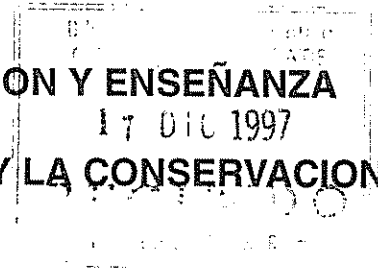


CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACION
ESCUELA DE POSTGRADO



**DETERMINACION DEL TURNO OPTIMO FINANCIERO Y
AMBIENTAL PARA CINCO ESPECIES EN PLANTACIONES
FORESTALES DE COSTA RICA**

POR

JORGE ALBERTO OVIEDO MACHUCA



Turrialba, Costa Rica
1997

Biblioteca Central de la
ORION - IICA - CATIE

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.

RECIBIDO

PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN.

ESCUELA DE POSTGRADO.

DETERMINACIÓN DEL TURNO ÓPTIMO FINANCIERO Y
AMBIENTAL PARA CINCO ESPECIES EN PLANTACIONES
FORESTALES DE 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 al grado de:

Magister Scientiae

por

JORGE ALBERTO OVIEDO MACHUCA

CATIE
Turrialba, Costa Rica
1997

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 de:

MAGISTER SCIENTIAE

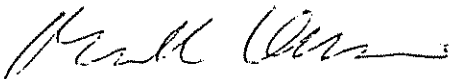
FIRMANTES:



Octavio Ramírez, Ph.D.
Profesor Consejero



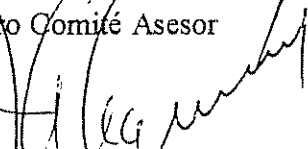
Manuel Gómez, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



Markku Kanninen, Ph.D.
Miembro Comité Asesor



Rómulo Olivo, M.Sc.
Miembro Comité Asesor



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



Markku Kanninen, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Jorge Alberto Oviedo Machuca
Candidato

DEDICATORIA:

Deseo dedicar este esfuerzo a:

Mi esposa: **Mency Arely**, por su amor incondicional que me apoyó y me sostuvo durante todo momento.

A mis hijas: **Ana Gabriela** y **María José**, por ser las estrellitas que alumbran con su luz propia, mi vida y cuyo resplandor contemplo crecer día a día

A mi familia, especialmente a mis padres **Miguel Angel** y **Ana Vilma** por su amor infinito, por ser mis guías, mis amigos y por haberme enseñado a apreciar desde siempre, las cosas que *si* valen la pena en la vida.

A mis hermanos: **Miguel Ernesto** y **Carlos Alfredo** que han sido amigos incondicionales, y a mi tía **Nena** a quien siempre tengo presente, por haberme acompañado desde lejos y haberme deseado lo mejor.

A todos mis amigos y amigas, que han sido verdaderos hermanos que me han brindado la historia

Y

Como siempre, a mi querida patria: **El Salvador.**

AGRADECIMIENTOS

Al Dios de la Vida por sobre todas las cosas, por ser la energía positiva e integradora que posibilita todo.

A los miembros del comité de tesis: Manuel Gómez, Rómulo Olivo, Markku Kanninen, y muy especialmente a Octavio Ramírez por sus excelentes aportes, por el acompañamiento, el seguimiento y el interés que manifestaron a este trabajo, sin los cuales definitivamente, no hubiera sido posible.

A todos los compañeros que colaboraron con palabras de aliento, obras y consejos en la confección de este trabajo.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por haberme dado la confianza en realizar los estudios de Postgrado.

BIOGRAFIA.

El autor nació el 23 de Enero de 1969 en la ciudad de San Salvador, El Salvador.

En 1991 se graduó como Ingeniero Agrónomo especialista en Economía Agrícola de la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA) en San Salvador.

De 1991 a 1992 laboró en diversas ONG's de desarrollo integral en comunidades campesinas de El Salvador apoyando proyectos agroproductivos.

En 1993 ingresó a laborar en la Fundación Salvadoreña para Investigaciones del Café (PROCAFE) como coordinador regional para la zona oriental del Proyecto de Manejo Integrado de la Broca.

En Enero de 1996 ingresó al Programa de Estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y en Diciembre de 1997 obtuvo el grado de *Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Recursos Naturales con énfasis en Economía y Sociología Ambiental.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GENERAL:.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	4
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
5.1. FUENTES SECUNDARIAS DE INFORMACIÓN.....	20
5.2. PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS.....	26
5.2.1) Utilización de métodos econométricos estándar.....	26
5.2.2) Definición Conceptual del Modelo.....	27
5.2.3) Selección de la forma funcional.....	27
5.3. CONSTRUCCIÓN DE FUNCIONES DE ECONOMÍA DE LA PRODUCCIÓN.....	33
5.4. AFINAMIENTO DE TURNO ÓPTIMO FINANCIERO.....	37
5.4.1) La función del Precio de los Productos Forestales.....	37
5.4.2) Instrumento de Análisis Financiero.....	39
5.4.3) Función de Ganancias con Costo de Oportunidad de Capital.....	39
5.4.4) Función de Ganancia tomando en cuenta el Efecto Multiperiodo.....	40
5.4.5) Evaluación de la Viabilidad de la Producción Forestal como una Actividad Permanente para un Sitio, Especie y Condiciones de Precios y Mercados Específicos.....	42
5.4.6) Valoración Económica Efectiva del Dióxido de Carbono.....	42
5.4.8) Comparación de Turnos Óptimos Financieros con turnos establecidos en base en criterios biofísicos.....	43
5.4.10) Cuadro Resumen de Turnos Optimo Financieros.....	44
5.4.11) Análisis de Sensibilidad.....	45
5.5) SÍNTESIS DE TURNOS ÓPTIMO FINANCIERO-AMBIENTALES.....	45
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
6.1. SELECCIÓN DE LA FORMA FUNCIONAL.....	47
6.1.1) Modelos Polinomiales Individuales.....	47
6.1.2) Modelos Exponenciales individuales.....	52

6.1.3. Modelo Polinomial General	54
6.2. ESTIMACIÓN DE VOLUMENES A PARTIR DE LA FUNCIÓN DE CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO GENERAL.	60
6.3. CONSTRUCCIÓN DE LA FUNCIÓN DE GANANCIAS O BENEFICIOS NETOS.	65
6.3.1. Volumen Comercial	65
6.3.2. Producto Madera en pie para trozas de aserrio	65
6.3.3. Ingreso Bruto	67
6.3.4. Costos de las plantaciones forestales	67
6.3.5. Función de ingresos y costos actualizados	68
6.4. AFINAMIENTO DEL TURNO ÓPTIMO FINANCIERO Y AMBIENTAL.	68
6.4.1. Escenarios de la modelación del turno óptimo financiero y ambiental.	68
6.4.2. Renta de la tierra	70
6.4.3. Valoración económica efectiva del secuestro de dióxido de carbono	71
6.4.4. El efecto multiperíodo en la planificación forestal.	73
6.4.5. Nomenclatura utilizada para los Valores Actuales Netos utilizados en el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental	74
6.5. RESUMEN DE TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES Y SUS VALORES ACTUALES NETOS	76
6.5.1. Aspectos comunes a todas las especies en la determinación del turno óptimo financiero y ambiental	87
6.5.2. Aspectos específicos de cada especie relativos en la determinación del turno óptimo financiero y ambiental	101
7. CONCLUSIONES.	112
8. RECOMENDACIONES.	118
9. LITERATURA CONSULTADA.....	120

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1: Turno de plantaciones forestales en Costa Rica.....	8
Cuadro 2: Turnos de Teca Melina y Pochote en iguales condiciones de dap y densidad.....	10
Cuadro 3: Tabla Preliminar de rendimiento para <u>Gmelina arborea</u> utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.....	21
Cuadro 4: Tabla Preliminar de rendimiento para <u>Eucalyptus saligna</u> , utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.....	22
Cuadro 5: Tabla Preliminar de rendimiento para <u>Bombacopsis quinatum</u> utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.....	23
Cuadro 6: Tablas Preliminares de rendimiento para <u>Cordia alliodora</u> utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.....	24
Cuadro 7: Tabla Preliminar de rendimiento para <u>Tectona grandis</u> utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.....	25
Cuadro 8: Parámetros y Probabilidades de "t" asociados a los modelos de las especies individuales.....	49
Cuadro 9: Resultados de la prueba de "F" y R ² para los modelos de las especies individuales.....	50
Cuadro 10: Pruebas de Durbin-Watson, índice de autocorrelación y Breusch-Pagan.....	51
Cuadro 11: Parámetros de Ajuste de los modelos de las especies individuales a una función exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards: $V(t) = M(1 - e^{-at})^b$. (*).....	53
Cuadro 12: Parámetros y probabilidades de t asociados al modelo general.....	55
Cuadro 13: Estadístico de F, R ² , Pruebas de Durbin-Watson y de Breusch-Pagan para el modelo polinomial general.....	57
Cuadro 14: Precios actualizados de un m ³ de madera en pie para trozas de aserrío con diámetros mayores a 30 centímetros, para las especies consideradas en este estudio.....	66
Cuadro 15: Precios actualizados de un m ³ de madera en pie para trozas de aserrío con diámetros menores (15 a 30 centímetros), para las especies consideradas en este estudio.....	66
Cuadro 16: Explicación de los Escenarios construidos para los diversas determinaciones de turno óptimo financiero y ambiental para las cinco especies en estudio.....	69
Cuadro 17: Nomenclatura utilizada para el Afinamiento del Turno Óptimo Financiero y Ambiental.....	75
Cuadro 18: Resumen de Turnos óptimos de <u>Gmelina arborea</u> con sus Valores Actuales Netos respectivos de acuerdo a escenarios creados.....	77

<i>Cuadro 19: Resumen de Turnos óptimos de Eucalyptus saligna con sus Valores Actuales Netos respectivos, de acuerdo a escenarios creados .</i>	79
<i>Cuadro 20: Resumen de Turnos óptimos financieros y ambientales para Bombacopsis quinatum y sus Valores Actuales Netos respectivos, de acuerdo a escenarios creados.</i>	81
<i>Cuadro 21. Resumen de turnos óptimos financieros y ambientales para Cordia alliodora y sus respectivos Valores Actuales Netos de acuerdo a escenarios creados.</i>	83
<i>Cuadro 22. Resumen de turnos óptimo financieros y ambientales para Tectona grandis y sus respectivos Valores Actuales Netos, de acuerdo a escenarios creados.</i>	85
<i>Cuadro 23. Ingresos por almacenamiento de carbono de acuerdo al momento de pago respecto al turno para Gmelina arborea en escenario 3.</i>	95
<i>Cuadro 24. Ingresos por almacenamiento de carbono de acuerdo al momento de pago con efecto multiperíodo para Gmelina arborea en escenario 3.</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1: CURVA DE CRECIMIENTO DE VOLUMEN ACUMULADO PARA <u>GMELINA ARBOREA</u> , PARA TRES ÍNDICES DE SITIO EN COSTA RICA	21
FIGURA 2. CURVA DE CRECIMIENTO DE VOLUMEN ACUMULADO PARA <u>EUCALYPTUS SALIGNA</u> , PARA TRES ÍNDICES DE SITIO EN COSTA RICA.	22
FIGURA 3: CURVA DE CRECIMIENTO DE VOLUMEN ACUMULADO PARA <u>BOMBACOPSIS QUINATUM</u> , PARA TRES ÍNDICES DE SITIO EN COSTA RICA	23
FIGURA 4. CURVA DE CRECIMIENTO DE VOLUMEN ACUMULADO PARA <u>CORDIA ALLIODORA</u> , PARA TRES ÍNDICES DE SITIO EN COSTA RICA.	24
FIGURA 5. CURVA DE CRECIMIENTO DE VOLUMEN ACUMULADO PARA <u>TECTONA GRANDIS</u> , PARA TRES ÍNDICES DE SITIO EN COSTA RICA	25
FIGURA 6. VOLÚMENES DE <u>GMELINA ARBOREA</u> , <u>EUCALYPTUS SALIGNA</u> , <u>BOMBACOPSIS QUINATUM</u> , <u>CORDIA ALLIODORA</u> Y <u>TECTONA GRANDIS</u> OBTENIDOS A PARTIR DE LA FUNCIÓN DE CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO GENERAL ÍNDICE DE SITIO BAJO.	61
FIGURA 7. VOLÚMENES DE <u>GMELINA ARBOREA</u> , <u>EUCALYPTUS SALIGNA</u> , <u>BOMBACOPSIS QUINATUM</u> , <u>CORDIA ALLIODORA</u> Y <u>TECTONA GRANDIS</u> OBTENIDOS A PARTIR DE LA FUNCIÓN DE CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO GENERAL ÍNDICE DE SITIO MEDIO.	62
FIGURA 8. VOLÚMENES DE <u>GMELINA ARBOREA</u> , <u>EUCALYPTUS SALIGNA</u> , <u>BOMBACOPSIS QUINATUM</u> , <u>CORDIA ALLIODORA</u> Y <u>TECTONA GRANDIS</u> OBTENIDOS A PARTIR DE LA FUNCIÓN DE CRECIMIENTO VOLUMÉTRICO GENERAL ÍNDICE DE SITIO ALTO.	63
FIGURA 9. TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES PROMEDIO DE <u>GMELINA ARBOREA</u> Y SUS RESPECTIVOS VALORES ACTUALES NETOS	78
FIGURA 10. TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES PROMEDIO PARA <u>EUCALYPTUS SALIGNA</u> Y SUS RESPECTIVOS VALORES ACTUALES NETOS.....	80
FIGURA 11 : TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES PROMEDIO DE <u>BOMBACOPSIS QUINATUM</u> Y SUS RESPECTIVOS VALORES ACTUALES NETOS.	82
FIGURA 12 : TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES PROMEDIO DE <u>CORDIA ALLIODORA</u> Y SUS RESPECTIVOS VALORES ACTUALES NETOS.	84
FIGURA 13 : TURNOS ÓPTIMOS FINANCIEROS Y AMBIENTALES PROMEDIO DE <u>TECTONA GRANDIS</u> Y SUS RESPECTIVOS VALORES ACTUALES NETO	86

OVIEDO MACHUCA, J. A. 1997. Determinación del turno óptimo financiero y ambiental para cinco especies en plantaciones forestales de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 162 p.

Palabras claves: Turno, turno financiero, rotación óptima, plantaciones forestales, fórmula de Faustmann, almacenamiento de dióxido de carbono, valor actual neto, análisis financiero, *Gmelina arborea* Roxb; *Tectona grandis* L.f.; *Bombacopsis quinatum* (Jacq); *Cordia alliodora* (Ruiz Pavón) Oken, *Eucalyptus saligna* Smith, Costa Rica.

RESUMEN.

Este trabajo brinda elementos que ayudan al empresario forestal en la toma de decisiones respecto a la longitud del turno de cosecha de sus plantaciones forestales, en un nuevo entorno en donde el pago por los servicios ambientales es, con sus limitaciones, una realidad.

Su objetivo general fue determinar el turno óptimo financiero y ambiental de cosecha para *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* y *Tectona grandis*; así como determinar la influencia que tienen el efecto multiperíodo, el costo de oportunidad real de la tierra, el pago por el servicio ambiental de almacenamiento de dióxido de carbono, y el momento en el que éste se realice, sobre el turno óptimo. Paralelamente se realiza una comparación con los turnos empíricos recomendados con base únicamente en criterios biológicos.

Se utilizaron tablas de rendimiento preliminares (Alfaro, 1990) de las cinco especies para construir una función de crecimiento volumétrico basada en la edad de la plantación. Se exploraron varios modelos funcionales escogiendo el modelo polinomial cúbico debido a su flexibilidad matemática y a su alta capacidad predictiva ($R^2 = 0.9525$).

En base a dicho modelo se realizó una estimación de volúmenes hasta los cien años y a partir de ellos se generó una función de ganancias o beneficios netos utilizando como producto la madera en pie para trozas de aserrío. Se obtuvo el valor actual neto simulando longitudes de turno de uno hasta los cien años.

Para el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental se crearon doce escenarios, resultado de combinar los factores: índice de sitio (bajo, medio y alto) tasa real (5 y 10%) y costo de oportunidad de la tierra (\$50 y \$150).

Se incorporó además la valoración económica efectiva del almacenamiento del dióxido de carbono basada en la metodología de Barres (1993) la cual se fundamenta en la cantidad promedio anual adicional almacenada en las plantaciones. La valoración se realizó tomando en cuenta tres modalidades: pago total al inicio, pago total al final y pago anual durante el turno.

Para recrear el efecto multiperíodo en la planificación forestal se utilizó la fórmula de Faustmann (1849) la cual enfoca rotaciones *ad infinitum*.

Los resultados indicaron que los turnos óptimo financieros y ambientales para las cinco especies presentan considerable variabilidad de acuerdo al proceso de *afinamiento* (inclusión de conceptos financiero-ambientales) y a los escenarios creados y por tanto deben de ser interpretados en forma contingente a las condiciones bajo las cuales se originaron.

El efecto multiperíodo acorta la longitud del turno e incrementa los valores actuales netos. El costo de oportunidad de la tierra tiene un efecto contrario: alarga la longitud del turno y disminuye la rentabilidad asociada.

El pago por almacenamiento de CO₂ alarga sustancialmente la longitud del turno e incrementa su rentabilidad asociada, sobre todo si es realizado como pago total al inicio de éste.

En el caso de las especies con mayor precio de mercado, el pago por almacenamiento de CO₂ no tuvo un impacto tan grande en la longitud del turno, debido a que la proporción de ingresos debido a este pago ambiental fue mínima.

OVIEDO, J. A. 1997. Determination of the best financial and environmental turns-to-harvest for five forest plantation species in Costa Rica. Thesis M. Sc. Turrialba, C. R., CATIE. 162 p.

Key words: Turns-to-harvest, financial turns-to-harvest, best rotation, forest plantations, Faustmann's formula, carbon dioxide storage, actual net value, financial analysis, *Gmelina arborea* Roxb; *Tectona grandis* L.f.; *Bombacopsis quinatum* (Jacq); *Cordia alliodora* (Ruiz Pavón) Oken, *Eucalyptus saligna* Smith, Costa Rica.

SUMMARY

This study offers elements to help forest producers on decision making, concerning forest plantation optimal turns-to-harvest, all in a new setting, where payment for environmental services, despite of its limitations, is a reality.

It's general objective was to determine the best financial and environmental turns-to-harvest for *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* and *Tectona grandis*, as well as determining the influence of multi-period considerations, land opportunity costs, payment for environmental services such as carbon dioxide storage. A comparison is made with the empirical turns-to-harvest recommended, based on biological criterions, only.

Preliminary yield tables (Alfaro, 1990) for the five species were used, to elaborate a volumetric growth function, based on the plantation's age. Various functional forms were explored, selecting a third degree polynomial, because of its mathematical flexibility and its high predictive capacity ($R^2 = 0.9525$).

Based on this model, volume growths were estimated for 100 years; from them, net benefit-profit functions were generated, for the product standing wood to cut into logs.

For the calculation of the optimal financial and environmental turns-to-harvest, twelve scenarios were created as a result of combining the following factors: site index (low, medium and high), discount rate (5 and 10%) and land opportunity cost (\$50 and \$150).

In addition, the effect of an economic valuation of carbon dioxide storage was explored, using Ramírez and Gómez (1997) methodology, which is based on the annual average stored in the plantations. The valuation was carried out considering three payment options: total payment at the beginning, total payment at the end and annual payment during turns-to-harvest.

In order to evaluate the multi-period effect on the optimal turn-to-harvest, Faustmann's (1849) formula was used, which focuses on *ad infinitum* rotations.

The results indicated that the best financial and environmental turns-to-harvest for the five species present considerable variability according to the net present value to maximize (including financial-environmental concepts) and the scenarios created, therefore, it must be interpreted in a contingent form under the conditions that it was originated.

The multi-period effect shortens turns-to-harvest and increases net present values. Land opportunity costs have an opposite effect; lengthening harvesting time and decreasing the associated profitability.

The payment for CO₂ storage substantially lengthens turns-to-harvest and increases its associated profitability, especially if its total payment is made at the beginning.

In cases with species with higher market prices, CO₂ storage payment didn't have such a big impact on turns-to-harvest, because income proportion due to this environmental payment was relatively low.

1. INTRODUCCIÓN.

Las plantaciones forestales han tenido una importancia continua y creciente en el desarrollo económico de Costa Rica. En los últimos seis años (1990 - 1995) se han establecido más de 16,000 hectáreas por año, con lo cual se ha logrado superar las 128,000 hectáreas de plantaciones. Este esfuerzo representa una inversión importante de los sectores público y privado, cercana a los treinta y ocho mil millones de colones.

Las plantaciones establecidas hasta 1995, contabilizadas como Mejoras Forestales, alcanzan los 37,800 millones de colones corrientes. El valor del Consumo Intermedio suma 8,350 millones y el Valor Agregado resultante es de 29,450 millones de colones. En 1995 el Valor Agregado alcanzó los 5,816 millones de colones, que representan el 2% del Valor Agregado del Sector Agrícola y el 0.35% del PIB.

Dada su importancia, es necesario crear herramientas analíticas que ayuden a los empresarios forestales a mejorar los beneficios económicos obtenidos de tal actividad, principalmente a través de la optimización del turno de rotación de las especies involucradas. Esto considerando que las guías

técnicas existentes en América Central recomiendan cuando cosechar con base en criterios biológicos únicamente.

Esta decisión depende de muchas variables : especie , uso de la madera, precio de la madera, calidad de sitio (que a su vez incluye *factores climáticos*, como precipitación, temperatura, iluminación solar y viento, *factores topográficos* como altitud y pendiente, *factores edáficos* como fertilidad, textura, drenaje y profundidad efectiva del suelo, es decir objetivo de la plantación, , etc.

Sin embargo hay otras variables de tipo financiero ambiental que inciden en la toma de decisiones del empresario forestal, y que por ser novedosas, a menudo, no se incluyen como variables determinantes del turno óptimo económico de cosecha. Estas son: los *incentivos forestales* y el pago por *servicios indirectos* (Mitigación de gases con efecto invernadero , protección de aguas, protección de la biodiversidad, mejoras al paisaje y belleza escénica, recuperación de suelos y disminución de la erosión) que las plantaciones adicionalmente proveen .

