 se presenta la tendencia positiva del calcio con el índice de sitio a una edad base de 20 años de *Cupressus lusitanica*.

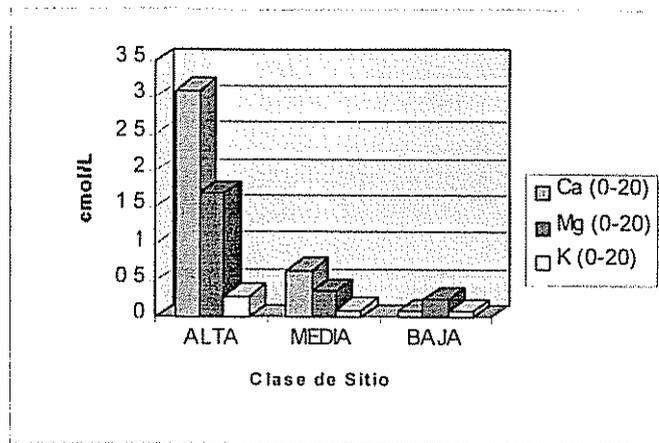


Figura 18. Diferencias entre clases de sitio en contenidos de calcio, magnesio y potasio superficiales (0-20 cm) para plantaciones de *Cupressus lusitanica* en Turrialba, Costa Rica.

En la Figura 18 se muestran las diferencias en los contenidos promedios de los elementos que presentaron mayor correlación, se puede apreciar también, que todos los elementos disminuyeron drásticamente conforme se bajó la clase de sitio.

Analizando los contenidos promedios de los elementos por clase de sitio se encontró que sólo en la clase alta hubieron niveles de calcio, potasio y magnesio dentro del ámbito óptimo recomendados por Berch (1995), en las otras dos clases estos elementos estuvieron por debajo de este óptimo sin embargo la especie siguió respondiendo con crecimientos considerados aceptables en la clase de sitio media. La materia orgánica se encontró en un porcentaje adecuado en todas las clases al igual que la acidez extraíble (o intercambiable).

Para la especie *Eucalyptus grandis*, se encontró correlación negativa del índice de sitio con el calcio, fósforo y magnesio a las dos profundidades -esto puede ser debido a que, por la acidez del suelo, estos elementos no están disponibles para las plantas- y una alta correlación positiva con la materia orgánica (Figura 19) y mediana con el pH del suelo, sin embargo existe una alta colinealidad entre estos factores, por lo que se consideró que el elemento que más aportó fue el de mayor "r" en este caso materia orgánica a 0-20 cm de profundidad ($r=0.95$).

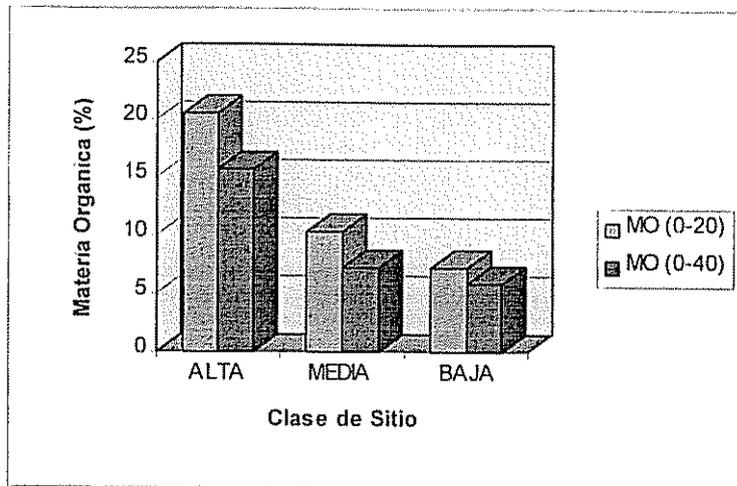


Figura 19. Diferencias de porcentaje promedio de materia orgánica entre clases de índice de sitio, a dos profundidades del suelo, para plantaciones de *Eucalyptus grandis* en Turrialba Costa Rica.

Se sabe que la materia orgánica tiene un efecto benéfico sobre las propiedades físico-químicas del suelo, entre ellos cabe destacar que favorece la formación de agregados, aumenta la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, favorece la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, a través de los procesos de mineralización (Salas, 1987), esto podría explicar en parte su relación con el crecimiento en *E. grandis*.

En *Eucalyptus saligna* se presentó una alta correlación del IS con los elementos potasio, magnesio y calcio en orden descendente a ambas profundidades (sólo la clase alta presentaba en promedio niveles aceptables de estos elementos), sin embargo hubo alta colinealidad entre estos elementos, por lo que se consideró que el aporte más importante fue el del potasio a una profundidad de 20-40 cm con un "r" de 0.787.

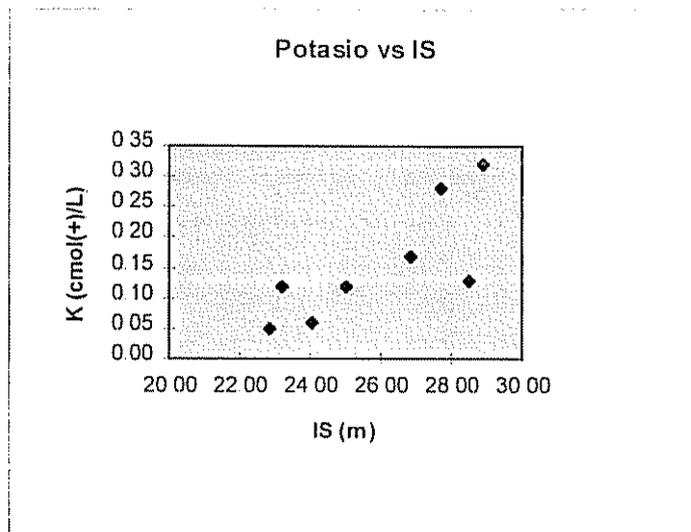


Figura 20. Relación de Potasio a 20-40 cm de profundidad del suelo, con el índice de sitio para plantaciones de *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

En la Figura 20 se puede apreciar la tendencia positiva del potasio a la profundidad de 20-40 cm, con el aumento en índice de sitio para esta especie.

Para *Pinus oocarpa* existieron dos elementos que aportaron significativamente al modelo que explicó índice de sitio, estos fueron: la acidez extraíble a 20-40 cm y el calcio a 0-20 cm de profundidad ($r=0.63$ y 0.52 respectivamente), los cuales por no tener colinealidad significativa ($r<0.1$), explicaron 87% de la variación del índice de sitio (Figura 21).

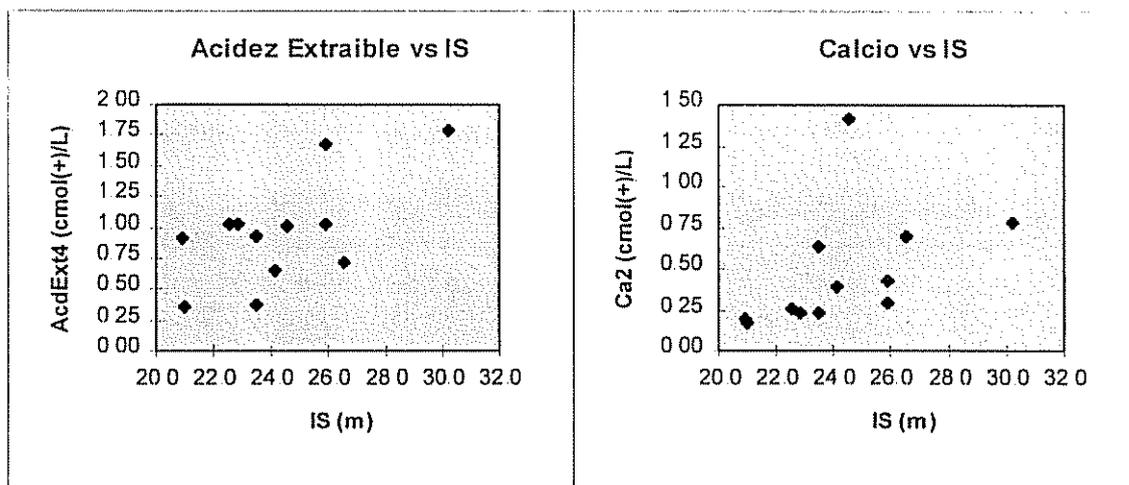


Figura 21. Relación de Acidez extraíble a la profundidad (20-40) y el calcio superficial con el índice sitio en plantaciones de *Pinus oocarpa* en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.

Los niveles de Ca, Mg, P, y K en ninguna de las clases alcanzaron promedios considerados óptimos por Bertsch (1995). Esto puede explicarse por el efecto de la especie sobre el suelo, debido a que las muestras de esta especie se tomaron en plantaciones maduras que acumularon los nutrientes en su biomasa, apesar que este género es más eficiente para reciclar los nutrientes que el ciprés por su tipo de asociación micorrizica (Cannon, 1995). La respuesta de la especie a estos bajos niveles de nutrientes, según la escala usual, indican que los niveles críticos para las especies forestales deben ser más bajos que los estimados para cultivos agrícolas.

6.3.2 Modelos de estimación de índice de sitio en base a factores físicos y químicos

Para la especie *Cupressus lusitanica*, hubo una alta correlación negativa con el porcentaje de arena a una profundidad de 20 a 40 cm., lógicamente a un mayor porcentaje de arena hubo un menor índice de sitio.

Según el análisis de regresión múltiple la ecuación que estima el índice de sitio en base a factores de sitio está definida para esta especie por:

$$IS = 4.049Ca(0-20\text{ cm}) + 0.481Arena(\%)(20-40\text{ cm}) \quad R^2=0.93$$

Para la especie *Eucalyptus grandis* se encontró una alta correlación negativa del índice de sitio con el porcentaje de Limo a una profundidad de 20-40 cm, por lo que la ecuación de índice de sitio estimada por regresión múltiple quedó definida por:

$$IS = 42.456 - 0.181 MO(0-20\text{ cm}) - 0.997 Limo(\%)(20-40\text{ cm}) \quad R^2=0.95$$

Para *Eucalyptus saligna* los factores físicos no explicaron significativamente el índice de sitio, por lo que la ecuación de índice de sitio mejor ajustada con regresión múltiple sólo incluyó factores químicos.

$$IS = 211.558 K(20-40\text{ cm}) - 14.241 Mg(20-40\text{ cm}) \quad R^2=0.83$$

El caso de *Pinus oocarpa* los resultados indican que tampoco los factores físicos influyen sobre el crecimiento de esta especie, en la regresión múltiple la ecuación que mejor ajusto fue en base a dos factores químicos:

$$IS = 13.887 AcdExt(20-40\text{ cm}) + 13.094 Ca(0-20\text{ cm}) \quad R^2=0.87$$

Donde: Ca, Mg, K, P están en cmol(+)/L.
MO, Limo, Arcilla y Arena en porcentaje.

Las ecuaciones desarrolladas permiten estimar el crecimiento de plantaciones con estas especies en sitios en Turrialba en los que aún no han sido establecidas, de este modo podríamos seleccionar los mejores sitios para cada especie o, de lo contrario, escoger una de estas para un determinado sitio.

6.3.2.1 Verificación de los modelos de estimación indirecta de índice de sitio

Para la verificación de las ecuaciones generadas se emplearon los mismos datos utilizados en la regresiones múltiples.

En el Cuadro 23 muestra las estadísticas correspondientes a las diferencias entre el valor observado y el valor calculado con los modelos y los coeficientes de determinación para cada especie de acuerdo a la metodología planteada por Hugell (1991).

Cuadro 23 Diferencias entre el índice de sitio calculado y observado para 4 especies en Turrialba, Costa Rica

| | Modelo de la Especie: | | | |
|-------------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| | C. lusitanica | E. grandis | E. saligna | P. oocarpa |
| Promedio(m) | 1.387 | 0.001 | 4.113 | 3.254 |
| Desv. Estandar(m) | 7.150 | 0.152 | 9.443 | 7.891 |
| CV(%) | 24.85 | 0.58 | 36.48 | 32.67 |
| R2(%) | 93.0 | 95.0 | 83.0 | 87.0 |
| N | 11 | 7 | 8 | 12 |

CV: coeficiente de variación

Se puede decir que las diferencias promedios entre los valores observados y estimados son relativamente bajas (0.001 y 4.113 m) y los modelos tienden a sobreestimar el índice de sitio para todas las especies. El mayor coeficiente de variación correspondió al modelo de *E. saligna*, que también tuvo el menor coeficiente de determinación. El modelo de *E. grandis* estimó con confiabilidad el índice de sitio sin embargo, estas estimaciones serían de una manera preliminar, debido a que el número de observaciones fue restringido por el costo que implican los análisis de suelo.

6.4 Modelos de estimación de volumen individual

6.4.1 Modelos de regresión de volumen para *Pinus oocarpa*

En el Cuadro 24 se presentan los modelos que mejor ajustaron para estimar el volumen con y sin corteza, total y comercial de *Pinus oocarpa* según las condiciones planteadas en la metodología:

Cuadro 24 Ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza para *Pinus oocarpa* en Turrialba, Costa Rica.

| Tipo de Volumen | Mejor Modelo | Modelo | R ² (%) |
|-------------------|--------------|--|--------------------|
| Total con Corteza | Nº 4 | $V = -0.0771115 + 0.0000443648 D^2 H$ | 94.2 |
| Total sin Corteza | Nº 8 | $\ln V = -11.5066 + 2.2433 \ln D + 1.0988 \ln H$ | 92.3 |
| Com. cc (5 cm) | Nº 4 | $V = -0.0788913 + 0.0000444082 D^2 H$ | 94.2 |
| Com. sc (5 cm) | Nº 8 | $\ln V = -11.5559 + 2.2546 \ln D + 1.1016 \ln H$ | 92.2 |
| Com cc (15 cm) | Nº 4 | $V = -0.214320 + 0.0000479743 D^2 H$ | 94.6 |
| Com sc (15 cm) | Nº 8 | $\ln V = -21.2618 + 3.7739 \ln D + 2.5136 \ln H$ | 91.5 |

Los coeficientes de determinación, índice de Furnival y prueba de "t" para los coeficientes de los modelos probados se aprecian en los Anexos 8 al 15. Se debe mencionar que los modelos 4 y 8 presentaron siempre los mejores coeficientes de determinación sin aumentar significativamente el índice de Furnival, esto indica que estos modelos explicaron mejor el comportamiento biológico de los volúmenes por la función logarítmica y exponencial de las variables que participaron en estos modelos. Las tablas de volumen total y comercial desarrolladas para los modelos que se seleccionaron se pueden revisar en los Anexos 20 al 25.

6.4.1.1 Factores morfológicos para tipos de volúmenes de *Pinus oocarpa*

Se calcularon factores de forma para los volúmenes con y sin corteza totales y comerciales de *Pinus oocarpa* (Cuadro 25), el factor para volumen total con corteza resultó cercano al que describe Combe et al (1979) citado por Lamprecht (1990) con un valor de 0.57 para la misma especie, a los 12 años de edad.

Cuadro 25 Factores de forma calculados para 6 tipos de volúmenes de P.oocarpa a los 12 y 14 años en Turrialba, Costa Rica.

| Diam Mínimo | Tipo de Vol. | Prom Vol. | Mínimo | Máximo | ff |
|-------------|--------------|-----------|--------|--------|-------|
| 0 cm | VTcc | 0.636 | 0.2876 | 1.6106 | 0.535 |
| | VTsc | 0.5073 | 0.1998 | 1.4012 | 0.427 |
| 5 cm | Vcom cc | 0.6349 | 0.2863 | 1.6103 | 0.534 |
| | Vcom.sc | 0.506 | 0.1977 | 1.4009 | 0.426 |
| 15 cm | Vcom.cc | 0.5568 | 0.1766 | 1.5852 | 0.468 |
| | Vcom.sc | 0.4151 | 0.0378 | 1.3736 | 0.349 |

Donde:

Vtcc: Vol total con corteza

Vtsc: Vol total sin corteza

Vcomcc: Vol comercial con corteza

Vcomsc: Vol comercial sin corteza

Prom Vol: Promedio de volumen encontrado en la muestra

Mínimo: Volumen mínimo de la muestra

Máximo: Volumen máximo de la muestra

ff: factor de forma.

Los factores de forma calculados permiten estimar de una manera simple y precisa los volúmenes totales y comerciales de esta especie, por lo que se considera que son de importancia para finqueros y técnicos reforestadores

6.4.2 Modelos de regresión de volumen para *Eucalyptus saligna*

En el Cuadro 26 se presentan las ecuaciones de volumen con y sin corteza, total y comercial para la especie *Eucalyptus saligna*, estos fueron desarrollados en base a los modelos de regresión de mayor ajuste según las condiciones planteadas en la metodología:

Cuadro 26 Ecuaciones de volumen total y comercial con y sin corteza para *E. saligna* en Turrialba Costa Rica.

| Tipo de Volumen | Mejor Modelo | Modelo | R ² (%) |
|-------------------|--------------|---|--------------------|
| Total con Corteza | Nº 8 | $\text{Ln V} = -8.5867 + 2.0426 \text{ Ln D} + 0.4342 \text{ Ln H}$ | 97.9 |
| Total sin Corteza | Nº 8 | $\text{Ln V} = -9.3704 + 2.0654 \text{ Ln D} + 6.1906 \text{ Ln H}$ | 97.9 |
| Com. cc (5 cm) | Nº 8 | $\text{Ln V} = -9.1021 + 2.1461 \text{ Ln D} + 0.5019 \text{ Ln H}$ | 96.8 |
| Com. sc (5 cm) | Nº 3 | $V = -0.0190492 + 0.000733182 D^2$ | 96.8 |
| Com cc (15 cm) | Nº 7 | $\text{Ln V} = -16.0579 + 4.82424 \text{ Ln D}$ | 94.9 |
| Com sc (15 cm) | Nº 8 | $\text{Ln V} = -23.093 + 6.1360 \text{ Ln D} + 0.9093 \text{ Ln H}$ | 97.2 |

Los coeficientes de determinación, índice de Fúrnival y prueba de "t" para los coeficientes de los modelos probados se presentan en los anexos 2 al 7. Los modelos logarítmicos fueron los que explicaron mejor en conjunto el comportamiento biológico de los tipos de volúmenes de esta especie. Las tablas de volumen para estas ecuaciones también se presentan en el Anexo (14 al 19).

6.4.2.1 Factor mórfico para *Eucalyptus saligna*

Los valores promedios de factores de forma de 6 tipos diferentes de volumen de esta especie se presentan en el Cuadro 27, el valor de 0.53 para volumen total con corteza se puede considerar alto para los eucaliptos cuyo de factor de forma generalmente se encuentran entre los valores 0.4 a 0.5, esto probablemente se explique por el manejo a la que han sido sometidas las plantaciones muestreadas.

Cuadro 27 El factor mórfico para 6 tipos de volumen de árbol individual en plantaciones de *E. saligna* jóvenes en Turrialba Costa Rica.

| Diam Mínimo | Tipo de Vol. | Prom Vol. | Mínimo | Máximo | ff |
|-------------|--------------|-----------|--------|--------|-------|
| 0 cm | VTcc | 0.2148 | 0.0401 | 0.418 | 0.531 |
| | VTsc | 0.1843 | 0.0318 | 0.367 | 0.456 |
| 5 cm | Vcom.cc | 0.2119 | 0.0332 | 0.4168 | 0.524 |
| | Vcom.sc | 0.1807 | 0.0227 | 0.3656 | 0.447 |
| 15 cm | Vcom.cc | 0.1067 | 0 | 0.3487 | 0.264 |
| | Vcom.sc | 0.0769 | 0 | 0.2914 | 0.190 |

Donde:

Vtcc: Vol total con corteza

Vtsc: Vol total sin corteza

Vcomcc: Vol comercial con corteza

Vcomsc: Vol comercial sin corteza

Prom Vol. Promedio de volumen encontrado en la muestra

Mínimo: Volumen mínimo de la muestra

Máximo: Volumen máximo de la muestra

ff: factor de forma

6.5 Modelos de estimación para el volumen total por hectárea

Para cada una de las especies del estudio se probaron 5 modelos de estimación del volumen total (ver numeración en la primera columna del Cuadro 29), se utilizaron el mismo número de observaciones que en la clasificación por índice de sitio. Los mejores modelos se escogieron bajo tres

criterios fundamentales: un alto coeficiente de determinación, un bajo coeficiente de variación y la facilidad relativa para obtener las variables independientes del modelo en el campo, sin perder significativamente las dos cualidades anteriores. El Cuadro 29 muestra los coeficientes de determinación y variación, así como la media de la diferencia entre lo observado y estimado por cada uno de los modelos probados en cada especie. Nótese que en la especie *C. lusitanica* los modelos número 1 y 2 tuvieron los mejores comportamientos, con los mejores coeficientes de determinación y coeficientes de variancia similares, sin embargo el modelo 4 en función de la altura promedio no pierde estas características utilizando una sola variable dependiente y además su sobrestimación promedio tiene un bajo valor en volumen (0.30 m^3). por lo que este modelo fue escogido en esta especie.

En *E. deglupta* se escogió el modelo número 2 que en conjunto tuvo las mejores características, un alto coeficiente de determinación con un bajo coeficiente de variación. El volumen por hectárea de la especie *E. grandis* fue mejor explicado definitivamente por el modelo 1 que implica tres variables independientes pero de fácil obtención en el campo como número de árboles actuales. Lógicamente para *E. saligna*, que generalmente tuvo una alta relación del diámetro con la altura, el mejor modelo para predecir el volumen fue el número 4. *Pinus oocarpa* al igual que en *Cupressus* tuvo como mejores modelos los números 1 y 2, escogiendo el 1 por su menor sobrestimación además que sólo difieren en una variable independiente de fácil obtención en el campo (N2). El Cuadro 28 presenta los modelos escogidos con sus coeficientes para cada especie.

Cuadro 28 Modelos de regresión para estimar volumen por hectárea en plantaciones de *C. lusitanica*, *E. deglupta*, *E. grandis*, *E. saligna*, *P. oocarpa*..en Turrialba Costa Rica

| Especie | Modelo | N |
|----------------------|---|----------|
| <i>C. lusitanica</i> | $\text{VOLHA} = 8.226 H_{\mu}$ | 20 |
| <i>E. deglupta</i> | $\text{VOLHA} = 15.202 H_{\mu} - 10.548 \text{DAP}_{\mu}$ | 13 |
| <i>E. grandis</i> | $\text{VOLHA} = 41.802 H_{\mu} - 36.534 \text{DAP}_{\mu} - 0.062 \text{N2}$ | 15 |
| <i>E. saligna</i> | $\text{VOLHA} = 8.172 H_{\mu}$ | 10 |
| <i>P. oocarpa</i> | $\text{VOLHA} = 30.400 H_{\mu} - 9.892 \text{DAP}_{\mu} + 0.018 \text{N2}$ | 25 |

Donde:

VOLHA es volumen en m^3 por hectárea

H_{μ} es altura promedio de parcela en m

DAP_{μ} es diámetro a la altura del pecho promedio de parcela

N2 número de árboles actuales

Cuadro 29 Coeficiente de determinación y coeficiente de variación y promedio de la diferencia de lo observado y estimado por cada modelo de regresión de volumen total por hectarea en C. lusitanica, E. deglupta, E. grandis, E. saligna, P. oocarpa en Turrialba Costa Rica.

| Modelo | <i>Cupressus lusitanica</i> | | | <i>E. deglupta</i> | | | <i>E. grandis</i> | | |
|------------------|-----------------------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|-------------------|-------|--------|
| | R2 | CV(%) | Media | R2 | CV(%) | Media | R2 | CV(%) | Media |
| 1. F(N2,DAP,ALT) | 97.90% | 14.36 | -0.59 | 94.60% | 24.95 | -0.56 | 96.70% | 21.40 | -3.90 |
| 2. F(ALT,DAP) | 97.90% | 15.00 | 0.34 | 95.00% | 25.09 | -1.44 | 95.70% | 24.67 | -11.30 |
| 3. F(DAP) | 95.70% | 21.75 | 1.75 | 87.30% | 41.66 | -1.31 | 86.60% | 46.26 | -14.50 |
| 4. F(ALT) | 97.50% | 16.66 | 0.30 | 92.90% | 31.05 | -3.52 | 90.60% | 38.11 | -17.35 |
| 5. F(AB) | 97.50% | 16.77 | -0.40 | 93.60% | 29.26 | -4.19 | 88.90% | 42.69 | 6.41 |
| 6. F(DAP2) | 89.70% | 32.12 | 12.49 | 83.20% | 47.06 | 8.74 | 88.00% | 44.42 | 4.54 |

| Modelo | <i>E. saligna</i> | | | <i>Pinus oocarpa</i> | | |
|------------------|-------------------|-------|-------|----------------------|-------|--------|
| | R2 | CV(%) | Media | R2 | CV(%) | Media |
| 1. F(N2,DAP,ALT) | 96.00% | 19.35 | -2.68 | 96.00% | 22.31 | -3.88 |
| 2. F(ALT,DAP) | 96.20% | 20.27 | -1.10 | 96.10% | 22.42 | -5.74 |
| 3. F(DAP) | 95.00% | 24.58 | 1.36 | 89.10% | 38.29 | -10.06 |
| 4. F(ALT) | 96.40% | 20.82 | -0.85 | 94.80% | 26.19 | -12.83 |
| 5. F(AB) | 98.90% | 11.31 | -1.22 | 95.20% | 25.02 | -13.85 |
| 6. F(DAP2) | 88.60% | 35.50 | 17.42 | 88.90% | 38.56 | 11.39 |

Estas ecuaciones pueden ser utilizadas para estimar el volumen total por hectárea de plantaciones que cuenten con datos básicos de crecimiento, no se utilizó índice de sitio como variable dependiente debido a que se pretende que estas ecuaciones sean de fácil y práctico uso para finqueros o técnicos forestales en lo que respecta a la estimación del rendimiento de sus rodales. Cabe mencionar que el ámbito de validez es restringido a la zona de Turrialba, para edades de 1.3 a 6 años en los eucaliptos, en *Cupressus lusitanica* de 7 a 13 años y en *Pinus oocarpa* de de 8 a 15 años con manejo.

6.6 Rendimientos y costos en cortas totales para *Pinus oocarpa*

En la finca La Fortuna se establecieron 2 parcelas para aprovechamiento total en las plantaciones de *Pinus oocarpa* de 13 años (lote EEUU. P5 y P6 ver Anexo 31) debido a que existía la disyuntiva si cortar todo el rodal en ese momento o continuar con los raleos para proveer de materia prima al aserradero de tarimas instalado en la finca. Los valores de crecimiento y rendimiento de estas parcelas y los costos de establecimiento para esta plantación se pueden revisar en el Anexo. Se tomaron los costos de faena de extracción y se contabilizaron los productos obtenidos, tanto trozas para aserrío de tarimas como postes de cerca y construcción (denominadas trozas 1).

6.6.1 Costos totales en el aprovechamiento de plantaciones de *Pinus oocarpa*

Los costos de extracción, como se explicó en la metodología se tomaron en el campo por el método de tiempos y movimientos, cronometrándose el tiempo que requirió cada actividad de extracción como el volteo, desrame, troceo, acarreo y transporte hasta el patio del aserradero. Los costos de estas extracciones hasta el patio del aserradero se muestran en los Cuadros 30 y 31

Cuadro 30 Costos de Extracción Final hasta el patio del aserradero en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 13 años, en La Fortuna de Moravia, Lote EEUU P-5 (1100 m²), Turrialba Costa Rica

| Actividad | Herramientas | M. Obra e insumos (1 Hora) | Tiempo por Actividad (Horas) | Costo Directo/parc (Colones) | Costo Directo/ha (Colones) | Tiempo Muerto (Horas) |
|------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 0.67 | 178.39 | 1621.77 | 0.083 |
| Desrame | Machete | 177.20 | 10.67 | 1890.72 | 17188.40 | 0.083 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 2.75 | 1219.52 | 11086.50 | 0.083 |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 6.17 | 4113.35 | 37394.13 | 0.25 |
| Carga | | 177.2 | 1.00 | 177.20 | 1610.91 | 0.25 |
| Transporte | Tractor+Carreta | 517.85 | 1.27 | 655.08 | 5955.28 | |
| Costo Directo Efectivo | | | | 8234.27 | 74856.98 | |
| Costo Directo Total* | | | | 8518.85 | 77444.08 | |

Cuadro 31 Costos de Extracción Final hasta el patio del aserradero en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 13 años La Fortuna de Moravia, Lote EEUU P-6 (900 m²), Turrialba Costa Rica

| Actividad | Herramientas | M. Obra e insumos (1 Hora) | Tiempo por Actividad (Horas) | Costo Directo/parc (Colones) | Costo Directo/ha (Colones) | Tiempo Muerto (Horas) |
|------------------------|-----------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 1 | 266.26 | 2958.44 | |
| Desrame | Machete | 177.2 | 7.5 | 1329.00 | 14766.67 | 0.083 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 2.5 | 1108.65 | 12318.33 | |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 6.25 | 4166.69 | 46296.53 | |
| Carga | | 177.2 | 1.00 | 177.20 | 1968.89 | 0.25 |
| Transporte | Tractor+Carreta | 517.85 | 1.27 | 655.08 | 7278.67 | |
| Costo Directo Efectivo | | | | 7702.88 | 85587.53 | |
| Costo Directo Total* | | | | 7761.89 | 86243.17 | |

* Incluye el costo del tiempo muerto

Las trozas de obtenidas de cada parcela se acarrearón con bueyes hasta el camino, allí fueron cargadas en carreta hidráulica jalada por el tractor, para ser llevada al patio del aserradero.

En el patio del aserradero las trozas fueron cortadas de acuerdo al largo del producto final, obteniéndose -si la troza 1 era aceptable en su totalidad- cuatro trozas pequeñas (trozas 2). Las trozas 2 ingresan al aserradero para diámetros menores marca BAKER de banda con ajuste electrónico, aquí son convertidas en cuartones y progresivamente a tablillas. Posteriormente por medio de una canteadora y lijadora se obtiene el producto final como piezas de tarima. Los productos finales obtenidos en el estudio se presentan en los Cuadros 32 y 33.

Cuadro 32. Rendimiento en productos por corta total en la Parcela 5 EEUU, de *Pinus oocarpa* en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.

Vol de Madera en Troza 1 convertido a producto Comercial

| Productos Obtenidos en el Aserradero | Dimensiones | Cantidad Nºpiezas/parc | Volumen (m ³) |
|---|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Tablas | 11/16" x 5.5" x 40" | 759 | 1 8812 |
| Cadenillos | 1.5" x 3.5" x 48" | 98 | 0.4047 |
| Reglas | 11/16" x 3.5" x 40" | 358 | 0.5647 |
| Volumen total de producto | | | m ³ 2.8506 |
| Vol comercial de Trozas para Tarimas obtenido en el campo | | | 12.9945 |
| % de Aprov | | | 21.94 |

Cuadro 33. Rendimiento en productos por corta total en la Parcela 6 EEUU, de *Pinus oocarpa* en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica

Vol de Madera en Troza 1 convertido a producto Comercial

| Productos Obtenidos en el Aserradero | Dimensiones | Cantidad Nºpiezas/parc | Volumen (m ³) |
|--|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Tablas | 11/16" x 5.5" x 40" | 670 | 1 6606 |
| Cadenillos | 1.5" x 3.5" x 48" | 244 | 1.0076 |
| Reglas | 11/16" x 3.5" x 40" | 965 | 1.5221 |
| Volumen total de producto | | | m ³ 4.1903 |
| Vol comercial de Trozas cc para Tarimas obtenido en el campo | | | 16.7677 |
| % de Aprov | | | 24.99 |

Los Cuadros 32 y 33 indican un rendimiento promedio de aserrío de 24% desde trozas con corteza de 5.28 y 4.10 metros de largo cortada en el campo (múltiplo del largo de la troza que entra en el aserradero), hasta producto terminado. Estos valores de rendimiento son bajos a pesar de que el aserradero que se maneja en la finca La Fortuna es moderno y diseñado para tener buenos rendimientos, la explicación puede estar en que las trozas obtenidas en el campo generalmente tuvieron poco diámetro (a una edad de 13 años), el porcentaje de corteza en promedio corresponde a un 22% del

volumen total, también a la pérdida en el troceo final en el patio del aserradero y el no contar por el momento con una reaserradora en la finca.

Los costos de aserrió por tarima se presentan en el Cuadro 34, este es un promedio de los costos para la segunda quincena del mes de junio de 1996, en la cual se hizo el procesamiento de los productos de este estudio. Estos costos no incluyen el valor de la materia prima.

Cuadro 34 *Estimación del Costo por Tarima en el aserradero de la finca la Fortuna en Turrialba Costa Rica.*

Periodo: 15/06/96 al 28/06/96

Producción: Tarimas Americanas: 3166

Tarimas Europeas: 54

| RUBRO | MONTO | Colones/Tarima | % |
|-------------------------------|-------------------|----------------|--------------|
| 1 Mano de Obra Directa | | | |
| 1.1 Patio | 107452.00 | 33.37 | 8.8 |
| 1.2 Aserrió y Dimensionado | 178929.70 | 55.57 | 14.6 |
| 1.3 Alistado | 46502.50 | 14.44 | 3.8 |
| 1.4 Estibado y Acomodo | 96309.20 | 29.91 | 7.9 |
| 1.5 Evacuación de Residuos | 31114.40 | 9.66 | 2.5 |
| 1.6 Mantenimiento | 19522.40 | 6.06 | 1.6 |
| 1.7 Electricista | 15000.00 | 4.66 | 1.2 |
| 1.8 Otros (Mec. Sold.) | 15000.00 | 4.66 | 1.2 |
| Subtotal | 509830.20 | 158.33 | 41.7 |
| 2. Mano de Obra Indirecta | | | |
| 2.1 Guarda | 20520.00 | 6.37 | 1.7 |
| 2.2 Supervisión | 55623.60 | 17.27 | 4.5 |
| Subtotal | 76143.60 | 23.65 | 6.2 |
| 3. Caja Chica | 28789.75 | 8.94 | 2.4 |
| 4. Cargas Sociales (50%) | 292986.90 | 90.99 | 23.9 |
| 5. Equipo de Protección | | | |
| 5.1 Personal | 15000.00 | 4.66 | 1.2 |
| 5.2 Otros | 5000.00 | 1.55 | 0.4 |
| Subtotal | 20000.00 | 6.21 | 1.6 |
| 6. Repuestos | | | |
| 6.1 Sierras | 70380.00 | 21.86 | 5.8 |
| 6.2 Otros | 15000.00 | 4.66 | 1.2 |
| Subtotal | 85380.00 | 26.52 | 7.0 |
| 7. Comb. planta (4.2gl/hr) | 133056.00 | 41.32 | 10.9 |
| 8. Comb, Tractores (1.5gl/hr) | 47520.00 | 14.76 | 3.9 |
| 9. Mantenimiento sierras | 10000.00 | 3.11 | 0.8 |
| 8. Gasolina y Lubricantes | 10000.00 | 3.11 | 0.8 |
| 9. Otros Mat. Ofic.y Limp. | 10000.00 | 3.11 | 0.8 |
| TOTAL | 1223706.45 | 380.03 | 100.0 |

* No incluyen el valor de la materia prima.

Cabe destacar que los principales costos de aserrió de tarimas corresponden al pago de personal (72%), esto se debe tomar en cuenta en el momento de seleccionar un aserradero para esta actividad, así es más rentable a largo plazo -para este caso en particular- escoger un aserradero con mayor automatización, pues la diferencia de precios respecto a uno convencional se cubrirá rápidamente con lo ahorrado en el pago al personal.

6.6.2 Rendimientos y costos entre cada proceso de transformación

La sección A, del Cuadro 35 resume los rendimientos en volumen entre cada proceso, hasta el producto de tarima, la sección B incluye los productos postes y leña. Ambos incluyen todos los procesos de transformación que siguen al volumen en pie, hasta concluir en el volumen de producto terminado. En estos cuadros también se indican los costos de cada proceso por unidad de área y por unidad de volumen.

De estos cuadros se deduce que transformar el volumen total con corteza en volumen total sin corteza, se tiene un rendimiento de 78%. Hasta volumen con diámetro en la cúspide de 5 cm (esto cuando se aprovecha postes de cerca y leña) un rendimiento de 77.6%, y hasta un diámetro en la cúspide de 15 cm (se aprovecha sólo tarimas) un rendimiento 65.5% (Cuadro 35). Estos volúmenes fueron desarrollados mediante las ecuaciones de volumen comercial explicadas en el punto 6.4.

Volúmenes de trozas para tarimas, postes y leños rinden aproximadamente 59% del volumen total. Trozas de arrastre, sólo para tarimas son aproximadamente 48% del volumen total con corteza, las trozas menores para tarimas (trozas 2) representan 36% del volumen total, si a este volumen se le agrega el volumen de postes y leña, representan en promedio 46.3% del V_{tcc}^1 . El volumen de producto de tarima terminada (piezas) representa tan sólo el 11.5% del volumen total en pie, pero si se le agrega el volumen de los productos postes de cerca y construcción y de la leña este rendimiento se dobla a un 22% del V_{tcc}^1 .

Esto es interesante desde el punto de vista de la sostenibilidad de la plantación, pues se llega a la conclusión de se aprovecha de una manera más eficiente la madera (el doble de eficiencia), con sólo agregar dos productos; postes y leña, volumen que de otra manera se hubiese desperdiciado o descompuesto en el suelo de la plantación.

Cuadro 35 Rendimientos y costos por hectárea de la corta total de plantaciones de P. oocarpa de 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica

A. Incluyendo solo Tarimas

| | Costos entre | | | Costos/ha | Costos m ³ | %Rend entre procesos | % Rend. desde VTcc |
|----------------|--------------|-----------|--------|-----------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|
| | Vol Parc5 | Vol Parc6 | Prom | | | | |
| VTcc | 255.55 | 377.00 | 316.27 | 392098.0 | 392098.0 | 1239.7 | 100.0 |
| VTsc | 198.70 | 293.21 | 245.96 | 0.0 | 392098.0 | 1594.2 | 77.8 |
| Vcom(15)* | 153.37 | 260.92 | 207.14 | 0.0 | 392098.0 | 1892.9 | 84.2 |
| Vtrozas (1)** | 118.13 | 186.31 | 152.22 | 81843.5 | 473941.5 | 3113.5 | 73.5 |
| Vtrozas (2)*** | 80.98 | 145.49 | 113.24 | 23010.1 | 496951.6 | 4388.6 | 74.4 |
| Vol Producto | 25.91 | 46.56 | 36.24 | 389295.2 | 886246.8 | 24457.1 | 32.0 |

B. Incluyendo Tarimas, Postes y Leña

| | Vol Parc5 | Vol Parc6 | Prom | Costos entre | | | %Rend entre procesos | % Rend desde VTcc |
|----------------|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|-----------|----------------------|-------------------|
| | | | | Proceso/ha | Costos/ha | Costos m3 | | |
| VTcc | 255.55 | 377.00 | 316.27 | 392098 | 392098.0 | 1239.7 | | 100.0 |
| VTsc | 198.70 | 293.21 | 245.96 | 0 | 392098.0 | 1594.2 | 77.8 | 77.8 |
| Vcom(5)* | 198.06 | 292.55 | 245.30 | 0 | 392098.0 | 1598.4 | 99.7 | 77.6 |
| Vtrozas (1)** | 147.99 | 223.16 | 185.57 | 81843.5 | 525041.1 | 2829.3 | 75.6 | 58.7 |
| Vtrozas (2)*** | 110.84 | 182.34 | 146.59 | 23010.1 | 548051.2 | 3738.7 | 79.0 | 46.3 |
| Vol Producto | 55.77 | 83.41 | 69.59 | 389295.2 | 937346.4 | 13469.8 | 47.5 | 22.0 |

* Volumen comercial hasta 15 cm en el cuadro de sólo tarimas y hasta 5 cm incluyendo postes y leña de diámetro sin incluir el tocón.

** Trozas cortadas en el campo a un múltiplo del tamaño requerido en el aserradero aprox 5.10 y 4.28 metros de largo y trozas para postes y leños

*** Trozas dimensionadas en el patio del aserradero al largo del producto (tarimas, postes de cerca y construcción)

Los costos de cada proceso por hectárea y por metro cúbico están representados también en el Cuadro 35, estos costos son; la producción de sólo tarimas o tarimas incluyendo postes y leña. Los costos más importantes tanto por unidad de volumen como por unidad de área son los costos de aserrío debido a dos factores: los costos propiamente del aserrío (Cuadro 34) como los costos por los desperdicios de madera que implica este proceso de transformación.

Del mismo modo se puede observar que los costos por unidad de área entre los procesos que siguen a volumen en pie, hasta volumen con un diámetro mínimo de 15 cm o 5 cm, no varían, esto debido a que estos procesos fueron creados mediante las ecuaciones de regresión desarrollados para estos tipos de volúmenes, pero los costos por unidad de volumen si varían debido a las pérdidas de materia prima entre estos procesos.

En el Cuadro 36 se presentan tablas de doble entrada que contiene los factores de conversión para llevar el volumen resultante de un proceso a otro, es decir; si se necesita conocer el volumen en pie que se requiere para producir 100 tarimas americanas (3.54 m³), hay que remitirse a la sección A de esta tabla, posicionarse en "De: Vol Producto A: Vtcc", el valor que se indica es un factor de conversión de 8.72, que se multiplica por el volumen de las tarimas esperadas, la resultante es que se necesita de 30.87 m³ de volumen en pie para producir 100 tarimas. También se puede averiguar cuanto costaría producir las 100 tarimas remitiéndose a la tabla 35, se buscan los costos de producir 3.54 m³ de tarimas (86578 colones). Se puede hacer lo mismo pero de una manera inversa; preguntarse qué volumen de productos se puede obtener de determinado volumen en pie, o volumen total sin corteza, trozas, o desde cualquier parte del proceso de transformación, estas transformaciones y sus rendimientos respecto al volumen en pie se pueden apreciar gráficamente en la página 80.

Cuadro 36 Factores de Conversión para los procesos de transformación del aprovechamiento de la madera de plantaciones de Pinus oocarpa hasta producto comercial, en Turrialba, Costa Rica

A. incluyendo solo Tarimas

| A: | De: | | | | | |
|----------------|--------|--------|----------|-------------|-------------|--------------|
| | VTcc | VTsc | Vcom(15) | Vtrozas (1) | Vtrozas (2) | Vol Producto |
| VTcc | 1.0000 | 1.2859 | 1.5268 | 2.0777 | 2.7930 | 8.7280 |
| VTsc | 0.7777 | 1.0000 | 1.1874 | 1.6158 | 2.1721 | 6.7875 |
| Vcom(15)* | 0.6550 | 0.8422 | 1.0000 | 1.3608 | 1.8293 | 5.7164 |
| Vtrozas (1)** | 0.4813 | 0.6189 | 0.7348 | 1.0000 | 1.3443 | 4.2007 |
| Vtrozas (2)*** | 0.3580 | 0.4604 | 0.5467 | 0.7439 | 1.0000 | 3.1249 |
| Vol Producto | 0.1146 | 0.1473 | 0.1749 | 0.2381 | 0.3200 | 1.0000 |

* Volumen comercial hasta 15 cm de diámetro sin incluir tocón

** Trozas cortadas en el campo a un múltiplo del tamaño requerido en el aserradero aprox 5.10 y 4.28 metros

*** Trozas dimensionadas en el patio del aserradero al largo del producto.

B. incluyendo Tarimas, Postes y Leña

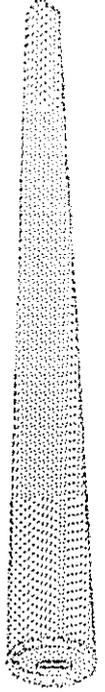
| A: | De: | | | | | |
|----------------|--------|--------|---------|-------------|-------------|--------------|
| | VTcc | VTsc | Vcom(5) | Vtrozas (1) | Vtrozas (2) | Vol Producto |
| VTcc | 1.0000 | 1.2859 | 1.2893 | 1.7043 | 2.1576 | 4.5449 |
| VTsc | 0.7777 | 1.0000 | 1.0027 | 1.3254 | 1.6779 | 3.5345 |
| Vcom(5)* | 0.7756 | 0.9973 | 1.0000 | 1.3219 | 1.6734 | 3.5251 |
| Vtrozas (1)** | 0.5867 | 0.7545 | 0.7565 | 1.0000 | 1.2659 | 2.6667 |
| Vtrozas (2)*** | 0.4635 | 0.5960 | 0.5976 | 0.7899 | 1.0000 | 2.1065 |
| Vol Producto | 0.2200 | 0.2829 | 0.2837 | 0.3750 | 0.4747 | 1.0000 |

* Volumen comercial hasta 5 cm de diámetro sin incluir tocón

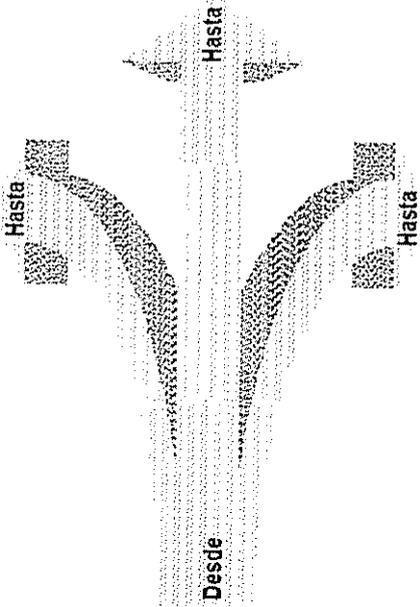
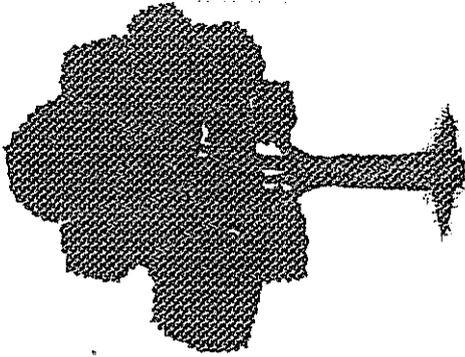
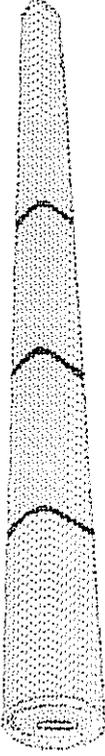
** Trozas cortadas en el campo a un múltiplo del tamaño requerido en el aserradero aprox 5.10 y 4.28 metros y trozas para postes y leños.