El aporte de este trabajo es el desarrollo de diversas herramientas analíticas que permitan mejorar el beneficio económico- ecológico en diversos

escenarios *reales*, a los cuales se enfrentan los empresarios forestales, y ayudar efectivamente a su toma de decisiones.

El área sembrada con las especies escogidas representan cerca de un 82% del total reforestado en Costa Rica hasta 1993, con lo cual se espera colaborar a una mejor toma de decisiones por parte de un número representativo de empresarios forestales.

2. OBJETIVOS.

2.1. *Objetivo General:*

Determinar el turno óptimo financiero y ambiental de cosecha para cinco especies en plantaciones forestales (Melina, *Gmelina arborea* Roxb; Teca, *Tectona grandis* L.f.; Pochote, *Bombacopsis quinatum* (Jacq).; Laurel, *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken y Eucalipto, *Eucalyptus saligna* Smith de Costa Rica.

2.2. *Objetivos Específicos:*

- a) Estimar modelos de producción en función del turno de cosecha y de tres calidades de sitio para las cinco especies en estudio.

- b) Determinar el turno óptimo financiero bajo condiciones promedio de precios y costos de producción para madera en pie, de las cinco especies en estudio para tres calidades de sitio.

- c) Determinar el turno óptimo financiero tomando en cuenta el efecto *multiperíodo* (El efecto de una planificación forestal a corto plazo *versus* largo plazo) Para las cinco especies en estudio.
- d) Determinar el efecto potencial que tendría el costo de oportunidad real de la tierra sobre el turno óptimo financiero.
- e) Determinar el efecto potencial que tendría la valoración económica *efectiva* del dióxido de carbono almacenado en las plantaciones sobre el turno óptimo financiero.
- f) Explorar el efecto del momento y de la modalidad en que se dan los incentivos económicos en concepto de pago de servicios ambientales i.e. mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero: almacenamiento, reducción, secuestro, almacenamiento y absorción de CO_2 para las plantaciones forestales sobre la toma de decisión del turno óptimo-económico de cosecha.
- g) Realizar análisis de sensibilidad a través de escenarios diversos, para explorar las variaciones en el turno óptimo financiero bajo diferentes probables condiciones de precios y costos de producción.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO.

Hipótesis 1.

“ Es posible determinar el turno óptimo financiero de cosecha para plantaciones forestales de Melina, *Gmelina arborea* Roxb; Teca, *Tectona grandis* L.f.; Pochote, *Bombacopsis quinatum* (Jacq).; Laurel, *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken y Eucalipto, *Eucalyptus saligna* Smith , dadas condiciones de precio y costos de producción para madera en pie en tres calidades de sitio en Costa Rica”.

Hipótesis 2.

El turno óptimo financiero de cosecha tomando en cuenta el efecto multiperíodo es significativamente diferente de los turnos determinados a través de la planificación uniperiódica

Hipótesis 3.

“Existen turnos óptimo financieros de cosecha que son significativamente diferentes dependiendo de la especie, su destino propuesto (mercado), la calidad del sitio y para las distintas probables condiciones de precios y costos de producción de madera en pie, en las plantaciones forestales estudiadas”.

Hipótesis 4.

“El costo de oportunidad real de la tierra influye significativamente en el turno óptimo financiero de cosecha en plantaciones forestales”

Hipótesis 5.

“El turno óptimo financiero es significativamente diferente de los turnos determinados a través de indicadores biológicos como son los máximos de Volumen Físico Total, Volumen Físico Promedio (IMA) o Volumen Físico Marginal (ICA) u otros turnos establecidos en la práctica forestal más empírica”

Hipótesis 6.

“La forma y el momento en que los incentivos económicos en concepto de servicios ambientales, son otorgados al empresario forestal, influyen significativamente en el turno óptimo financiero de cosecha”.

Hipótesis 7.

“La valoración económica efectiva del dióxido de carbono secuestrado en las plantaciones forestales (i.e. su traspaso *real* al productor) tendría un efecto importante sobre el turno óptimo financiero de cosecha.

4. REVISIÓN DE LITERATURA.

Alfaro (1990), determina en su estudio de caso sobre la rentabilidad y uso óptimo de recursos en Plantaciones Forestales en Costa Rica, que “el turno se definió de acuerdo a la “experiencia” generada en nuestro país (Costa Rica) y otras regiones donde se ha trabajado con las especies”.

CUADRO 1: TURNO DE PLANTACIONES FORESTALES EN COSTA RICA.

Especie	Clase de sitio	Turno (años)
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	I, II, III	12
Deglupta (<i>Eucalyptus saligna</i>)	I, II, III	18
Pochote (<i>Bombacopsis quinatum</i>)	I, II, III	30
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	I, II, III	30
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	I, II, III	40

Fuente: Alfaro M. 1990. “Estudio de caso sobre la Rentabilidad y Uso Óptimo de Recursos en Plantaciones Forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CATIE.

Vásquez *et al* (1995) aseguran que el rendimiento de una plantación depende en gran parte de la capacidad productiva del sitio seleccionado, de la preparación y del manejo que se le dé al mismo. En algunos sitios los árboles crecerán rápidamente, alcanzando grandes volúmenes en poco tiempo, mientras que en otros el rendimiento será menor o muy pobre. La capacidad productiva de determinado lugar se conoce como *calidad de sitio*, donde “sitio” está definido por un complejo de factores bióticos y abióticos, y su “calidad” es el resultado de la interacción de los factores ambientales (suelo, clima, etc) y la vegetación existente.

Así mismo Vásquez *et al* (1995) elaboraron la clasificación de productividad en términos de una variable de referencia , *el incremento medio anual en área basal (IMA-G)*. Se seleccionó el incremento medio anual en área basal por ser una variable de fácil estimación ya que requiere únicamente de la medición de los diámetros y la edad de la parcela.

Además la estimación del *área basal máxima* es una buena estimación del potencial de sitio y es muy útil para la planificación de regímenes de aclareos y para la implementación de planes de manejo. El índice de sitio es una estadística que representa el potencial de crecimiento de la especie en diferentes sitios y se define como la altura dominante que tiene o tendría un rodal a una edad base.

Briscoe (1995) refiriéndose a la cosecha de Teca, Melina y Pochote asegura que la cosecha debe realizarse “cuando los árboles de cosecha alcancen los diámetros deseables (normalmente de 40 a 45 cm)”. Asegura que otro criterio alternativo consiste en realizar la cosecha hasta que el incremento en rendimiento caiga a un valor elegido: por ejemplo 10% por año. El valor primario (ingreso por venta de la madera), o valores secundarios importantes, (estética, vida silvestre, conservación de suelo, otros.) pueden influir en la

decisión del turno. Si es así, tales valores se deben haber considerado a lo largo de la vida del rodal, incluyendo el establecimiento y la limpieza.

Briscoe, continúa argumentando, que “ la edad de la tala es preocupante para muchas personas que cultivan o están contemplando el cultivo de cualquiera de estas especies (teca, melina y pochote). La edad óptima puede variar según la especie, la calidad del sitio y el mercado exacto”. Para un sitio de buena calidad y bien manejado, los siguientes parámetros definen aproximadamente cuando se puede cortar la plantación, cuando al finalidad es obtener madera de aserrío:

Cuadro 2. Turnos de Teca Melina y Pochote en iguales condiciones de dap y densidad.

ESPECIE	EDAD (años)	dap (cm)	No. de árboles/ha.
Pochote	25-30	40	160-200
Teca	15-22	40	160-200
melina	10-15	40	160-200

Fuente: BRISCOE, Ch. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. Área silvicultura de bosques tropicales. Serie Técnica. Informe Técnico. 45 p.

Para índices de sitio II, tendría que agregarse aproximadamente cuatro años, para obtener las mismas dimensiones. No se recomienda la plantación de estas especies para propósitos maderables en sitios con una menor calidad de sitio. Los dos motivos para las dimensiones mínimas de 40 cms, son: que haya ausencia de nudos y el menor desperdicio del árbol. Cuando se espera que un

árbol alcance como mínimo 40 cms de diámetro hay un menor porcentaje de éste desperdiciado cuando es procesado por la mayoría de aserraderos. Con aserraderos convencionales, los rendimientos típicos de árboles de 20, 30, 40, 50 y 60 cm de diámetro son 15, 25, 35, 40, y 45%, respectivamente, y en volumen las diferencias son enormes.

CATIE (1991), refiriéndose al turno de *Eucalyptus saligna* Smith dice “ la edad ideal de corta depende en gran medida de las necesidades del mercado, del uso que se le pretenda dar a la madera y de los objetivos establecidos por el productor. Sin embargo se puede indicar de manera general, que una edad entre cinco y ocho años es adecuada, cuando la producción se destina para leña y pulpa”.

Chaves (1991) menciona que “ para teca se han propuesto varios sistemas de aclareo basados en la altura total de los árboles, el índice de espaciamiento relativo de Hart (S%) y el área basal. Henaó (1982) en un estudio de rendimiento y rentabilidad de plantaciones de teca de 16 años, bajo distintos sistemas de manejo en Colombia, calculó ingresos y costos de plantación y mantenimiento. Los resultados indican la preferencia de turnos cortos, menores de 30 años y el manejo de la plantación basado en el control del área basal en una cifra cercana a los 20 m²/ha, con aclareos cada cinco años.

Murillo *et al* (1991) respecto al turno de *Gmelina arborea* Roxb. dice "que hay diferentes criterios para tomar la decisión de talar una plantación (de Melina). Algunos toman en cuenta el crecimiento en biomasa y otros se basan en indicadores financieros. En estos últimos, se toma en cuenta el dinero invertido y el producto de la venta del material talado, así como el tiempo transcurrido entre la inversión y la recuperación (actualización financiera). Para la determinación del turno, cada año se analiza el estado de la plantación y se calcula el o los indicadores que corresponda según el criterio seleccionado.

En el caso de plantaciones para leña, se usa el turno de máxima producción en volumen, que se alcanza cuando se ha maximizado el incremento medio anual (IMA). Esto sucede cuando se iguala numéricamente con el incremento corriente anual, ICA. La edad a la que se alcance el turno dependerá de la velocidad de crecimiento de los árboles, en los mejores sitios el turno se alcanza antes que en los turnos de menor calidad.

Según este criterio para Melina, los turnos de máxima producción en volumen para tres calidades de sitio (28,21 y14) se alcanzan entre los ocho y los doce años. Cuando el objetivo de la plantación (de Melina) es producir madera para aserrío, se usa el turno tecnológico: éste se alcanza cuando se ha maximizado la producción de madera de ciertas dimensiones. Se usan los mismos indicadores que en el caso anterior (IMA e ICA), pero se calcula el

volumen, tomando en cuenta únicamente la madera que cumpla con los requisitos específicos.

Existe también la posibilidad de determinar el turno, tomando en cuenta los aspectos económicos de la producción, lo cual permite maximizar los ingresos del productor. Para la determinación de este turno, Valor Potencial del Suelo (VPS), se estima en qué momento se maximiza la diferencia entre los ingresos y los costos, ambos actualizados, a una tasa de descuento determinada.

Aguirre, J. (1995) señala en la temática de “edad óptima de rotación” que el método del IMA (incremento medio anual) utilizado para decidir turno, usa sólo criterios biofísicos. La forma tradicional de utilizarlo ha sido decidir el turno óptimo cuando el IMA sea máximo (o se encuentre cerca del máximo) y por tanto no refleja condiciones de mercado, las cuales definitivamente influyen en los beneficios obtenidos por el empresario forestal.

Continúa argumentado Aguirre (1995) “Usualmente la regla ha sido cosechar los árboles cuando estos están en el 95% del incremento medio anual máximo. Este método se acerca a maximizar el crecimiento promedio de madera con respecto al tiempo pero no considera la intensidad de manejo al

que es sometido el bosque, ni tampoco toma en cuenta variables económicas de costo y precio, por lo que es cuestionable”.

La rotación óptima de cosecha debe de considerar el valor de la madera en la plantación a diferentes edades, así como otra información económica pertinente, con lo cual se puede elegir el turno que maximiza los beneficios netos que el productor forestal percibirá a largo plazo. (Aguirre, 1995)

El beneficio financiero neto actualizado de una rotación incluirá los valores descontados de los raleos y de la cosecha final, así como todos los costos de producción también descontados hasta un período base de acuerdo a una tasa pre-establecida. (Aguirre, 1995)

Por otra parte, mientras más se deja crecer a un rodal, el ingreso potencial a obtenerse por la vía de rotaciones más cortas, disminuye. Entonces, el turno óptimo económico de la plantación puede también determinarse, tomando en cuenta este efecto de largo plazo.

Considerando la posibilidad de múltiples cosechas (rotaciones), el valor del rodal en el tiempo es afectado por dos factores:

a) La tasa de crecimiento volumétrico de la plantación que disminuye a lo largo del tiempo, de manera que el incremento en dicho valor será cada vez menor. Fisher [citado por Aguirre(1995)] postula que “la edad óptima económica para cosechar un rodal es aquella donde la tasa de interés (como medida del costo de oportunidad del capital) es igual al porcentaje de cambio en el valor neto de la cosecha”.

En este punto, el capital tiene un retorno competitivo al invertirlo en plantaciones forestales. No hay que olvidar que la tasa de interés es la tasa de crecimiento del dinero depositado en el banco, lo que casi no implica riesgo alguno, en contraposición con las actividades de producción forestal. Uno de los problemas del trabajo de Fisher es que sólo toma en consideración el valor de los árboles y no considera la renta de la tierra. Este tiene que ver con el segundo factor el cual es:

b) El costo de oportunidad del capital. Si el ingreso dejado de percibir por el uso del recurso en otros usos excede el retorno presente derivado del crecimiento forestal, la cosecha será realizada antes. Si el retorno no es suficiente en la actividad forestal los recursos se utilizarán en una actividad alterna.

Jiménez *et al* (1992) definen varias clases de turnos: turnos con criterio físico, turnos con criterios técnico forestales, turnos con criterio dinerario y

finalmente turnos con criterios financieros. El turno con criterio físico establece como rendimiento máximo la duración máxima de la masa (su longevidad natural) por lo tanto, se considera más adecuado para estos fines la especie más longeva y el mejor tratamiento para prolongar dicha actividad.

Los criterios técnicos forestales están orientados a satisfacer las necesidades del consumidor y tienden a obtener la mayor cantidad de productos en especie, sin importar el precio. El criterio dinerario se denomina también "renta absoluta del monte" y está también orientado a satisfacer las necesidades del consumidor, ya que no le carga los intereses al capital invertido en la producción forestal, y establece como edad de corta aquel año donde se obtiene la mayor renta media del monte.

Los criterios financieros buscan la inversión más ventajosa del capital y fija la edad de corta en el año donde se dé la mejor relación entre el rendimiento líquido y el capital productor; entre ellos se encuentran la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

McClelland *et al* (1989) afirma que Faustmann y Samuelson aportaron una estructura básica para el estudio de los turnos de reemplazo. Con esta estructura que es el criterio de Faustmann-Samuelson para el reemplazo forestal se determina la maximización del valor presente descontado de los

retornos de un número infinito de turnos para una empresa competitiva con precios de productos constantes.

Nautiyal y Williams (1990) dicen que Martin Faustmann (1849) es acreditado con el desarrollo del modelo arquetípico usado para optimizar rotación multiperiódica. Consiste en una sólo fórmula dependiente del tiempo, en un sitio uniforme, con un propietario perfectamente competitivo dentro del mercado forestal. La única meta del empresario forestal es la maximización del ingreso.

Se asume que el precio de la madera, por metro cúbico es independiente del tamaño del árbol, que todas las variables económicas mantienen un valor real constante, que el crecimiento de la madera es sin costo y que no hay manejo. Se supone además que el dueño planea una serie infinita de idénticas rotaciones. Varios autores han explorado las implicaciones de modelar una o más de estos supuestos. Sin embargo todas esas variantes tienen una sólo variable de decisión -- la edad de la plantación-- lo cual niega otros factores de manejo importantes para el decisor forestal, como la intensidad del manejo.

Continúan Nautiyal y Williams (1990) que en el modelo básico de una variable decisoría de Faustmann, se asume que el dueño selecciona aquella rotación que maximiza la renta ganada por el uso de la tierra. El valor

presente descontado de la renta obtenida de una serie infinita de idénticas rotaciones es llamado Valor Esperado de la Tierra. Se define como:

$$\text{VET} = \frac{P V(X,t) - w X e^{rt}}{(e^{rt} - 1)}$$

donde:

VET: valor esperado de la tierra.

P: precio del metro cúbico de madera.

r: tasa continua de descuento.

V(X,t): función de crecimiento volumétrico de madera.

X: número de unidades de manejo aplicadas para el establecimiento.(costo fijo)

w: costo de las unidades de manejo aplicadas al establecimiento.(costo fijo).

Amacher, G. *et al* (1991) afirman que en el modelo de Faustmann el propietario de la tierra escoge la edad de rotación y la inversión inicial que maximiza el Valor Actual Neto de la producción de madera. Para conveniencia se hacen los supuestos de que : a) el propietario comienza con tierra "sin madera" b) Sólo se modela la producción de madera, a pesar de que muchos recursos del bosque tienen valor. Una sola especie es regenerada hasta la edad

de rotación óptima económica y luego es cosechada. Este ciclo continúa a perpetuidad. El precio de la madera, la tasa de descuento, y la tasa de costo de regeneración son constantes a través del tiempo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Fuentes Secundarias de Información.

Los datos de crecimiento y volumen de las cinco especies escogidas se tomaron del estudio realizado por Alfaro Murillo en 1990, titulado "Estudio de caso sobre la rentabilidad y el uso óptimo de recursos en Plantaciones forestales en Costa Rica". Se complementó además con la información generada por los proyectos Leña (1980- 1985) y MADELEÑA (1986-1995) del CATIE condensados en el Sistema de Manejo de Información sobre Recursos Naturales, Sistema MIRA.

La información que se utilizó para la presente investigación son las tablas preliminares de rendimiento para Melina, *Gmelina arborea* Roxb; Teca, *Tectona grandis* L.f.; Pochote, *Bombacopsis quinatum* (Jacq).; Laurel, *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken y Eucalipto, *Eucalyptus saligna* Smith en América Central para diversos índices de sitio y densidades. Con dicha información se han construido ya modelos de predicción de calidad de sitio, crecimiento y rendimiento, aunque no en función del tiempo que son los requeridos como base para este estudio.

Cuadro 3: Tabla Preliminar de rendimiento para *Gmelina arborea* utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.

EDAD (AÑOS)	VOLUMEN en M ³ para cada ÍNDICE DE SITIO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
4	--	117.2	206.6
6	106.1	--	--
8	--	238.6	356.7
10	169.9	--	--
12	188.6	301.0	429.9
14	205.7	319.7	445.8

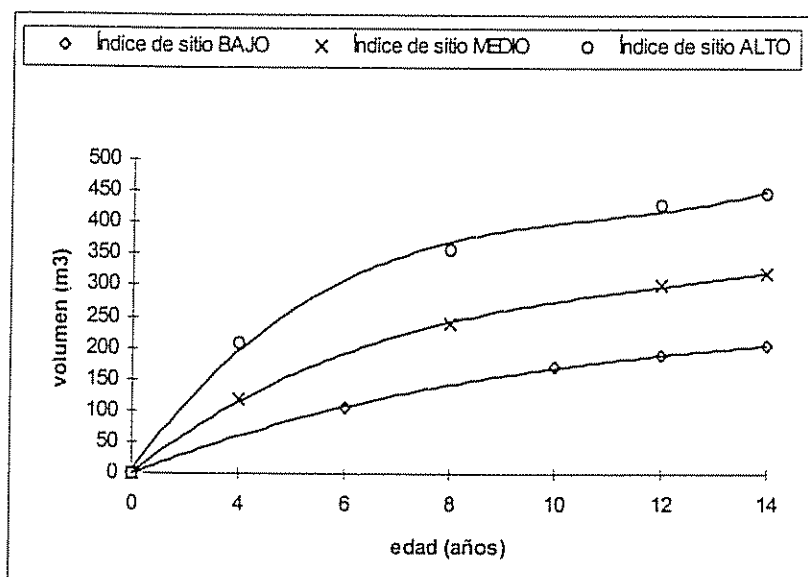


Figura 1: Curva de crecimiento de volumen acumulado para *Gmelina arborea*, para tres índices de sitio en Costa Rica.

Cuadro 4: Tabla Preliminar de rendimiento para *Eucalyptus saligna*, utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.

EDAD (AÑOS)	VOLUMEN en M3 para cada ÍNDICE DE SITIO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
4	7.0	23.7	66.8
6	--	--	158.2
8	56.7	131.8	269.0
10	95.2	205.1	--
12	139.9	--	435.3
14	--	314.9	--
18	251.6	371.8	587.8
20	275.3	399.4	626.4

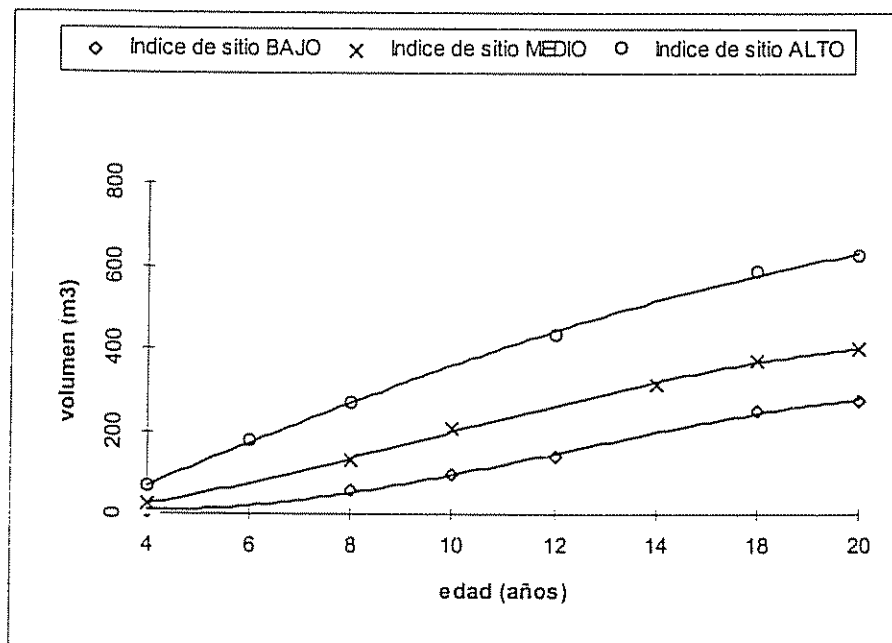


Figura 2: Curva de crecimiento de volumen acumulado para *Eucalyptus saligna*, para tres índices de sitio en Costa Rica.