*** Trozas dimensionadas en el patio del aserradero al largo del producto.

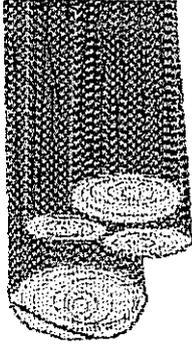
Volumen sin corteza 65.5%
hasta 15 cm de diam. mín



Volumen de trozas (1), 48.1%

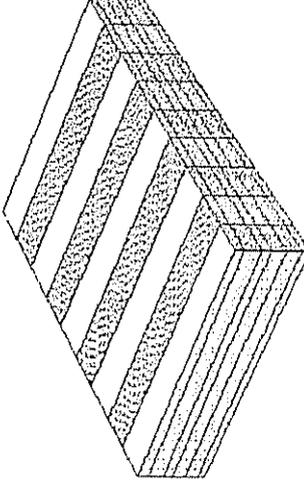


Trozas para
tarimas
35.8%

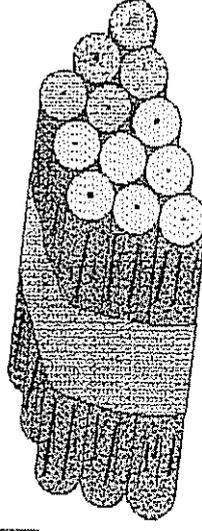


Rendimientos entre Procesos de transformación de la madera de *Pinus oocarpa*

Volumen en pie



Piezas de Tarima
11.5%



Postes de cerca y
construcción 11%

6.6.3 Análisis financiero para la corta total de plantaciones de *Pinus oocarpa* a los 13 años.

Debido a que en la finca la fortuna de Moravia se pudo cerrar el ciclo de aprovechamiento forestal; desde plantación hasta producto terminado, se obtuvo información que permitió hacer el análisis financiero completo y más confiable.

El valor actual neto (VAN) para lotes de las características de la parcela 5 fue de 189400 colones por hectárea, mientras que la parcela 6 tuvo un VAN de 603 060 colones a una tasa de actualización real de 5%, se escogió la tasa de actualización real que no incluye la pérdidas de valor por inflación, porque los precios que se utilizaron en el flujo financiero fueron reales los cuales tampoco incluyen inflación.

La diferencia en VAN en los dos lotes es de más tres veces, lo que se debió fundamentalmente a la diferencia de volumen de producto obtenido de cada parcela; en la parcela 5 se obtuvieron 198 m³/ha de trozas para tarimas mientras que de la parcela 6 se obtuvieron 303 m³/ha de las mismas trozas.

Los IMAS de volumen clasificaron la parcela 5 (19.7 m³/ha/año) como una parcela de mediana a baja productividad, según la clasificación elaborada en este estudio para productividad de *Pinus oocarpa* que se describe en el punto 6.1.6, mientras que lotes como la parcela 6 (IMA en volumen de 28.1 m³/ha/año) pertenecen a sitios de alta productividad.

El valor del suelo por hectárea o el valor máximo que se puede pagar por una hectárea de terreno para dedicarla a la producción forestal con *Pinus oocarpa* manteniendo una rentabilidad mínima permisible, difiere por su productividad significativamente entre ambas parcelas, así en la parcela 5 el valor por hectárea fue de 427,000 colones mientras que en la parcela 6 la hectárea tuvo un valor de 1 360 000 colones.

La relación beneficio-costo, fue mayor en la parcela 6 con un valor de 1.75, esto quiere decir que por cada 100 colones invertidos en un sitio de alta productividad de *Pinus oocarpa* obtendremos 175 colones.

La tasa interna de retorno o la tasa que hace que el VAN sea igual a cero, se encontró por encima del 9% en ambas parcelas, siendo un valor razonable para proyectos forestales (Hans 1980). La parcela 6 con un TIR de 15% indica que el inversionista obtendría en plantaciones de las características de este lote (clase de alta productividad) un retorno del 15% anual sobre la inversión total, esta medida es muy útil para el inversionista porque permite comparar claramente otros posibles usos de sus fondos (comparar con el interés bancario por ejemplo).

Este análisis comparativo de la inversión está resumido en el Cuadro 37 para ambas parcelas

Cuadro 37 *Análisis financiero para el aprovechamiento total en plantaciones de Pinus oocarpa a los 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica*

Análisis de Inversión
Tasa real de descuento = 5 00%
13 años de ocurrencia
Valores por Hectárea

| INDICADOR | | PARC 5 | PARC 6 |
|-------------------------------|-------|---------|-----------|
| VALOR ACTUAL NETO (VAN) | COL\$ | 189 400 | 603 060 |
| INGRESO EQUIVALENTE ANUAL | COL\$ | 21 370 | 68 040 |
| VALOR ESPERADO DEL SUELO | COL\$ | 427 380 | 1 360 820 |
| RELACIÓN BENEFICIO COSTO | | 1.28 | 1.75 |
| AÑOS PARA PAGAR LA INVERSIÓN | | 12 | 12 |
| TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) | | 9.45% | 15.42% |

6.6.3 1 Análisis de sensibilidad en el aprovechamiento total de plantaciones de Pinus oocarpa

El Cuadro 38 muestra los resultados del análisis de sensibilidad del VAN a una variación de 10% en los precios de los principales elementos de los costos y beneficios. Se pudo observar, para ambas parcelas una mayor sensibilidad en el rubro de ingresos, es decir con un cambio de 10% en el ingreso el VAN decrece 86 400 colones en la parcela 5 y 140 610 colones en la parcela 6, esto nos indica que para esta actividad de aprovechamiento para tarimas se debe revisar con mucho criterio las tendencias de los precios del mercado, pues una fluctuación decreciente de los mismos puede convertir la actividad en no rentable o encontrarse en el umbral de la rentabilidad.

Cuadro 38 *Análisis de sensibilidad del aprovechamiento total en plantaciones de Pinus oocarpa a los 13 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica*

SENSIBILIDAD DE LOS FACTORES A UN 10% DE CAMBIO EN LOS COSTOS E INGRESOS
Tasa real de descuento = 5 00%

| ÍTEM CAMBIADO | PARC-5 | | PARC-6 | |
|---------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| | VAN | CAMBIO | VAN | CAMBIO |
| Costos fijos | Col\$ 14 550 | Col\$ 1 640 | Col\$ 14 550 | Col\$ 1 640 |
| Costos var | Col\$ 52 910 | Col\$ 5 970 | Col\$ 65 760 | Col\$ 7 420 |
| Ingresos | Col\$ 86 400 | Col\$ 9 750 | Col\$ 140 610 | Col\$ 15 860 |

6.6.3.2 Análisis de riesgo en el aprovechamiento total de plantaciones de *Pinus oocarpa*

Este análisis indica hasta cuanto se pueden modificar los elementos de los costos y beneficios, para que la actividad se encuentre en el umbral de la rentabilidad o que al VAN se haga cero, como se vio en el análisis anterior, el rubro que soporta menos cambios son los ingresos; para sitios de mediana productividad como la parcela 5 una disminución en los precios de 22% convertiría la actividad en no rentable, mientras que en sitios con mayor productividad (clase de alta productividad) requeriría de una disminución en los precios de hasta 43% para llegar a ser no rentable.

Otra conclusión interesante que se desprende de este análisis es que se pueden aumentar hasta 100% los costos fijos en ambos sitios, manteniendo la rentabilidad de la actividad. Los costos variables en los sitios de alta productividad se pueden aumentar también más del 90%, sin correr riesgos de pérdida financiera. Los valores de este análisis se pueden observar en el Cuadro 39.

Cuadro 39. Análisis de riesgo para extracción total de una plantación de *Pinus oocarpa* para uso de tarimas, postes y leña.

TASA REAL DE DESCUENTO = 5 00%

| ÍTEM CAMBIADO | Parc-5 | | Parc-6 | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | % de Cambio | Cambio Cols | % de Cambio | Cambio Colones |
| Costos fijos | 100.00% | \$ -145 48 | 100 00% | \$ -145 48 |
| Costos var | 35 80% | \$ -189 40 | 91 71% | \$ -603 06 |
| ===== | | | | |
| Ingresos | -21 92% | \$ -189 40 | -42 89% | \$ -603 06 |
| ===== | | | | |

6.7 Costos de raleos y factores que más afectan la rentabilidad del raleo

Se analizaron financieramente seis raleos al 50% de intensidad en número de árboles, en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 13 y 15 años de edad en los cuales se cuantificaron los tiempos y movimientos de cada una de las faenas que implican esta actividad, al igual que en las extracciones totales se emplearon bueyes para el arrastre de las trozas. Es decir se cuantificaron los costos directos del raleo, en este caso no se incluyeron los costos fijos pues el raleo constituye una actividad intermedia del proceso de producción, Se consideró el costo directo efectivo que no incluye los tiempos muertos de la mano de obra.

Cuadro 40 Costos de extracción de raleos al 50% en número de árboles, hasta el patio del aserradero, en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 15 años en La Fortuna de Moravia, Costa Rica.

A. Lote ITALIA P-1

| Actividad | Herramientas | Costo (Hora) | M. Obra | Cost /parc | Cost/ha | T. Muerto |
|----------------------|-------------------|--------------|---------|------------|----------|-----------|
| Marcado | | 177.2 | 0.25 | 44.30 | 886.00 | |
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 0.33 | 87.87 | 1757.32 | 0.083 |
| Desrame | Cuchillo | 177.2 | 2.4 | 425.28 | 8505.60 | 0.083 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 1.16 | 514.41 | 10288.27 | 0.083 |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 3 | 2000.01 | 40000.20 | 0.25 |
| Carga | | 177.2 | 0.60 | 106.32 | 2126.40 | 0.1 |
| Transporte | Tractor y Carreta | 517.85 | 0.50 | 258.93 | 5178.50 | |
| Costo Efectivo | | | | 3437.11 | 68742.29 | |
| Costo Directo Total* | | | | 3695.12 | 73902.33 | |

B. Lote ITALIA P-2

| Actividad | Herramientas | Costo (Hora) | M. Obra | Cost./parc | Cost/ha | T. Muerto |
|----------------------|-------------------|--------------|---------|------------|----------|-----------|
| Marcado | | 177.2 | 0.25 | 44.30 | 926.78 | |
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 0.383 | 101.98 | 2133.42 | 0.083 |
| Desrame | Cuchillo | 177.2 | 2.5 | 443.00 | 9267.78 | 0 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 1.3 | 576.50 | 12060.63 | 0.083 |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 4 | 2666.68 | 55788.28 | 0 |
| Carga | | 177.2 | 0.60 | 106.32 | 2224.27 | 0.1 |
| Transporte | Tractor y Carreta | 517.85 | 0.55 | 284.82 | 5958.53 | |
| Costo Efectivo | | | | 4223.59 | 88359.69 | |
| Costo Directo Total* | | | | 4300.22 | 89962.76 | |

C. Lote INGLATERRA P-3

| Actividad | Herramientas | Costo (Hora) | M. Obra | Cost./parc | Cost./ha | T. Muerto |
|----------------------|-------------------|--------------|---------|------------|----------|-----------|
| Marcado | | 177.2 | 0.45 | 79.74 | 920.79 | |
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 0.92 | 244.96 | 2828.63 | 0.166666 |
| Desrame | Cuchillo | 177.2 | 3.25 | 575.90 | 6650.12 | 0.083 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 3.1 | 1374.73 | 15874.43 | 0.083 |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 4 | 2666.68 | 30793.07 | 0.25 |
| Carga | | 177.2 | 0.90 | 159.48 | 1841.57 | 0.1 |
| Transporte | Tractor y Carreta | 517.85 | 0.62 | 321.07 | 3707.47 | |
| Costo Efectivo | | | | 5422.55 | 62616.08 | |
| Costo Directo Total* | | | | 5702.83 | 65852.55 | |

D. Lote INGLATERRA P-4

| Actividad | Herramientas | Costo (Hora) | M. Obra | Cost./parc | Cost./ha | T. Muerto |
|----------------------|-------------------|--------------|---------|------------|----------|-----------|
| Marcado | | 177.2 | 0.48 | 85.06 | 926.54 | |
| Volteo | Motosierra | 266.26 | 1 | 266.26 | 2900.44 | 0.083 |
| Desrame | Cuchillo | 177.2 | 2.16 | 382.75 | 4169.41 | 0.083 |
| Troceo | Motosierra | 443.46 | 3 | 1330.38 | 14492.16 | 0.083 |
| Acarreo | Bueyes | 666.67 | 4.5 | 3000.02 | 32679.90 | 0.25 |
| Carga | | 177.2 | 0.92 | 163.02 | 1775.86 | 0.1 |
| Transporte | Tractor y Carreta | 517.85 | 0.66 | 341.78 | 3723.10 | |
| Costo Efectivo | | | | 5569.27 | 60667.41 | |
| Costo Directo Total* | | | | 5827.27 | 63477.89 | |

* Incluye el valor del tiempo muerto

El Cuadro 40 muestra los costos de extracción del raleo en los lotes Italia e Inglaterra, en todos los casos se puede observar que los costos de acarreo con bueyes es el más importante, es por esto que la matriz de correlación mostró que las variables; distancia de arrastre, pendiente, textura del suelo

superficial (0-20 cm de profundidad), edad (relacionado con el tamaño de troza), volumen de producto por hectárea y rendimiento del aprovechamiento tuvieron una alta correlación con los costos de extracción. Sin embargo las variables que explicaron mejor el modelo por su independencia fueron la edad, el volumen por hectárea y la textura del suelo, así el modelo simplificado que explica los costos de extracción por hectárea del raleo al 50% quedó así:

$$\text{Costos de Extracción} = 1571.169 * \text{Edad} + 194.820 * \text{Vol/ha}^{\text{①}} + 547.024 * \% \text{Arcilla}^{\text{②}}$$

R²: 95%

^①Volumen por hectárea de la plantación en m³

^②Porcentaje de arcilla a una profundidad de 0-20 cm

El porcentaje de arcilla influyen de una manera indirecta sobre los costos de extracción de los raleos, pues en sitios de alta precipitación y fuertes pendientes (como en los que se tomaron los datos) los suelos arcillosos dificultan el arrastre de las trozas por los bueyes.

Los costos totales implican en esta actividad, los costos de extracción más los costos de transformación, básicamente aserrío. Estos se estimaron en 380 colones por tarima (ver Cuadro 34). Los costos totales presentaron en la matriz de correlación significancia con las mismas variables que para los costos de extracción, además de los factores que afectan el rendimiento en el aserrío, como el tamaño y forma de la troza. Pero las variables que explican mejor el modelo para costos totales fueron:

$$\text{Cost.Totales} = \text{Dist Arrastre}^{\text{①}} * 1575.3 + \text{Pendiente}(\%)^{\text{②}} * 7012.5 + \text{Rend.Aprv}(\%)^{\text{③}} * 2576.2$$

R²:95%

^① Distancia en metros de arrastre con bueyes

^② Pendiente de arrastre media en porcentaje

^③ Rendimiento del Volumen total convertido a trozas en porcentaje (estimado en *Pinus oocarpa* en 65.5%)

Estos modelos se utilizaron en el programa de predicción de productos de *Pinus oocarpa* con la finalidad que este calcule los costos a diferentes condiciones de extracción.

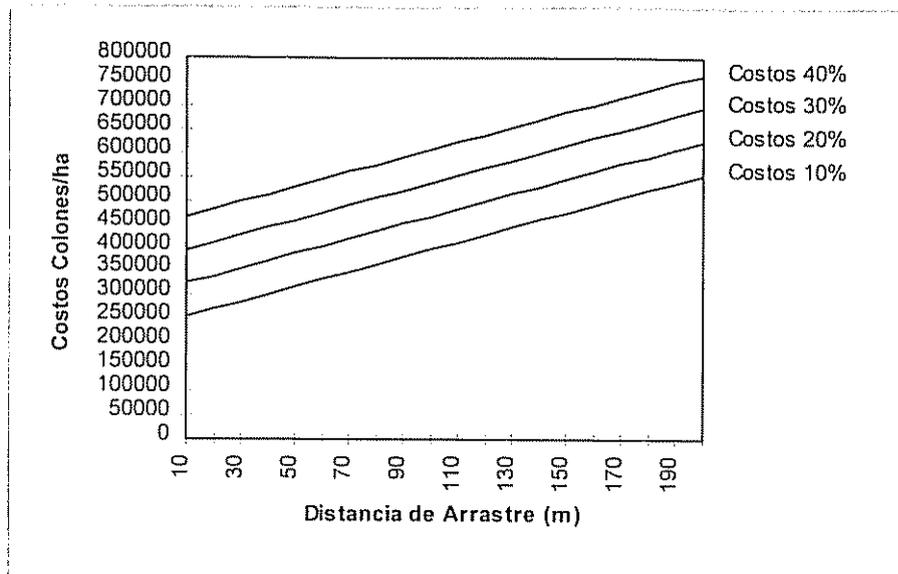


Figura 22 Curvas de costos totales en cortas finales en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 13 años, a diferentes pendientes y distancias de arrastre con bueyes, en la Fortuna, Turrialba, Costa Rica.

Los ingresos netos definidos en estos raleos por los ingresos debidos a la venta de Tarimas, postes y leña menos, los costos de extracción y costos de aserrío tuvieron, según la matriz, una alta correlación con la distancia y pendiente de arrastre, con la distancia al patio del aserradero y con el volumen extraído de trozas para tarimas en el raleo principalmente, fue por esto que el modelo más simple que explica los ingresos netos quedó así:

$$\text{Ing Neto} = \text{Vol Tz.tarima}^{(1)} * 8276.5 - \text{Dist. Arrastre}^{(2)} * 845.5 \quad R^2 \text{ 95\%}$$

⁽¹⁾ Volumen por hectárea en m³ de trozas para tarimas extraído en el raleo.

⁽²⁾ Distancia de arrastre con bueyes en metros de la plantación al camino.

De este modelo se deduce que para una clase de sitio alta como Inglaterra P-4 con un índice de sitio de 26.5 a una edad base de 12 años y un IMA en volumen de 31.8 m³ con raleo al 50% en número de árboles de donde se obtuvo 183 m³ de trozas para tarimas por hectárea, con una pendiente de arrastre promedio de 18%, la distancia de arrastre a la cual ya no es rentable el raleo es de 1790 metros, mientras que en una clase sitio baja como el lote Italia, la distancia de arrastre máxima para conservar la rentabilidad es de sólo 636 metros (se obtuvo 65 m³ de trozas por hectárea)

6.7.1 Análisis financiero de los raleos

Se había mencionado que en esta actividad sólo se cuantificaron los costos directos del raleo, principalmente el rubro de mano de obra y no se incluyeron los costos fijos por ser una actividad intermedia del proceso de producción, de esta manera los costos por hectárea del raleo al 50% en plantaciones de *Pinus oocarpa* aparecen detallados por proceso en el Cuadro 41, los ingresos se cuantificaron en base a los productos obtenidos

en cada raleo como volumen y número de trozas para tarimas, ingresos por postes y por leña para cada uno de los lotes (ver Cuadros 41 y 42), en esta especie, los mayores costos e ingresos se registraron en el rubro de tarimas por ser este el producto prioritario de estos raleos comerciales.

Cuadro 41. Volúmenes de producto en m³ por hectárea obtenidos de raleos al 50% en número de árboles de *Pinus oocarpa* de 15 años en la Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Parcela | Vol de Trozas de Tarima | Volumen de Postes | Volumen de Leña |
|------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| ITALIA P-1 | 98.76 | 10.58 | 0.982 |
| ITALIA P-2 | 65.93 | 14.08 | 0.000 |
| INGL P-3 | 89.13 | 16.71 | 0.612 |
| INGL P-4 | 183.52 | 8.58 | 0.257 |

Cuadro 42. Costos e ingresos por hectárea en colones para raleos al 50% en número de árboles en plantaciones de *Pinus oocarpa* de 15 años en La Fortuna de Moravia, Turrialba, Costa Rica.

| Parcela | Ingreso por Tarimas | Ingreso por Postes | Ingreso por Leña | Costos de Extracción | Costos de Aserrió |
|------------|---------------------|--------------------|------------------|----------------------|-------------------|
| ITALIA P-1 | 1116808.9 | 52920.0 | 1276.3 | 73902.3 | 252622.1 |
| ITALIA P-2 | 745562.7 | 70407.9 | 0.0 | 89962.8 | 168646.2 |
| INGL P-3 | 1008006.9 | 83527.7 | 796.0 | 65852.6 | 228011.1 |
| INGL P-4 | 2075366.1 | 42892.2 | 334.0 | 63477.9 | 469447.6 |

En el Cuadro 43 se muestra que el mayor margen bruto y la mejor relación beneficio-costo correspondió al lote Inglaterra específicamente la parcela 4 que pertenece a una clase de índice de sitio alta, además de tener una gran productividad para la especie, con 31.8 m³/ha/año de incremento de volumen.

En general en todas las parcelas se obtuvieron márgenes brutos superiores a los 500, 000 colones por hectárea y una relación beneficio-costo mayor a tres por lo que se puede decir que el raleo de *Pinus oocarpa* de 15 años es rentable como actividad, además de aportar como parte del manejo forestal.

Cuadro 43. Margen bruto y relación beneficio-costo en cuatro raleos al 50% en número de árboles para plantaciones de *Pinus oocarpa* de 15 años, en Turrialba Costa Rica.

| Parcela | Costos Variables/ha | Ingresos/ha | Margen Bruto | Rel B/C |
|------------|---------------------|-------------|--------------|---------|
| ITALIA P-1 | 326524.4 | 1171005.2 | 844480.8 | 3.59 |
| ITALIA P-2 | 258609.0 | 815970.6 | 557361.6 | 3.16 |
| INGL P-3 | 293863.7 | 1092330.6 | 798466.9 | 3.72 |
| INGL P-4 | 532925.5 | 2118592.3 | 1585666.8 | 3.98 |

En los raleos de *Eucalyptus grandis* los productos prioritarios fueron los postes en general, en el Cuadro 44 notamos que en los raleos tempranos (2 a 3 años) los mayores ingresos se registraron en los postes de cerca y construcción, sin embargo en raleos un poco tardíos los mayores ingresos se pudieron obtener de los postes de electrificación, esto debido a su mayor

valor por unidad de volumen respecto a los postes de cerca y construcción (ver también Figura 25), por esta misma razón, y por su bajo valor por unidad de volumen, los ingresos por leña tienen una relación constante respecto a los ingresos totales.