Cuadro 5: Tabla Preliminar de rendimiento para *Bombacopsis quinatum* utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.

EDAD (AÑOS)	VOLUMEN en M ³ para cada ÍNDICE DE SITIO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
4	9.4	30.5	50.1
6	19.6	51.2	78.2
8	35.5	79.6	115.2
10	58.2	117.0	-.-
14	-.-	-.-	230.2
16	143.3	233.0	-.-
20	-.-	-.-	351.0
22	245.8	-.-	-.-
24	-.-	386.6	-.-
26	-.-	-.-	489.2
30	364.5	476.5	570.5

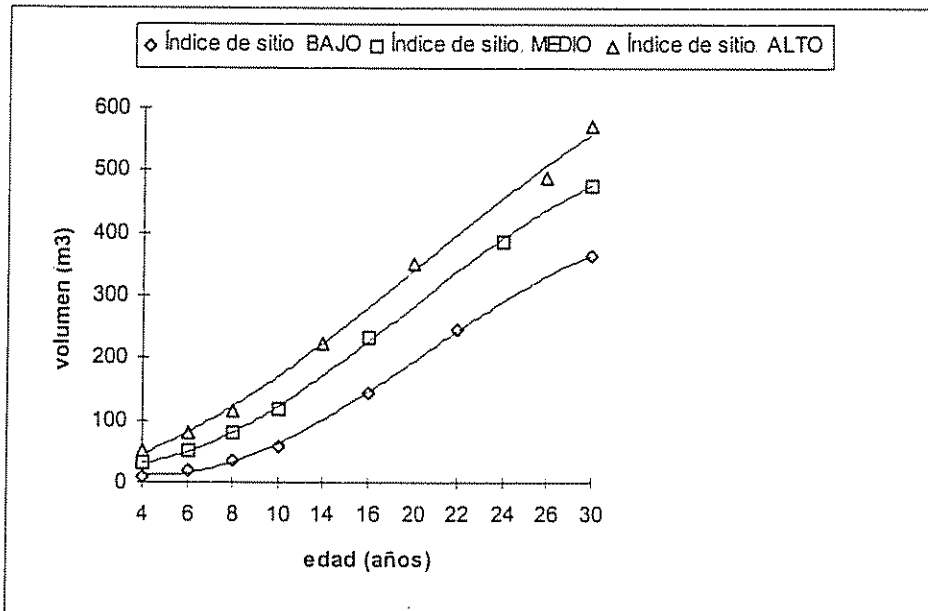


Figura 3: Curva de crecimiento de volumen acumulado para *Bombacopsis quinatum*, para tres índices de sitio en Costa Rica.

Cuadro 6: Tablas Preliminares de rendimiento para *Cordia alliodora* utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.

EDAD (AÑOS)	VOLUMEN en M ³ para cada ÍNDICE DE SITIO		
	BAJO	MEDIO	ALTO
4	0.8	1.8	13.5
8	9.4	19.6	127.7
10	26.7	70.8	--
12	--	--	296.7
14	--	215.5	--
16	166.7	--	428.1
20	283.3	418.2	--
22	--	--	571.6
26	372.3	--	--
30	404.6	536.0	678.5

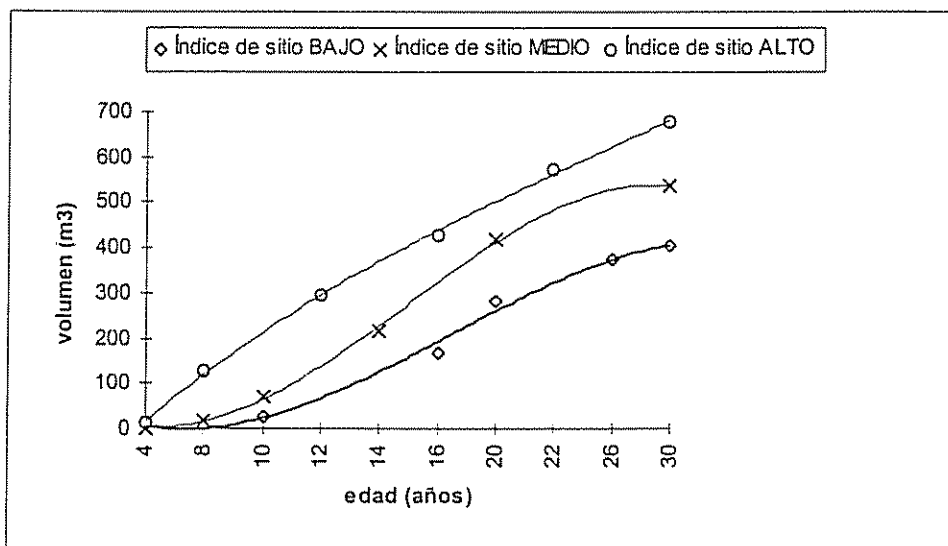


Figura 4: Curva de crecimiento de volumen acumulado para *Cordia alliodora*, para tres índices de sitio en Costa Rica.

Cuadro 7: Tabla Preliminar de rendimiento para *Tectona grandis* utilizada para la construcción de las funciones de crecimiento volumétrico.

EDAD (AÑOS)	VOLUMEN en M ³ para cada ÍNDICE DE SITIO.		
	BAJO	MEDIO	ALTO
4	5.1	9.6	23.6
6	36.2	-.-	112.5
8	-.-	90.4	182.3
10	59.2	136.7	-.-
12	-.-	-.-	297.7
14	118.8	-.-	-.-
18	-.-	295.6	404.4
24	224.2	390.9	-.-
30	-.-	461.5	-.-
32	285.6	-.-	551.4
40	333.3	533.9	613.0

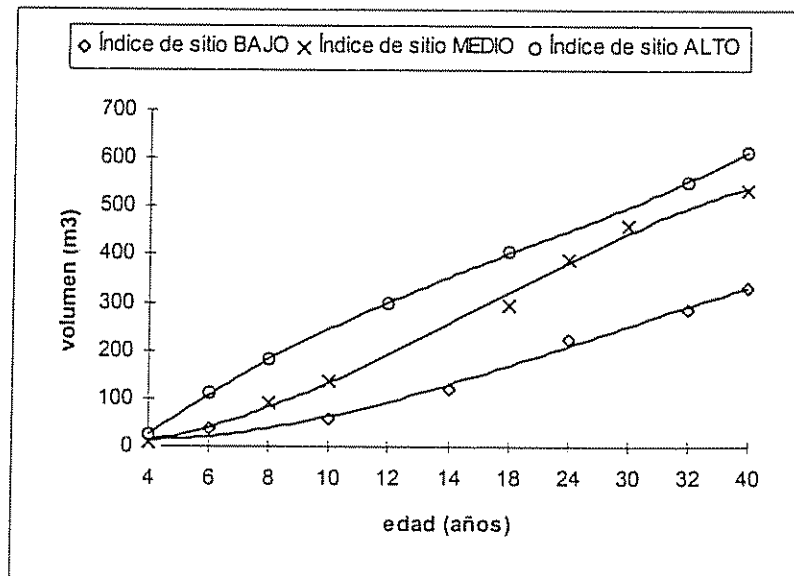


Figura 5: Curva de crecimiento de volumen acumulado para *Tectona grandis*, para tres índices de sitio en Costa Rica.

5.2. Procedimientos Analíticos.

5.2.1. Utilización de métodos econométricos estándar:

Estos se basan en la técnica de los mínimos cuadrados y permitirán estimar los coeficientes de las relaciones de producción para cada una de las especies y calidades de sitio consideradas en estudio. Con ellos se exploró diferentes modelos de crecimiento volumétrico en función del tiempo. Se utilizó el programa Excell Versión 5.0 de la Microsoft Corporation para poder integrar la fase de modelaje con la de análisis financiero y poder realizar las regresiones y demás esfuerzos de modelaje. En el caso en que las demandas de dicho esfuerzo superaron las capacidades del programa Excell se acudió alternativamente al uso del Sistema de Análisis Estadístico SAS.

El método de los mínimos cuadrados es una técnica matemática para calcular una línea de regresión que resume y sintetiza una relación funcional entre una variable dependiente "Y" y una serie de variables independientes (X_i), donde $i=1,2,3,\dots,n$. La técnica basada en el principio de minimizar la suma de los errores al cuadrado tiene entre otras propiedades deseables, la de la objetividad matemática. (Johnson, A., 1987).

5.2.2) Definición Conceptual del Modelo:

Conceptualmente se trabajará con el siguiente modelo:

$$V = f (T / IS)$$

Donde:

V : Volumen de madera, en m³.

T : Edad de la plantación, en años.

IS : Índice de sitio (calidad de sitio)

El volumen de la madera cosechable está en función de la edad de la plantación en años (i.e. la longitud del turno), pero también dependerá de la calidad de sitio.

5.2.3) Selección de la forma funcional.

Así mismo se intentaron formas funcionales que permitan describir con mayor propiedad las relaciones de producción antes mencionadas. Hay dos

aspectos fundamentales e interrelacionados a considerar cuando se selecciona la forma funcional de la ecuación de regresión:

- a) Las implicaciones económicas que ésta tiene y, por tanto, que tan compatible es con la teoría y el conocimiento existente acerca del problema.
- b) Que tan bien se adapta dicha forma funcional a los datos específicos de nuestra investigación.

Se evaluaron las siguientes formas funcionales generales para modelar volumen en función del tiempo, dado el índice de sitio y se escogió aquella que mejor se ajuste al comportamiento de la información obtenida.

a) Polinomiales: $V = B_0 + B_1T + B_2T^2 + B_3 T^3$

b) Exponenciales: $V(t) = M (1 - e^{-at})^b$ (Fórmula de Richards)

Para el caso polinomial, y con las cinco especies, se exploró además, la posibilidad de modelar los volúmenes producidos a lo largo del tiempo, en cada uno de los tres posibles índices de sitio con una sola función variando solamente el coeficiente lineal de ésta (B_1). Se realizaron las pruebas estadísticas necesarias (F) para verificar que este tipo de restricción al conjunto

de modelos no reduce significativamente la capacidad explicativa de éstos. Esto significaría que, por si solo, el coeficiente B_1 del modelo polinomial modela apropiadamente el efecto de la calidad de sitio. Con ello se reducen el número de ecuaciones y coeficientes a estimar de quince a cinco y de sesenta a veinte respectivamente, aumentando el número de observaciones disponibles para estimar cada uno de los coeficientes restantes y así la eficiencia estadística de los procedimientos.

Para cada una de las ecuaciones se analizó la bondad del ajuste a través de los siguientes procedimientos:

a) Prueba de "F": La cual evaluará la capacidad explicativa del modelo (i.e. cada una de las ecuaciones a estimar) como un todo.

La hipótesis nula será " El modelo no tiene capacidad explicativa alguna de la variación en el volumen de madera (La variabilidad del volumen de madera no es explicada por el modelo)". Así:

$H_0 : B_1 = B_2 = \dots B_n = 0$ versus H_a : Al menos un $B_k \neq 0$.

b) Prueba de "t-student": La prueba de t, evaluó si los coeficientes de las variables contempladas en el modelo, tomados en forma individual, pueden considerarse estadísticamente diferentes de cero.

La hipótesis nula será "El coeficiente B_k es igual a cero" ($k= 1,2,..k$). Así:

$H_0: B_k = 0$ versus $H_a: B_k \neq 0$ para cualquier k , individualmente.

Estas pruebas de hipótesis pueden ser importantes para, por ejemplo, en el caso de las funciones polinomiales, discernir, si es necesario incluir un término cúbico en el modelo. Alternativamente, otros términos podrían resultar redundantes en lo que respecta a su contribución para ayudar a explicar la variabilidad en V .

c) Prueba de R^2 : El coeficiente de determinación múltiple, representará una medida de la proporción de la variabilidad de V a lo largo del tiempo que es explicada por el modelo. Por consiguiente en este caso, si se desea tener un buen grado de confianza en los resultados de los análisis económicos será necesario obtener R^2 relativamente altos (90% o más). Con ello se corroboraría alta capacidad predictiva en el modelo.

Los procedimientos econométricos estandar incluyen el verificar si en los modelos existen problemas de *multicolinealidad*, *heterocedasticidad* y *autocorrelación*.

La *multicolinealidad* se da sobre todo en la investigación no experimental, donde las variables independientes presentan algún grado de covariación incidental entre ellas. No existe un nivel suficiente de variabilidad “independiente” entre las variables exógenas del modelo.

Un posible síntoma de ésta son cocientes de “t” sumamente bajos, dificultando el rechazo de diversas hipótesis nulas que podrían plantearse acerca de los valores poblacionales de los coeficientes. Es decir que los estimados de las varianzas de algunos de los coeficientes son relativamente altos, lo que causa que pocos o ninguno de éstos sea “estadísticamente significativo”, a pesar de que el R^2 del modelo sea bastante alto y la prueba de “F” indique que una cierta proporción de la variabilidad de Y está siendo explicada por el modelo.

En este caso, sin embargo, no se espera que la multicolinealidad sea un problema de importancia, ya que en los modelos sólo se incluye una variable independiente y de naturaleza ordinal (T).

La heterocedasticidad y la autocorrelación son violaciones a sendos supuestos acerca del término del error. Hay que recordar que para cada

$V_{ij} = F(T_i, IS_j) + U_{ij}$, el término del error U_{ij} tiene una distribución estadística de la cual generalmente sólo se observa (en la muestra) una "realización" y al utilizar el método de los Mínimos Cuadrados, se ha supuesto que :

- a) $\text{Var}(U) = \sigma^2$, para $i = 1, 2, \dots, n$ (Varianza constante de U y por tanto de V a lo largo del tiempo de crecimiento T)
- b) $\text{Cov}(U_i, U_k) = 0$ para $i, k = 1, 2, \dots, n$ y para todos los $j \neq k$. (una vez ajustados por el efecto de T , los volúmenes de crecimiento en los diferentes años, no guardan correlación estadística alguna entre sí)

La heterocedasticidad ocurre cuando no se cumple el primer supuesto y autocorrelación cuando no se cumple el segundo. En general la heterocedasticidad ocurre en datos de "secciones cruzadas", mientras que la autocorrelación se presenta a menudo en "series temporales".

Los estimadores de cuadrado mínimo del error (CME) de los coeficientes poblacionales del modelo de regresión, en el caso a manifestarse dichos fenómenos continúan siendo no-sesgados. Sin embargo pierden su categoría de ser los más eficientes (i.e. "varianza mínima") entre todos los posibles estimadores lineales de los B_k . Los estimados aparentarán ser más precisos de lo que en realidad son y las pruebas de hipótesis por lo tanto, darían un falso sentido de seguridad estadística respecto a los resultados.

Para detectar la presencia de heterocedasticidad se utilizó la prueba de *Breusch-Pagan*; para autocorrelación, la de *Durbin-Watson*. Ambas se aplicaron en todos los casos. Si se corroborara la existencia de cualquiera de estos dos fenómenos, se utilizarán los procedimientos econométricos comúnmente recomendados para solventarlos.

5.3. Construcción de Funciones de Economía de la Producción.

A partir de la relación de producción de Volumen de madera en función del tiempo $V=f(T)$, para cada especie, a la cual se le llamará *Volumen Físico Total* (VFT), se pueden definir otras funciones

-*Volumen Físico Marginal* (VFM): Es el cambio en el volumen de madera que resulta de utilizar una unidad adicional de tiempo en el turno de cosecha. El Volumen Físico Marginal es la primera derivada de la función de Volumen Físico Total. El VFM es por tanto la pendiente del VFT. Así:

$$\text{VFM} = dV / dT = d f (T) / dT$$

- *Volumen Físico Promedio*(VFP): Es el volumen promedio de madera que se obtiene por unidad de tiempo. Al conocer la expresión matemática de la relación de producción, el VFP se obtiene dividiendo ésta entre el número de unidades de tiempo de turno "T".

$$VFP = V / T = f (T) / T$$

A partir de ellas y considerando los Precios de Venta de los Productos Forestales y los Costos de producción de las plantaciones , puede procederse a definir *funciones económicas* de interés como son:

- *Valor del Volumen Físico Total* (VVFT):

$$VVFT = p.VFT = p .f(T)$$

En donde p es el precio de la madera o del producto forestal. El VVFT mide el ingreso bruto que se recibe como resultado de la venta de la cantidad de madera (o de cualquier producto forestal) que se obtiene al llevar a cabo un turno de duración T.

- *Costo Variable del Turno* (CVT): El costo variable del turno, correspondería a la función tradicional de Costo del Insumo Variable y se definiría por:

$$CVT = i T$$

En donde "i", representaría el costo de mantenimiento y manejo de la plantación forestal por unidad de tiempo de turno y "T" la longitud del turno. El CVT mide el costo variable en que hay que incurrir para llevar un turno de "T" años y obtener un nivel de "V" de producción.

- *Costo Fijo del Turno (CFT)*: correspondería a los costos de establecimiento, que se da en los primeros tres años de la plantación. No será función de "T", sino que serán cantidades fijas dependiendo la especie.

- *Costo Total del Turno (CTT)*: Son los costos totales de la plantación y está formado por la suma de los costos variables (CVT) y los costos fijos (CFT).

- *Costo Marginal del Turno (CMT)*: Bajo condiciones de competencia perfecta, es simplemente el costo por unidad de duración de éste, es decir "i". Es el costo en el que hay que incurrir para alargar el turno en un año.

- *Función de Ganancias (G)*: Llamada también función de Beneficios Netos, es la función básica de análisis económico de la producción y es generalmente la

que el decisor (empresario forestal) desearía maximizar. En este caso, sin embargo, lo que el empresario supondría es "miópico", es decir que:

a) Su actividad productiva está limitada a un sólo turno, y por tanto, la renta de la tierra es cero, y

b) el costo de oportunidad del dinero invertido en la plantación forestal también es cero.

Dicha función miópica de Ganancias se define como la diferencia entre los Ingresos Brutos (VVFT) y los costos(CTT), así:

$$G = VVFT - CT$$

El máximo valor de "G" ocurrirá para el valor de "T" (longitud del turno) en donde la curva del Valor del Volumen Físico Marginal (VVFM) se intercepta por segunda vez con la de Costo Marginal del Turno (CMT), es decir cuando la pendiente de la función de Valor del Volumen Físico Total (VVFT) es igual a la pendiente de la curva de Costo Variable del Turno. El valor de "T" que satisfaga estas condiciones será el turno óptimo financiero miópico.

5.4. Afinamiento de Turno óptimo financiero.

5.4.1. La función del Precio de los Productos Forestales:

El objetivo y la longitud del turno de las plantaciones forestales definirá que productos forestales se venderán al mercado. En este estudio se contemplará como producto únicamente madera en pie.

Puede observarse que el precio de la madera será también función del tiempo, ya que al llegar a cierto rendimiento en volumen de madera, el empresario podrá decidir, con criterio financiero si le conviene esperar para vender su producto a mejor precio y para otro uso alternativo. Aquí también deberá considerarse, si existe o no un mercado para este producto forestal, en la zona donde está ubicada la plantación de interés. Sin embargo para este estudio el precio se tomará como fijo a la hora de obtener las rentabilidades respectivas, y únicamente se variará en los diversos escenarios de sensibilidad.

Debido a esto es muy posible que no se pueda utilizar la solución matemática arriba descrita, a menos que se trabaje con intervalos cerrados del

dominio de la función de precio. De ser así el óptimo financiero se encontraría en forma numérica y tabular-comparativa, y con la ayuda de gráficos. En tal sentido, el Turno óptimo financiero y ambiental se obtendrá a partir del indicador financiero Valor Actual Neto (VAN). Como criterio aquellos VAN máximos serán considerados como óptimos.

La función de Ganancia o Beneficios Netos, redefiniéndola, quedaría planteada como:

$$\text{Beneficios Netos} = \text{Ingresos Totales} - \text{Costos Totales.}$$

$$\text{BN} = \text{VVFT (T)} - [\text{CVT (T)} + \text{CFT}]$$

$$\text{BN} = P (T). V(T) - iT - k$$

siendo k, un valor constante de los costos fijos de establecimiento.

Dicha función, es todavía una función que conduciría a un turno óptimo financiero miópico.

5.4.2.) Instrumento de Análisis Financiero.

Para obtener información sobre la rentabilidad financiera asociada con cada posible longitud de turno, se utilizó el Valor Actual Neto.

Es la diferencia actualizada entre todos los ingresos y los costos de una actividad o estrategia productiva, según una tasa de descuento predefinida. Este criterio plantea que dicha actividad debe de llevarse a cabo si el Valor Actual Neto es igual o superior a cero (Sapag, 1992). Como criterio, actividades o estrategias productivas con mayor VAN son preferidas.

El nivel óptimo de producción corresponde al mayor Valor Actual Neto de las alternativas utilizadas.

5.4.3) Función de Ganancias con Costo de Oportunidad de Capital.

Para continuar con el proceso de afinamiento de la función de crecimiento volumétrico, se definirá una función de Ganancia “descontada” a una tasa “ r ”, para tomar en cuenta el efecto del costo de oportunidad del capital invertido. Este costo de oportunidad es representado por el Valor Actual Neto al inicio del período de plantación.

Para ello se utilizará la fórmula de Valor Actual Neto a un flujo Constante, a lo largo de t períodos (VAN), (Brighman, 1986).

La fórmula así planteada será:

$$\text{VAN} = \frac{P(T)V(T)}{(1+r)^T}$$

Donde :

r : tasa de descuento.

T : longitud del turno (años)

P(T)V(T): ingreso neto (ganancia)

5.4.4) Función de Ganancia tomando en cuenta el Efecto Multiperiodo.

Para tomar en cuenta el efecto multiperíodo, es decir incluir el efecto de un turno planificado a corto plazo *versus* un turno planificado a largo plazo, se utilizará la formula de Faustmann:

$$\text{VANFCL} = \text{VAN} * \frac{1}{1 - e^{-rT}}$$

En donde:

$$\frac{1}{1 - e^{-rT}}$$

VANFCL: Valor Actual Neto de un Flujo constante a largo plazo.