Cuadro 44 Ingresos en colones por ha. para raleos al 50% en plantaciones de *E. grandis* por edad e índice de sitio en Turrialba Costa Rica.

| Parc | EDAD | IS | Ing P. Cerca | Ing. Leña | Ing P. Elect. | Ing Totales |
|-------|------|-------|--------------|-----------|---------------|-------------|
| Fuep1 | 5.00 | 29.76 | 93030.0 | 3445.9 | 99547.2 | 196023.1 |
| Fuep2 | 5.00 | 29.42 | 15010.0 | 0.0 | 247819.2 | 262829.2 |
| Catp1 | 3.00 | 25.44 | 23949.1 | 1890.8 | 0.0 | 25839.9 |
| Catp2 | 3.00 | 19.99 | 7777.8 | 47.3 | 0.0 | 7825.0 |
| Catp3 | 2.29 | 27.80 | 11920.4 | 612.7 | 0.0 | 12533.2 |
| Cat89 | 5.83 | 25.38 | 107760.4 | 7223.3 | 80816.7 | 195800.4 |

En la Figura 25 muestra que a un mayor índice de sitio los ingresos totales por la venta de los productos resultantes de los raleos fue mayor. Notamos también que a índices de sitio altos los ingresos totales fueron explicados en gran medida por los ingresos por postes de electrificación, por otro lado los ingresos por leña se mantuvieron constantes respecto al índice de sitio. Los ingresos por postes de cerca y construcción tienen una relación directa con el índice de sitio.

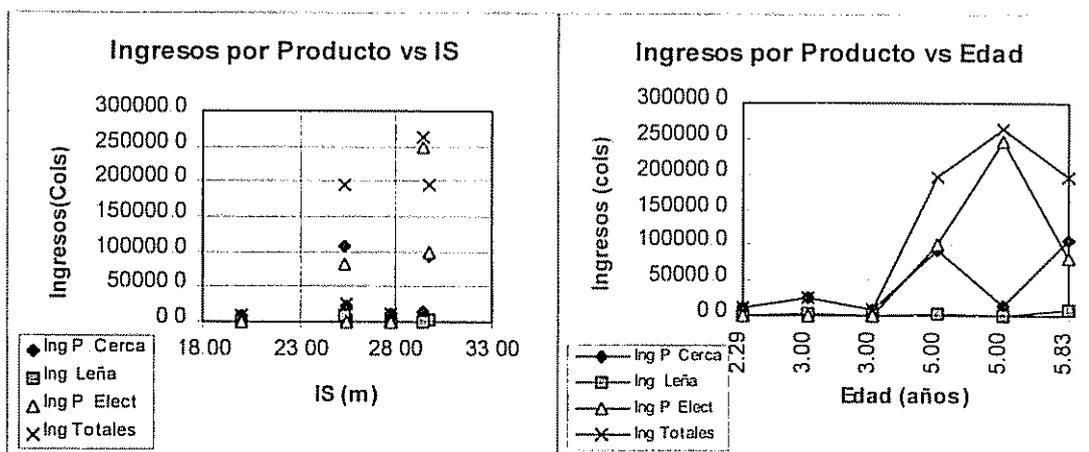


Figura 23 Ingresos en colones por ha. para los productos resultantes de raleos al 50% en número de árboles por índice de sitio y por edad de plantaciones de *E. grandis* en Turrialba, Costa Rica.

6.8 Predicción de productos para *E. saligna*, *E. grandis* y *Pinus oocarpa*

Las matrices de correlación en estas especies 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), o en el caso de postes de electrificación, de la altura promedio debido a que se requiere de una altura mínima de fuste recto para un tipo de producto. Las ecuaciones por regresión múltiple que predijeron con mejor R^2 y que tuvieron correspondencia lógica en el modelo se presentan en el siguiente punto.

6.8.1 Modelos de predicción de volúmenes de producto relativos

6.8.1.1 Modelos más significativos para predecir volúmenes relativos de postes de cerca y construcción

Los postes de cerca y construcción que se cuantificaron en los raleos se clasifican por largo y por el diámetro medido en el centro del poste, de este modo la cantidad de postes de un determinado diámetro que se pueden obtener de una raleo depende de el número de árboles cortados que por sus dimensiones y calidad a lo largo del fuste pueden dar este tipo de poste. Así para poder predecir el número de un determinado tipo de poste resultante de un raleo se empleó el área basal relativa de las clases diamétricas que explican según la matriz de correlación el tipo de poste. Por ejemplo el volumen relativo del poste 2-3" (diámetro en el centro del poste de 2 a 3 pulgadas) fue explicado en un 94% por las áreas basales relativas de las clases diamétricas de 4 a 6 cm, 8 a 10 cm y 10 a 12 cm. A continuación se presenta las ecuaciones de los demás productos cuantificados.

E. saligna

$$VR(\%) P 1-2 = GR3(\%)(-1.002) + GR5(\%)0.431 + GR9(\%)0.061 \quad R^2=94\%$$

$$VR(\%) P 2-3 = GR5(\%)1.562 + GR9(\%)0.204 + GR11(\%)0.437 \quad R^2=94\%$$

$$VR(\%) P 3-4 = GR9(\%)0.828 + GR13(\%)0.336 + DAPP0.652 \\ R^2=96\%$$

$$VR(\%) P 4-5 = GR7(\%)0.978 - GR17(\%)0.235 + RALVOL(\%)0.594 \quad R^2=98\%$$

$$VR(\%) P 5-6 = GR9(\%)0.685 + GR17(\%)0.835 + GR19(\%)0.330 - GR5(\%)2.258 \\ R^2=92\%$$

$$VR(\%) P 6-7 = GR17(\%)0.246 + DAPP1.063 - GR19(\%)0.222 - GR3(\%)9.552 \\ R^2=87\%$$

$$VR(\%) P 7-8 = GR29(\%)0.676 \quad R^2=98\%$$

E. grandis

$$VR(\%) P 1-2 = GR5(\%)0.104 - GR7(\%)0.065 + GR9(\%)0.241 \\ R^2=98\%$$

$$VR(\%) P 2-3 = GR9(\%)2.196 - GR7(\%)1.013 - GR5(\%)0.604 \\ R^2=97\%$$

$$VR(\%) P 3-4 = GR9(\%)0.852 + GR11(\%)0.642 + GR17(\%)0.925 \quad R^2=90\%$$

$$VR(\%) P 4-5 = GR11(\%)0.517 + GR13(\%)0.583 - GR15(\%)0.105 \quad R^2=85\%$$

$$VR(\%) P 5-6 = GR23(\%)0.328 + GR25(\%)0.827 \quad R^2=98\%$$

$$VR(\%) P 6-7 = GR23(\%)0.058 + GR25(\%)0.343 + GR21(\%)0.312 \quad R^2=98\%$$

$$VR(\%) P 7-8 = GR19(\%)0.619 - GR25(\%)0.193 \quad R^2=98\%$$

Pinus oocarpa

$$VR(\%) P 1-2 = GR35(\%)0.010 + GR37(\%)0.004 \quad R^2=98\%$$

$$VR(\%) P 2-3 = GR29(\%)0.063 + GR17(\%)0.074 \quad R^2=97\%$$

VR(%) P 3-4 = GR15(%)72.965 + GR21(%)19.693 + GR31(%)28.689 - GR25(%)2.799 - DAPP12.456

$R^2=99\%$

VR(%) P 4-5 = EDAD0.438

$R^2=86\%$

VR(%) P 5-6 = GR35(%)0.067

$R^2=78\%$

6.8.1.2 Modelos más significativos para predecir volumen relativo de leña

E. saligna

VR(%) Leña = GR7(%)0.695 + RENAPV(%)0.074

$R^2=94.5\%$

E. grandis

VR(%) Leña = GR11(%)0.290 + RALVOL(%)0.039 - GR29(%)0.356

$R^2=93\%$

Pinus oocarpa

VR(%) Leña = 10.034 + GR35(%)2.293 - RALARB(%)0.202

$R^2=98\%$

6.8.1.3 Modelos más significativos para predecir volumen relativo de Postes de Electrificación

E. grandis

VR(%) Poste 25 = GR19(%)3.292 - GR25(%)2.852

$R^2=99\%$

VR(%) Poste 35 = GR29(%)0.592 + GR21(%)0.442

$R^2=99\%$

VR(%) Poste 45 = GR29(%)1.369

$R^2=99\%$

6.8.1.4 Modelos más significativos para predecir volumen relativo de trozas tarimas

Pinus oocarpa

VR(%) Tarimas = 67.778 + GR33(%)0.417 + VOLHA0.039

$R^2=97\%$

Donde:

GRX(%) es el área basal relativa por hectárea de la clase diamétrica de 2 cm $((x-1),(x+1))$

VR(%)Px-y es el volumen relativo del producto poste de cerca con un diámetro medio entre x-y

VR(%)Poste35 es el volumen relativo de postes de electrificación de 35 pies de largo.

RENAPV(%) es el rendimiento de aprovechamiento del volumen raleado en forma de producto, este valor es estimado en las conclusiones para cada especie.

RALVOL(%) es el porcentaje de raleo en volumen aplicado a la plantación.

RALARB(%) es el porcentaje de raleo en número de árboles aplicado a la plantación.

VOLHA es el volumen por hectárea en m³ de la plantación.

DAPP es el diámetro a la altura del pecho promedio en cm.

6.8.2 Modelos de predicción en número y tipo de productos

El porcentaje de aprovechamiento en productos del volumen raleado de cada especie no tuvo cambios significativos entre las clases de índice de sitio definidas en este estudio, ni entre edad. Estos porcentajes de aprovechamiento promedios aparecen en las conclusiones para cada una de las especies. Los promedios de aprovechamiento se utilizaron para que el modelo estimara el volumen total de productos. La distribución de volumen de productos si mostró diferencias entre clases diamétricas, como se muestra en las Figuras 23 y 24 en el caso de *E. grandis*. Al modelo de

predicción de volumen se le incorporó los promedios de rendimiento por clase diamétrica de 2 cm (ver anexo), de manera que los promedios de tipos de producto dentro de una clase diamétrica de producto (por ejemplo postes de cerca de 2-3"), nos indicaba la ponderación del uso del volumen de esa clase en un tipo de largo de producto.

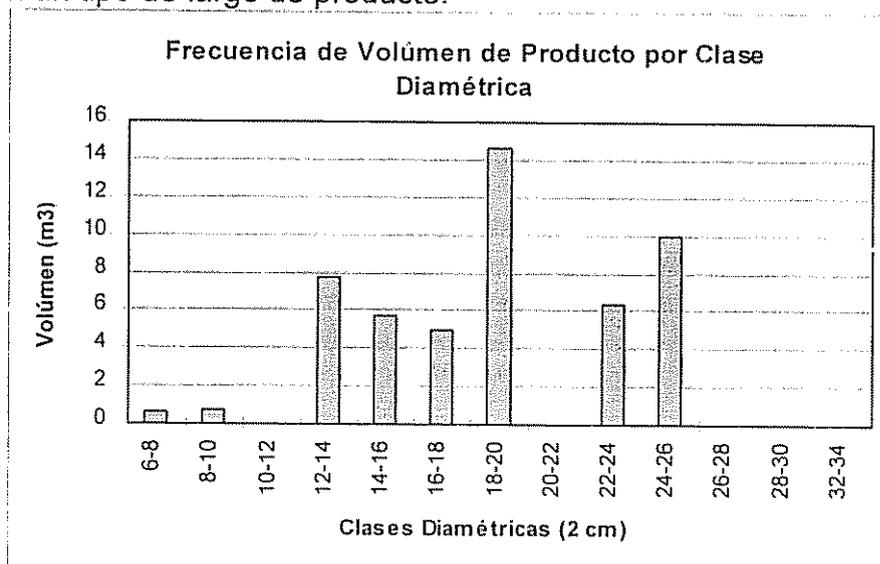


Figura 24. Frecuencia de volumen de postes de cerca y construcción y leña por hectárea por clase diamétrica para una plantación de *E. grandis* de 5 años de edad en La Fuente, Turrialba, C.R.

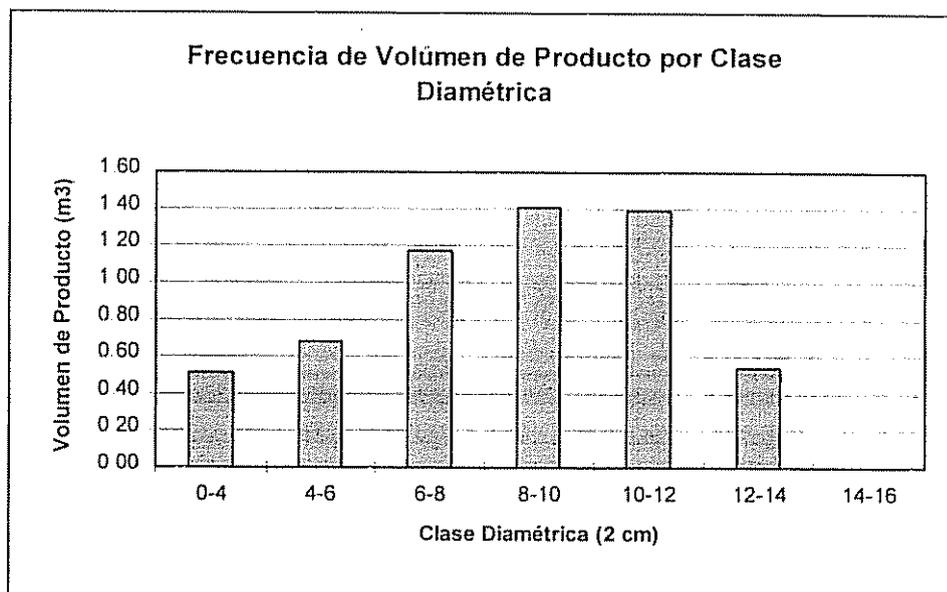


Figura 25. Frecuencia de volumen de postes de cerca y construcción y leña por hectárea por clase diamétrica para una plantación de *E. grandis* de 2.3 años en Florencia, Turrialba, CR.

El modelo global que es el conjunto de la ecuaciones de que definen los volúmenes relativos de productos de raleos de una especie, fue incorporado en el programa Excel, en este se crearon hojas interactivas de entrada de

datos de parcelas de calibración, que permiten hacer los raleos teóricos y a partir de ellos realizar la predicción.

El modelo desarrollado en esta hoja electrónica presenta resultados tres tipos:

A. Promedios dasométricos antes y después del raleo, datos y sugerencias sobre la intensidad del raleo aplicado, en base al índice de Hart y el área basal. Clasificación de la plantación en base al índice de sitio y en base a productividad para la zona de Turrialba.

B. Predicción de volúmenes y número de piezas de cada tipo producto (varios tipos de postes, trozas para tarimas, piezas de tarima y leña) resultantes del raleo aplicado. Ingresos brutos por los productos estimados e ingresos netos en el caso del modelo de *Pinus oocarpa* especie en la que se desarrollaron modelos de costos totales.

C. Distribuciones gráficas por clase diamétrica de 2 cm de el número de árboles, antes y después del raleo, distribución de los tipos de productos.

6.8.3 Verificación de los modelos de predicción de volumen

Se sometieron a verificación los modelos introduciendo datos básicos reales, con el objeto de comparar los resultados de predicción de volúmenes y número de productos de los modelos con los volúmenes y productos reales obtenidos en los raleos, estos son los resultados de esta comparación:

Cuadro 45 Diferencias entre volumen observado y el volumen estimado por los modelos de predicción de productos, en m³ y porcentaje.

| <i>Especie</i> | <i>Diferencia(Esp-Obs)</i> | <i>Postes Cerca</i> | <i>Poste Electríf</i> | <i>Tarimas</i> | <i>Leñas</i> | <i>Prod Total</i> |
|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|--------------|-------------------|
| <i>P. oocarpa</i> | Vol (m ³) | 1.882 | ----- | 1.310 | 0.039 | 3.320 |
| | % | 11.87 | ----- | 1.29 | 0.84 | 4.01 |
| <i>E. grandis</i> | Vol (m ³) | 5.74 | 3.05 | ----- | 0.283 | 2.979 |
| | % | 15.44 | 36.5 | ----- | 5.34 | 5.86 |
| <i>E. saligna</i> | Vol (m ³) | 0.419 | ----- | ----- | -0.750 | -0.331 |
| | % | 1.32 | ----- | ----- | 50.00 | 1.02 |

Se puede observar que los volúmenes de producto total son estimados con menos de 6 % de error, lo que es muy aceptable, también los volúmenes de tipos de productos tienen errores aceptables, como en postes de cerca y construcción donde el error no supera el 16% en ninguna de las especies.

En el caso de la especie *P. oocarpa* donde el producto prioritario fue trozas para tarima, su predicción fue muy precisa, con sólo 1.3% de error en promedio. El volumen de leña fue de mas difícil predicción pues su ocurrencia depende de muchos factores no necesariamente relacionados con el diámetro, es por esto que en este encontramos los mayores errores. Sin embargo por su poca importancia respecto al volumen total y su bajo precio, en una valoración este error no tendría mucho efecto para los fines de producción de estas plantaciones.

7 CONCLUSIONES

Para las especies *Cupressus lusitanica* y *Eucalyptus saligna* se encontró que la clasificación por índice de sitio no coincidió con la clasificación por productividad, siendo esta última más adecuada para estratificar las plantaciones para fines de estimación de la producción, pues presenta mayores diferencias entre clases en cuanto a los promedios de productividad y crecimiento.

Las variables químicas más relacionadas con el índice de sitio en la zona de Turrialba fueron; para *Cupressus lusitanica*: el calcio superficial intercambiable, para *Eucalyptus grandis* la materia orgánica a las dos profundidades evaluadas (0-20 y 20-40 cm). El crecimiento de *Eucalyptus saligna* estuvo mejor explicado por el potasio a una profundidad de 20-40 cm. Para *Pinus oocarpa* el factor químico más relacionado al índice de sitio fue la acidez extraíble y el calcio que la explicaron en un 87%.

Los factores físico-edáficos que tuvieron un mayor coeficiente de correlación con el índice de sitio fueron: para *Cupressus lusitanica* el porcentaje de arena, el cual correlacionó negativamente con el índice de sitio. En la especie *E. grandis* fue el porcentaje de limo el que explicó mejor el índice de sitio, los factores físicos no explicaron significativamente el índice de sitio para la especie *E. saligna*. Para la especie *Pinus oocarpa* tampoco los factores físicos del suelo explicaron significativamente el índice de sitio.

De lo anterior se concluye que que la especie *Cupressus lusitanica* requiere de suelos ricos en bases con un drenaje adecuado con textura franco limosa, como ocurrió en los sitios con mejores crecimientos. Plantaciones de la especie *E. grandis* prefiere de un suelo de buena estructura e intercambio catiónico por lo que requieren de un adecuado porcentaje de materia orgánica (los mejores sitios para esta especie tuvieron más de 20% de materia orgánica), le son adecuados los suelos francos, constantemente húmedos, con buen drenaje, sitios de excelente crecimiento como en el lote de La Fuente permiten deducir que tienen preferencia por los suelos de origen volcánico. Por observación en el campo se notó que *Eucalyptus saligna* es muy susceptible a la competencia de la maleza, requiere de suelos de buena estructura, sin ser esta condición excluyente, es muy susceptible a la topografía, tiene preferencia por los sitios planos (los peores crecimientos se encontraron en laderas de fuerte pendiente). *Pinus oocarpa* es una especie que tolera suelos muy diversos; arcillosos, francos y hasta arenosos, tiene preferencia por suelos de neutros a ácidos, en lotes que no tuvieron adecuado mantenimiento esta especie fue afectada por las especies latifoliadas en una competencia desventajosa.

El factor de forma para calcular el volumen total individual de la especie de *Pinus oocarpa* en plantaciones con manejo de edades maduras fue en promedio de 0.54, mientras que el factor de forma para el volumen total de *E.*

saligna en plantaciones jóvenes sin manejo fue de 0.53 con un rango de +/- 0.05.

El costo directo más significativo en la corta total de plantaciones de *Pinus oocarpa* a los 12 años es 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 de esta actividad, con casi 42% de los costos totales de aserrío.

Los rendimientos desde volumen en pie de plantaciones de *Pinus oocarpa* a los 12 años hasta volumen de trozas para tarimas es de 48 por ciento. Considerando el volumen de trozas para postes y leña el rendimiento sube a hasta 59 por ciento. Los rendimientos de aprovechamiento de la madera 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 construcción y leña el rendimiento aumenta al 22%, todo esto bajo las condiciones de las parcelas evaluadas.

La rentabilidad del aprovechamiento total para producir tarimas tiene una relación directa con la productividad del sitio para plantaciones de *Pinus oocarpa*, así para plantaciones de 12 años en clase de sitio alta se obtuvo un VAN para una tasa real de actualización de 5 por ciento, 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%.

Para el aprovechamiento total mencionado los rubros que con más sensibilidad afectan la rentabilidad son los ingresos relacionados directamente con los precios de ventas de las tarimas. Así sitios "buenos" para la especie, permiten rangos de cambio más altos manteniendo su rentabilidad, así un sitio de clase alta permite 43% de caída en los precios manteniendo una rentabilidad permisible, mientras que sitios bajos sólo permiten un 22% como máximo.

No importando el sitio, para plantaciones de *Cupressus lusitanica* con edades que van de 9 a 13 años, el porcentaje de aprovechamiento en volumen producto respecto al volumen total resultante de raleos, tiene un promedio de $71.76 \pm 4\%$, para productos como postes de cerca y construcción, trozas para aserrío menor y leña, en intensidades de raleos de 38 a 50% en número de árboles

Para la especie *Eucalyptus deglupta*, sin importar el sitio, con edades que fluctúan entre 3 y 5 años y con 50% en promedio de intensidad de raleo en número de árboles, se tiene un $57 \pm 6.3\%$ de aprovechamiento de productos en forma de postes de cerca y construcción.

Para plantaciones de la especie *Eucalyptus grandis* con edades que fluctúan entre 2 y 6 años y con 50 % en promedio de intensidad de raleo en número

de árboles, se encontró un aprovechamiento $74.6 \pm 5\%$ en forma de postes de cerca y construcción.

Para plantaciones de la especie *Eucalyptus saligna* con edades entre 4 y 7 años en raleos al 50% en número de árboles se obtuvo un $67.3\% \pm 2.8\%$ de aprovechamiento de la madera en forma de postes de cerca y construcción.

Para plantaciones de la especie *Pinus oocarpa* con edades que fluctúan entre 11 y 15 años a una intensidad de raleo promedio de 46 por ciento, se obtuvo un aprovechamiento de la madera raleada de $65.5\% \pm 5.9\%$ teniendo como producto prioritario trozas para tarimas tipo americanas y europeas, luego postes de cerca y construcción y leña.

Los costos de extracción de los raleos de *Pinus oocarpa* se ven explicados en un 95% por la edad de la plantación, el volumen por hectárea y la textura del suelo relacionada con el arrastre por bueyes. Los costos totales de los raleos también son explicados por otros factores relacionados con el arrastre como son; distancia y pendiente de arrastre además de porcentaje de aprovechamiento del volumen total raleado.

Los ingresos netos de los raleos comerciales en plantaciones de 13 a 15 años de *Pinus oocarpa* dependen principalmente del volumen de trozas para tarimas obtenidos y de la distancia de arrastre al patio de carga, teniéndose una relación beneficio costo de raleos mayor a 3

En raleos de plantaciones jóvenes de *Eucalyptus* la proporción de ingresos por producto dependen de la edad y del sitio, a excepción de los ingresos por leña que tienen una relación constante con los ingresos totales.

El volumen de cada tipo de producto tuvo generalmente como parámetro de crítico de alta sensibilidad al área basal relativa de la clase(s) diamétrica(s) de 2 cm inmediata(s) superior(es) a su diámetro medio como producto. Productos como la leña tuvieron como parámetros críticos de alta sensibilidad que la explicaron; al aprovechamiento del volumen raleado, al porcentaje de raleo en número de árboles y en volumen. Otro productos como los postes de electrificación dependieron significativamente de la altura media de la plantación además de las áreas basales relativas de sus correspondientes clases diamétricas.

Es posible predecir mediante parámetros críticos de alta sensibilidad volúmenes de tipos de productos de raleos como postes de cerca y construcción, postes de electrificación, leña y trozas para tarimas con un error de 4 por ciento para la especie *Pinus oocarpa*, para *Eucalyptus grandis* el error es de 5.86 por ciento y para *Eucalyptus saligna* el error de estimación por verificación fue de sólo 1 por ciento para el volumen total de productos. El producto mas difícil de estimar por un modelo es leña pues depende de varios factores, existiendo errores extremos de su estimación de hasta 50 por ciento en el caso de *E. saligna*.

Fue posible desarrollar un modelo global de predicción de volúmenes y número de piezas de producto resultantes de los raleos, utilizando el programa Excel de Microsoft utilizando factores de alta sensibilidad, como áreas basales relativas de clases diamétricas, porcentaje de aprovechamiento, intensidad de raleo, volumen total por hectárea entre otros.

VIII. Bibliografía

- ALDER, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: con referencia especial a los trópicos. V2 22/2
- ALTUVE, F. 1987. Estudio tecnológico exploratorio y promocional de la teca de aclareos (*Tectona grandis*) Univ. De los Andes. Fac. C. Forestales. Mérida, Venezuela n. 11. 83 p.
- BERTSCH, F; HENRIQUEZ, C; SALAS, R. 1995 Fertilidad de suelos: manual de laboratorio. Asociación Costarricense de la ciencia del suelo. 1a ed. San José Costa Rica. 64 p.
- BRAATHE, P. 1957. Los aclareos en rodales coetáneos. Universidad autónoma Chapingo 1978 143p.
- CANCINO C, J. 1993. Modelo optimizador de trozado de árboles basado en funciones de ahusamiento y programación dinámica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE 230 p.
- CANNON, P. 1995 Ciclo de nutrientes en plantaciones. Seminario de Fertilización forestal, 3 julio de 1995, Santiago, Veraguas, Panamá. 86-97 p.
- CAMACHO, P. 1980. Técnicas de raleo forestal. Instituto tecnológico de Costa Rica. Centro de Investigación Forestal. 100p.
- CAMPOS, A. 1989. Environmental effects on the productivity of *Eucalyptus camaldulensis*, *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* in America Central. Tesis Ph. D. Inglaterra, University of Oxford. 279 p.
- CATIE. 1994. Grandis (*Eucalyptus grandis*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Madeleña-3. CATIE. Turrialba Costa Rica, N° 15. 34 p.
- CATIE. 1991. Pino Caribe (*Pinus caribaea*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Madeleña. CATIE. Turrialba Costa Rica, N° 8. 59 p.
- CATIE. 1994. Pino Caribe (*Eucalyptus deglupta*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica, N° 17. 45 p.
- CHAVES, E. 1988. Aclareos en plantaciones forestales. Guía agropecuaria de Costa Rica. Año 6 n 12.
- CHILE FORESTAL 1989. Modelo de simulación para Pino radiata. n 165: 9-10
- CRAFT, P.; BAUMGRAS, J. 1979 Weight and Volume Yields from thinning two Oak-Hickory Stands. Forest service research paper EN-448, Forest service U.S. Department of agriculture Northeastern forest experiment station. U.S. 7 p.

- CLUTTER, L.; FORTSON, C.; PIENAAR, V.; BRISTER, H.; BAILEY, L. 1983. Timber management: a quantitative approach. N.Y., EE.UU. John Wiley & Sons. 333 p.
- DANIEL, P.; HELMS, V.; BAKER, F. 1982. Principios de Silvicultura. 2 ed. INGRAMEX. México, México 492p.
- ENG, G.; DAELLENBACH, H.; WHYTE, A. 1986 Bucking tree-length stems optimally. Can. J. For. Res. 16: 1030-1035
- STEEL, R.; TORRIE. 1988. Bioestadística: Principios y procedimientos. 2 ed. s.n., McGraw-Hill. 622 p.
- FIERROS GONZÁLEZ, A.M. 1980. Raleos iniciales en plantaciones de Gmelina arborea roxb. En Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba Costa Rica, CATIE 92 p.
- FURNIVAL, G.M. 1961. An index for comparing equations used in volume tables Forest Science 7 (4): 337-341
- GOMEZ, M.; MCKENZIE, T. 1990 El mercado para postes en Turrialba, Costa Rica. CATIE - ROCAP 596-0117, CACTU, II taller centromericano, Turrialba, Costa Rica. 34 p + anexos.
- GALLOWAY, G. 1995. El manejo forestal: la poda, el raleo y el manejo de rebrotes Notas de clase. Turrialba, C.R. Medeleña-3. CATIE. 15 p.
- HANS, M.; CONTRERAS, A. 1980 Análisis económico de proyectos forestales. Estudio FAO: montes. 17 Roma, Italia. 228 p.
- HAWLEY, R., SMITH, M. 1982 Silvicultura Práctica Ediciones Omega Segunda Edición. Barcelona, España. 544 p.
- HOLDRIDGE, L. 1979. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Por H. Jiménez Saa. San José, C.R., IICA. 216 p.
- HUGHELL, D. 1990. Modelos de predicción del crecimiento y rendimiento de: *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en America Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica, Serie Técnica n 22. 57p.
- JIMENEZ, M. 1988. Aplicación de un aclareo en Eucalyptus saligna y determinación de los costos e ingresos económicos de la extracción de los productos. Práctica de especialidad. ITCR Dep. de ingeniería de forestal. Cartago, Costa Rica. 121p.
- KARTTUNEN, H. 1995 Curvas polinómicas de conicidad para Pinus oocarpa. Helsinki University knowledge services. CEMAPIF, Siguatepeque, Honduras. 16p.

- MANZANARES, K; VELAZQUEZ, D; VALDEZ, J; MARTINEZ, O; MORALES, F. 1991 Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados con cemento. Revista Baracoa (Cuba) 21(1):59-73.
- MEDINA, L. 1989. Simulación del crecimiento y rendimiento en rodales de *Eucalyptus globulus* en Cajamarca. Revista forestal del Perú (Perú) 16(1): 31-40.
- ORTIZ, A. 1991. Manual de raleos. Corporación Hondureña de desarrollo forestal. Tegucigalpa, Honduras. 25p.
- ORTIZ, M. 1994. Planificación y Ejecución de Raleos en Plantaciones Forestales. I.T.C.R. Cartago, Serie Apoyo académico n 10. 59 p.
- OTAVO R.S. 1984 Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas. FAO forestry paper 49. Roma, Italia 104 p.
- PNEVMAATICOS S. M. Y MANN S.H. 1972 Dynamicprogramming in tree bucking. For prod, J. 22(2): 26-30
- TROENSEGAARD, J. 1971. Cortas intermedias. Ec. Centro de Capacitación Forestal. Proy. N°253 Fondo especial de ONU. 60p.
- SAGE, L; SOLIS, M; ORTIZ, E. 1988. Estudio de mercado para productos de podas y raleos en plantaciones forestales. CANEFOR. tomo 1 snp.
- SALAS, F. 1993. Costos e ingresos del raleo de una plantación pura de *Eucalyptus deglupta*, en Turrialba. CATIE, Proyec. Madeleña Silvoenergía. N° 54 8 p.
- SALAS, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales: con énfasis en America tropical. IICA. San José, Costa Rica. 447p.
- SANCHEZ S, A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. Grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca, en la zona de Turrialba, Costa Rica. Tesis de Mag. Sc., Turrialba, C.R.CATIE. 95 p.
- SANCHEZ, V. 1985. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* en Cascajal de Coronado. Tesis de Ing. Forestal. ITCR. Dep. De Ingenieria Forestal. Cartago C.R. 70p.
- SCHONAU, A.P.G.; COETZEE, J. 1989. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. Forest Ecology and Management (Netherlands) 29 (4): 245-266.
- SESSIONS, J.; OLSEN, E.; GARLAND, J. 1989 Tree bucking for optimal stand value with log allocation constraints. Forest Sciece 35 (1): 271-276.

- SILVA, R. 1971. Metodología para la investigación en parcelas permanentes de clareo y rendimiento, en plantaciones forestales. Inst. Forestal Latino-Americano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela. 33 p.
- UGALDE ARIAS, L.A. 1995. Metodología para el establecimiento de parcelas con el sistema MIRA. CATIE, Turrialba C.R. 30 p.
- UGALDE ARIAS, L.A. 1980. Rendimiento y aprovechamiento de dos intensidades de raleos selectivos Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba C.R., CATIE/Univ. de C.R. 127 p.
- VASQUEZ C. 1986. Tres intensidades de raleo en *Pinus caribaea*: analisis de 10 años de crecimiento. Proyecto Leña, Documento. 13p.
- VASQUEZ C. 1987. Desarrollo de índices de sitio y selección de un modelo preliminar de rendimiento para *Pinus caribaea* var *hondurensis* en la reserva forestal de La Yeguada , Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 113 p.
- VASQUEZ C. 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Eucalyptus saligna* Smith. En Costa Rica. Silvoenergía. Jul. 1991.
- VASQUEZ C.; UGALDE A. 1995. Tablas de volumen y productos de *Eucalyptus grandis* en Costa Rica. Proy. Madeleña-3. CATIE. ST. N°23 23 p.

ANEXOS

Anexo 2 Modelos de regresión probados para volumen total con corteza de *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, índices de furnival y pruebas "t" para los coeficientes

| Regresión de Volumen de <i>E. saligna</i> | | | | | : Voltotcc | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 318 3409 *** | | 0.9665 | 2 0417E-02 | 17 842 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 210 8447 *** | | 0.9745 | 1 7827E-02 | 0 426 N/S | | 2 029 N/S | | | |
| 3 V = D ² * | 459 1018 *** | | 0.9766 | 1 7081E-02 | 21 427 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 210 8816 *** | | 0.9502 | 2 4893E-02 | 14 522 *** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 148 2092 *** | | 0.9757 | 1 7389E-02 | 2 164 N/S | | 0 569 N/S | | 0 067 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 142.8896 *** | | 0.9748 | 1.7704E-02 | 2 390 * | | 0 175 N/S | | 0 219 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D | 462 0795 *** | | 0.9767 | 1.8701E-02 | 21 496 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H/ | 264 7337 *** | | 0.9796 | 1.7510E-02 | 14 150 *** | | 1 551 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 10 8131 ** | | 0.6408 | 1 1520E-02 | 3 242 ** | | 2 783 * | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 8 2912 * | | 0.3986 | 1 4907E-02 | 2 879 * | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 1 4255 N/S | | 0.0372 | 2 1084E-02 | 1 194 N/S | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 8 5617 ** | | 0.6734 | 1 0985E-02 | 3 291 * | | 3 053 * | | 1 459 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 13 0511 ** | | 0.7667 | 1 0379E-02 | 4 167 ** | | 5 640 *** | | 3 808 ** | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 7 3880 * | | 0.6353 | 1 1608E-02 | 3 137 * | | 2 740 * | | 1 571 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 10.8554 ** | | 0.7288 | 1.1190E-02 | 3.985 ** | | 4.735 ** | | 3.370 ** | |

✓ Modelo elegido ***.**, N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 3 Modelos de regresión probados para volumen comercial con corteza hasta 5 cm de diametro en cuspid e para *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

| Regresión de Volumen de <i>E. saligna</i> | | | | | : Volcomcc(5) | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 333 5492 *** | | 0.9680 | 2 0155E-02 | 18 263 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 217 3446 *** | | 0.9752 | 1 7735E-02 | 0 514 N/S | | 1 979 N/S | | | |
| 3 V = D ² | 468 9287 *** | | 0.9770 | 1 7070E-02 | 21 655 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 203 3491 *** | | 0.9484 | 2 5576E-02 | 14 260 *** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 150 5736 *** | | 0.9761 | 1 7423E-02 | 2 332 * | | 0 691 N/S | | 0 216 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 143 5429 *** | | 0.9749 | 1 7837E-02 | 2 552 * | | 0 298 N/S | | 0 070 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D | 312 0775 *** | | 0.9658 | 2 3379E-02 | 17 666 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H/ | 170 0978 *** | | 0.9685 | 2 2453E-02 | 11 252 *** | | 1 357 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 19 1975 *** | | 0.7679 | 1 1681E-02 | 3 907 ** | | 3 252 ** | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 14 2134 ** | | 0.5457 | 1 6342E-02 | 3 770 ** | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 0 0005 N/S | | -0.0999 | 2 3370E-02 | 0 023 N/S | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 14 1248 ** | | 0.7816 | 1 1330E-02 | 3 908 ** | | 3 485 ** | | 1 933 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 13 2386 ** | | 0.7695 | 1 0699E-02 | 4 961 ** | | 6 096 *** | | 4 369 ** | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 12 1854 ** | | 0.7531 | 1 2047E-02 | 3 890 ** | | 3 133 * | | 2 021 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 10.7483 ** | | 0.7267 | 1.1650E-02 | 4.920 ** | | 5.004 ** | | 3.853 ** | |

✓ Modelo elegido ***.**, N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 4 Modelos de regresión probados para volumen comercial con corteza hasta 15 cm de diametro en cuspid e para *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

| Regresión de Volumen de <i>E. saligna</i> | | | | | : Volcomcc(15) | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 79 4744 *** | | 0.9181 | 2 6558E-02 | 8 915 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 74 5410 *** | | 0.9546 | 1 9780E-02 | 1 690 N/S | | 2 412 N/S | | | |
| 3 V = D ² | 111.6613 *** | | 0.9405 | 2 2636E-02 | 10 567 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 16 9022 ** | | 0.6944 | 5 1307E-02 | 4 111 ** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 30 4926 ** | | 0.9267 | 2 5128E-02 | 1 373 N/S | | 0 817 N/S | | 0 870 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 34 9339 ** | | 0.9357 | 2 3539E-02 | 0 818 N/S | | 1 149 N/S | | 1 131 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D/ | 133 2911 *** | | 0.9497 | 1 8483E-02 | 11 545 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 57 1256 *** | | 0.9413 | 1 9976E-02 | 9 821 *** | | 0 370 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 22 9631 ** | | 0.8625 | 1 8597E-02 | 0 842 N/S | | 1 218 N/S | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 41 1230 ** | | 0.8515 | 1 9332E-02 | 6 413 ** | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 5 1180 N/S | | 0.3704 | 4 7257E-02 | 2 262 N/S | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 10 4721 * | | 0.8024 | 2 2300E-02 | 0 774 N/S | | 0 539 N/S | | 0 594 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 15 0969 * | | 0.8580 | 2 2444E-02 | 0.936 N/S | | 1 219 N/S | | 0 691 N/S | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 12 7050 * | | 0.8338 | 2 0450E-02 | 0 887 N/S | | 1 050 N/S | | 1 030 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 17.2856 * | | 0.8747 | 2.1083E-02 | 0.889 N/S | | 0.718 N/S | | 1.036 N/S | |

✓ Modelo elegido ***.**, N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 5 Modelos de regresión probados para volumen total sin corteza de *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, índices de furnival y pruebas "t" para los coeficientes

Regresion de Volumen de *E. saligna* : Voltotsc

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 216 8824 *** | | 0 9515 | 2 1970E-02 | 14 727 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 143 8651 *** | | 0 9629 | 1 9211E-02 | 0 006 N/S | | 2 020 N/S | | | |
| 3 V = D ² | 319 6990 *** | | 0 9666 | 1 8225E-02 | 17 880 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 268 1118 *** | | 0 9604 | 1 9844E-02 | 16 374 *** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 124 2148 *** | | 0 9711 | 1 6962E-02 | 0 990 N/S | | 0 164 N/S | | 0 893 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 130 6303 *** | | 0 9725 | 1 6548E-02 | 1 112 N/S | | 0 658 N/S | | 1 271 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D | 391 3372 *** | | 0 9726 | 1 7913E-02 | 19 782 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H√ | 266 7464 *** | | 0 9797 | 1 5407E-02 | 13 749 *** | | 2 125 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 8 5643 ** | | 0 5790 | 1 2946E-02 | 2 201 N/S | | 1 729 N/S | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 11 7926 ** | | 0 4952 | 1 4176E-02 | 3 434 ** | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 0 2055 N/S | | -0 0779 | 1 6486E-02 | 0 453 N/S | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 8 3155 ** | | 0 6661 | 1 1529E-02 | 2 255 N/S | | 2 053 N/S | | 0 284 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 4 6445 * | | 0 4985 | 1 1246E-02 | 2 938 * | | 3 504 ** | | 2 672 * | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 7 2652 * | | 0 6308 | 1 2124E-02 | 2 108 N/S | | 1 745 N/S | | 0 398 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 3 6859 N/S | | 0 4228 | 1 2064E-02 | 2 741 * | | 2 844 * | | 2 270 N/S | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 6 Modelos de regresión probados para volumen comercial sin corteza hasta 5 cm de diametro en cuspide para *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresion de Volumen de *E. saligna* : Volcomsc(5)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 232 2666 *** | | 0 9546 | 2 1569E-02 | 15 240 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 150 3212 *** | | 0 9645 | 1 9078E-02 | 0 127 N/S | | 1 944 N/S | | | |
| 3 V = D ² √ | 333 4328 *** | | 0 9680 | 1 8115E-02 | 18 260 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 257 7860 *** | | 0 9589 | 2 0515E-02 | 16 056 *** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 124 4050 *** | | 0 9711 | 1 7194E-02 | 1 208 N/S | | 0 019 N/S | | 0 679 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 127 7405 *** | | 0 9719 | 1 6973E-02 | 1 322 N/S | | 0 459 N/S | | 1 036 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D | 220 3526 *** | | 0 9522 | 2 4976E-02 | 14 844 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 130 9532 *** | | 0 9594 | 2 3030E-02 | 9 494 *** | | 1 661 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 17 6793 ** | | 0 7520 | 1 3355E-02 | 2 983 * | | 2 292 * | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 21 1250 ** | | 0 6466 | 1 5943E-02 | 4 596 ** | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 1 8094 N/S | | 0 0685 | 1 9625E-02 | 1 345 N/S | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 14 6907 ** | | 0 7888 | 1 2326E-02 | 3 025 * | | 2 609 * | | 0 904 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 7 8069 ** | | 0 6499 | 1 2032E-02 | 3 877 ** | | 4 007 ** | | 3 350 * | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 12 6143 ** | | 0 7600 | 1 3137E-02 | 3 018 * | | 2 244 N/S | | 0 988 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 6 1035 * | | 0 5819 | 1 3148E-02 | 3 819 ** | | 3 121 * | | 2 845 * | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 7 Modelos de regresión probados para volumen comercial sin corteza hasta 15 cm de diametro en cuspide para *E. saligna* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresion de Volumen de *E. saligna* : Volcomsc(15)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 48 6653 *** | | 0 8719 | 3 0661E-02 | 6 976 *** | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 73 8984 *** | | 0 9542 | 1 8340E-02 | 2 726 * | | 3 431 * | | | |
| 3 V = D ² | 67 7467 *** | | 0 9051 | 2 6398E-02 | 8 231 *** | | | | | |
| 4 V = D ² H | 26 9728 ** | | 0 7877 | 3 9479E-02 | 5 194 ** | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 27 5723 ** | | 0 9193 | 2 4344E-02 | 1 894 N/S | | 1 523 N/S | | 1 394 N/S | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 36 5427 ** | | 0 9384 | 2 1267E-02 | 1 824 N/S | | 2 069 N/S | | 2 103 N/S | |
| 7 Ln V = Ln D | 171 7422 *** | | 0 9606 | 1 3179E-02 | 13 105 *** | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H√ | 125 5304 *** | | 0 9727 | 1 0980E-02 | 15 351 *** | | 1 909 N/S | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 29 8517 ** | | 0 8918 | 1 6804E-02 | 2 301 N/S | | 2 712 * | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 25 4237 ** | | 0 7772 | 2 4113E-02 | 5 042 ** | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 13 5828 * | | 0 6425 | 3 2954E-02 | 3 685 * | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 10 0894 * | | 0 7957 | 2 3091E-02 | 1 596 N/S | | 1 353 N/S | | 1 235 N/S | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 13 6402 * | | 0 8442 | 2 1758E-02 | 1 960 N/S | | 1 968 N/S | | 1 680 N/S | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 18 8329 * | | 0 8843 | 1 7378E-02 | 2 303 N/S | | 2 509 N/S | | 2 550 N/S | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 19 9973 ** | | 0 8906 | 1 8230E-02 | 2 203 N/S | | 2 188 N/S | | 2 392 N/S | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 8 Modelos de regresión probados para volumen total con corteza de *P. oocarpa* y sus respectivos coeficientes de determinación, índices de furnival y pruebas "t" para los coeficientes