VAN : El Valor Actual Neto de un Flujo Constante (obtenido de 5.4.3)

r: tasa de descuento.

T: longitud del turno (años)

A través de esta formulación se obtendría el Valor Actual Neto de llevar a cabo un número infinito de multiperíodos de longitud T, es decir a largo plazo. Este VAN contempla ya la renta de la tierra, si se supone que es de vocación forestal (uso forestal permanente).

La longitud de turno T que maximiza este VANFCL se considera como óptima desde el punto de vista financiero, cuando se está haciendo planificación forestal a largo plazo. Igualmente, dichos valores de T que maximizan los VANFCL para las diferentes especies y calidades de sitio tendrán que obtenerse en forma numérica y con el apoyo de gráficos . Dicha longitud de turno óptima financiera definirá a la vez el tipo de producto forestal que es más rentable producir en cada caso y condición específica.

5.4.5) Evaluación de la Viabilidad de la Producción Forestal como una Actividad Permanente para un Sitio, Especie y Condiciones de Precios y Mercados Específicos.

Para ello se necesita lo siguiente: determinar la duración o longitud óptima financiera del turno T^* (según se explica en 5.5.4), dada la calidad de sitio, especie, y condiciones de precio y mercado.

Conociendo T^* , recalcular el VANFCL, pero tomando en cuenta la renta de la tierra en la zona (Se determinaría en dólares U.S. por hectárea, se le sumaría a "i", el costo de mantenimiento y manejo de la plantación por ha/año). Si este VANFCL es menor que cero, la producción forestal permanente (con esa especie) no es la mejor opción de uso de la tierra. Este nueva variante se denominaría VANFCLR , Valor Actual Neto de un flujo constante a largo plazo con costo de oportunidad real de la tierra en la Zona.

5.4.6. Valoración Económica Efectiva del Dióxido de Carbono.

Se evaluaron situaciones hipotéticas que ejemplificaron la modificación que sufre el turno óptimo financiero a largo plazo, si el empresario forestal, *efectivamente* recibiera algún tipo de pago por el dióxido de carbono almacenado

en sus plantaciones forestales. La modalidad de pago se hará de acuerdo a la información pertinente en el Mercado Verde y otras que se consideren potencialmente factibles. Dichas modalidades tendrán como base que el servicio de almacenamiento de CO_2 , se realizará por 20 años y son las siguientes:

- a) Pago total efectivo al inicio del turno. (VANFCLR02i)
- b) Pago total efectivo al final del turno .(VANFCLR02f)
- c) Pago anual efectivo durante el turno.(VANFCLR02d)

La valoración económica efectiva del dióxido de carbono modificará los ingresos brutos del empresario forestal, y por tanto su "ganancia". Las longitudes de turno derivadas de la maximización del VANFCLR02 bajo dichos escenarios serán los **turnos óptimo económico ambientales**, al menos en lo que respecta al servicio de almacenamiento de CO_2

5.4.8) Comparación de Turnos Óptimos Financieros con turnos establecidos en base en criterios biofísicos.

Con base en criterios netamente biofísicos (Maximización del Incremento Medio Anual, IMA; maximización del Incremento medio anual en área basal,

(IMA-G) se procederá a determinar los turnos de rotación asociados con cada especie e índice de sitio.

Los resultados de estas evaluaciones se compararán con las recomendaciones de los análisis financieros teóricos antes descritos. Además, se intentará identificar las razones o causas de cualquier diferencia que se encuentre entre las recomendaciones teóricas y los comportamientos actuales observados.

5.4.10) Cuadro Resumen de Turnos Optimo Financieros.

En esta sección se procederá a realizar tablas comparativas de doble entrada, las cuales englobarán: Longitud del turno, VAN, VANFCL, VANFCLR, VANFCLR02i, VANFCLR02f y VANFCLR02d. Así mismo se crearán los respectivos VAN sin efecto multiperíodo que son, pero que si incluirán renta de la tierra y valoración efectiva de CO₂, ellos son : VANR, VANR02i, VANR02f y VANR02d. El objetivo será determinar T* óptimo para cada situación.

5.4.11) Análisis de Sensibilidad.

Para explorar las variaciones que sufrirían los diversos turnos óptimos financieros, se crearán diferentes ambientes en cuanto a costos de oportunidad de la tierra en plantaciones, índice de sitio y tasa de descuento. Estos ambientes se crearán en base a las perspectivas futuras que existan sobre el mercado forestal, tratando de cubrir un amplio espectro: desde una situación "sumamente optimista" hasta una pesimista.

Las variaciones realizadas en el entorno de los precios modificarán los ingresos brutos del empresario forestal (VVFT), y los cambios probables en costos de producción modificarán los costos (CT). De allí que al realizar la maximización de la función de Ganancia, VAN y VANFCL, los valores de "T" (turno) obtenidos diferirán de acuerdo al escenario creado. La tasa de descuento influirá también en los Valores Actuales Netos obtenidos en todos los casos.

5.5) *Síntesis de turnos óptimo financiero-ambientales.*

Finalmente, se realizará una tabla resumen que describa: los turnos óptimo financiero-ambientales encontrados por especie, detallando el escenario (precio, costos de producción, condiciones de mercado, plazo del período de

planificación, incentivos económicos externos, valoración de dióxido de carbono, tasa de descuento, etc) que los originó. Esta tabla permitirá ayudar al empresario forestal en la toma de decisiones relativas la turno de cosecha de las especies estudiadas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1. Selección de la forma funcional.

En base a los volúmenes detallados en los cuadros 3, 4, 5, 6 y 7 se procedió a encontrar la forma funcional que más se acoplara a predecir en una forma lógica y coherente los volúmenes de las distintas especies a lo largo del tiempo. Para ello se construyeron funciones de producción individuales para cada especie, y además, con el objetivo de mejorar la eficiencia estadística de los procedimientos se modeló también una ecuación general que permita predecir los volúmenes de las cinco especies, para tres calidades de sitio, únicamente variando el coeficiente lineal de ésta.

6.1.1. Modelos Polinomiales Individuales.

Para la construcción de los modelos individuales se utilizó una regresión standard basada en la técnica de los mínimos cuadrados a través del sistema de análisis estadístico SAS y el programa Excell.

La ecuación a estimar fue la siguiente:

$$V(t) = a + d_1 Z_1 + d_3 Z_3 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$$

En donde:

$V(t)$: volumen.

a : intercepto

Z_1 , Z_2 , y Z_3 son variables artificiales para la condición de índice de sitio: una para cada posible categoría de la variable cualitativa "índice de sitio".

t : edad de la plantación en años.

t^2 : edad de la plantación al cuadrado.

t^3 : edad de la plantación al cubo.

d_1 , d_2 , d_3 , b_1 , b_2 , b_3 : coeficientes.

Para evitar el problema de la trampa de las variables artificiales se impuso la restricción de eliminar una categoría (Johnson 1987), específicamente Z_2 . Con ello se obliga a que b_2 mida el efecto de t sobre la variable dependiente para la categoría que se ha omitido; mientras que los otros coeficientes (d_1 y d_3) cuantifican las desviaciones con respecto a éste, relacionadas con la pertenencia a cada una de las categorías no omitidas.

Los coeficientes asociados para cada una de las variables para las cinco especies pueden apreciarse en el cuadro 8.

Cuadro 8: Parámetros y Probabilidades de "t" asociados a los modelos de las especies individuales.

Especies/Parámetros	a	d ₁	d ₃	b ₁	b ₂	b ₃
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	0.13	-9.32	10.98	37.14	-0.77	-0.019
Prob. de t asociada.	0.9916	0.0001	0.0001	0.0034	0.6639	0.8196
Eucalipto(<i>Eucalyptus saligna</i>)	-2.60	-7.50	12.34	-1.73	3.17	-0.10
Prob. de t asociada.	0.8241	0.0001	0.0001	0.76	0.0005	0.0006
Pochote(<i>Bombacopsis quinatum</i>)	0.29	-4.44	2.82	4.58	0.80	-0.01
Prob. de t asociada.	0.9453	0.0001	0.0001	0.0023	0.0001	0.0001
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	0.97	-5.28	6.37	-11.24	2.75	-0.05
Prob. de t asociada.	0.9535	0.0001	0.0001	0.0465	0.0001	0.0001
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	-17.88	-5.88	3.02	15.26	0.22	-0.006
Prob. de t asociada.	0.34	0.0001	0.0027	0.0030	0.4185	0.1574

Así mismo, se obtuvieron los valores de F y R² para cada una de las ecuaciones individuales, obteniéndose para todos ellos, probabilidades de F, altamente significativas (cuadro 9) . Esto significa que dichos modelos tomados en forma individual como un todo, tienen capacidad explicativa de la variación en el volumen de madera en función del tiempo. La variabilidad del volumen de madera de cada especie es explicada por el modelo.

Los R² o coeficientes de determinación múltiple están todos arriba del 90%, lo cual indica que la variabilidad del volumen de cada especie observada a lo largo del tiempo es explicada casi en su totalidad (más del 90%) por el modelo.

Dichos resultados pueden observarse en el cuadro 9.

Cuadro 9 : Resultados de la prueba de "F" y R² para los modelos de las especies individuales.

Especie	Valor de F	Probabilidad de F asociada	R ²
Melina (Gmelina arborea)	132.553	0.0001	0.9866
Eucalipto(Eucalyptus saligna)	348.875	0.0001	0.9915
Pochote (Bombacopsis quinatum)	2358.057	0.0001	0.9985
Laurel (Cordia alliodora)	217.98	0.001	0.9855
teca (Tectona grandis)	138.193	0.0001	0.9746

Dentro de los procedimientos econométricos estandar se encuentra la verificación de la existencia de los problemas de multicolinealidad, heterocedasticidad y autocorrelación.

La posible presencia de multicolinealidad no es grave para efectos del estudio debido a que no se está buscando una precisión drástica en los estimados de los coeficientes del modelo sino una alta capacidad predictiva de éste (Gujarati, 1992). Es de mayor interés un coeficiente de determinación (R²) alto, que la significancia estadística de los coeficiente individuales asociados a t , t^2 , t^3 los cuales de todas maneras son variables ordinales y es lógico que presenten algún grado de covariación entre ellas.

Para la heterocedasticidad se realizó la prueba de Breusch-Pagan y para la autocorrelación la de Durbin-Watson . Para todos los casos se evidenció

índices de autocorrelación bajos, y además la presencia del problema de heterocedasticidad. Dichos resultados pueden observarse en el cuadro 10.

Cuadro 10: Pruebas de Durbin-Watson, índice de autocorrelación y Breusch-Pagan.

Especie	Durbin-Watson "w"	Breusch-Pagan (Chi-Cuadrado Calculado).	Probabilidad Chi-cuadrado Calculado
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	1.293	3.60391	0.6077
Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>)	1.357	11.33	0.0452
Pochote (<i>Bombacopsis quinatum</i>)	1.044	7.35119	0.1958
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	1.127	11.9667	0.0352
teca (<i>Tectona grandis</i>)	1.045	14.1883	0.0145

Al construir la tabla de decisión de la prueba de Durbin Watson, se encontró que el valor "w" para cada una de las especies, se encontraba en una de las zonas de indecisión, en la cual no se puede rechazar la hipótesis de la existencia de autocorrelación positiva, al nivel del 0.01.

Sin embargo debido a que en la zona de indecisión no es posible determinar si existe o no autocorrelación, es conveniente aplicar la prueba de Durbin-Watson modificada, en donde se considera que el límite superior de la prueba anterior, corresponde aproximadamente al verdadero límite de significancia (Gujarati, 1992). Bajo esta nueva prueba todos los estimados de "w" resultaron menores que el límite superior y por tanto se encontró para

todos ellos indicios de autocorrelación positiva al nivel de significancia antes mencionado.

Con respecto a la presencia de heterocedasticidad en los modelos polinomiales individuales, tres de las especies rechazan la hipótesis nula de la existencia de la homocedasticidad al nivel de significancia del 0.05 (Eucalipto, laurel y teca), en favor de las hipótesis alternativas: se evidencia heterocedasticidad estadísticamente significativa en dichos modelos.

En el planteamiento del modelo general para todas las especies se evaluará de nuevo la presencia o ausencia de estos problemas.

6.1.2 Modelos Exponenciales individuales.

Se evaluará una aplicación específica del modelo de Richards. La presente aplicación de la fórmula de Richards ha sido muy utilizada para predicción del volumen en función del tiempo en plantaciones y bosque natural (Richards, 1959; Yoshimoto, 1997).

La ecuación a estimar fue la siguiente:

$$V(t) = M(1 - e^{-at})^b$$

En donde:

$V(t)$: es el volumen en función del tiempo

M : es el máximo valor de crecimiento para cada especie.

a : es la tasa de crecimiento de la especie.

b : es una tasa sin interpretación biológica.

Para evaluar su ajuste se utilizó el coeficiente de determinación múltiple para modelos no lineales estimados con SAS. Los resultados pueden observarse en el cuadro 11.

Cuadro 11: Parámetros de Ajuste de los modelos de las especies individuales a una función exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards: $V(t) = M(1 - e^{-at})^b$. ()*

Especie	Parámetro M	Parámetro a	Parámetro b	R ² No-lineal
Melina (Gmelina arborea)	1,202.59	0.009705	0.6348	0.6831
Eucalipto (Eucalyptus saligna)	283,591.34	0.0245	6.77	0.5935
Pochote (Bombacopsis quinatum)	1,147.87	0.0046	0.81	0.2906
Laurel (Cordia alliodora)	14,787.54	0.0066	2.14	0.4946
Teca (Tectona grandis)	3,564	0.0013	0.80	0.4165

(*) M , a , b son los parámetros a estimar. M es el máximo valor de crecimiento; a es la tasa de crecimiento y b no tiene interpretación biológica.

Si bien es cierto, Melina y Eucalipto presentaron también R^2 aceptables, las demás especies mostraron coeficientes de determinación bajos y moderadamente bajos. Es importante señalar que en el parámetro M se

obtuvieron valores altísimos para todas las especies, mostrando valores incluso ilógicos para su interpretación biológica. Por lo cual se decide seguir modelando con funciones de producción polinomiales, que además presentan la ventaja de una mayor facilidad para la manipulación matemática.

6.1.3. Modelo Polinomial General.

Debido a los buenos resultados obtenidos con los modelos individuales respecto a la capacidad predictiva de los mismos (R^2), y buscando siempre una mayor eficiencia matemática se procedió a evaluar un modelo general en donde únicamente variaría el coeficiente del término lineal para cada especie, así como su índice de sitio.

El modelo a estimar fue el siguiente:

$$V(t) = a + b_1 T^3 + b_2 T^2 + b_3 T + b_4 (IS * T) + b_5 (IS * E_2 * T) + b_6 (IS * E_3 * T) + b_7 (IS * E_4 * T) + b_8 (IS * E_5 * T) + b_9 (E_2 * T) + b_{10} (E_3 * T) + b_{11} (E_4 * T) + b_{12} (E_5 * T)$$

donde:

$V(t)$: Volumen.

a : intercepto

b_k : son los coeficientes de las variables independientes, para $k=1, 2, \dots, 12$

T : edad de la plantación en años.

T^2 : edad de la plantación al cuadrado.

T^3 : edad de la plantación al cubo.

$IS * T$: interacción del índice de sitio con la edad de la plantación,

cuando $E_k = E_1$ (Melina)

$IS * E_k * T$: interacción del índice de sitio, y edad de la plantación, para las otras

cuatro especies, donde $E_k = E_2, \dots, E_5$ y 2 = eucalipto, 3 = pochote,

4 = laurel, 5 = teca.

$E_k * T$ = interacción de cada especie con la edad de la plantación

En los modelos polinomiales individuales se utilizó *índice de sitio* como variable artificial y en el modelo polinomial general como una variable categórica ordinal. Esto se decidió así para reducir el número de variables a considerar.

A través de los métodos econométricos estandar se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 12. Parámetros y probabilidades de *t* asociados al modelo general.

Parámetros	Variable	estimado	Probabilidad
b ₁	T ³	- 0.015421	0.0001
b ₂	T ²	0.7647	0.0001
b ₃	T	-1.3252	0.0001
b ₄	IS T	-21.36	0.0001
b ₈	IS *E ₅ *T	-0.2693	0.2385
b ₇	IS* E ₄ *T	-0.8375	0.0001
b ₆	IS *E ₃ *T	-0.8646	0.0002
b ₅	IS* E ₂ *T	-0.6700	0.0164
b ₁₂	E ₅ * T	-0.516459	0.9083
b ₁₁	E ₄ * T	-13.837	0.0004
b ₁₀	E ₃ *T	14.76	0.0004
b ₉	E ₂ * T	-23.55	0.0003
a	intercepto	-4.24	0.623

Dicho modelo tiene también incluidas variables artificiales para modelar las diversas relaciones entre edad, especie e índice de sitio. Los parámetros de las interacciones de especie actúan como modificadores del coeficiente lineal de cada ecuación individual por especie. Así mismo, el parámetro del término de interacción índice de sitio-tiempo (IS*T), se ve modificado de acuerdo a la especie (IS*E₂*T.... IS*E₅*T).

Para evitar caer en la trampa de las variables artificiales se eligió omitir la categoría de E₁, es decir la especie 1 (*Melina arborea*). El modelo supone interceptos similares, pero usa variables artificiales para abrir la posibilidad de tener distintas pendientes asociadas a una misma variable numérica

(T e IS*T), según las diferentes categorías de la variable clasificatoria, es decir las especies.

b_1 mide el efecto de T en el caso de melina; $b_3 + b_9$ ó b_{10} ó b_{11} ó b_{12} mide el efecto de T en el caso de Eucalipto, Pochote, Laurel y Teca respectivamente. b_4 mide el efecto de la interacción IS*T en el caso de Melina; $b_4 + b_5$ ó b_6 ó b_7 ó b_8 mide el efecto de dicho término en el caso de Eucalipto, Pochote, Laurel y Teca respectivamente

En este sentido, una vez se define un índice de sitio específico, aunque existe una función de crecimiento volumétrico general, se construyeron cinco ecuaciones que difieren solo en su coeficiente lineal.

Cuadro 13: Estadístico de F, R², Pruebas de Durbin-Watson y de Breusch-Pagan para el modelo polinomial general.

Valor F	Probabilidad de F	R ²	DurbinWatson "W"	Breusch Pagan	Probabilidad Breusch Pagan
195.578	0.0001	0.9525	0.866	193.719	0.000

El coeficiente de determinación múltiple es 0.9525 lo cual significa que este modelo global así estipulado, tiene una la capacidad de explicar más de un 95% de la variación observada en la variable dependiente, V. La probabilidad

de F es de 0.0001 y por tanto es altamente significativa a una probabilidad del 1% .

Respecto a la multicolinealidad, es probable su presencia debido a que hay algunos estimados que presentan errores estándares altos (anexo 6), así como hay algunos que no resultaron estadísticamente diferentes de cero al nivel de significancia del 1% ($IS^*E_5^*T$, $IS^*E_2^*T$ y E_5^*T). Sin embargo como se discutió en el caso de los modelos individuales, la posible presencia de multicolinealidad no es grave para efectos del estudio, debido a que la principal bondad de este modelo debe ser su capacidad predictiva.

La multicolinealidad no viola los supuestos básicos de la regresión. Los estimadores de los coeficientes del modelo son siempre consistentes e insesgados y sus errores estándares son estimados en la forma correcta; su único defecto está relacionado con la dificultad de obtener las estimaciones de los coeficientes con pequeños errores estandar. Esto también puede ser debido al pequeño número de observaciones con las que se contó, principalmente en algunas especies, como Melina.

Al igual que se analizó en los modelos polinomiales individuales, en este caso, la multicolinealidad no se constituye en un problema serio debido a que el

objetivo principal de esta regresión es la predicción y el pronóstico, y por tanto cuanto mayor sea el R^2 , mejor será la predicción.

Con respecto a la autocorrelación se realizó la prueba de Durbin-Watson. El parámetro w , al construir las tablas de decisión para Durbin-Watson cayó en zona de rechazo para niveles de significancia del 0.01; por tanto se rechaza la hipótesis nula: "no existe autocorrelación positiva", lo que necesariamente evidencia la presencia de autocorrelación positiva.

Con respecto a la heterocedasticidad, el valor de probabilidad obtenido evidencia también la existencia de heterocedasticidad. A este respecto, es necesario aclarar que la autocorrelación o la heterocedasticidad no destruyen las propiedades de insesgamiento y de consistencia de los estimadores, sin embargo ya no son los más eficientes (de varianza mínima).

Al respecto es necesario aclarar que dichas pruebas se realizaron debido a que forman parte de los procedimientos econométricos estándar y es necesario conocer las deficiencias de las cuales adolece el modelo así estipulado. Sin embargo considera, que estas situaciones no representan un problema tan grave debido al objetivo de la investigación que necesita principalmente poder predictivo del modelo.

En tal sentido, se continuará trabajando con funciones de crecimiento volumétrico polinomial general, debido a su alta capacidad predictiva y además por presentar la ventaja de una mayor facilidad en la manipulación matemática.

6.2 .Estimación de volúmenes a partir de la Función de crecimiento volumétrico General.

Los volúmenes obtenidos para las cinco especies de acuerdo a tres calidades de sitio se muestran en las figuras 1, 2 y 3. Dichos volúmenes fueron obtenidos a través del tiempo hasta los cien años con el objetivo de lograr ajustar todos los afinamientos de los parámetros financieros a largo plazo.

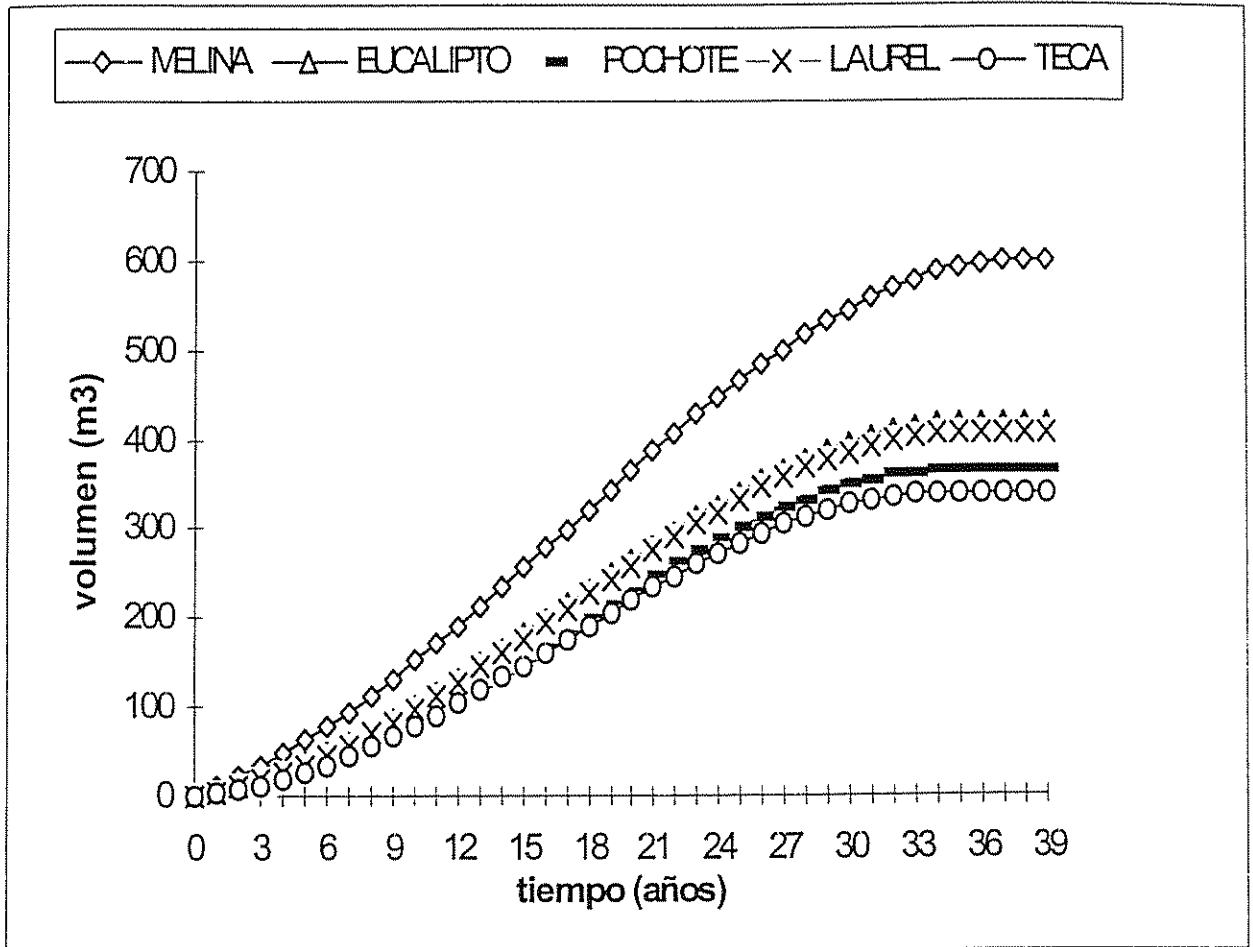


Figura 6: Volúmenes de *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* y *Tectona grandis* obtenidos a partir de la función de crecimiento volumétrico general.

Índice de sitio bajo.

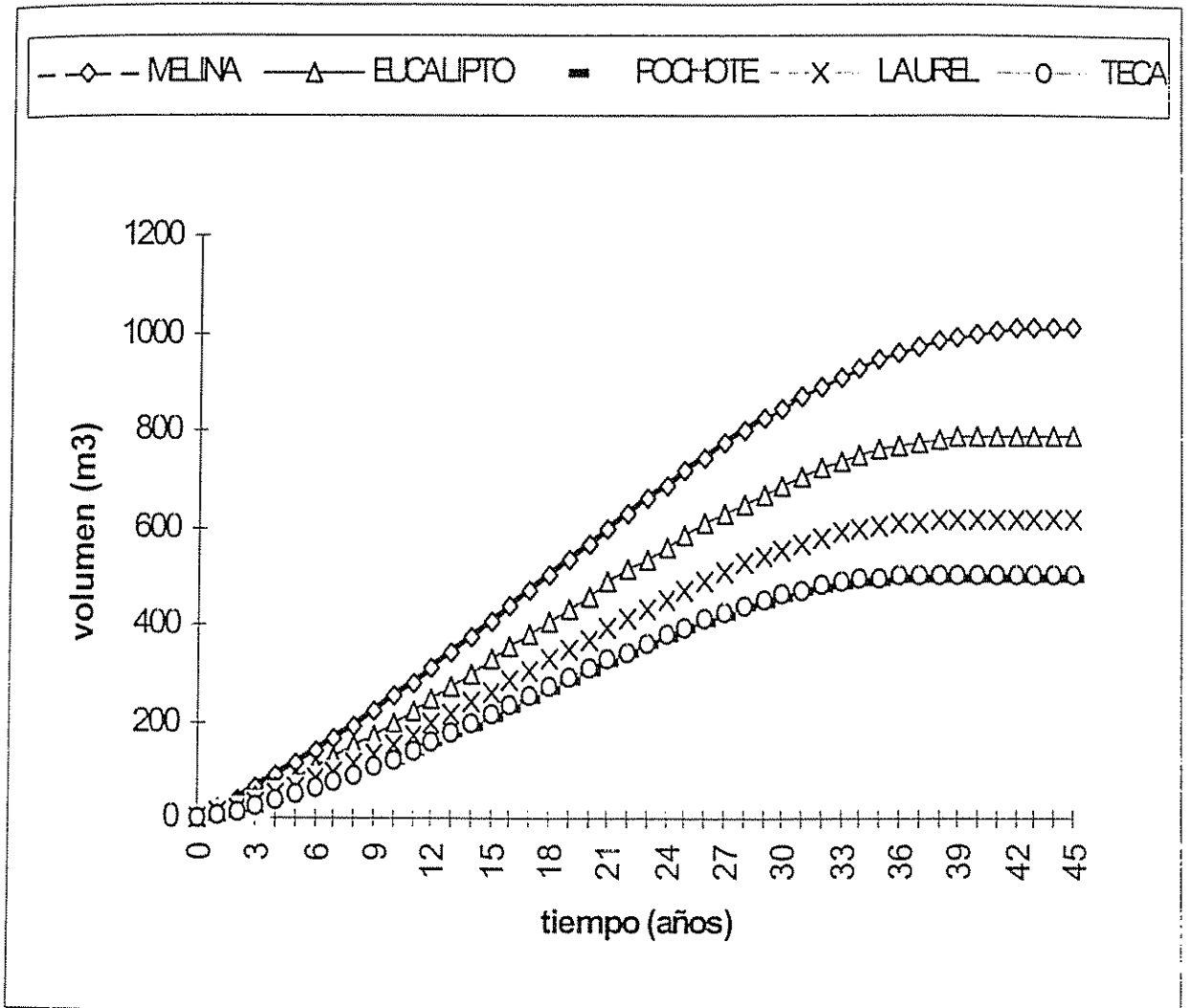


Figura 7: Volúmenes de *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* y *Tectona grandis* obtenidos a partir de la función de crecimiento volumétrico general.

Índice de sitio medio.

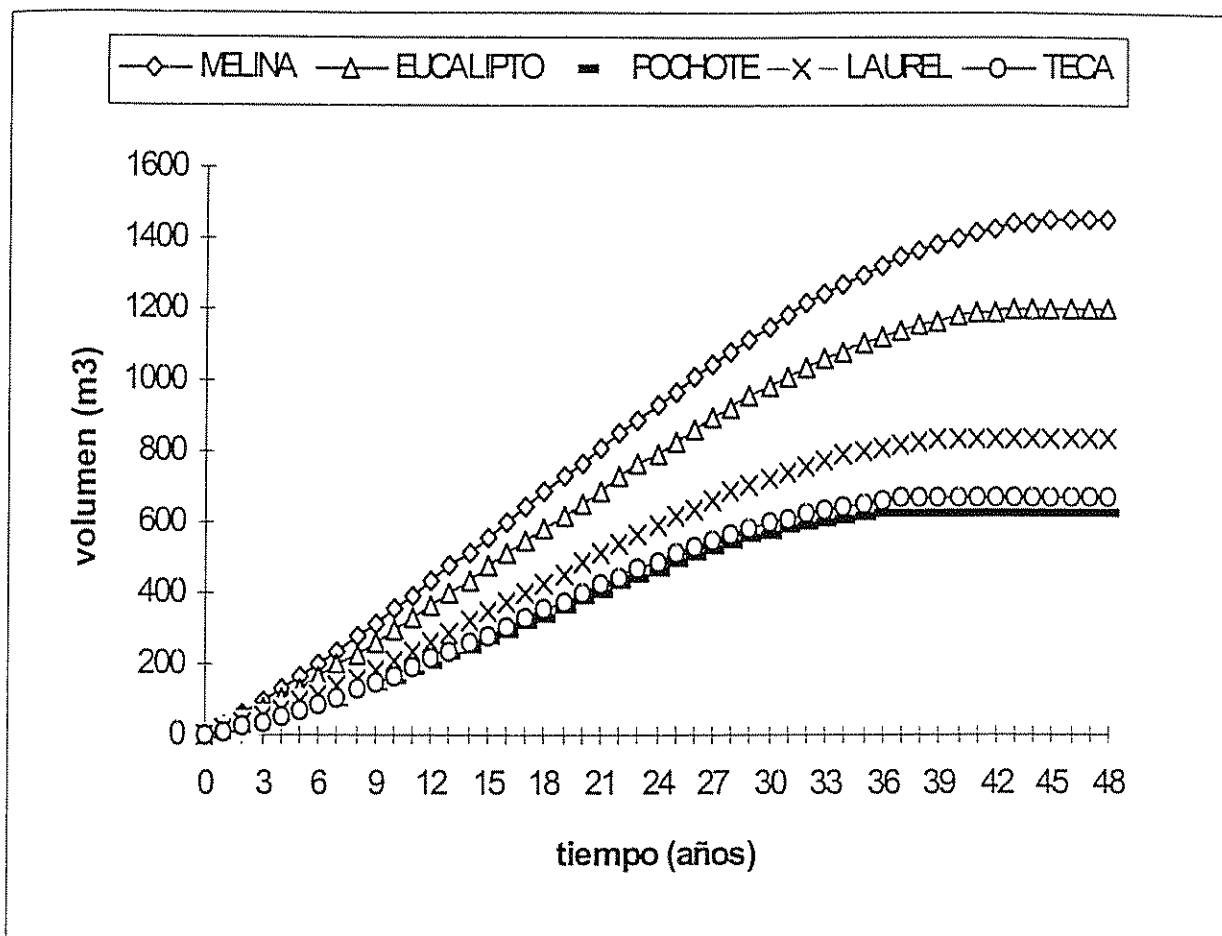


Figura 8: Volúmenes de *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* y *Tectona grandis* obtenidos a partir de la función de crecimiento volumétrico general.

Índice de sitio alto.

Los volúmenes obtenidos a lo largo del tiempo para cada una de las especies de acuerdo a la calidad de sitio, pueden considerarse altos. Esto probablemente se deba a que las funciones de producción han sido basados en datos de una empresa reforestadora que ha escogido sitios muy adecuados para la inversión en dichas plantaciones y por tanto sus promedios de crecimiento son superiores a los normalmente esperados de acuerdo al índice de sitio.

Para el caso de *Gmelina arborea*, para citar un ejemplo, se utilizaron datos principalmente de Puntarenas y Guanacaste, zonas de vida de pacífico seco, con estación seca muy marcada, lo cual está en concordancia con los requerimientos ambientales de esta especie (Murillo, 1997).

En el caso de *Gmelina arborea* es importante mencionar la poca confianza que se tiene respecto a las predicciones de su volumen debido a que no se disponen de datos suficientes (se tiene hasta los catorce años), sobre todo en los estados finales de su crecimiento.

6.3. Construcción de la función de ganancias o beneficios netos.

A continuación detallaremos algunos aspectos de orden práctico para aclarar como se construyó la función de ganancias o beneficios netos, la cual es parte medular del análisis.

6.3.1. Volumen Comercial.

El volumen total se obtuvo directamente de las ecuaciones de las funciones de crecimiento volumétrico, sin embargo, para calcular los ingresos se trabajó solamente con el volumen comercial, es decir un 80% del volumen total. Con ello se pretende corregir parte de los diferenciales de la madera que se pierden en el proceso del aprovechamiento forestal . (Cancino, 1993).

6.3.2. Producto Madera en pie para trozas de aserrío.

En base a los volúmenes comerciales se procedió a realizar todas las modelaciones necesarias para obtener ingresos, costos, beneficios netos y el

Valor Actual Neto respectivo. El producto en base al cual se han hecho todos los cálculos es madera en pie para trozas de aserrío. El producto madera en pie para trozas de aserrío, utiliza dos precios dependiendo del diámetro del fuste, situación debida a la conicidad del árbol. En este sentido, para trozas de aserrío mayores de 30 centímetros se utilizaron los precios estipulados en el cuadro 14. Para trozas de diámetro menor (de 15 a 30 centímetros) se utilizó un porcentaje de dicho precio, detallado en el cuadro 15.

Cuadro 14: Precios actualizados de un m³ de madera en pie para trozas de aserrío con diámetros mayores a 30 centímetros, para las especies consideradas en este estudio.

Especies	Precios en \$US.
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	\$ 16.17
Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>)	\$ 36.76
Pochote (<i>Bombacopsis quinatum</i>)	\$ 59.80
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	\$ 51.47
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	\$ 102.94

Fuentes: Boletín informativo mensual de la cámara costarricense forestal, Enero 1997; Boletín de Precios y otras estadísticas del Sector forestal, 1994; Centro de diversificación Agrícola de Turrialba

Cuadro 15: Precios actualizados de un m³ de madera en pie para trozas de aserrío con diámetros menores (15 a 30 centímetros), para las especies consideradas en este estudio.

Especies	Porcentaje ¹ del precio de trozas mayores de 30 centímetros	Precios en \$ US.
Melina (<i>Gmelina arborea</i>)	55%	\$8.90
Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>)	55%	\$20.22
Pochote (<i>Bombacopsis quinatum</i>)	55%	\$32.89
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	75%	\$38.60
Teca (<i>Tectona grandis</i>)	75%	\$77.21

¹Fuente: Gómez, 1997. Comunicación personal.

A partir del volumen comercial y basados en experiencias de optimización de trozado (Cancino, 1993 y Gómez,1997), se realizó el flujo de ingreso considerando que un 60% se vendería como trozas con diámetros mayores de 30 centímetros y el restante 40% se vendería como trozas de diámetros menores.

6.3.3. Ingreso Bruto.

El ingreso bruto se obtuvo con la multiplicación del Precio (en m³) de la madera en pie para trozas de aserrío por la cantidad de m³. Todos estos cálculos financieros se realizaron a lo largo de cien años, significando una modelación en donde se parte del supuesto que el aprovechamiento total se realiza, en forma excluyente, cada año.

6.3.4. Costos de las plantaciones forestales.

Para la generación del flujo de costos, se utilizó el manual "Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica", (Gómez, M; Reiche, C. 1996). Los costos fijos promedio se aplicaron en forma homogénea a cada una de las especies. Los costos variables

promedio, se obtuvieron diferenciadamente para cada especie. Únicamente los costos variables promedio de Laurel, se construyeron en base a los costos variables promedio de todas las especies. Dichos costos pueden observarse en el cuadros 2A, 3A,4A, 5A y 6A del anexo.

6.3.5. Función de ingresos y costos actualizados.

Para obtener el Valor Actual Neto se actualizaron el flujo de ingresos brutos y el flujo de costos a diversas tasas reales de descuento. Con ello se crea un flujo de beneficios netos actualizados o Valor Actual Neto. El Valor Actual Neto mayor a lo largo de cien años determinará donde ocurre el turno óptimo miópico.

6.4. Afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental.

6.4.1. Escenarios de la modelación del turno óptimo financiero y ambiental.

Para cada especie se utilizaron doce diversos escenarios producto de combinar tres elementos : el índice de sitio, el costo de uso de la tierra y la tasa real de descuento. La

categoría de índice de sitio sirvió para definir la proyección de volumen en base a la cual se construyeron las diversas modelaciones.

CUADRO 16: EXPLICACIÓN DE LOS ESCENARIOS CONSTRUIDOS PARA LOS DIVERSAS DETERMINACIONES DE TURNO ÓPTIMO FINANCIERO Y AMBIENTAL PARA LAS CINCO ESPECIES EN ESTUDIO.

ESCENARIO	ÍNDICE DE SITIO	TASA REAL (%)	COSTO DE USO DE LA TIERRA (\$)
1	BAJO	5%	50
2	BAJO	5%	150
3	BAJO	10%	50
4	BAJO	10%	150
5	MEDIO	5%	50
6	MEDIO	5%	150
7	MEDIO	10%	50
8	MEDIO	10%	150
9	ALTO	5%	50
10	ALTO	5%	150
11	ALTO	10%	50
12	ALTO	10%	150

La renta de la tierra se fijó entre \$50 y \$150 como límite inferior y superior de valores promedios nacionales del alquiler de una hectárea de tierra de vocación forestal.(FUNDECOR, 1997).

Para el afinamiento del turno óptimo se han utilizado diversas siglas que intentan describir la situaciones bajo las cuales dichos Valores Actuales Netos fueron obtenidos. Todos y cada uno de ellos representa en realidad Valores Actuales Netos en su estricto sentido financiero, variando únicamente las condiciones bajo las cuales fueron calculados. En sentido general los costos de oportunidad de la tierra se incluían vía incremento en los costos.

6.4.2. Renta de la tierra.

Un componente importante en el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental es la inclusión del pago de la renta de la tierra, debido a que en la mayoría de análisis de componentes de costos de plantaciones forestales, este pago no es considerado. Al considerar este egreso se complementa el escenario del pago completo por el uso de factores de producción, así: la tasa de interés, representa el costo de oportunidad por el uso del recurso capital, el jornal es el pago por el uso del recurso "mano de obra" y finalmente la "renta" de la tierra representa el pago por el uso de ese recurso.

6.4.3. Valoración económica efectiva del secuestro de dióxido de carbono

Los pagos por mitigación de gases invernadero, como el CO₂, modifica el Valor Actual Neto obtenido vía ingresos.

Para incorporar la valoración efectiva de CO₂ se siguió la metodología citada por Barres (1993) y modificada por Ramírez y Gómez (1997). Los pasos realizados fueron los siguientes:

- a) Se calculó la biomasa total del árbol, basado en la biomasa del tronco, ocupando para ello un factor de corrección de 2.
- b) Se utilizó el peso específico de cada especie en gr./cm³.
- c) Se determinó el contenido de carbón en la madera, la cual es aproximadamente de un 49%.
- d) Se calculó la cantidad de carbono almacenada por biomasa de madera, multiplicando el peso específico de cada especie por el contenido de dióxido de carbono en la madera.
- e) Se calculó la cantidad de carbono adicional anual almacenada por hectárea de plantación.

- f) Se determinó en el carbono acumulado promedio por año, en base la cantidad de carbono acumulada, dividiéndolo entre el número de años para cada turno.
- g) Para determinar el ingreso por almacenamiento de carbono, se determinó un precio de \$10 ton/métrica creando un flujo de ingresos en concepto de pago por el secuestro de dióxido de carbono. Este pago procede del costo ambiental aproximado de liberar esa ton/métrica de carbono a la atmósfera.
- h) Finalmente este ingreso se suma directamente a los Valores Actuales Netos de cada escenario.

Con esta metodología se obtendrían Valores Actuales Netos, que consideran renta de la tierra y pago por almacenamiento de CO₂ al inicio del turno.

Para modelar el pago al final del turno, se actualizó el ingreso por almacenamiento de carbono según la longitud de éste y se le añadió a los Valores Actuales Netos respectivos de cada escenario.

Para modelar el pago anual durante el turno, en concepto de almacenamiento de dióxido de carbono se aplicó al flujo de ingreso por carbono, la fórmula financiera de "Valor Actual Neto de una anualidad" (Brighman, 1988) según la longitud del éste. El ingreso por almacenamiento de dióxido de

carbono "anualizado" se le agrega al Valor Actual Neto respectivo de cada escenario.

6.4.4. El efecto multiperíodo en la planificación forestal.

Un paso importante en el afinamiento financiero del turno óptimo, es determinar el efecto multiperíodo versus una planificación forestal monoperiódica. Con ello se estaría considerando todos los ingresos futuros y costos relativos a un alargamiento del turno comparados con todos los ingresos y costos en que se incurren al considerar el inicio más temprano de un nuevo turno. Dicha modelación es creada a largo plazo (*ad finitum*) para evaluar el impacto financiero que sobre la determinación de turno tendría considerar una planificación multiperiódica, aplicando la fórmula de Faustmann (McClelland, 1989; Nautiyal, 1990; Amacher *et al.*, 1991).

Este afinamiento es importante porque crea dos grandes tipos de Valores Actuales Netos a considerar en el estudio: los que son calculados considerando solamente un período de rotación y aquellos que consideran el efecto multiperíodo *ad finitum* en la planificación forestal.

6.4.5. Nomenclatura utilizada para los Valores Actuales Netos utilizados en el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental.

En el cuadro 17, se detalla la nomenclatura detallada de los Valores Actuales Netos utilizados en el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental.