Regresion de Volumen de *P. oocarpa* : Voltotcc

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|---------|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----------|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | Sig | b ₂ | Sig | b ₃ | Sig |
| 1 V = D | 53 8154 *** | 0 8276 | 1 6060E-01 | 7 336 *** | | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 24 4392 *** | 0 8099 | 1 6864E-01 | 0 420 N/S | 0 264 N/S | | | | | |
| 3 V = D ² | 53 0723 *** | 0 8256 | 1 6155E-01 | 7 285 *** | | | | | | |
| 4 V = D ² H | 180 8605 *** | 0 9424 | 9 2867E-02 | 13 448 *** | | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 72 8925 *** | 0 9515 | 8 5215E-02 | 1 937 N/S | 1 651 N/S | 3 389 ** | | | | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 81 9869 *** | 0 9567 | 8 0507E-02 | 2 293 * | 2 004 N/S | 3 445 ** | | | | |
| 7 Ln V = Ln D | 100 5501 *** | 0 9005 | 9 4208E-02 | 10 027 *** | | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 68 9656 *** | 0 9251 | 8 1717E-02 | 11 153 *** | 2 071 N/S | | | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 0 3067 N/S | -0 1442 | 1 0194E-01 | 0 113 N/S | 0 031 N/S | | | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 0 6804 N/S | -0 0299 | 9 6716E-02 | 0 825 N/S | | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 0 0132 N/S | -0 0985 | 7 8018E-02 | 0 115 N/S | | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 3 0227 N/S | 0 3555 | 7 6506E-02 | 1 748 N/S | 1 781 N/S | 2 600 * | | | | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 0 9757 N/S | -0 0067 | 7 4684E-02 | 1 694 N/S | 1 501 N/S | 1 707 N/S | | | | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 2 9550 N/S | 0 3478 | 7 6966E-02 | 1 668 N/S | 1 744 N/S | 2 421 * | | | | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 0.9960 N/S | -0.0011 | 7.4477E-02 | 1.690 N/S | 1.382 N/S | 1.724 N/S | | | | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 9 Modelos de regresión probados para volumen comercial con corteza hasta 5 cm de diametro en cuspid e para *P. oocarpa* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresion de Volumen de *P. oocarpa* : Voicomcc(5)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|---------|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----------|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | Sig | b ₂ | Sig | b ₃ | Sig |
| 1 V = D | 53 8256 *** | 0 8277 | 1 6076E-01 | 7 337 *** | | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 24 4453 *** | 0 8100 | 1 6880E-01 | 0 419 N/S | 0 265 N/S | | | | | |
| 3 V = D ² | 53 0898 *** | 0 8256 | 1 6169E-01 | 7 286 *** | | | | | | |
| 4 V = D ² H | 180 3477 *** | 0 9422 | 9 3090E-02 | 13 429 *** | | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 72 6390 *** | 0 9513 | 8 5448E-02 | 1 936 N/S | 1 653 N/S | 3 386 ** | | | | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 81 5479 *** | 0 9565 | 8 0802E-02 | 2 285 * | 2 001 N/S | 3 436 ** | | | | |
| 7 Ln V = Ln D | 100 1415 *** | 0 9001 | 9 4447E-02 | 10 007 *** | | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 68 3360 *** | 0 9245 | 8 2125E-02 | 11 104 *** | 2 056 N/S | | | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 0 3256 N/S | -0 1398 | 1 0224E-01 | 0 113 N/S | 0 028 N/S | | | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 0 7226 N/S | -0 0259 | 9 7000E-02 | 0 850 N/S | | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 0 0225 N/S | -0 0975 | 7 8426E-02 | 0 150 N/S | | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 3 0265 N/S | 0 3559 | 7 6857E-02 | 1 749 N/S | 1 785 N/S | 2 597 * | | | | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 0 9836 N/S | -0 0045 | 7 5029E-02 | 1 695 N/S | 1 501 N/S | 1 711 N/S | | | | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 2 9460 N/S | 0 3467 | 7 7406E-02 | 1 659 N/S | 1 740 N/S | 2 412 * | | | | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 0.9957 N/S | -0.0012 | 7.4905E-02 | 1.681 N/S | 1.375 N/S | 1.721 N/S | | | | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 10 Modelos de regresión probados para volumen comercial con corteza hasta 15 cm de diametro en cuspid e para *P. oocarpa* y sus respectivos coef. de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresion de Volumen de *P. oocarpa* : Volcomcc(15)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|--------------|--------|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----------|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | Sig | b ₂ | Sig | b ₃ | Sig |
| 1 V = D | 59 5265 *** | 0 8418 | 1 6607E-01 | 7 715 *** | | | | | | |
| 2 V = D + D ² | 26 8822 *** | 0 8247 | 1 7479E-01 | 0 552 N/S | 0 166 N/S | | | | | |
| 3 V = D ² | 57 4566 *** | 0 8369 | 1 6860E-01 | 7 580 *** | | | | | | |
| 4 V = D ² H | 194 9586 *** | 0 9463 | 9 6723E-02 | 13 963 *** | | | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 70 3848 *** | 0 9498 | 9 3538E-02 | 1 624 N/S | 1 406 N/S | 3 058 * | | | | |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 74.2753 *** | 0 9523 | 9 1143E-02 | 1 795 N/S | 1 583 N/S | 2 914 * | | | | |
| 7 Ln V = Ln D | 88 0457 *** | 0 8878 | 1 0528E-01 | 9 383 *** | | | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 59.3508 *** | 0 9139 | 9 2251E-02 | 10 319 *** | 2 006 N/S | | | | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 3 7065 N/S | 0 3298 | 1 1280E-01 | 0 382 N/S | 0 094 N/S | | | | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 8 2186 * | 0 3962 | 1 0707E-01 | 2 867 * | | | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 8 3042 * | 0 3990 | 8 8548E-02 | 2 882 * | | | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 6 4247 * | 0 5967 | 8 7506E-02 | 1 454 N/S | 1 687 N/S | 2 441 * | | | | |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 3 8612 N/S | 0 4383 | 8 5606E-02 | 1 427 N/S | 1 405 N/S | 1 642 N/S | | | | |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 6 0043 * | 0 5771 | 8 9602E-02 | 1 079 N/S | 1 532 N/S | 2 152 N/S | | | | |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 3.6962 N/S | 0.4237 | 8.6709E-02 | 1.133 N/S | 1.201 N/S | 1.557 N/S | | | | |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 11 Modelos de regresión probados para volumen total sin corteza de *P. oocarpa* y sus respectivos coeficientes de determinación, índices de furnival y pruebas "t" para los coeficientes

Regresión de Volumen de *P. oocarpa*

: Voltotsc

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|----------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 41.0681 | *** | 0.7846 | 1.5864E-01 | 6.408 | *** | | | | |
| 2 V = D + D ² | 18.8168 | *** | 0.7641 | 1.6601E-01 | 0.237 | N/S | 0.363 | N/S | | |
| 3 V = D ² | 41.4927 | *** | 0.7864 | 1.5798E-01 | 6.441 | *** | | | | |
| 4 V = D ² H | 109.5104 | *** | 0.9080 | 1.0370E-01 | 10.465 | *** | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 40.6475 | *** | 0.9153 | 9.9451E-02 | 1.654 | N/S | 1.382 | N/S | 2.730 | * |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 46.7870 | *** | 0.9259 | 9.3073E-02 | 2.093 | N/S | 1.820 | N/S | 2.944 | * |
| 7 Ln V = Ln D | 94.6135 | *** | 0.8949 | 8.1330E-02 | 9.727 | *** | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 66.5969 | *** | 0.9226 | 6.9760E-02 | 10.925 | *** | 2.143 | N/S | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 1.0309 | N/S | 0.0056 | 9.2289E-02 | 0.290 | N/S | 0.139 | N/S | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 2.2644 | N/S | 0.1031 | 8.7647E-02 | 1.505 | N/S | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 1.3212 | N/S | 0.0284 | 6.9117E-02 | 1.149 | N/S | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 3.4532 | N/S | 0.4009 | 7.1636E-02 | 1.490 | N/S | 1.589 | N/S | 2.391 | * |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 1.2682 | N/S | 0.0682 | 6.7687E-02 | 1.471 | N/S | 1.409 | N/S | 1.554 | N/S |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 3.3354 | N/S | 0.3891 | 7.2335E-02 | 1.325 | N/S | 1.524 | N/S | 2.183 | N/S |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 1.1962 | N/S | 0.0508 | 6.8316E-02 | 1.321 | N/S | 1.248 | N/S | 1.492 | N/S |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 12 Modelos de regresión probados para volumen comercial sin corteza hasta 5 cm de diametro en cuspide para *P. oocarpa* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresión de Volumen de *P. oocarpa*

: Volcomsc(5)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|----------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 41.1091 | *** | 0.7848 | 1.5880E-01 | 6.412 | *** | | | | |
| 2 V = D + D ² | 18.8358 | *** | 0.7643 | 1.6618E-01 | 0.238 | N/S | 0.363 | N/S | | |
| 3 V = D ² | 41.5342 | *** | 0.7865 | 1.5815E-01 | 6.445 | *** | | | | |
| 4 V = D ² H | 109.4161 | *** | 0.9079 | 1.0389E-01 | 10.460 | *** | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 40.5824 | *** | 0.9152 | 9.9669E-02 | 1.653 | N/S | 1.383 | N/S | 2.728 | * |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 46.6442 | *** | 0.9256 | 9.3342E-02 | 2.086 | N/S | 1.817 | N/S | 2.938 | * |
| 7 Ln V = Ln D | 94.4766 | *** | 0.8947 | 8.1454E-02 | 9.720 | *** | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 66.2749 | *** | 0.9223 | 6.9979E-02 | 10.900 | *** | 2.133 | N/S | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 1.0817 | N/S | 0.0146 | 9.2518E-02 | 0.296 | N/S | 0.142 | N/S | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 2.3762 | N/S | 0.1112 | 8.7868E-02 | 1.542 | N/S | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 1.4386 | N/S | 0.0383 | 6.9417E-02 | 1.199 | N/S | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 3.4861 | N/S | 0.4041 | 7.1950E-02 | 1.487 | N/S | 1.589 | N/S | 2.384 | * |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 1.3071 | N/S | 0.0773 | 6.7997E-02 | 1.466 | N/S | 1.405 | N/S | 1.553 | N/S |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 3.3528 | N/S | 0.3909 | 7.2742E-02 | 1.309 | N/S | 1.515 | N/S | 2.169 | N/S |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 1.2239 | N/S | 0.0576 | 6.8720E-02 | 1.304 | N/S | 1.236 | N/S | 1.482 | N/S |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 13 Modelos de regresión probados para volumen comercial sin corteza hasta 15 cm de diametro en cuspide para *P. oocarpa* y sus respectivos coeficientes de determinación, ind. de furnival y pruebas "t" para los coeficientes.

Regresión de Volumen de *P. oocarpa*

: Volcomsc(15)

| Modelo | F | Sig | R ² Ajus | Ind. Furnv. | Valores de 'T' para cada coeficiente | | | | | |
|---|----------|-----|---------------------|-------------|--------------------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|
| | | | | | b ₁ | | b ₂ | | b ₃ | |
| | | | | | T1 | Sig | T2 | Sig | T3 | Sig |
| 1 V = D | 51.5945 | *** | 0.8214 | 1.6060E-01 | 7.183 | *** | | | | |
| 2 V = D + D ² | 23.2405 | *** | 0.8017 | 1.6921E-01 | 0.580 | N/S | 0.086 | N/S | | |
| 3 V = D ² | 49.4224 | *** | 0.8149 | 1.6350E-01 | 7.030 | *** | | | | |
| 4 V = D ² H | 148.0160 | *** | 0.9304 | 1.0027E-01 | 12.166 | *** | | | | |
| 5 V = D ² + H + D ² H | 48.9176 | *** | 0.9289 | 1.0132E-01 | 1.270 | N/S | 1.007 | N/S | 2.460 | * |
| 6 V = D ² + DH + D ² H | 51.9710 | *** | 0.9329 | 9.8446E-02 | 1.540 | N/S | 1.244 | N/S | 2.410 | * |
| 7 Ln V = Ln D | 69.2930 | *** | 0.8613 | 1.0384E-01 | 8.324 | *** | | | | |
| 8 Ln V = Ln D + Ln H | 60.2323 | *** | 0.9150 | 8.1268E-02 | 10.149 | *** | 2.707 | * | | |
| 9 V/D ² = 1/D ² + 1/D | 11.4584 | ** | 0.6554 | 9.3267E-02 | 1.273 | N/S | 0.776 | N/S | | |
| 10 V/D ² = 1/D ² | 23.2392 | *** | 0.6691 | 9.1393E-02 | 4.821 | *** | | | | |
| 11 V/D ² H = 1/D ² H | 39.1860 | *** | 0.7764 | 6.7000E-02 | 6.260 | *** | | | | |
| 12 V/D ² = 1/D ² + H/D ² + H | 14.5108 | ** | 0.7865 | 7.3400E-02 | 0.787 | N/S | 1.207 | N/S | 2.217 | N/S |
| 13 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D ² | 12.8144 | ** | 0.7632 | 6.8950E-02 | 0.766 | N/S | 1.120 | N/S | 1.190 | N/S |
| 14 V/D ² = 1/D ² + H/D + H | 13.2614 | ** | 0.7698 | 7.6225E-02 | 0.087 | N/S | 0.877 | N/S | 1.683 | N/S |
| 15 V/D ² H = 1/D ² H + 1/H + 1/D | 11.6172 | ** | 0.7433 | 7.1782E-02 | 0.027 | N/S | 0.754 | N/S | 0.829 | N/S |

✓ Modelo elegido ***.***. N/S = nivel de significancia al 0 1%. 1%. 5% y no significativo respectivamente

Anexo 14. Tabla de volumen total con corteza (en m³/arbol) para *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Modelo No. 8 : $\ln V = -8.58671 + 2.04257 \ln D + 0.434202 \ln H$

| CDiam. | Altura Total(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 12 0 | 13 0 | 14 0 | 15 0 | 16 0 | 17 0 | 18 0 | 19 0 | 20 0 | 21 0 | 22 0 | 23 0 | 24 0 | 25 0 | 26 0 | 27 0 | 28 0 | |
| 5 0 | 0 0148 | 0 0153 | 0 0158 | 0 0163 | 0 0167 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 0 | 0 0214 | 0 0222 | 0 0229 | 0 0236 | 0 0243 | 0 0249 | | | | | | | | | | | | |
| 7 0 | 0 0294 | 0 0304 | 0 0314 | 0 0323 | 0 0333 | 0 0341 | 0 0350 | | | | | | | | | | | |
| 8 0 | 0 0386 | 0 0399 | 0 0412 | 0 0425 | 0 0437 | 0 0448 | 0 0460 | 0 0471 | | | | | | | | | | |
| 9 0 | 0 0490 | 0 0508 | 0 0524 | 0 0540 | 0 0556 | 0 0570 | 0 0585 | 0 0599 | 0 0612 | | | | | | | | | |
| 10 0 | 0 0608 | 0 0630 | 0 0650 | 0 0670 | 0 0689 | 0 0707 | 0 0725 | 0 0742 | 0 0759 | 0 0775 | | | | | | | | |
| 11 0 | 0 0739 | 0 0765 | 0 0790 | 0 0814 | 0 0837 | 0 0860 | 0 0881 | 0 0902 | 0 0922 | 0 0942 | 0 0961 | | | | | | | |
| 12 0 | 0 0863 | 0 0914 | 0 0944 | 0 0972 | 0 1000 | 0 1027 | 0 1052 | 0 1077 | 0 1102 | 0 1125 | 0 1148 | 0 1171 | | | | | | |
| 13 0 | 0 1039 | 0 1076 | 0 1111 | 0 1145 | 0 1178 | 0 1209 | 0 1239 | 0 1269 | 0 1297 | 0 1325 | 0 1352 | 0 1379 | 0 1404 | | | | | |
| 14 0 | 0 1209 | 0 1252 | 0 1293 | 0 1332 | 0 1370 | 0 1407 | 0 1442 | 0 1476 | 0 1509 | 0 1542 | 0 1573 | 0 1604 | 0 1634 | 0 1663 | | | | |
| 15 0 | 0 1392 | 0 1441 | 0 1489 | 0 1534 | 0 1577 | 0 1619 | 0 1660 | 0 1700 | 0 1738 | 0 1775 | 0 1811 | 0 1847 | 0 1881 | 0 1915 | 0 1948 | | | |
| 16 0 | 0 1568 | 0 1645 | 0 1698 | 0 1750 | 0 1800 | 0 1848 | 0 1894 | 0 1939 | 0 1983 | 0 2025 | 0 2067 | 0 2107 | 0 2146 | 0 2185 | 0 2222 | 0 2259 | | |
| 17 0 | 0 1798 | 0 1861 | 0 1922 | 0 1981 | 0 2037 | 0 2091 | 0 2144 | 0 2195 | 0 2244 | 0 2292 | 0 2339 | 0 2385 | 0 2429 | 0 2472 | 0 2515 | 0 2556 | 0 2597 | |
| 18 0 | 0 2020 | 0 2092 | 0 2160 | 0 2226 | 0 2289 | 0 2350 | 0 2409 | 0 2467 | 0 2522 | 0 2576 | 0 2629 | 0 2680 | 0 2730 | 0 2779 | 0 2826 | 0 2873 | 0 2919 | |
| 19 0 | | 0 2336 | 0 2412 | 0 2486 | 0 2556 | 0 2625 | 0 2691 | 0 2755 | 0 2817 | 0 2877 | 0 2936 | 0 2993 | 0 3049 | 0 3103 | 0 3156 | 0 3209 | 0 3260 | |
| 20 0 | | | 0 2679 | 0 2760 | 0 2839 | 0 2915 | 0 2988 | 0 3059 | 0 3128 | 0 3195 | 0 3260 | 0 3323 | 0 3385 | 0 3446 | 0 3505 | 0 3563 | 0 3620 | |
| 21 0 | | | | 0 3050 | 0 3136 | 0 3220 | 0 3301 | 0 3379 | 0 3455 | 0 3529 | 0 3601 | 0 3672 | 0 3740 | 0 3807 | 0 3872 | 0 3936 | 0 3999 | |
| 22 0 | | | | | 0 3449 | 0 3541 | 0 3630 | 0 3716 | 0 3800 | 0 3881 | 0 3960 | 0 4038 | 0 4113 | 0 4186 | 0 4258 | 0 4329 | 0 4398 | |
| 23 0 | | | | | | 0 3878 | 0 3975 | 0 4069 | 0 4161 | 0 4250 | 0 4337 | 0 4421 | 0 4504 | 0 4584 | 0 4663 | 0 4740 | 0 4816 | |
| 24 0 | | | | | | | 0 4336 | 0 4439 | 0 4539 | 0 4636 | 0 4731 | 0 4823 | 0 4913 | 0 5001 | 0 5087 | 0 5171 | 0 5253 | |
| 25.0 | | | | | | | | 0.4825 | 0.4934 | 0.5039 | 0.5142 | 0.5242 | 0.5340 | 0.5436 | 0.5529 | 0.5620 | 0.5710 | |

Anexo 15. Tabla de volumen comercial con corteza hasta diametro mínimo de 5 cm sin incluir tocón (en m³/arbol) para *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Modelo No. 8 : $\ln V = -9.10212 + 2.14605 \ln D + 0.501933 \ln H$

| Diam (cm) | Altura Total(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 12 0 | 13 0 | 14 0 | 15 0 | 16 0 | 17 0 | 18 0 | 19 0 | 20 0 | 21 0 | 22 0 | 23 0 | 24 0 | 25 0 | 26 0 | 27 0 | 28 0 | |
| 6 0 | 0 0183 | 0 0190 | 0 0198 | 0 0205 | 0 0211 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 0 | 0 0255 | 0 0265 | 0 0275 | 0 0285 | 0 0294 | 0 0303 | | | | | | | | | | | | |
| 8 0 | 0 0339 | 0 0353 | 0 0366 | 0 0379 | 0 0392 | 0 0404 | 0 0416 | | | | | | | | | | | |
| 9 0 | 0 0437 | 0 0454 | 0 0472 | 0 0488 | 0 0504 | 0 0520 | 0 0535 | 0 0550 | | | | | | | | | | |
| 10 0 | 0 0547 | 0 0570 | 0 0591 | 0 0612 | 0 0632 | 0 0652 | 0 0671 | 0 0689 | 0 0707 | | | | | | | | | |
| 11 0 | 0 0672 | 0 0699 | 0 0726 | 0 0751 | 0 0776 | 0 0800 | 0 0823 | 0 0846 | 0 0868 | 0 0889 | | | | | | | | |
| 12 0 | 0 0809 | 0 0843 | 0 0875 | 0 0905 | 0 0935 | 0 0964 | 0 0992 | 0 1019 | 0 1046 | 0 1072 | 0 1097 | | | | | | | |
| 13 0 | 0 0961 | 0 1001 | 0 1039 | 0 1075 | 0 1110 | 0 1145 | 0 1178 | 0 1211 | 0 1242 | 0 1273 | 0 1303 | 0 1332 | | | | | | |
| 14 0 | 0 1127 | 0 1173 | 0 1218 | 0 1260 | 0 1302 | 0 1342 | 0 1381 | 0 1419 | 0 1456 | 0 1492 | 0 1528 | 0 1562 | 0 1596 | | | | | |
| 15 0 | 0 1307 | 0 1360 | 0 1412 | 0 1462 | 0 1510 | 0 1556 | 0 1602 | 0 1646 | 0 1689 | 0 1730 | 0 1771 | 0 1811 | 0 1850 | 0 1889 | | | | |
| 16 0 | 0 1501 | 0 1562 | 0 1622 | 0 1679 | 0 1734 | 0 1788 | 0 1840 | 0 1890 | 0 1939 | 0 1988 | 0 2035 | 0 2080 | 0 2125 | 0 2169 | 0 2212 | | | |
| 17 0 | 0 1709 | 0 1779 | 0 1847 | 0 1912 | 0 1975 | 0 2036 | 0 2095 | 0 2153 | 0 2209 | 0 2264 | 0 2317 | 0 2369 | 0 2421 | 0 2471 | 0 2520 | 0 2568 | | |
| 18 0 | 0 1932 | 0 2012 | 0 2088 | 0 2161 | 0 2233 | 0 2302 | 0 2369 | 0 2434 | 0 2497 | 0 2559 | 0 2620 | 0 2679 | 0 2737 | 0 2793 | 0 2849 | 0 2903 | 0 2957 | |
| 19 0 | | 0 2259 | 0 2345 | 0 2427 | 0 2507 | 0 2585 | 0 2660 | 0 2733 | 0 2804 | 0 2874 | 0 2942 | 0 3008 | 0 3073 | 0 3137 | 0 3199 | 0 3260 | 0 3320 | |
| 20 0 | | | 0 2618 | 0 2710 | 0 2799 | 0 2886 | 0 2970 | 0 3051 | 0 3131 | 0 3208 | 0 3284 | 0 3358 | 0 3431 | 0 3502 | 0 3571 | 0 3640 | 0 3707 | |
| 21 0 | | | | 0 3009 | 0 3108 | 0 3204 | 0 3297 | 0 3388 | 0 3476 | 0 3563 | 0 3647 | 0 3729 | 0 3810 | 0 3888 | 0 3966 | 0 4042 | 0 4116 | |
| 22 0 | | | | | 0 3434 | 0 3540 | 0 3644 | 0 3744 | 0 3841 | 0 3937 | 0 4030 | 0 4121 | 0 4209 | 0 4297 | 0 4382 | 0 4466 | 0 4548 | |
| 23 0 | | | | | | 0 3895 | 0 4008 | 0 4118 | 0 4226 | 0 4331 | 0 4433 | 0 4533 | 0 4631 | 0 4727 | 0 4821 | 0 4913 | 0 5003 | |
| 24 0 | | | | | | | 0 4392 | 0 4512 | 0 4630 | 0 4745 | 0 4857 | 0 4966 | 0 5074 | 0 5179 | 0 5282 | 0 5383 | 0 5482 | |
| 25.0 | | | | | | | | 0.4925 | 0.5054 | 0.5179 | 0.5302 | 0.5421 | 0.5538 | 0.5653 | 0.5765 | 0.5876 | 0.5984 | |

Anexo 16. Tabla de volumen comercial con corteza hasta 15 cm de diametro de *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Model No. 7 : $\ln V = -16.0579 + 4.82424 \ln D$

| Diam. | Volumen | Diam. | Volumen |
|-------|---------|-------|---------|
| 16 0 | 0 0690 | 21 0 | 0 2563 |
| 17 0 | 0 0925 | 22 0 | 0 3208 |
| 18 0 | 0 1218 | 23 0 | 0 3975 |
| 19 0 | 0 1581 | 24 0 | 0 4881 |
| 20 0 | 0 2025 | 25 0 | 0 5943 |