Cuadro 17: Nomenclatura utilizada para el Afinamiento del Turno Optimo Financiero y Ambiental

Nomenclatura Valores Actuales Netos	Explicación del los indicadores financieros para el afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental.
VAN	Valor Actual Neto monopериódico
VANR	Valor Actual Neto monopериódico recalculado con la renta de la tierra incluida.
VANR02i	Valor Actual Neto monopериódico recalculado con la renta de la tierra y el pago total efectivo al inicio del turno, por almacenamiento de dióxido de carbono durante 20 años.
VANR02f	Valor Actual Neto monopериódico recalculado incluyendo la renta de la tierra y un pago total efectivo al final de cada turno, por almacenamiento de dióxido de carbono en períodos consecutivos de 20 años.
VANR02d	Valor Actual Neto monopериódico con renta de la tierra y pago anual efectivo proporcional por almacenamiento de carbono durante 20 años.
VANFCL	Valor Actual Neto de un flujo constante a largo plazo (efecto multiperiódico)
VANFCLR	Valor Actual Neto de un flujo constante a largo plazo recalculado con la renta de la tierra.
VANFCLR02i	Valor Actual Neto de un flujo constante a largo plazo, recalculado con la renta de la tierra y un pago total efectivo al inicio de cada turno, por almacenamiento de dióxido de carbono en períodos consecutivos de 20 años.
VANFCLR02f	Valor Actual Neto de un flujo constante a largo plazo, recalculado con renta de la tierra y un pago total efectivo al final de cada turno por el almacenamiento de dióxido de carbono en períodos consecutivos de 20 años.
VANFCLR02d	Valor Actual Neto de un Flujo constante a largo plazo, recalculado con la renta de la tierra y el pago anual efectivo proporcional por almacenamiento de carbono ad finitum

6.5. Resumen de Turnos Óptimos Financieros y Ambientales y sus Valores Actuales Netos.

En los cuadros 18, 19, 20, 21 y 22 se detallan cada uno de los turnos óptimo financieros y ambientales obtenidos para las cinco especies, en el marco de doce escenarios diferentes y con diez diversos Valores Actuales Netos, cada uno más afinado desde el punto de vista financiero-ambiental. Así mismo en las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 se presentan los turnos óptimos financieros y ambientales *promedio* para cada una de las especies así como sus Valores Actuales Netos *promedio*.

Cuadro 18: Resumen de Turnos óptimos de Gmelina arborea con sus Valores Actuales Netos respectivos de acuerdo a escenarios creados.

ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VAN (\$ US)	715	715	244	244	1501	1501	583	583	2295	2295	956	956
Turno (años)	26	26	21	21	25	25	17	17	24	24	15	15
VANR (\$ US)	339	-134	104	0	1117	362	410	110	1908	1140	768	415
Turno (años)	27	100	24	0	25	28	18	24	24	26	16	19
VANR02i (\$ US)	6995	6918	7052	7051	11780	11703	11814	11813	17049	16972	17058	17057
Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANR02f (\$ US)	668	-36	197	0	1617	889	557	260	2572	1832	961	619
Turno (años)	29	33	24	0	28	30	19	23	27	29	17	19
VANR02d (\$US)	1342	1266	705	704	2469	2234	1181	1180	3746	3299	1706	1705
Turno (años)	100	100	100	100	42	100	100	100	46	100	100	100
VANFCL (\$US)	1011	1011	283	283	2262	2262	738	738	3644	3644	1301	1301
Turno (años)	23	23	19	19	19	19	14	14	16	16	11	11
VANFCLR (\$US)	461	0	114	0	1630	492	496	122	2946	1655	1007	500
Turno (años)	26	0	23	0	21	26	16	23	17	21	13	17
VANFCLR02i (\$US)	7043	6965	7052	7052	11859	11782	11814	11814	17164	17087	17059	17058
Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANFCLR02f (\$US)	885	0	219	0	2252	1166	668	289	3733	2520	1234	740
Turno (años)	27	0	23	0	22	27	17	22	19	23	13	17
VANFCLR02d (\$ US)	1431	1274	705	704	2914	2249	1181	1180	4426	3622	1706	1705
Turno (años)	35	100	100	100	32	100	100	100	29	42	100	100

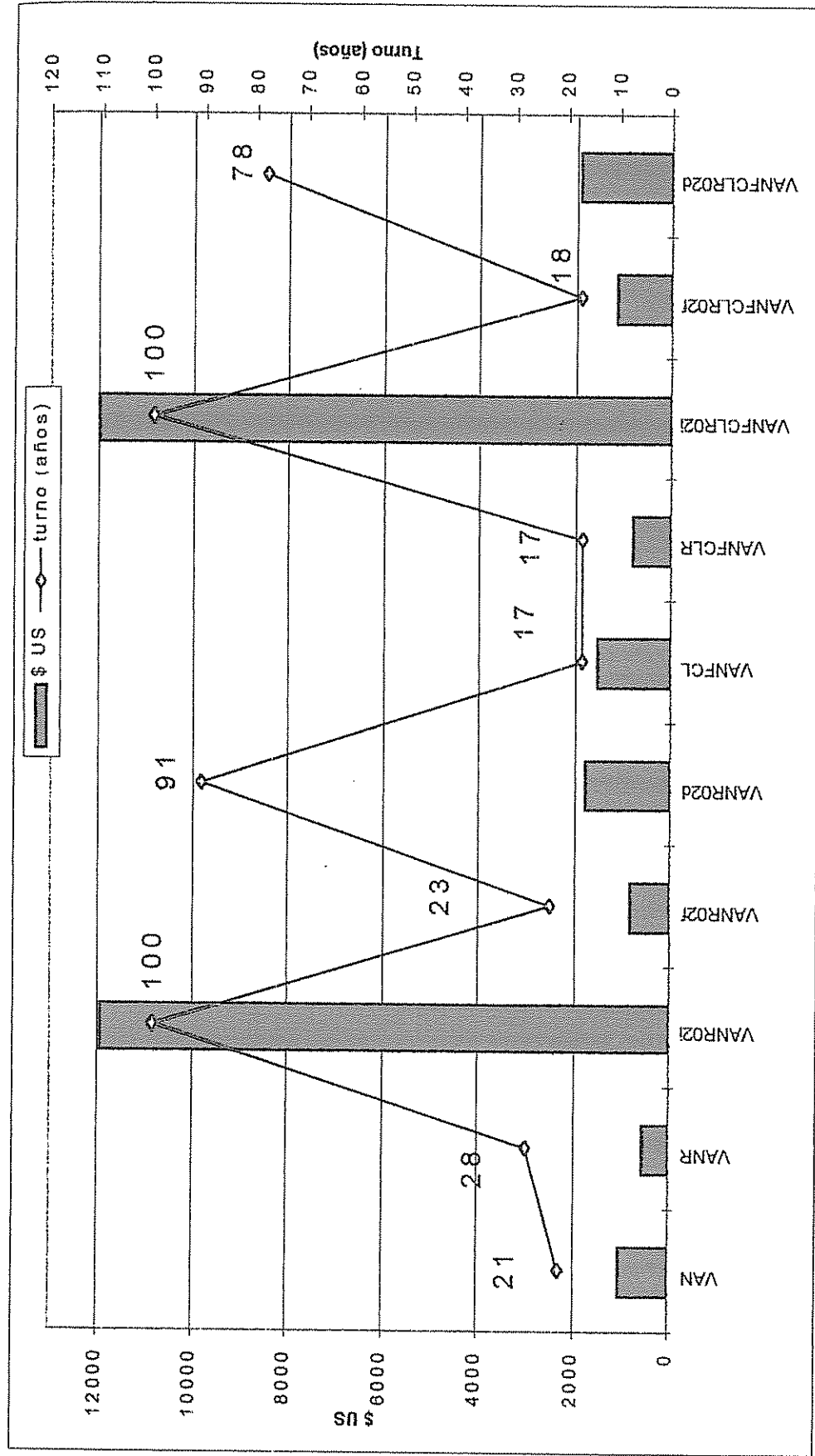


Figura 9 : Turnos óptimos financieros y ambientales promedio de *Gmelina arborea* y sus respectivos Valores Actuales Netos.

Cuadro 19: Resumen de Turnos óptimos de *Eucalyptus saligna* con sus Valores Actuales Netos respectivos, de acuerdo a escenarios creados .

ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VAN (\$ US)	1012	1012	353	353	2763	2763	1119	1119	4526	4526	1968	1968
Turno (años)	25	25	20	20	24	24	16	16	23	23	14	14
VANR (\$ US)	630	-126	207	-2	2375	1603	937	590	4136	3356	1770	1387
Turno (años)	26	27	22	100	24	25	17	19	23	24	14	15
VANR02i (\$ US)	10804	10727	10911	10910	20575	20593	20730	20726	31613	31683	31621	31620
Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANR02f (\$ US)	1130	395	354	108	3238	2488	1188	853	5354	4597	2116	1746
Turno (años)	28	29	23	27	27	28	18	19	19	27	15	16
VANR02d (\$US)	2058	1981	1090	1089	4544	3978	2072	2071	7271	6714	3162	3161
Turno (años)	100	100	100	100	38	100	100	100	40	43	100	100
VANFCL (\$US)	1453	1453	409	409	4293	4293	1469	1469	1469	7497	2857	2857
Turno (años)	22	22	19	19	17	18	13	13	14	14	9	9
VANFCLR (\$US)	886	0	233	0	3623	2354	1195	710	6744	5299	2511	1869
Turno (años)	24	0	22	0	18	21	17	17	17	16	10	12
VANFCLR02i (\$US)	10877	10800	10911	10910	20714	20733	20731	20727	31828	31898	31622	31621
Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANFCLR02f (\$US)	1539	519	398	116	4672	3475	1017	1017	8092	6748	2896	2284
Turno (años)	25	28	22	27	20	23	14	17	17	19	11	12
VANFCLR02d (\$ US)	2285	1995	1090	1089	5626	4701	2072	2071	9071	8023	3223	3161
Turno (años)	31	100	100	100	28	32	100	100	24	28	14	100

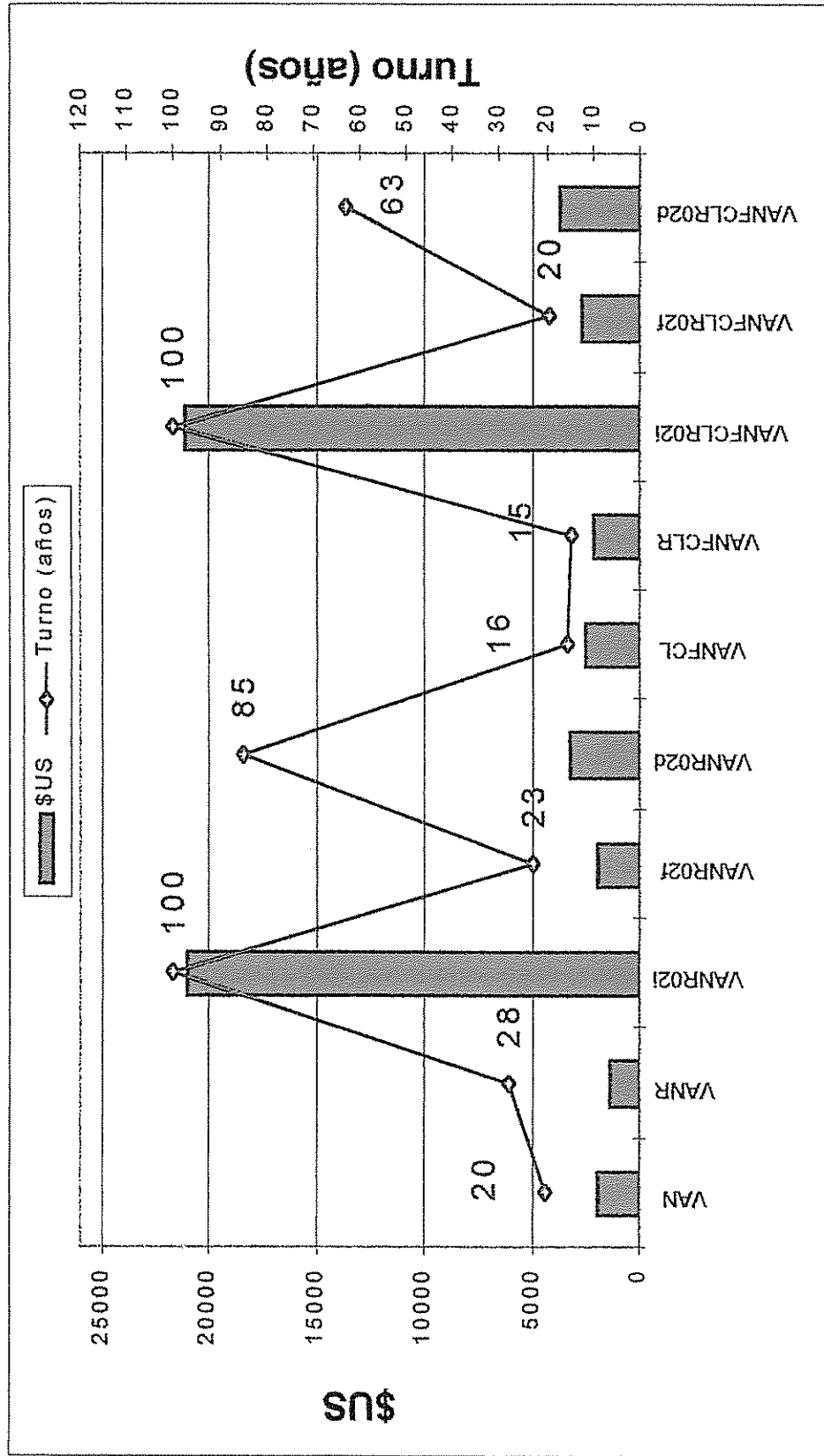


Figura 10: Turnos óptimos financieros y ambientales promedio para *Eucalyptus saligna* y sus respectivos Valores

Actuales Netos .

Cuadro 20: Resumen de Turnos óptimos financieros y ambientales para Bombacopsis quinatum y sus Valores Actuales Netos respectivos, de acuerdo a escenarios creados.

ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VAN (\$ US)	2354	2354	898	898	3417	3417	1376	1376	4485	4485	1879	1879
Turno (años)	24	24	18	18	24	24	16	16	23	23	15	15
VANR (\$ US).	1967	1196	729	415	3030	2254	1196	847	4095	3317	1689	1320
Turno (años)	24	25	19	21	24	24	17	18	23	24	16	17
VANR02i (\$ US)	4513	4436	4575	4575	6190	6113	6226	6225	7959	7882	7966	7966
'Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANR02f (\$ US)	2162	1394	787	475	3285	2517	1271	926	4414	3640	1782	1417
'Turno (años)	25	26	19	21	24	25	17	19	17	25	16	17
VANR02d (\$ US)	2352	1600	896	619	3535	2779	1388	1072	4718	3959	1907	1565
'Turno (años)	26	27	21	24	26	27	19	21	26	27	17	19
VANFCL (\$ US)	3530	3530	1101	1101	5295	5295	1789	1789	1789	7162	2577	2577
'Turno (años)	20	20	16	16	18	18	13	13	16	16	11	11
VANFCLR (\$ US)	2909	1719	875	476	4629	3355	1519	1029	6455	5099	2266	1693
'Turno (años)	21	23	17	20	18	20	14	14	14	18	12	14
VANFCLR02i (\$ US)	4543	4466	4575	4575	6232	6154	6226	6225	8013	7935	7967	7966
'Turno (años)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
VANFCLR02f (\$ US)	3156	1983	941	545	4945	3688	1604	1604	6828	5493	2369	1805
'Turno (años)	21	23	17	20	19	21	14	16	17	19	12	14
VANFCLR02d (\$ US)	3342	2207	1041	686	5148	3935	1698	1251	7036	5747	2453	1921
'Turno (años)	22	24	19	22	20	22	15	18	18	20	13	15

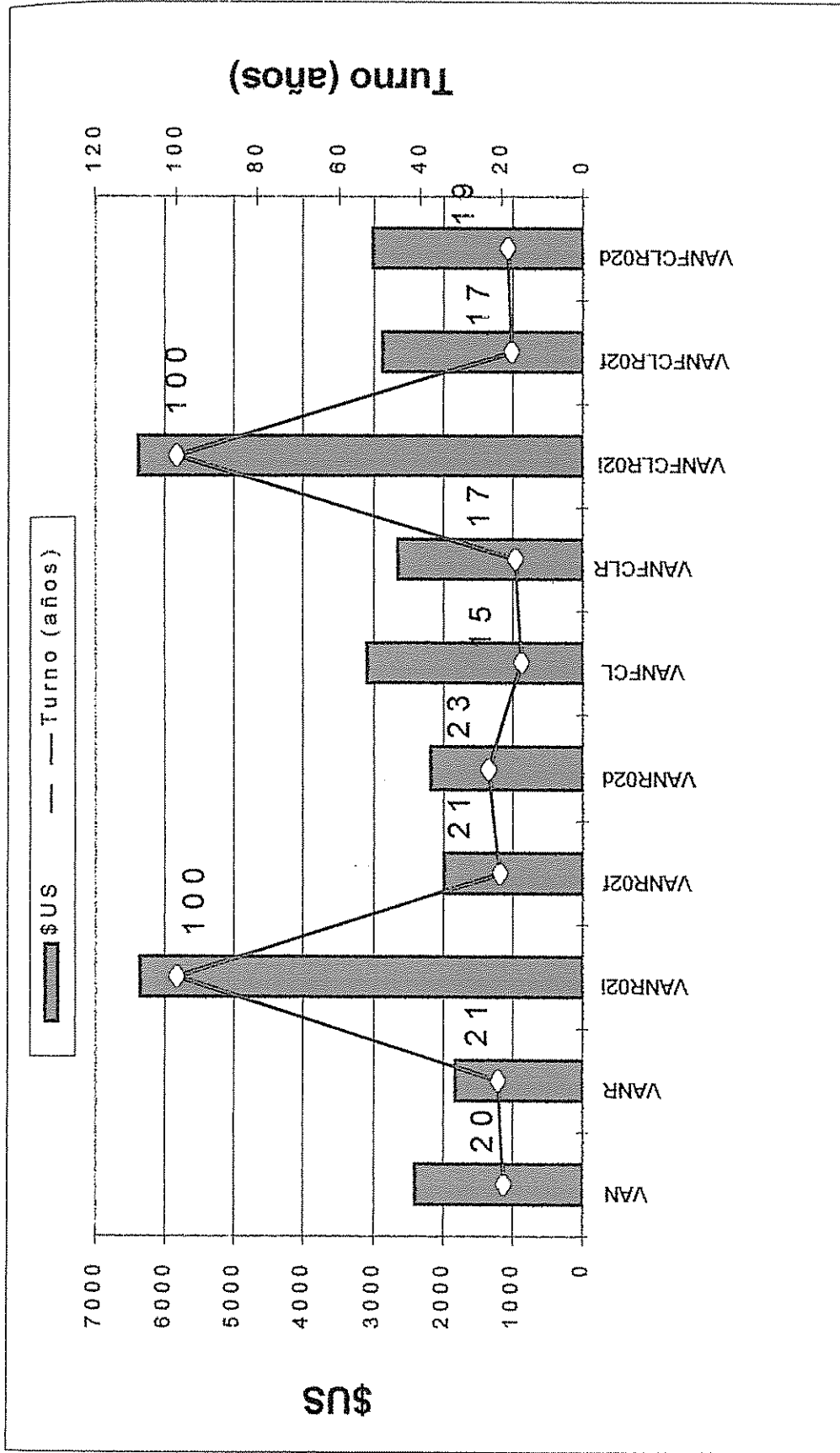


Figura 11 : Turnos óptimos financieros y ambientales promedio de *Bombacopsis quinatum* y sus respectivos Valores Actuales Netos.

Cuadro 21. Resumen de turnos óptimos financieros y ambientales para Cordia alliodora y sus respectivos Valores Actuales Netos de acuerdo a escenarios creados.

ESCENARIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VAN (\$ US)	2449	2449	940	940	4006	4006	1653	1653	5570	5570	2407	2407
Turno (años)	24	24	18	18	23	23	16	16	23	23	14	14
VANR (\$ US)	2062	1291	769	451	3616	2841	1468	1106	5179	4398	2211	1828
Turno (años)	24	25	19	21	24	24	16	17	23	23	15	15
VANR02i (\$ US)	2674	1951	1745	1707	4494	3774	3045	3022	6314	5598	4580	4564
Turno (años)	29	30	52	52	29	31	58	58	29	31	63	63
VANR02f (\$ US)	2219	1451	817	500	3844	3070	1534	1175	5473	4698	2297	1915
Turno (años)	25	25	19	21	24	25	16	17	16	24	15	16
VANR02d (\$US)	2370	1614	901	609	4053	3294	1625	1285	5742	4976	2396	2030
Turno (años)	26	27	20	23	25	26	17	19	25	26	16	17
VANFCL (\$US)	3682	3682	1162	1162	6320	6320	2221	2221	2221	9171	3477	3477
Turno (años)	20	20	15	15	16	16	12	12	14	14	9	9
VANFCLR (\$US)	3056	1858	930	520	5632	4306	1926	1388	8421	6979	3129	2480
Turno (años)	20	22	17	20	17	19	13	13	13	16	10	11
VANFCLR02i (\$US)	3658	2577	1754	1717	6328	5127	3054	3031	9155	7835	4589	4573
Turno (años)	23	26	52	52	20	23	58	58	17	19	63	63
VANFCLR02f (\$US)	3257	2072	984	576	5901	4591	2002	2002	8747	7323	3222	2577
Turno (años)	21	23	17	20	18	19	13	15	15	17	10	11
VANFCLR02d (\$ US)	3401	2248	1060	684	6055	4781	2070	1561	8898	7508	3277	2656
Turno (años)	22	24	18	21	18	20	13	16	16	17	10	12

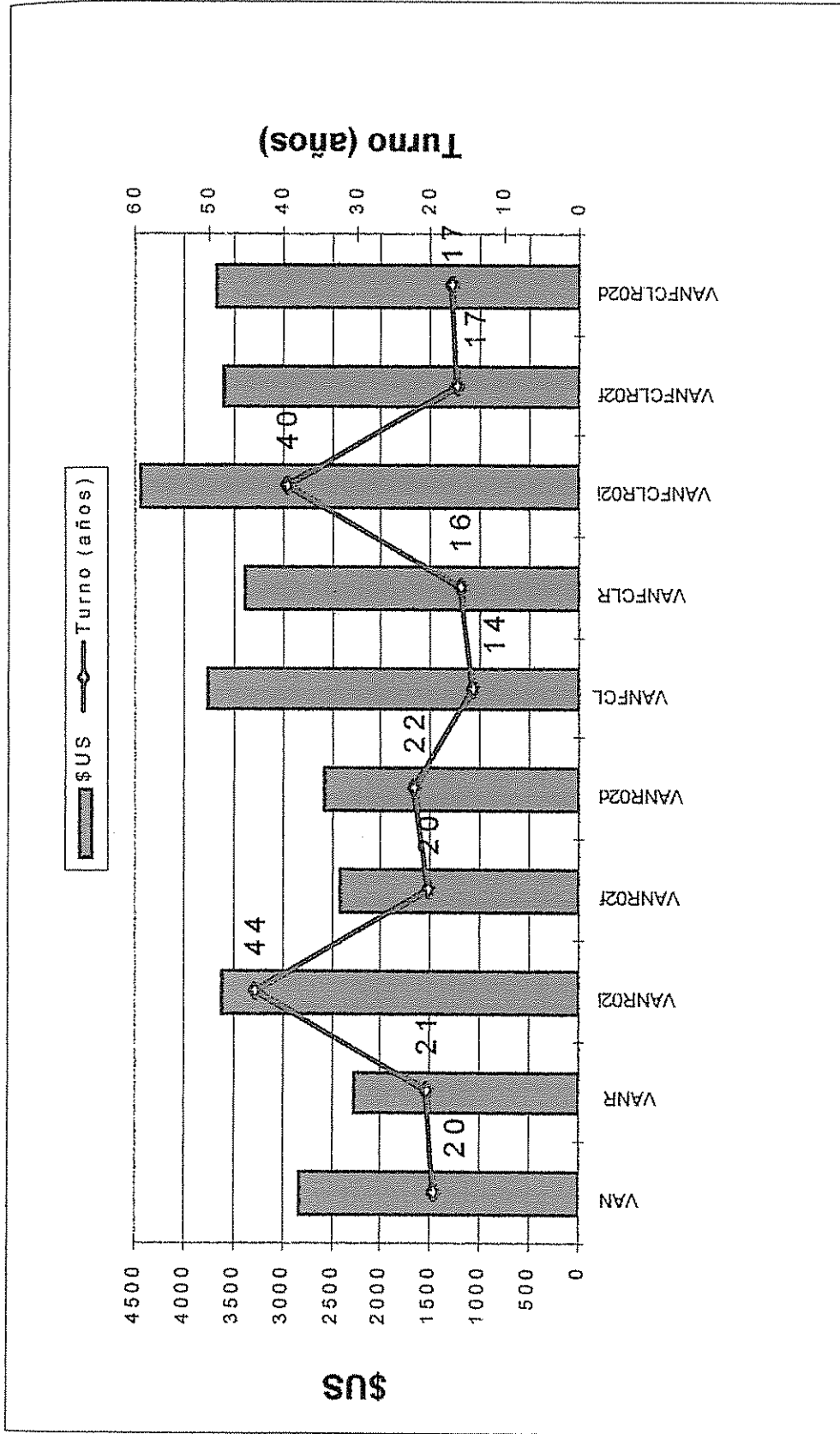
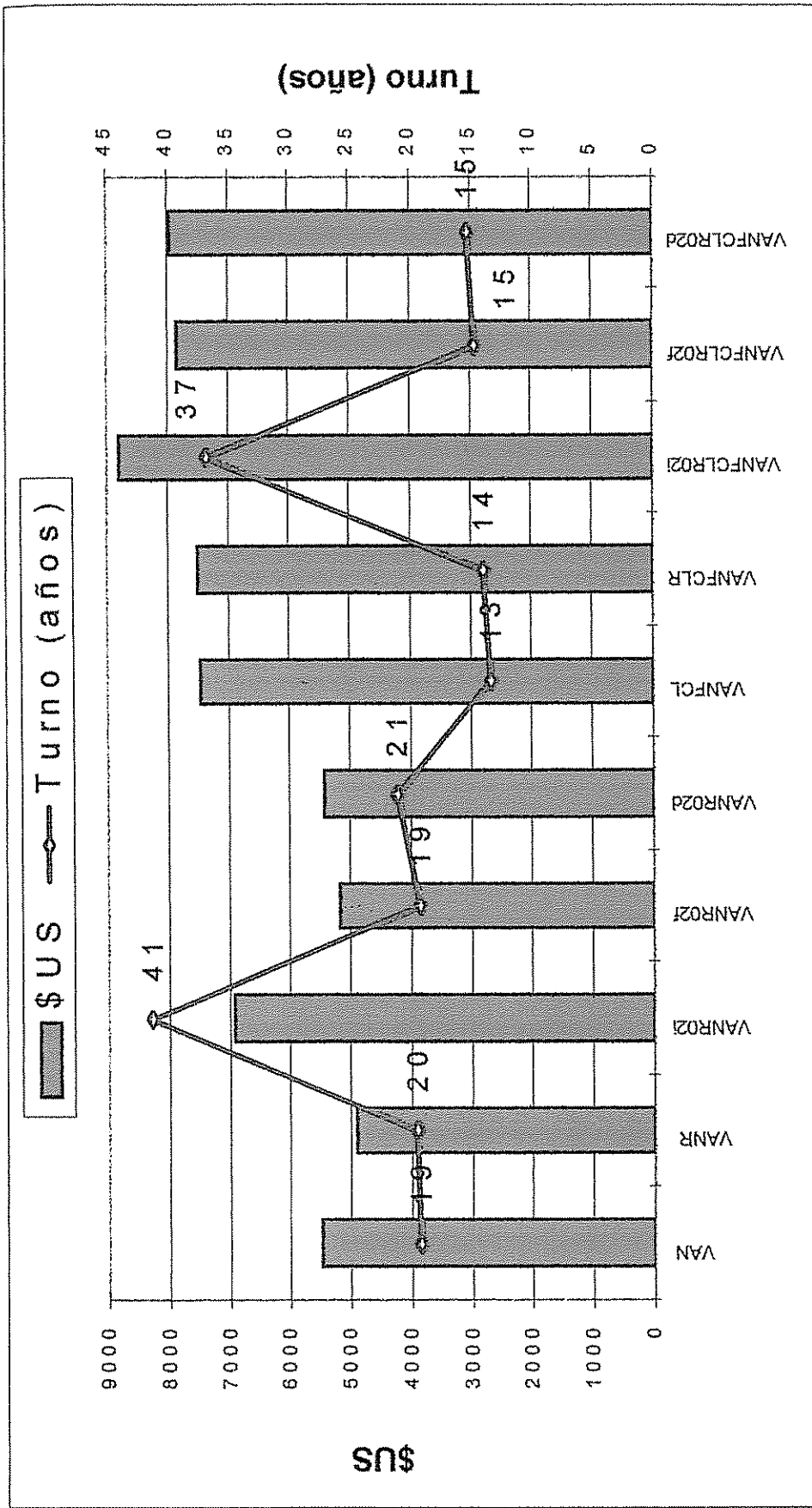


Figura 12 : Turnos óptimos financieros y ambientales promedio de *Cordia alliodora* y sus respectivos Valores Actuales

Netos.

Cuadro 22. Resumen de turnos óptimo financieros y ambientales para *Tectona grandis* y sus respectivos Valores Actuales Netos, de acuerdo a escenarios creados.

Escenario	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VAN (\$ US)	5201	5201	2067	2067	7712	7712	3240	3240	10223	10223	4460	4460
Turno (años)	24	24	17	17	23	23	15	15	23	23	14	14
VANR (\$ US)	4813	4038	1889	1541	7321	6540	3049	2675	9833	9051	4263	3870
Turno (años)	24	24	17	18	23	23	15	16	23	23	14	15
VANR02i (\$ US)	5875	5136	3142	3095	8856	8122	5250	5221	11841	11112	7723	7701
Turno (años)	28	28	49	49	28	29	55	55	29	29	59	59
VANR02f (\$ US)	5099	4324	1969	1625	7729	6954	3163	2793	10364	9584	4408	4024
Turno (años)	24	24	17	18	24	24	16	16	16	24	14	15
VANR02d (\$US)	5361	4594	2095	1767	8101	7333	3312	2956	10842	10074	4579	4205
Turno (años)	25	26	18	20	25	25	17	17	25	25	15	16
VANFCL (\$US)	7995	7995	2638	2638	12347	12347	4464	4464	4464	17006	6600	6600
Turno (años)	18	18	14	14	16	16	11	11	13	13	8	8
VANFCLR (\$US)	7342	6064	2375	1888	11639	10249	4149	3541	16241	14739	6221	5506
Turno (años)	19	20	14	16	16	17	11	11	11	15	9	9
VANFCLR02i (\$US)	8291	7116	3165	3118	12766	11492	5272	5242	17449	16070	7744	7722
Turno (años)	21	23	49	49	19	20	55	55	16	17	59	59
VANFCLR02f (\$US)	7684	6421	2466	1983	12096	10725	4271	4271	16796	15325	6373	5666
Turno (años)	19	20	15	16	17	18	11	12	14	15	9	10
VANFCLR02d (\$ US)	7907	6673	2568	2109	12344	11005	4363	3785	17041	15601	6450	5762
Turno (años)	20	21	15	17	17	18	12	13	15	16	9	10



.Figura 13 : Turnos óptimos financieros y ambientales promedio de *Tectona grandis* y sus respectivos Valores Actuales

Neto

6.5.1. Aspectos comunes a todas las especies en la determinación del turno óptimo financiero y ambiental.

Observando los cuadros 18, 19, 20, 21 y 22 pueden deducirse varias cosas, respecto al turno óptimo financiero y ambiental para diversos escenarios y utilizando diferentes criterios de Valor Actual Neto.

En general los VAN son mayores o iguales a cero (con algunas excepciones que se discutirán más adelante), lo cual como criterio financiero indica que dichas inversiones forestales son financieramente adecuadas. Sin embargo, hay una serie de consideraciones que merecen ser discutidas con mayor detenimiento:

El VAN, obtenido a lo largo de doce escenarios, (primera fila de todos los cuadros) oscila entre \$244 y \$2,295 para *Gmelina arborea*; entre \$353 y \$4,526 para *Eucalyptus saligna*; entre \$898 y \$4485 para *Bombacopsis quinatum*; entre \$940 y \$5,570 para *Cordia alliodora* y entre \$2067 y \$10,223 para *Tectona grandis*. El valor más alto, en cada una de las especies, corresponde a índices de sitio altos y tasa real de descuento del 5%. Los valores más bajos corresponde a escenarios de índice de sitio bajo y tasa de descuento del 10%. De esto se deduce que las plantaciones situadas en lugares con índice de sitio altos

y cuando la tasa de descuento pueda considerarse baja, tendrán tendencia a obtener mayor éxito financiero que en los casos en donde las condiciones son totalmente opuestas (índice de sitio bajo, tasa de descuento alta).

El menor turno de corta, tomando el VAN como criterio decisorio, se da en aquellos escenarios con índice de sitio alto y tasa de descuento real también alta (Escenarios 11 y 12). El mayor turno se observa en aquellos escenarios con índice de sitio bajo y tasa de descuento baja (escenarios 1 y 2).

A lo largo de toda la línea de turnos asociadas con el VAN puede observarse que la longitud del turno es inversamente proporcional a la calidad del sitio y directamente proporcional a la tasa real de descuento. El hecho de que a mejor calidad de sitio, menor es la longitud óptima del turno es el resultado lógico de obtener mayores ingresos en menor tiempo vía existencia de mayor cantidad de producto.

Debido a que la tasa de descuento real es el costo del capital (la rentabilidad mínima que el inversionista forestal le exige a este proyecto en particular, por renunciar a un uso alternativo de sus recursos en proyectos con riesgo similar), al ser ésta más alta, es preciso obtener un ingreso en menor tiempo y por tanto esto se ve reflejado en un turno óptimo financiero más corto.

En otras palabras, el dinero a recibir en el futuro tiene menos valor, por lo que se prefiere obtenerlo tempranamente.

Para obtener VANR a lo largo de los doce escenarios, para las cinco especies, se añadió el costo de uso de la tierra (renta). Es en este paso del afinamiento del turno óptimo financiero y ambiental que se obtienen VANR negativos o cero (para Melina y Eucalipto), lo cual indica no viabilidad desde el punto de vista financiero. Los escenarios donde se observa esta situación corresponden a índices de sitio bajos (reducción en los ingresos vía cantidad ofrecida de madera en pie), tasas de descuento real altas (aumento en los costos de capital) y por supuesto con altos costos de oportunidad de la tierra (\$150/ha/año). Estos escenarios son los más adversos de entre los considerados. Los montos de VANR para Pochote, Laurel y Teca, aunque no llegan a ser negativos, son los menores dentro de los escenarios planteados. El hecho de que no lleguen a ser negativos se debe a sus precios, que pueden considerarse altos, respecto a los precios de Melina y Eucalipto. (ver cuadro 14)

Respecto a los turnos obtenidos con el VANR, puede decirse que son ligeramente superiores a los asociados con VAN (aproximadamente de uno a tres años). Esto puede deberse a que el flujo de costos se ve inflado debido a la inclusión de la renta de la tierra y por ende es necesario crear un mayor ingreso bruto final para equilibrarlo. Aparentemente a mayores costos

periódicos y de operación, más alto será el turno óptimo financiero monopериódico. Obviamente los montos de VANR son sensiblemente menores que los de VAN. Esto indica la importancia de calcular los costos iniciales y de los primeros años con mucho detalle, ya que inciden en la rentabilidad posterior, pudiendo disminuirla drásticamente.

Bajo escenarios adversos, el empresario forestal tiene que esperar más tiempo para obtener un menor ingreso neto final, y por tanto los Valores Actuales Netos también son menores.

Los VANR02i, VANR02f y VANR02d son aquellos Valores Actuales Netos recalculados, incluyendo la valoración efectiva del secuestro de CO₂, al inicio, al final, y durante el turno de la plantación, respectivamente. Estos además incluyen la renta de la tierra.

Los VANR02i (fila 3) arrojan valores que oscilan entre los \$6,918 y \$17,058 para Melina; entre los \$ 10,804 y \$31,683 para Eucalipto; entre los \$4,436 y \$7,966 para Pochote; entre \$1,707 y \$ 6,314 para Laurel y entre \$3,095 y \$11,841 para Teca. El pago efectivo de el almacenamiento de CO₂ y su traspaso real al productor, mejora notablemente la rentabilidad en las plantaciones forestales, en especial si se hace al principio de cada turno.

El pago "por adelantado" de este servicio ambiental motiva si, a realizar turnos bastante prolongados que oscilan en promedio (ver figuras de la 9 a la 13) entre los 41 y los 100 años. Esto aunque, en la práctica forestal resulte inaplicable biológica y mercadológicamente, desde el punto de vista financiero indica que los incentivos forestales, como el pago de servicios ambientales por adelantado, podrían presionar al empresario a alargar más sus turnos, y por ende está en concordancia con uno de los objetivos de estas políticas, el cual es "proteger el medio ambiente a través de formas equilibradas de producción que no signifiquen cambios drásticos en el uso de la tierra de vocación forestal" (FONAFIFO, 1997).

Es importante enfatizar, que este alargamiento tan extremo del turno, se debe a que el pago inicial se calculó con base en la cantidad promedio anual de carbono almacenada en la plantación a lo largo de éste (del turno), la cual aumenta drásticamente al extenderse su longitud. Sin embargo, conllevan el supuesto de que el productor forestal se compromete a trabajar con turnos de dicha duración para poder recibir el pago por adelantado.

Así mismo, el alargamiento del turno obliga a pensar en que dicha inversión forestal representa un ecosistema en equilibrio y que por tanto, es necesario planear su manejo con base en ciertos criterios ambientales de sostenibilidad.

Considerando lo anterior, sería posible pensar que el pago efectivo hecho al empresario forestal por servicios ambientales podría extenderse a la protección del agua para uso urbano, rural o hidroeléctrico; la protección de la biodiversidad para su conservación y uso sostenible, científico, farmacéutico y de investigación; la protección de la belleza escénica natural para fines turísticos y científicos; así como el control de la erosión. La realización de todos estos objetivos es más factible, si se planifican turnos mas largos para las plantaciones forestales aunadas con prácticas sostenibles de manejo silvicultural.

Los resultados también indican que el momento en el cual se realicen estos pagos es sumamente importante. Se está asumiendo el pago del servicio ambiental de almacenamiento de CO₂, a un precio de \$10 / ton, si la plantación realiza este servicio por un período de 20 años. Sin embargo los VANR02f, los cuales consideran exactamente la misma situación, pero con el pago al final del turno de cosecha, son significativamente menores debido al factor "tiempo", que es tan importante desde el punto de vista financiero. Los turnos óptimos, como es de esperarse, son más cortos, comparados a la situación en donde el pago es realizado al inicio, ya que en promedio oscilan entre los 19 y 23 años.

Una modalidad intermedia sería considerar este pago como una anualidad, es decir hacerlo efectivo por partes al final de cada año que se haya

mantenido almacenado el CO₂. Esta situación es la que modelan los VANR02d, en donde el pago por servicios de almacenamiento es traspasado directamente al productor al final de cada período adicional en el turno. Los montos en este caso oscilan entre los \$704 y los \$3,746 para Melina; entre los \$1089 y los \$7,271 para Eucalipto; entre los \$619 y los \$4,718 para Pochote; entre los \$609 y los \$5,742 para Laurel, y entre los \$1787 y los \$10,842 para Teca, los cuales son superiores a los obtenidos cuando la modelación refleja un pago al final del turno, e inferiores a cuando el pago se considera al inicio. El máximo valor ocurre en el escenario 9, es decir en el escenario más favorable: índice de sitio alto, tasa de descuento baja y renta de la tierra baja. El valor mínimo ocurre en el escenario 4, el cual es el menos favorable con todos sus indicadores opuestos al escenario 9.

Los turnos dentro de esta modalidad (VANR02d) también se encuentran en una situación intermedia respecto VANR02i e VANR02f, lo cual era de esperarse. El turno asociado al máximo VANR02d obtenido oscila entre los 25 y los 46 años para las cinco especies.

De todo esto se puede intuir que el pago efectivo anual a medida que se brinda el servicio de almacenamiento de CO₂ tiene un carácter más equilibrado desde la óptica financiera, cumpliendo además con los objetivos ecológico-ambientales propuestos.

Para ilustrar las diferencias que existen en el pago por almacenamiento de dióxido de carbono, de acuerdo al momento en que se hace efectivo dicho incentivo, se incluye en el cuadro 23 los montos pagados en concepto de este servicio ambiental, y sus Valores Actuales Netos. Se incluyen únicamente 30 años del flujo financiero.

Cuadro 23. Ingresos por almacenamiento de carbono de acuerdo al momento de pago respecto al turno para Gmelina arborea en escenario 3.

Turno (años)	Ingreso por almacenamiento de carbono (Pago al inicio del turno) (\$ US)	VANR02i (\$US)	Ingreso actualizado por almacenamiento de carbono. (Pago al final del turno) (\$ US)	VANR02f (\$ US)	Ingreso por almacenamiento de carbono como una anualidad ¹ (Pago durante el turno) (\$ US)	VANR02d (\$ US)
0	0 00	-50 00	0 00	-50 00	0 00	-50 00
1	1.73	-521.39	1.57	-521.55	1.57	-521.55
2	5.46	-642.23	4.51	-643.18	4.73	-642.95
3	11.43	-702.54	8.59	-705.38	9.48	-704.50
4	19.90	-653.54	13.59	-659.85	15.77	-657.67
5	31.07	-578.24	19.29	-590.01	23.56	-585.75
6	45.15	-474.51	25.48	-494.18	32.77	-486.89
7	62.31	-373.46	31.98	-403.80	43.34	-392.44
8	82.73	-275.59	38.59	-319.73	55.17	-303.15
9	106.55	-181.11	45.19	-242.47	68.18	-219.48
10	133.91	-90.02	51.63	-172.31	82.28	-141.65
11	164.91	-2.17	57.80	-109.28	97.37	-69.71
12	199.66	82.74	63.62	-53.30	113.37	-3.55
13	238.23	165.08	69.01	-4.15	130.17	57.02
14	280.69	245.25	73.91	38.48	147.70	112.26
15	327.08	323.72	78.30	74.95	165.85	162.50
16	377.42	400.95	82.14	105.67	184.55	208.08
17	431.73	477.39	85.41	131.08	203.71	249.38
18	489.99	553.49	88.13	151.63	223.26	286.76
19	552.19	629.66	90.29	167.76	243.11	320.58
20	618.28	706.28	91.90	179.91	263.19	351.19
21	688.19	783.70	93.00	188.51	283.43	378.94
22	761.86	862.23	93.59	193.96	303.76	404.13
23	839.19	942.12	93.72	196.65	324.12	427.05
24	920.06	1023.59	93.41	196.95	344.44	447.97
25	1004.34	1106.82	92.70	195.18	364.66	467.14
26	1091.90	1191.94	91.62	191.65	384.72	484.76
27	1182.56	1279.02	90.20	186.66	404.58	501.04
28	1276.14	1368.11	88.49	180.46	424.16	516.13
29	1372.45	1459.21	86.52	173.28	443.42	530.18
30	1471.26	1552.28	84.32	165.33	462.31	543.33

¹ Es el valor presente neto de la anualidad.

Los resultados anteriores asumen que la actividad forestal es monoperiódica, es decir, que una vez finalizada no vuelve a comenzar y no importa (desde el punto de vista financiero) lo que ocurra después. Es por eso y debido a que esta suposición no refleja parte de la realidad cotidiana forestal, en donde generalmente una vez aprovechado un rodal se vuelve a plantar de nuevo la misma o una especie diferente se ha decidido utilizar la fórmula de Faustmann, la cual engloba el importante efecto multiperíodo.

Esto permite considerar el menor valor presente del ingreso futuro que se percibirá más tarde por no iniciar con anticipación una nueva plantación forestal versus el incremento en beneficios que se obtiene producto de dejar más tiempo la antigua plantación.

En este sentido los VANFCL siempre son superiores a los correspondientes VAN. Los máximos ocurren en los escenarios 9 y 10, que reflejan las condiciones favorables de índice de sitio alto y tasa de descuento baja. Los turnos asociados con los más altos VANFCL oscilan entre los 13 y los 16 años, lo cual le impregna un carácter más real desde el punto de vista empírico y de mercado y está en concordancia con los turnos empíricos utilizados para madera de aserrío como en los casos de *Gmelina arborea* y *Eucalyptus saligna*.

El VANFCLR, que contempla además la renta de la tierra, arroja montos menores de rentabilidad y turnos ligeramente superiores para obtenerlos. En dos de los casos mas adversos que son los escenarios 2 y 4, con índices de sitio bajo y renta de la tierra alto, todos los montos son negativos a lo largo de 100 años, no logrando obtenerse ningún turno viable para dos de las especies. Eso significaría que en un entorno de calidad de sitio bajo, renta de la tierra alto y dados los precios actuales de la madera en pie para Melina y Eucalipto, el VANFCLR obtenido es negativo y por tanto como criterio financiero, esto indica que la inversión forestal no debería realizarse.