Anexo 17. Tabla de volumen total sin corteza (en m³/arbol) para *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Modelo No. 8 : $\ln V = -9.37036 + 2.06537 \ln D + 6.19056 \ln H$

| Diam.(cm) | Altura Total(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 12 0 | 13 0 | 14 0 | 15 0 | 16 0 | 17 0 | 18 0 | 19 0 | 20 0 | 21 0 | 22 0 | 23 0 | 24 0 | 25 0 | 26 0 | 27 0 | 28 0 | |
| 5 0 | 0 0111 | 0 0116 | 0 0122 | 0 0127 | 0 0132 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 0 | 0 0161 | 0 0170 | 0 0178 | 0 0185 | 0 0193 | 0 0200 | | | | | | | | | | | | |
| 7 0 | 0 0222 | 0 0233 | 0 0244 | 0 0255 | 0 0265 | 0 0275 | 0 0285 | | | | | | | | | | | |
| 8 0 | 0 0292 | 0 0307 | 0 0322 | 0 0336 | 0 0349 | 0 0363 | 0 0376 | 0 0389 | | | | | | | | | | |
| 9 0 | 0 0373 | 0 0392 | 0 0410 | 0 0428 | 0 0446 | 0 0463 | 0 0479 | 0 0496 | 0 0512 | | | | | | | | | |
| 10 0 | 0 0464 | 0 0487 | 0 0510 | 0 0532 | 0 0554 | 0 0575 | 0 0596 | 0 0616 | 0 0636 | 0 0656 | | | | | | | | |
| 11 0 | 0 0564 | 0 0593 | 0 0621 | 0 0648 | 0 0674 | 0 0700 | 0 0726 | 0 0750 | 0 0774 | 0 0798 | 0 0821 | | | | | | | |
| 12 0 | 0 0676 | 0 0710 | 0 0743 | 0 0776 | 0 0807 | 0 0838 | 0 0866 | 0 0898 | 0 0927 | 0 0955 | 0 0983 | 0 1011 | | | | | | |
| 13 0 | 0 0797 | 0 0838 | 0 0877 | 0 0915 | 0 0952 | 0 0989 | 0 1024 | 0 1059 | 0 1093 | 0 1127 | 0 1160 | 0 1192 | 0 1224 | | | | | |
| 14 0 | 0 0929 | 0 0976 | 0 1022 | 0 1066 | 0 1110 | 0 1152 | 0 1194 | 0 1235 | 0 1274 | 0 1313 | 0 1352 | 0 1390 | 0 1427 | 0 1463 | | | | |
| 15 0 | 0 1071 | 0 1126 | 0 1178 | 0 1230 | 0 1280 | 0 1329 | 0 1377 | 0 1424 | 0 1470 | 0 1515 | 0 1559 | 0 1602 | 0 1645 | 0 1687 | 0 1729 | | | |
| 16 0 | 0 1224 | 0 1286 | 0 1346 | 0 1405 | 0 1462 | 0 1518 | 0 1573 | 0 1627 | 0 1679 | 0 1731 | 0 1781 | 0 1831 | 0 1880 | 0 1928 | 0 1975 | 0 2022 | | |
| 17 0 | 0 1387 | 0 1458 | 0 1526 | 0 1593 | 0 1657 | 0 1721 | 0 1783 | 0 1844 | 0 1903 | 0 1961 | 0 2019 | 0 2075 | 0 2130 | 0 2185 | 0 2239 | 0 2292 | 0 2344 | |
| 18 0 | 0 1561 | 0 1640 | 0 1717 | 0 1792 | 0 1865 | 0 1937 | 0 2006 | 0 2075 | 0 2141 | 0 2207 | 0 2272 | 0 2335 | 0 2397 | 0 2459 | 0 2519 | 0 2579 | 0 2637 | |
| 19 0 | | 0 1834 | 0 1920 | 0 2004 | 0 2086 | 0 2165 | 0 2243 | 0 2320 | 0 2394 | 0 2468 | 0 2540 | 0 2611 | 0 2681 | 0 2749 | 0 2817 | 0 2883 | 0 2949 | |
| 20 0 | | | 0 2135 | 0 2228 | 0 2319 | 0 2407 | 0 2494 | 0 2579 | 0 2662 | 0 2744 | 0 2824 | 0 2903 | 0 2980 | 0 3056 | 0 3132 | 0 3206 | 0 3279 | |
| 21 0 | | | 0 2464 | 0 2564 | 0 2663 | 0 2758 | 0 2852 | 0 2944 | 0 3035 | 0 3123 | | 0 3210 | 0 3296 | 0 3380 | 0 3464 | 0 3545 | 0 3626 | |
| 22 0 | | | | 0 2823 | 0 2931 | 0 3037 | 0 3140 | 0 3241 | 0 3341 | 0 3438 | | 0 3534 | 0 3629 | 0 3721 | 0 3813 | 0 3903 | 0 3992 | |
| 23 0 | | | | | 0 3213 | 0 3329 | 0 3442 | 0 3553 | 0 3662 | 0 3769 | | 0 3874 | 0 3977 | 0 4079 | 0 4179 | 0 4278 | 0 4376 | |
| 24 0 | | | | | | 0 3634 | 0 3758 | 0 3879 | 0 3998 | 0 4115 | | 0 4230 | 0 4343 | 0 4454 | 0 4563 | 0 4671 | 0 4778 | |
| 25 0 | | | | | | | | 0 4089 | 0 4221 | 0 4350 | 0 4477 | 0 4602 | 0 4725 | 0 4846 | 0 4965 | 0 5082 | 0 5198 | |

Anexo 18. Tabla de volumen comercial sin corteza hasta diametro mnimo de 5 cm sin incluir tocón (en m³/arbol) para *E saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Modelo No. 3 : $V = -0.0190492 + 0.000733182 D^2$

| Diam.(cm) | Volumen | Diam.(cm) | Volumen | Diam.(cm) | Volumen | Diam.(cm) | Volumen |
|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| 6.0 | 0.0073 | 11.0 | 0.0697 | 16.0 | 0.1686 | 21.0 | 0.3043 |
| 7.0 | 0.0169 | 12.0 | 0.0865 | 17.0 | 0.1928 | 22.0 | 0.3358 |
| 8.0 | 0.0279 | 13.0 | 0.1049 | 18.0 | 0.2185 | 23.0 | 0.3688 |
| 9.0 | 0.0403 | 14.0 | 0.1247 | 19.0 | 0.2456 | 24.0 | 0.4033 |
| 10.0 | 0.0543 | 15.0 | 0.1459 | 20.0 | 0.2742 | 25.0 | 0.4392 |

Anexo 19. Tabla de volumen comercial sin corteza hasta 15 cm de diametro excluyendo tocón en (m³/arbol) para *E saligna* en Turrialba, Costa Rica.

Modelo No. 8 : $\ln V = -0.230930 + 6.13599 \ln D + 0.909277 \ln H$

| Diam. (cm) | Altura Total(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | 12 0 | 13 0 | 14 0 | 15 0 | 16 0 | 17 0 | 18 0 | 19 0 | 20 0 | 21 0 | 22 0 | 23 0 | 24 0 | 25 0 | 26 0 | 27 0 | 28 0 | |
| 16 0 | 0 0221 | 0 0237 | 0 0254 | 0 0270 | 0 0287 | 0 0303 | 0 0319 | 0 0335 | 0 0351 | 0 0367 | 0 0383 | 0 0399 | 0 0414 | 0 0430 | | | | |
| 17 0 | 0 0320 | 0 0344 | 0 0368 | 0 0392 | 0 0416 | 0 0439 | 0 0463 | 0 0486 | 0 0509 | 0 0532 | 0 0555 | 0 0578 | 0 0601 | 0 0624 | 0 0646 | | | |
| 18 0 | 0 0455 | 0 0489 | 0 0523 | 0 0557 | 0 0590 | 0 0624 | 0 0657 | 0 0690 | 0 0723 | 0 0756 | 0 0789 | 0 0821 | 0 0854 | 0 0886 | 0 0918 | 0 0950 | | |
| 19 0 | | 0 0681 | 0 0729 | 0 0776 | 0 0823 | 0 0869 | 0 0916 | 0 0962 | 0 1008 | 0 1053 | 0 1099 | 0 1144 | 0 1189 | 0 1234 | 0 1279 | 0 1324 | 0 1368 | |
| 20 0 | | | 0 0998 | 0 1063 | 0 1127 | 0 1191 | 0 1254 | 0 1318 | 0 1380 | 0 1443 | 0 1505 | 0 1568 | 0 1629 | 0 1691 | 0 1752 | 0 1814 | 0 1875 | |
| 21 0 | | | | 0 1434 | 0 1520 | 0 1606 | 0 1692 | 0 1777 | 0 1862 | 0 1947 | 0 2031 | 0 2115 | 0 2198 | 0 2281 | 0 2364 | 0 2447 | 0 2529 | |
| 22 0 | | | | | 0 2023 | 0 2137 | 0 2251 | 0 2365 | 0 2478 | 0 2590 | 0 2702 | 0 2813 | 0 2924 | 0 3035 | 0 3145 | 0 3255 | 0 3364 | |
| 23 0 | | | | | | 0 2807 | 0 2957 | 0 3106 | 0 3254 | 0 3402 | 0 3549 | 0 3695 | 0 3841 | 0 3987 | 0 4131 | 0 4275 | 0 4419 | |
| 24 0 | | | | | | | 0 3840 | 0 4033 | 0 4226 | 0 4417 | 0 4608 | 0 4798 | 0 4988 | 0 5176 | 0 5364 | 0 5551 | 0 5738 | |
| 25 0 | | | | | | | | 0 5181 | 0 5428 | 0 5675 | 0 5920 | 0 6164 | 0 6407 | 0 6650 | 0 6891 | 0 7132 | 0 7371 | |

anexo 26 Promedios en número de productos postes de cerca y construcción y leña por clase diamétrica de 2 cm como resultantes de raleos al 50% e plantaciones de *E. saligna* en Turrialba, Costa Rica.

| CD | Promedio por Clase Diamétrica | | | | Leña | | PTOT |
|-------|-------------------------------|-------|-------|-----|------|-----|------|
| | G | FRECR | ALTUP | DAP | 1-2 | 15 | |
| 0-4 | 0.0385 | 54 | 5.6 | 3 | 8 | 0 | 8 |
| 4-6 | 0.1104 | 56 | 7.7 | 5 | 43 | 20 | 111 |
| 6-8 | 0.2590 | 67 | 9.9 | 7 | 18 | 71 | 153 |
| 8-10 | 0.6908 | 109 | 12.0 | 9 | 21 | 46 | 280 |
| 10-12 | 0.8447 | 89 | 14.2 | 11 | 7 | 47 | 252 |
| 12-14 | 1.1932 | 90 | 16.3 | 13 | 6 | 0 | 253 |
| 14-16 | 0.3658 | 21 | 18.4 | 15 | 0 | 40 | 122 |
| 16-18 | 0.8560 | 38 | 20.6 | 17 | 0 | 97 | 402 |
| 18-20 | 0.3692 | 13 | 22.7 | 19 | 0 | 0 | 26 |
| | | | | | 102 | 113 | 1607 |

anexo 27 Promedios de número de tipos de productos postes de cerca y construcción y leña por clase diamétrica de 2 cm en raleos al 50% de plantaciones de *E. grandis* en Turrialba, Costa Rica.

| ID | Frec. | CD | CD | 1-2 | | 2-3 | | 3-4 | | 4-5 | | 5-6 | | 6-7 | | 7-8 | | Leña | | | | | Postes | | | | | Prod/h | | | |
|-------|-------|-------|----|-----|-----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|------|----|----|----|----|--------|-----|----|-----|----|--------|----|---|------|
| | | | | 2 | 2 | 4 | 5 | 2 | 4 | 4 | 5 | 2 | 4 | 4 | 5 | 6 | 8 | 5 | 8 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 25 | 35 | 45 | | | | |
| .0825 | 42 | 46 | 5 | 85 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 163 | | | | | |
| .0578 | 29 | 68 | 7 | 44 | 38 | 8 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106 | | | | | |
| .0475 | 24 | 8-10 | 9 | 26 | 34 | 19 | 4 | 23 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 143 | | | | | |
| .0281 | 14 | 10-12 | 11 | 14 | 18 | 4 | 11 | 22 | 7 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107 | | | | | |
| .0769 | 39 | 12-14 | 13 | 14 | 36 | 16 | 20 | 3 | 8 | 27 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 175 | | | | | |
| .0309 | 16 | 14-16 | 15 | 10 | 19 | 10 | 5 | 14 | 15 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 183 | | | | | |
| .0367 | 19 | 16-18 | 17 | 9 | 0 | 5 | 4 | 4 | 9 | 10 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | | | | | |
| .0452 | 23 | 18-20 | 19 | 0 | 4 | 4 | 0 | 9 | 0 | 0 | 29 | 9 | 5 | 4 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 145 | | | | | |
| .0603 | 31 | 20-22 | 21 | 0 | 17 | 6 | 0 | 12 | 26 | 0 | 6 | 23 | 12 | 6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 184 | | | | | |
| .0489 | 25 | 22-24 | 23 | 0 | 12 | 13 | 0 | 17 | 6 | 0 | 0 | 17 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 204 | | | | | |
| .0358 | 18 | 24-26 | 25 | 0 | 6 | 0 | 0 | 6 | 13 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 | | | | | |
| .0000 | 0 | 26-28 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| .0262 | 13 | 28-30 | 31 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | | | | | |
| .0000 | 0 | 32-34 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | |
| | | | | 202 | 197 | 84 | 48 | 115 | 87 | 54 | 53 | 74 | 65 | 41 | 66 | 23 | 29 | 17 | 10 | 11 | 10 | 7 | 96 | 175 | 78 | 48 | 25 | 32 | 12 | 7 | 1667 |

anexo 28 Promedios de tipos de producto priorizando tarimas, por clase diamétrica resultantes de raleos al 50% de plantaciones de *Pinus oocarpa* en la ortuna de Moravia Turrialba, Costa Rica

Postes de cerca y construcción

| -rec. | CD | 1-2 | | 2-3 | | 3-4 | | 4-5 | | | 5-6 | | Tarimas | | Leña | | | |
|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|------|---------|-----|------|----|------|----|
| | | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4,28 | 5,1 | 10 | 15 | 20 | | |
| 16 | 14-16 | 0 | 6 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 10 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 |
| 25 | 16-18 | 0 | 37 | 0 | 43 | 5 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 105 | |
| 55 | 18-20 | 0 | 15 | 11 | 52 | 24 | 14 | 8 | 19 | 0 | 6 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 201 | |
| 20 | 20-22 | 0 | 11 | 2 | 35 | 7 | 13 | 7 | 4 | 0 | 13 | 24 | 0 | 5 | 0 | 0 | 120 | |
| 51 | 22-24 | 4 | 36 | 4 | 72 | 4 | 19 | 7 | 15 | 0 | 37 | 75 | 0 | 22 | 4 | 4 | 298 | |
| 47 | 24-26 | 25 | 46 | 7 | 57 | 9 | 38 | 8 | 9 | 1 | 35 | 67 | 15 | 20 | 7 | 4 | 344 | |
| 43 | 26-28 | 0 | 25 | 0 | 63 | 9 | 46 | 0 | 7 | 2 | 48 | 61 | 32 | 20 | 4 | 4 | 316 | |
| 43 | 28-30 | 0 | 23 | 0 | 34 | 0 | 29 | 7 | 0 | 0 | 52 | 53 | 5 | 19 | 19 | 2 | 241 | |
| 22 | 30-32 | 0 | 23 | 5 | 39 | 5 | 30 | 7 | 0 | 0 | 34 | 45 | 6 | 18 | 2 | 2 | 218 | |
| 23 | 32-34 | 0 | 16 | 0 | 19 | 8 | 14 | 7 | 10 | 2 | 42 | 30 | 0 | 0 | 0 | 18 | 167 | |
| 8 | 34-36 | 0 | 32 | 0 | 9 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 9 | 41 | 0 | 9 | 0 | 0 | 130 | |
| 18 | 36-38 | 0 | 6 | 0 | 6 | 0 | 11 | 0 | 10 | 0 | 48 | 28 | 0 | 11 | 0 | 0 | 120 | |
| 16 | 38-40 | 0 | 17 | 5 | 33 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 38 | 11 | 0 | 0 | 0 | 17 | 132 | |
| 11 | 40-42 | 0 | 0 | 0 | 22 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 | |
| | | 29 | 295 | 37 | 518 | 74 | 267 | 62 | 105 | 5 | 409 | 507 | 68 | 139 | 91 | | 2534 | |

Cuadro 29 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 | |
| Volpie/parc: | 6.68 | 4.66 | IMA (DAP cm) | 2.40 | |
| Volpie/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 | |
| Intensidad de Raleo | | | | | |
| Por arb.(%): | 51.61 | Nº 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 | | |

Anexo 30 Ejemplo de resultados del modelo computadorizado en número y volumen de tipos de productos por hectarea para raleos al 51.6% de intensidad en nº de árboles de *E. saligna* en el lote Pavones, Turrialba, Costa Rica.

| Tipo de Producto | Volumen | Nº de Productos | | | Ingresos *Colones |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------|----------------------|
| | | 2 m | 4 m | 8 m | |
| 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 |
| SUBTOTAL | 15.095 | 81 | 435 | 31 | 37737.29 |
| Leña | Volumen | Nº 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 |
| SUBTOTAL | 1.749 | 383 | Total N° | 930 | 1136.53 |
| INGRESOS TOTALES | | | | | 38873.82 |

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

Cuadro 29 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 | |
| Volpie/parc: | 6.68 | 4.66 | IMA (DAP cm) | 2.40 | |
| Volpie/ha: | 86.97 | 60.65 | IMAIS (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 | |
| Intensidad de Raleo | | | | | |
| Por arb.(%): | 51.61 | Nº 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 | | |

Anexo 30 Ejemplo de resultados del modelo computadorizado en número y volumen de tipos de productos por hectarea para raleos al 51.6% de intensidad en nº de árboles de *E. saligna* en el lote Pavones, Turrialba, Costa Rica.

| Tipo de Producto | Volumen | Nº de Productos | | | Ingresos *Colones |
|-------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------|----------------------|
| | | 2 m | 4 m | 8 m | |
| 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 |
| SUBTOTAL | 15.095 | 81 | 435 | 31 | 37737.29 |
| Leña | Volumen | Nº 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 |
| SUBTOTAL | 1.749 | 383 | Total Nº | 930 | 1136.53 |
| INGRESOS TOTALES | | | | | 38873.82 |

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

Anexo 31. Valores promedios de las parcelas utilizadas en el estudio de productividad y cuantificación económica de los productos provenientes de raleos en Turrialba, Costa Rica.

| FINCAS | SITIOS | ESPECES | PARCS | EDAD | AREA | IS | arbhaA | ABhaA | VolhaA | DistpA | AltupA | DiampA | AltDom | IMAvol | IMAAIt | IMAAAB | IMADAP | IMAI | VProha | Voraha | RalArb | RalAB | RalVol | SA | Sobrev |
|--------|--------|---------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|
| FORTUN | COLO | CUPRLU | P110 | 7.78 | 1000.00 | 28.05 | 1240.00 | 21.94 | 124.81 | 3.35 | 2.49 | 14.92 | 18.00 | 18.60 | 1.80 | 1.81 | 1.81 | 1.40 | 0.00 | 19.20 | 28.29 | 16.93 | 16.42 | 18.94 | 77.50 |
| FORTUN | COLO | CUPRLU | P111 | 7.78 | 1000.00 | 28.65 | 990.00 | 28.18 | 134.87 | 3.43 | 12.30 | 18.94 | 14.90 | 17.3 | 1.55 | 3.37 | 2.18 | 1.28 | 0.00 | 18.48 | 20.41 | 11.65 | 12.24 | 23.67 | 61.25 |
| FORTUN | COLO | CUPRLU | P212 | 7.78 | 1000.00 | 28.38 | 1200.00 | 20.16 | 119.20 | 3.10 | 12.94 | 14.27 | 16.00 | 14.66 | 1.81 | 1.59 | 1.83 | 1.32 | 0.00 | 16.64 | 25.93 | 13.62 | 13.92 | 20.68 | 75.00 |
| FORTUN | COLO | CUPRLU | P213 | 7.78 | 1000.00 | 27.63 | 1030.00 | 17.24 | 94.92 | 3.35 | 11.91 | 14.28 | 15.90 | 12.00 | 1.53 | 2.22 | 1.64 | 1.38 | 0.00 | 8.70 | 20.39 | 10.03 | 9.17 | 21.06 | 64.38 |
| FORTUN | INDI | CUPRLU | P14 | 7.78 | 1000.00 | 28.86 | 650.00 | 18.28 | 104.00 | 4.21 | 13.46 | 18.38 | 16.90 | 13.37 | 1.73 | 2.35 | 1.90 | 1.44 | 0.00 | 1.50 | 4.62 | 1.68 | 1.44 | 25.02 | 40.62 |
| FORTUN | INDI | CUPRLU | P15 | 7.79 | 1000.00 | 28.05 | 660.00 | 21.12 | 119.95 | 4.18 | 13.18 | 19.48 | 18.20 | 15.42 | 1.69 | 2.72 | 1.60 | 1.40 | 0.00 | 5.31 | 9.09 | 5.57 | 4.43 | 25.82 | 41.25 |
| FORTUN | INDI | CUPRLU | P16 | 7.78 | 1000.00 | 29.02 | 660.00 | 20.11 | 114.16 | 4.12 | 13.58 | 18.94 | 16.90 | 14.67 | 1.74 | 2.68 | 2.43 | 1.45 | 0.00 | 4.20 | 10.29 | 4.64 | 3.68 | 24.38 | 42.50 |
| FORTUN | ISRA | CUPRLU | P22 | 7.78 | 1000.00 | 26.76 | 610.00 | 14.03 | 73.55 | 4.26 | 12.00 | 16.78 | 15.30 | 9.46 | 1.54 | 1.80 | 2.18 | 1.34 | 0.00 | 4.94 | 8.20 | 7.75 | 6.71 | 28.44 | 39.13 |
| FORTUN | MONA | CUPRLU | P21 | 7.78 | 1000.00 | 28.88 | 1090.00 | 23.03 | 129.41 | 3.25 | 12.67 | 15.90 | 16.60 | 16.63 | 1.63 | 2.98 | 2.04 | 1.44 | 0.00 | 15.44 | 23.85 | 12.70 | 11.93 | 19.37 | 68.13 |
| FORTUN | VEVE | CUPRLU | P17 | 7.78 | 1000.00 | 26.64 | 1010.00 | 16.87 | 91.90 | 3.38 | 11.64 | 14.09 | 15.20 | 11.81 | 1.50 | 2.17 | 1.91 | 1.33 | 0.00 | 6.90 | 16.87 | 7.81 | 7.51 | 22.24 | 63.13 |
| FORTUN | VEVE | CUPRLU | P18 | 7.78 | 1000.00 | 26.76 | 770.00 | 15.43 | 104.93 | 3.97 | 13.46 | 17.06 | 15.30 | 13.47 | 1.73 | 2.37 | 2.19 | 1.34 | 0.00 | 8.66 | 18.43 | 8.60 | 8.28 | 25.31 | 48.13 |
| FORTUN | VEVE | CUPRLU | P19 | 7.78 | 1000.00 | 26.50 | 860.00 | 19.35 | 107.82 | 3.62 | 12.94 | 16.18 | 16.10 | 13.67 | 1.68 | 2.49 | 2.09 | 1.33 | 0.00 | 12.60 | 19.35 | 13.32 | 11.68 | 23.99 | 55.00 |
| FORTUN | CUBA | CUPRLU | CCUB | 9.89 | 855.00 | 32.17 | 304.09 | 16.26 | 121.38 | 6.16 | 18.31 | 25.54 | 22.13 | 12.71 | 1.85 | 1.64 | 2.58 | 1.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 27.85 | 27.30 |
| FORTUN | HIER | CUPRLU | CHIE | 9.89 | 762.00 | 31.38 | 314.96 | 14.56 | 104.66 | 6.05 | 17.50 | 23.93 | 21.50 | 10.59 | 1.77 | 1.47 | 2.41 | 1.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 28.16 | 28.35 |
| FORTUN | CUEV | CUPRLU | CCP1 | 9.92 | 969.00 | 21.91 | 485.54 | 15.53 | 75.76 | 4.88 | 12.27 | 19.93 | 14.05 | 7.74 | 1.24 | 1.57 | 2.00 | 1.09 | 20.97 | 29.10 | 40.43 | 35.58 | 37.90 | 34.71 | 43.70 |
| FORTUN | CUEV | CUPRLU | CCP2 | 9.92 | 792.00 | 27.19 | 593.43 | 16.66 | 115.07 | 4.41 | 14.87 | 19.88 | 18.20 | 11.65 | 1.50 | 1.96 | 1.98 | 1.38 | 30.43 | 36.69 | 44.68 | 36.79 | 31.90 | 24.24 | 53.41 |
| FORTUN | SALV | CUPRLU | CSP1 | 12.89 | 1000.00 | 32.22 | 420.00 | 23.07 | 197.03 | 5.18 | 21.95 | 25.95 | 25.70 | 15.29 | 1.70 | 1.79 | 2.01 | 1.61 | 40.67 | 57.05 | 37.21 | 32.39 | 29.95 | 20.16 | 38.70 |
| FORTUN | SALV | CUPRLU | CSP2 | 12.89 | 1232.00 | 28.08 | 332.79 | 20.14 | 150.26 | 5.99 | 16.95 | 27.39 | 22.09 | 11.67 | 1.47 | 1.69 | 2.12 | 1.40 | 31.46 | 55.30 | 41.46 | 39.57 | 36.78 | 26.68 | 29.95 |
| FORTUN | NICA | CUPRLU | CNP1 | 12.93 | 795.00 | 27.37 | 553.46 | 22.49 | 157.15 | 4.57 | 17.14 | 22.36 | 21.50 | 12.16 | 1.33 | 1.74 | 1.73 | 1.37 | 31.48 | 42.93 | 48.91 | 31.36 | 27.32 | 21.24 | 49.82 |
| FORTUN | NICA | CUPRLU | CNP2 | 12.93 | 840.00 | 29.95 | 547.62 | 23.07 | 167.28 | 4.59 | 16.96 | 22.41 | 23.75 | 12.94 | 1.30 | 1.78 | 1.73 | 1.50 | 38.15 | 49.55 | 50.00 | 35.40 | 29.02 | 19.33 | 49.30 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C001 | 1.24 | 625.00 | 27.79 | 1569.00 | 5.69 | 26.45 | 2.71 | 7.47 | 6.45 | 9.00 | 21.33 | 6.02 | 4.59 | 5.20 | 6.95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 30.15 | 99.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C002 | 1.24 | 625.00 | 37.65 | 1520.00 | 9.17 | 51.37 | 2.76 | 10.39 | 8.46 | 12.20 | 29.02 | 5.95 | 5.18 | 4.77 | 9.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.59 | 95.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C001 | 1.77 | 625.00 | 24.42 | 1569.00 | 8.79 | 48.99 | 2.71 | 10.05 | 9.12 | 12.90 | 27.69 | 5.69 | 4.95 | 4.59 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.04 | 99.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C002 | 1.77 | 625.00 | 30.95 | 1520.00 | 11.52 | 78.01 | 2.76 | 13.01 | 12.00 | 16.30 | 29.00 | 5.90 | 5.10 | 4.60 | 7.71 | 0.00 | 26.37 | 57.89 | 13.33 | 33.80 | 16.93 | 55.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C003 | 1.77 | 625.00 | 24.23 | 1600.00 | 9.45 | 56.30 | 2.69 | 10.90 | 8.48 | 12.90 | 31.91 | 6.16 | 5.34 | 4.78 | 6.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.99 | 100.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C001 | 2.24 | 625.00 | 20.54 | 1569.00 | 14.55 | 76.67 | 2.71 | 14.50 | 12.71 | 13.80 | 19.42 | 5.99 | 5.77 | 5.09 | 5.14 | 0.00 | 33.18 | 62.24 | 57.38 | 43.28 | 19.64 | 37.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C003 | 2.24 | 625.00 | 20.40 | 1378.00 | 11.99 | 77.39 | 2.89 | 12.29 | 10.26 | 13.70 | 34.54 | 5.48 | 5.35 | 4.59 | 5.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21.13 | 86.10 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C002 | 3.33 | 640.00 | 28.10 | 859.00 | 14.38 | 145.66 | 3.67 | 20.09 | 14.30 | 25.38 | 43.60 | 6.03 | 4.32 | 4.29 | 7.03 | 29.19 | 60.78 | 49.09 | 39.62 | 40.47 | 14.44 | 55.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C003 | 3.33 | 640.00 | 20.30 | 1378.00 | 17.41 | 143.95 | 2.89 | 16.29 | 12.27 | 18.33 | 33.24 | 3.76 | 4.02 | 2.83 | 5.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 15.79 | 86.10 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C001 | 4.33 | 625.00 | 22.13 | 892.00 | 11.71 | 117.17 | 4.42 | 19.66 | 15.55 | 23.00 | 27.06 | 4.54 | 2.70 | 3.59 | 5.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.20 | 37.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C002 | 4.33 | 625.00 | 24.42 | 432.00 | 11.54 | 129.90 | 5.17 | 22.76 | 19.21 | 25.39 | 30.00 | 5.26 | 2.67 | 4.21 | 6.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.37 | 27.00 |
| CATIE | FLORS | EUCADE | C003 | 4.33 | 225.00 | 24.95 | 1378.00 | 19.70 | 210.06 | 2.89 | 19.40 | 12.94 | 25.93 | 46.51 | 4.48 | 4.65 | 2.99 | 6.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.18 | 86.10 |
| CACTU | PLANTA | EUCADE | P-1 | 4.75 | 756.00 | 14.89 | 595.24 | 11.15 | 76.02 | 4.40 | 13.28 | 15.02 | 16.13 | 16.00 | 2.80 | 2.35 | 3.16 | 3.72 | 17.35 | 26.29 | 44.44 | 33.64 | 34.58 | 27.31 | 37.50 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | EGP3 | 2.29 | 729.00 | 27.80 | 623.05 | 4.91 | 24.06 | 3.75 | 9.21 | 9.16 | 15.60 | 10.51 | 4.02 | 2.14 | 3.56 | 6.95 | 5.71 | 6.11 | 53.33 | 29.99 | 25.38 | 24.17 | 74.07 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | EGP4 | 2.29 | 729.00 | 21.05 | 672.15 | 2.92 | 12.31 | 4.14 | 8.32 | 7.17 | 11.74 | 5.37 | 3.63 | 1.28 | 3.13 | 5.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 35.30 | 60.49 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | EGP1 | 3.00 | 540.00 | 25.44 | 740.74 | 10.07 | 66.12 | 3.95 | 14.96 | 12.93 | 19.60 | 32.04 | 4.99 | 3.35 | 4.28 | 6.36 | 12.49 | 20.47 | 55.00 | 30.49 | 30.96 | 20.14 | 68.67 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | EGP2 | 3.00 | 540.00 | 19.99 | 796.30 | 4.73 | 24.92 | 3.81 | 10.10 | 9.16 | 15.40 | 9.31 | 3.37 | 1.58 | 2.72 | 5.00 | 3.18 | 4.52 | 60.47 | 21.22 | 18.12 | 24.73 | 71.67 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | SIL1A | 3.29 | 569.13 | 19.53 | 439.00 | 7.96 | 51.73 | 5.13 | 14.60 | 14.92 | 16.50 | 15.72 | 4.44 | 2.42 | 4.54 | 4.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 31.07 | 41.70 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | SIL1B | 3.29 | 379.42 | 22.17 | 617.00 | 13.06 | 90.13 | 3.76 | 14.93 | 13.75 | 19.73 | 27.40 | 4.54 | 3.97 | 4.18 | 5.54 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.09 | 77.50 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | SIL2 | 3.29 | 549.00 | 21.19 | 632.00 | 7.53 | 49.18 | 4.21 | 13.97 | 11.99 | 17.90 | 14.64 | 4.22 | 2.29 | 3.65 | 5.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 23.87 | 56.90 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C001 | 3.74 | 576.00 | 25.76 | 1007.00 | 19.92 | 181.95 | 3.39 | 17.47 | 14.92 | 24.40 | 48.65 | 4.67 | 5.33 | 3.95 | 6.44 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 13.88 | 90.80 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C001 | 4.74 | 576.00 | 26.37 | 1007.00 | 25.26 | 230.60 | 3.39 | 22.79 | 19.20 | 29.60 | 41.61 | 5.32 | 4.13 | 4.30 | 6.59 | 0.00 | 33.37 | 41.40 | 22.46 | 14.47 | 11.37 | 53.10 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|------|-------|---------|-------|---------|-------|--------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| FUENTE | PARCET | EUCAGR | F-1 | 5 00 | 500 00 | 29 76 | 780 09 | 27 99 | 327 34 | 3 86 | 27 03 | 20 41 | 34 80 | 71 45 | 5 53 | 6 60 | 4 08 | 7 44 | 53 27 | 73 92 | 38 46 | 22 19 | 20 69 | 11 06 | 69 64 | |
| FUENTE | PARCET | EUCAGR | F-2 | 5 00 | 500 00 | 29 42 | 920 00 | 30 53 | 371 16 | 3 54 | 28 24 | 19 70 | 34 40 | 74 23 | 5 26 | 6 11 | 3 94 | 7 35 | 71 02 | 86 26 | 36 96 | 25 74 | 23 27 | 10 30 | 82 14 | |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C001 | 5 83 | 576 00 | 25 38 | 503 47 | 22 01 | 267 69 | 4 79 | 27 44 | 23 21 | 32 44 | 46 92 | 4 71 | 5 77 | 3 96 | 6 34 | 60 95 | 83 52 | 41 36 | 32 59 | 31 20 | 14 76 | 45 31 | |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C002 | 5 83 | 576 00 | 25 11 | 808 00 | 24 36 | 300 96 | 4 70 | 27 91 | 22 20 | 32 10 | 51 62 | 4 79 | 4 18 | 3 81 | 6 26 | 54 79 | 79 14 | 37 14 | 27 71 | 26 04 | 12 63 | 55 00 | |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C001 | 6 63 | 516 30 | 23 27 | 329 00 | 18 69 | 242 78 | 5 92 | 29 13 | 26 55 | 32 19 | 35 55 | 4 27 | 2 77 | 3 99 | 5 82 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 18 40 | 26 60 |
| CATIE | FLORS | EUCAGR | C002 | 6 63 | 506 25 | 25 38 | 416 00 | 51 97 | 281 86 | 5 26 | 30 50 | 25 37 | 35 10 | 41 27 | 4 47 | 3 20 | 3 71 | 6 35 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 15 03 | 32 08 |
| PAVON | HDALEO | EUCASA | F-1 | 4 83 | 760 00 | 27 69 | 807 29 | 10 06 | 88 89 | 3 78 | 14 90 | 11 60 | 24 50 | 15 40 | 3 08 | 2 09 | 2 40 | 4 61 | 17 41 | 27 31 | 51 61 | 33 74 | 30 73 | 15 44 | 72 94 | |
| PAVON | HDALEO | EUCASA | F-2 | 4 63 | 750 00 | 24 06 | 626 67 | 8 71 | 54 50 | 4 28 | 12 99 | 10 77 | 21 13 | 11 28 | 2 69 | 1 39 | 2 23 | 4 01 | 7 60 | 12 64 | 46 81 | 27 26 | 23 19 | 20 32 | 55 95 | |
| PAVON | HDALEO | EUCASA | F-3 | 4 83 | 315 00 | 23 20 | 1460 32 | 16 77 | 136 51 | 2 81 | 15 17 | 11 65 | 20 33 | 28 68 | 3 14 | 3 47 | 2 41 | 3 87 | 36 43 | 48 71 | 50 00 | 37 21 | 35 16 | 13 83 | 90 20 | |
| PAVON | HDALEO | EUCASA | F-4 | 4 83 | 405 00 | 28 48 | 1234 57 | 20 54 | 186 52 | 3 06 | 17 15 | 13 76 | 25 25 | 38 62 | 3 55 | 4 25 | 2 65 | 4 75 | 32 31 | 49 67 | 50 00 | 29 53 | 26 63 | 12 11 | 76 92 | |
| HADJV | DURAZ | EUCASA | ES-4 | 6 59 | 756 00 | 25 01 | 661 38 | 21 15 | 195 95 | 4 18 | 19 94 | 19 00 | 28 38 | 28 73 | 3 03 | 3 21 | 2 88 | 4 17 | 41 99 | 57 39 | 46 00 | 28 28 | 29 24 | 15 84 | 59 52 | |
| HADJV | DURAZ | EUCASA | ES-5 | 6 59 | 539 00 | 22 87 | 834 66 | 16 66 | 173 04 | 3 72 | 18 26 | 16 23 | 24 17 | 26 26 | 2 92 | 2 67 | 2 46 | 3 81 | 40 06 | 60 11 | 44 44 | 34 17 | 34 73 | 15 39 | 75 00 | |
| FORTUN | MALI | EUCASA | CMP1 | 7 93 | 572 00 | 26 83 | 576 92 | 17 60 | 183 29 | 4 47 | 22 80 | 19 00 | 31 17 | 23 11 | 2 88 | 2 22 | 2 40 | 4 47 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 14 36 | 36 06 |
| FORTUN | MALI | EUCASA | CMP2 | 7 93 | 621 00 | 28 92 | 493 09 | 16 49 | 205 00 | 4 69 | 26 02 | 21 50 | 33 43 | 26 65 | 3 28 | 2 33 | 2 71 | 4 82 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 14 63 | 30 19 |
| FORTUN | ANGO | EUCASA | CAP1 | 10 88 | 636 00 | 24 71 | 676 10 | 19 79 | 224 14 | 4 13 | 24 72 | 19 28 | 34 00 | 20 60 | 2 27 | 1 92 | 1 69 | 4 12 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 12 15 | 42 25 |
| FORTUN | ANGO | EUCASA | CAP2 | 10 88 | 756 00 | 21 27 | 357 14 | 16 04 | 153 13 | 5 69 | 24 26 | 23 00 | 29 98 | 14 07 | 2 23 | 1 47 | 2 11 | 3 55 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 19 03 | 22 32 |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP36 | 7 78 | 1000 00 | 22 42 | 780 00 | 16 29 | 90 14 | 3 65 | 9 03 | 14 96 | 14 30 | 11 59 | 1 16 | 2 09 | 1 92 | 1 87 | 0 00 | 15 68 | 28 21 | 18 69 | 17 39 | 26 91 | 48 75 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP35 | 7 78 | 1000 00 | 22 58 | 870 00 | 16 10 | 112 63 | 3 64 | 9 91 | 14 93 | 14 40 | 14 48 | 1 26 | 2 33 | 1 92 | 1 88 | 0 00 | 8 74 | 39 08 | 12 36 | 7 76 | 25 30 | 54 38 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP34 | 8 00 | 1000 00 | 22 33 | 1130 00 | 24 14 | 145 25 | 3 20 | 9 92 | 15 35 | 14 80 | 19 16 | 1 24 | 3 02 | 1 92 | 1 66 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 21 60 | 70 72 |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP27 | 8 00 | 1000 00 | 23 08 | 820 00 | 23 02 | 151 15 | 3 75 | 11 13 | 17 61 | 16 30 | 18 89 | 1 39 | 2 66 | 2 20 | 1 92 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 24 53 | 51 25 |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP13 | 8 00 | 1000 00 | 24 89 | 1140 00 | 23 57 | 160 15 | 3 18 | 11 30 | 15 11 | 16 50 | 20 02 | 1 41 | 2 95 | 1 89 | 2 07 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 19 29 | 71 25 |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP11 | 8 00 | 1000 00 | 23 69 | 940 00 | 21 33 | 142 13 | 3 50 | 11 55 | 16 10 | 15 70 | 17 77 | 1 44 | 2 67 | 2 01 | 1 97 | 0 00 | 14 18 | 21 33 | 12 20 | 9 97 | 22 32 | 58 75 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP12 | 8 00 | 1000 00 | 23 53 | 890 00 | 23 26 | 151 35 | 3 62 | 11 66 | 17 57 | 15 60 | 18 92 | 1 46 | 2 91 | 2 20 | 1 95 | 0 00 | 29 86 | 23 26 | 22 80 | 19 73 | 23 22 | 55 00 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP14 | 8 00 | 1000 00 | 22 33 | 1130 00 | 24 14 | 145 25 | 3 20 | 9 92 | 15 35 | 14 80 | 18 16 | 1 24 | 3 02 | 1 92 | 1 86 | 0 00 | 20 36 | 24 14 | 18 70 | 14 02 | 21 60 | 70 63 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP15 | 8 00 | 1000 00 | 21 72 | 870 00 | 16 10 | 112 63 | 3 64 | 9 91 | 14 93 | 14 40 | 14 09 | 1 23 | 2 26 | 1 87 | 1 81 | 0 00 | 8 74 | 18 10 | 12 36 | 7 76 | 25 30 | 54 38 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP16 | 8 00 | 1000 00 | 20 97 | 780 00 | 16 29 | 90 14 | 3 65 | 9 03 | 14 96 | 13 90 | 11 27 | 1 13 | 2 04 | 1 97 | 1 75 | 0 00 | 15 17 | 16 29 | 17 99 | 16 83 | 27 68 | 48 75 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP28 | 8 00 | 1000 00 | 23 69 | 820 00 | 20 93 | 142 26 | 3 75 | 11 74 | 17 13 | 15 70 | 17 78 | 1 47 | 2 62 | 2 14 | 1 97 | 0 00 | 10 67 | 20 93 | 8 65 | 7 50 | 23 90 | 51 25 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP29 | 8 00 | 1000 00 | 23 23 | 700 00 | 12 32 | 79 83 | 4 66 | 10 16 | 13 96 | 15 40 | 9 99 | 1 27 | 1 54 | 1 74 | 1 94 | 0 00 | 2 23 | 12 32 | 4 57 | 2 80 | 26 37 | 43 75 | |
| CATIE | FLOR | PINUOO | PCP1 | 11 56 | 540 00 | 26 54 | 962 96 | 44 66 | 483 20 | 3 46 | 22 05 | 23 61 | 25 60 | 41 60 | 1 91 | 3 66 | 2 94 | 2 21 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 13 42 | 86 67 |
| CATIE | FLOR | PINUOO | PCP2 | 11 56 | 540 00 | 30 24 | 670 37 | 47 01 | 567 79 | 3 64 | 24 68 | 25 45 | 29 40 | 49 12 | 1 91 | 4 07 | 2 20 | 2 52 | 140 36 | 221 31 | 51 06 | 38 09 | 38 98 | 12 39 | 78 33 | |
| CATIE | FLOR | PINUOO | PCP3 | 11 56 | 540 00 | 25 92 | 759 26 | 36 32 | 388 93 | 3 90 | 20 07 | 23 96 | 25 20 | 32 00 | 1 91 | 3 14 | 2 07 | 2 16 | 70 22 | 93 61 | 51 22 | 29 76 | 25 30 | 15 48 | 68 33 | |
| CATIE | FLOR | PINUOO | PCP4 | 11 56 | 540 00 | 25 92 | 333 33 | 41 56 | 439 80 | 3 72 | 20 47 | 24 43 | 25 20 | 38 05 | 1 91 | 3 60 | 2 11 | 2 16 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 14 77 | 75 00 |
| HADJV | RIOCHI | PINUOO | PP-1 | 11 84 | 700 00 | 24 53 | 614 29 | 44 11 | 345 11 | 4 34 | 16 57 | 28 93 | 24 29 | 29 15 | 1 40 | 3 73 | 2 53 | 2 94 | 100 03 | 129 14 | 37 21 | 35 12 | 37 13 | 17 65 | 55 13 | |
| HADJV | RIOCHI | PINUOO | PP-2 | 11 84 | 1000 00 | 24 14 | 320 00 | 25 66 | 253 50 | 6 01 | 20 06 | 31 53 | 23 90 | 21 41 | 1 70 | 2 17 | 2 66 | 2 01 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 0 00 | 25 13 | 28 93 |
| HADJV | TANQU | PINUOO | PP-3 | 11 84 | 1100 00 | 23 46 | 463 64 | 29 00 | 278 53 | 4 99 | 17 77 | 27 37 | 23 23 | 23 52 | 1 50 | 2 45 | 2 31 | 1 95 | 61 59 | 74 26 | 37 25 | 29 39 | 26 67 | 21 49 | 41 80 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP05 | 12 76 | 1100 00 | 22 56 | 418 16 | 23 46 | 252 32 | 5 25 | 21 33 | 26 37 | 23 55 | 19 77 | 1 67 | 1 84 | 2 07 | 1 88 | 147 99 | 252 32 | 100 00 | 100 00 | 100 00 | 22 31 | 37 60 | |
| FORTUN | EEUU | PINUOO | PP08 | 12 76 | 900 00 | 22 97 | 500 00 | 34 34 | 356 61 | 4 91 | 21 49 | 29 20 | 23 86 | 28 12 | 1 68 | 2 69 | 2 29 | 1 91 | 223 16 | 358 81 | 100 00 | 100 00 | 100 00 | 20 12 | 45 00 | |
| FORTUN | INGL | PINUOO | PP03 | 14 67 | 866 00 | 20 94 | 646 65 | 32 83 | 338 25 | 4 23 | 20 35 | 25 06 | 23 77 | 23 05 | 1 39 | 2 24 | 1 71 | 1 74 | 79 71 | 136 04 | 44 64 | 40 06 | 40 81 | 17 76 | 58 10 | |
| FORTUN | INGL | PINUOO | PP04 | 14 67 | 918 00 | 26 51 | 522 88 | 35 92 | 466 72 | 4 70 | 24 19 | 29 18 | 30 10 | 31 81 | 1 65 | 2 45 | 1 99 | 2 21 | 137 30 | 225 46 | 47 92 | 46 29 | 48 31 | 15 61 | 47 00 | |
| FORTUN | ITAL | PINUOO | PP01 | 14 59 | 500 00 | 21 02 | 540 00 | 28 03 | 275 76 | 4 62 | 19 48 | 25 26 | 23 90 | 18 90 | 1 34 | 1 92 | 1 73 | 1 75 | 60 69 | 144 46 | 48 15 | 50 12 | 52 39 | 19 43 | 48 60 | |
| FORTUN | ITAL | PINUOO | PP02 | 14 59 | 478 00 | 23 50 | 543 93 | 29 42 | 343 97 | 4 61 | 21 91 | 25 58 | 26 60 | 23 59 | 1 50 | 2 02 | 1 75 | 1 96 | 60 23 | 119 98 | 50 00 | 39 32 | 34 65 | 17 32 | 48 96 | |