Al recalcular los VAN con la interiorización del servicio ambiental de almacenamiento de CO₂ se obtienen VANFCLR02i, VANFCLR02f y VANFCLR02d, según las modalidades de pago anteriormente discutidas. Los montos mayores se observaron (al igual que en el caso monoperiódico) al pagar este servicio ambiental al inicio, y por ende el VANFCLR02i tiene asociados las mayores longitudes de turno. Es importante resaltar que los VANFCLR02i son los más altos para todos escenarios construidos. (figuras 9, 10, 11, 12 y 13) seguidos muy cerca por los VANR02i. Ambos tienen asociada a su vez las mayores longitudes de turno promedio.

Como es de esperarse los VANFCLR02f son los que presentan los montos mas bajos dentro de los que incluyen pagos por el servicio ambiental

modificando el flujo de ingresos. Sus turnos son también los más cortos de esta categoría, llegando en los escenarios más favorables a mínimos de 15 a 20 años. De esto se deduce que el pago por almacenamiento de CO₂ realizado al final del turno no modifica sustancialmente su longitud óptima si lo comparamos con los turnos obtenidos mediante el VAN y el VANR.

Los valores del VANFCLR02d son relativamente altos, encontrándose entre los obtenidos con pagos al inicio y al final del turno. Los mayores de ellos, para cada una de las especies, se observan en el escenario 9, el cual ya se ha identificado antes como el más favorable. Los turnos encontrados oscilan entre los 15 y los 29 años.

Para ilustrar las diferencias que existen en el pago por almacenamiento de dióxido de carbono con el efecto multiperiodo, de acuerdo al momento en que se hace efectivo dicho incentivo, se incluye en el cuadro 24 los montos pagados en concepto de este servicio ambiental, y sus Valores Actuales Netos. Se muestran únicamente 30 años del flujo financiero.

Cuadro 24. Ingresos obtenidos por almacenamiento de carbono de acuerdo al momento de pago con efecto multiperiodo para Gmelina arborea en escenario 3.

Turno (años)	Ingreso por almacenamiento de carbono (Pago al inicio del turno) (\$ US)	VANFCLR02i (\$US)	Ingreso actualizado por almacenamiento de carbono (Pago al final del turno) (\$ US)	VANFCLR02f (\$ US)	Ingreso por almacenamiento de carbono como una anualidad (Pago durante el turno) ¹ (\$ US)	VANFCLR02d (\$ US)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.73	-5478.95	1.57	-5480.60	1.57	-5480.60
2	5.46	-3542.98	4.51	-3548.20	4.73	-3546.96
3	11.43	-2710.61	8.59	-2721.58	9.48	-2718.15
4	19.90	-1982.35	13.59	-2001.48	15.77	-1994.87
5	31.07	-1469.58	19.29	-1499.52	23.56	-1488.68
6	45.15	-1051.70	25.48	-1095.28	32.77	-1079.13
7	62.31	-741.86	31.98	-802.12	43.34	-779.55
8	82.73	-500.46	38.59	-580.61	55.17	-550.51
9	106.55	-305.19	45.19	-408.60	68.18	-369.85
10	133.91	-142.42	51.63	-272.58	82.28	-224.09
11	164.91	-3.25	57.80	-163.81	97.37	-104.49
12	199.66	118.41	63.62	-76.27	113.37	-5.08
13	238.23	226.92	69.01	-5.71	130.17	78.37
14	280.69	325.53	73.91	51.07	147.70	149.00
15	327.08	416.70	78.30	96.47	165.85	209.17
16	377.42	502.38	82.14	132.40	184.55	260.72
17	431.73	584.10	85.41	160.38	203.71	305.12
18	489.99	663.10	88.13	181.66	223.26	343.55
19	552.19	740.40	90.29	197.26	243.11	376.96
20	618.28	816.83	91.90	208.07	263.19	406.16
21	688.19	893.07	93.00	214.81	283.43	431.82
22	761.86	969.67	93.59	218.13	303.76	454.49
23	839.19	1047.10	93.72	218.57	324.12	474.64
24	920.06	1125.72	93.41	216.59	344.44	492.67
25	1004.34	1205.80	92.70	212.63	364.66	508.91
26	1091.90	1287.57	91.62	207.03	384.72	523.66
27	1182.56	1371.17	90.20	200.11	404.58	537.13
28	1276.14	1456.69	88.49	192.14	424.16	549.55
29	1372.45	1544.17	86.52	183.37	443.42	561.06
30	1471.26	1633.61	84.32	173.99	462.31	571.80

¹ Es el valor presente neto de la actualidad

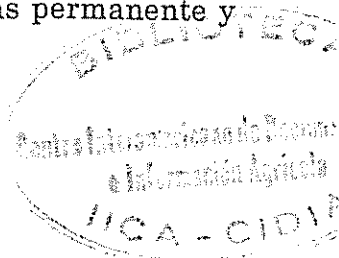
En las figuras 9, 10, 11, 12 y 13 pueden observarse los turnos financieros y ambientales promedio y su Valor Actual Neto para cada una de las especies. En ellos se han obtenido los promedios simples tanto de los diversos turnos óptimos como de sus Valores Actuales Netos asociados.

Los VAN afinados más altos en promedio, es decir, independientemente del escenario supuesto, son los VANFCLR02i para todas las especies: aproximadamente \$ 12000 para *Gmelina arborea*, \$21000 para *Eucalyptus saligna*, \$6,500 para *Bombacopsis quinatum*, \$4500 para *Cordia alliodora* y \$8800 para *Tectona grandis*.

Sus turnos promedios son sin embargo los segundos más largos de toda la modelación, superados sólo por los turnos encontrados a través de VANR02i. Los turnos óptimos financieros y ambientales promedio para Melina, Eucalipto y Pochote son 100 años. Para Laurel se encontró un turno promedio de 40 años y para Teca, 37 años.

Esto lleva a concluir que a través de un arpegio de escenarios que engloban índice de sitio, renta de la tierra y tasas de descuento, las rentabilidades que incluyen valoración de CO₂ y su pago efectivo al productor al inicio de cada turno, son sumamente altas y fomentan una elongación considerable del turno. Sus turnos relativamente largos, reafirman el objetivo

de concebir las plantaciones forestales como un ecosistema más permanente y equilibrado.



6.5.2. Aspectos específicos de cada especie relativos en la determinación del turno óptimo financiero y ambiental.

Debido a que muchas de las situaciones que se observan en cada una de las especies ya han sido discutidas en los aspectos comunes de la determinación del turno óptimo financiero y ambiental, solamente se discutirán aquellos casos que sean llamativos o interesantes desde el punto de vista del análisis.

a) *Gmelina arborea*.

Para esta especie, así como para todas las demás, los mayores valores de VAN ocurren al incluir el pago por el servicio ambiental de almacenamiento de CO₂ al inicio del turno en una modelación multiperiódica (VANFCLR02i). Los montos oscilan entre \$7,043 para el escenario 1 y \$17,164 para el escenario 9. Los turnos están todos a 100 años, debido a que se decidió determinar 100 años como límite permisible para una proyección casi *ad finitum*. Sin embargo a manera de ejercicio se modeló hasta los 700 años y el VANFCLR02i seguía aumentando, sin alcanzar un máximo. Es importante recalcar que dichos

elongamientos tan extremos, del turno se deben a que este pago inicial se calculó en base en la cantidad promedio anual de carbono almacenada en la plantación a lo largo del tiempo, la que tiende a aumentarse cuando se alarga su longitud. Entonces, el aumentar el turno en un año en el futuro lejano y posponer la recepción de los ingresos en concepto de la venta de la madera (con un VAN mínimo para turnos ya muy largos), se ve más que compensado por el incremento que produce en el pago inicial por un mayor almacenamiento promedio de CO₂. Además afecta la forma funcional escogida, en donde una vez alcanzado el máximo, el volumen de la plantación permanece casi constante, excepto por un pequeño descenso asumido en un 30% a lo largo de cien años.

Los turnos empíricos para melina se determinan donde el ICA (incremento corriente anual) es máximo. La edad a la que se alcance este turno dependerá de la velocidad de crecimiento de los árboles. En los mejores sitios el turno se alcanza antes que en los de menor calidad. Según este criterio, los máximos de producción marginal en volumen para los índices de sitio 28, 21 y 14 se alcanzan entre los 8 y los 12 años. (Murillo, 1991).

Los turnos obtenidos en este estudio con el VANFCL promedio, que sería el mejor afinamiento para comparar los turnos empíricos, ronda alrededor de los 17 años. Esto significa que los turnos obtenidos con VAN con efecto multiperíodo, son algunos años mayores que los turnos empíricos.

b) *Eucalyptus saligna*.

En el cuadro 19 se puede observar el resumen de turnos óptimos con sus Valores Actuales Netos respectivos en el caso de *Eucalyptus saligna*.

Los Valores Actuales Netos máximos también se observan en VANFCLR02i en los escenarios 9 y 10, los cuales implican índices de sitio altos, tasa de descuento baja (5%) y renta de la tierra igualmente baja.

En el cuadro 19 y en la figura 10 puede observarse que los Valores Actuales Netos mayores corresponden al VANR02i y al VANFCLR02i. Los primeros oscilan entre los \$10,727 y los \$31,683; y los segundos entre los \$10,800 y los \$31,898. Sus turnos óptimos son también los más altos ya que todos ellos llegan a los 100 años.

En el cuadro 19 puede observarse claramente la tendencia de que los escenarios más favorables tienen turnos menos prolongados a nivel general, excepto cuando se incluye la valoración efectiva del CO₂.

Es interesante notar que los VANFCL obtenidos en los índices de sitio altos conjugan muy bien con los turnos empíricos. Esto puede observarse en la fila 6 del cuadro 19, en donde los turnos para los escenarios 11 y 12 son de 9

años. Estos se encuentran en concordancia con los plasmados en la literatura (Ferreira, 1978; Walters 1980; Barros *et al.*, 1984) los cuales oscilan entre los 5 y los 10 años cuando se busca como producto leña, pulpa, e incluso madera para aserrío. Igualmente los turnos obtenidos a través del VANFCLR, muestran rangos similares para esos mismo escenarios.

c) *Bombacopsis quinatum*

En el cuadro 20 se observa el resumen de turnos óptimos financieros y ambientales para la especie *Bombacopsis quinatum*, y en la figura 11, los turnos óptimos financieros y ambientales promedio.

Los turnos obtenidos a través del VANFCLR02i y VANR02i son todos, como en los casos anteriores, 100 años. A pesar del gran conjunto de escenarios reales ante los cuales podría enfrentarse el empresario forestal al tomar la decisión sobre el turno de su plantación, puede asegurarse que con esta especie su rentabilidad será siempre aceptable. Para el caso de *Bombacopsis quinatum*, debido probablemente a su alto precio en el mercado de maderas, el momento del pago por el servicio ambiental no reviste la importancia que en los anteriores.

Es también llamativo que los turnos empíricos generalmente recomendados son de 22 a 30 años. Bajo la modelación realizada el turno promedio obtenido a partir de escenarios previstos es de 100 años. por supuesto comparándolo con VANFCLR02i y VANR02i. Por otra parte todos los otros tipos de VAN implican turnos óptimos inferiores a los 24 años.

Al respecto es conveniente señalar que la alta resistencia natural de la madera del pochote a hongos de pudrición blanca y marrón, la convierten en una especie muy apetecida y ello se ve reflejado en su precio, el cual solamente está por debajo del de *Tectona grandis*.

d) *Cordia alliodora*.

En el cuadro 21 se presenta un resumen de los turnos óptimos con sus Valores Actuales Netos respectivos, de acuerdo a los doce escenarios creados para *Cordia alliodora*.

Buscando siempre un procedimiento más racional para la toma de decisiones del empresario forestal referente al turno de cosecha, se escoge aquel que resulte en los máximos beneficios netos actualizados, dadas las condiciones y escenarios prevalecientes.

De nuevo los largos turnos implicados por el VANFCLR02i no lo hacen desfavorable, ya que lo determinante es su valor. Estos oscilan entre los 17 y 63 años; con un promedio de 40 años. Se observa para todas las especies que al incluir el efecto multiperiodo la longitud de los turnos óptimos, disminuye.

El máximo monto de Valor Actual Neto observado se da en VANFCL (escenario 10), el cual tiene un valor de \$9171 a los 14 años, lo que confirma el efecto que tiene sobre la decisión del turno, la consideración de las rotaciones multiperiódicas. Además, indica que para este escenario favorable, el pago por el servicio ambiental de almacenamiento de CO₂ (ya sea al inicio, durante o al final del turno) tiene un impacto inferior sobre el VANFCL que el costo de oportunidad de la tierra.

Es importante resaltar para esta especie, que el alto precio de su madera en pie para trozas de aserrío, así como el hecho de que el precio de las trozas de volúmenes inferiores sea solamente un 25% de las trozas de volúmenes mayores, hace que *Cordia alliodora* tenga un flujo de ingresos considerable, lo cual le lleva a alcanzar altas rentabilidades en corto tiempo.

Puede también observarse que debido a su alto precio, la valoración de CO₂ tiene una influencia relativa menor en la determinación del turno, que

para las otras especies con precios inferiores (Melina, Eucalipto, Pochote), ya que si se descompone el flujo de ingresos en porcentajes, el ingreso debido al precio tiene una proporción mayor que el ingreso debido a valoración efectiva de CO₂.

Esto se determina fácilmente al observar la figura 12, en donde en promedio, los VANFCLR02d y VANFCLR02f están por debajo del VANFCL. De aquí se deduce que los pagos por almacenamiento de CO₂ realizados durante y al final del turno, no compensan el costo de uso de la tierra, que no incluye el VANFCL.

En la figura 12 se pueden apreciar los turnos óptimos financieros y ambientales promedio y sus respectivos valores actuales neto, para el caso de *Cordia alliodora*.

Cordia alliodora es una especie que en general ha brindado mejores resultados utilizándola en sistemas agroforestales, que como plantaciones forestales netamente puras. Se podría decir que en América Central, los socios de laurel con café, cacao, caña de azúcar y pastos constituyen los mejores ejemplos de la agroforestería tradicional. Por ende la mayor parte de la literatura arroja turnos de esta especie como árboles individuales y/o incluida en sistemas agroforestales. Este turno ronda los 34 años (Somarriba, 1986) o

incluso un poco menor, de 25 a 30 años (Venegas, 1971; Salas, 1980; Oviedo, 1981) . Por ser *Cordia alliodora*, muy sensible a la densidad, su turno en plantaciones se reduce drásticamente hasta incluso 17 años (CATIE, 1994). Este turno es compatible con el implicado por el VANFCLR en el análisis.

d) *Tectona grandis*

En el cuadro 22 puede observarse el resumen de turnos óptimos con sus correspondientes Valores Actuales Netos para el caso de *Tectona grandis*.

Con esta especie también se llega a la conclusión de que la aplicación de la fórmula de Faustmann, es decir la consideración del “efecto multiperíodos”, resulta en turnos óptimos de cosecha más cortos, ya que se modifican los flujos de costos e ingresos generados por la actividad forestal al tomar en cuenta el posible beneficio adicional en el futuro por comenzar nuevos ciclos de plantaciones forestales más temprano.

En la figura 13 se observan los turnos óptimos financiero y ambiental promedio y sus respectivos Valores Actuales Netos asociados.

Los mejores Valores Actuales Netos en este caso son: VANFCLR02i (37 años), VANFCLR02d (15 años), VANFCLR02f (15 años) y VANFCLR (14 años)

Con ello se evidencia nuevamente que la valoración efectiva del almacenamiento de CO₂ y su traspaso real al productor forestal incide directamente en obtener altas rentabilidades y ayuda a la sostenibilidad financiera de la inversión. Así mismo, que su pago al inicio del turno resulta en un considerable alargamiento de éste.

A nivel particular, en el cuadro 22, se observa que el máximo se da en VANFCLR02i en el escenario 9. Su valor es \$ 17449 /ha y su turno asociado de 16 años.

Los turnos normalmente utilizados en la práctica forestal más empírica para esta especie son de grandes longitudes. Algunos autores sugieren que deben ser de 25 y 30 años (Torres 1982; Ugalde, 1990) e incluso turnos financieros de 35 años (Alfaro, 1991). En contraste, el VANFCLR calculado en este estudio implica rotaciones de alrededor de los 15 años.

La madera de teca es muy fina, dura y resistente a los hongos, termitas e intemperie; fácil de trabajar, secar y preservar, lo que además de su belleza la convierten en una de las especies más valiosas del mundo, lo cual se refleja grandemente en su precio, que es el más alto de las especies utilizadas para plantaciones forestales.

Este alto precio influye, al igual que en *Cordia alliodora*, en que al construir su flujo de caja, los ingresos que se obtienen representan montos muy grandes comparados con los costos, que prácticamente se mantienen, en promedio, cercanos a los de otras especies forestales con precios de madera inferiores. En tal sentido las rentabilidades obtenidas por el empresario forestal son altas a longitudes óptimas de turno según los resultados de esta modelación.

Es por ello que los Valores Actuales Netos promedio incluyendo el pago por carbono realizado al final y durante (VANFCLR02d, VANFCLR02f) aunque son menores que el VANFCLR02i, no están tan alejados de éste como en el caso de las tres primeras especies (Melina, Eucalipto, Pochote). Esto se debe a que en el flujo de ingresos, la proporción debida a la venta de la madera en pie es considerablemente mayor a la obtenida en concepto de almacenamiento de CO₂. Esto se refuerza aún más debido a que, al igual que para Laurel, el precio de madera en pie para trozas de diámetros menores es sólo un 25% menor que precio para trozas de diámetros superiores.

VANFCL es también alto debido a que conjuga el efecto multiperíodo y no incluye el costo de oportunidad por el uso de la tierra y por tanto, es financieramente ventajoso. Al compararlo con VANFCLR02d y VANFCLR02f,

se evidencia que el ingreso debido a pago por almacenamiento de CO₂ es, en proporción, muy pequeño para esta especie.

7. CONCLUSIONES.

* En base a la tablas preliminares de rendimiento utilizadas para *Gmelina arborea*, *Eucalyptus saligna*, *Bombacopsis quinatum*, *Cordia alliodora* y *Tectona grandis*, el modelo polinomial cúbico presentó una alta bondad de ajuste. La prueba de F fue altamente significativa al nivel de 0.01 y se obtuvo un coeficiente de determinación múltiple del 95.25%. lo cual le adjudica una alta capacidad explicativa al modelo así formulado, que es la característica más deseable dados los objetivos de la presente investigación. Sin embargo, no se tiene tanta certeza sobre las predicciones de crecimiento volumétrico en el caso de *Gmelina arborea* más allá del año 15, debido a la falta de datos sobre su comportamiento productivo a largo plazo.

*Aunque las predicciones de crecimiento volumétrico se consideran más confiables en el caso de las otras cuatro especies (sobre todo Pochote, Laurel y Teca); los resultados de los análisis financiero-ambientales en este estudio deben de considerarse contingentes a la exactitud de dichas predicciones.

* Los turnos óptimos financieros y ambientales para las cinco especies en estudio presentan considerable variabilidad de acuerdo al proceso de "afinamiento" (inclusión de conceptos financieros y ambientales), así como de

acuerdo a los *escenarios* (tasa real de descuento, renta de la tierra, índice de sitio) bajo los cuales se originaron; por lo tanto, no deben de ser interpretados como absolutos.

* Dentro de la amplia gama de turnos óptimo financiero ambientales encontrados es conveniente escoger aquellos que resulten más viables desde la óptica y realidad del productor forestal. Esta depende, por ejemplo, de la calidad de su sitio, el costo de oportunidad que le asigna a su tierra y capital, la existencia de mercado en la zona para la especie que se está trabajando, si su perspectiva para la producción forestal es mono o multiperiodica (i.e. de corto o largo plazo), si recibirá o no algún tipo de compensación por el servicio ambiental de almacenamiento de CO₂, etc.

* El efecto multiperiodo, es decir el efecto de una planificación forestal a largo plazo versus una a corto plazo, sobre el turno óptimo de cosecha de una plantación es, como se esperaba, acortar su longitud e incrementar los correspondientes valores actuales netos. En tal sentido es importante tomar en cuenta que para decidir el turno de una plantación, el productor forestal debe tener claro que al hacer más largo el turno, estaría recibiendo mayor ingreso por la vía del aumento en volumen, pero al mismo tiempo estaría dejando de percibir ganancias futuras por no haber empezado más temprano un nuevo ciclo de plantación.

* Respecto a las variaciones que se pueden presentar en las condiciones de mercado, específicamente las tasas de descuento, precios y costos de producción es fácil intuir que:

a) Si existe un *aumento* en los costos de producción (por ejemplo, la tierra tiene un costo de oportunidad) y se mantienen constantes la tasa de descuento y el precio del producto forestal, se observa un *alargamiento* en la longitud del turno óptimo y viceversa.

b) Un incremento en el precio del producto forestal (en este caso para las diferentes especies), manteniendo constante los costos de producción y la tasa de descuento real resulta en una *reducción* en la longitud del turno óptimo y viceversa.

c) Un aumento en la tasa real de descuento, manteniendo constantes los costos y el precio del producto forestal resulta en una *reducción* de la longitud del turno óptimo y viceversa.

* El costo de oportunidad real de la tierra influye sobre el turno óptimo, *alargando* su longitud y disminuyendo su rentabilidad asociada. En ese sentido al incluir costos reales de oportunidad de la tierra, el empresario forestal debe de esperar más tiempo para lograr ingresos menores. Esto se evidencia tanto al

utilizar costos de la tierra altos como bajos, observándose turnos más largos y VAN menores en el primer caso.

* El pago por almacenamiento de CO₂ en plantaciones forestales y su traspaso efectivo al productor tiene el efecto de *alargar* sustancialmente la longitud de los turnos óptimos financiero ambientales e incrementar la rentabilidad asociada, sobre todo si es realizado al inicio de éstos; sin embargo, se puede concluir que este tipo de incentivos forestales están en consonancia con los objetivos de las políticas que pretenden preservar los ecosistemas en forma más equilibrada y duradera.

* Lo anterior indica que la política de pago por el servicio ambiental de mitigación de gases con efecto invernadero a las plantaciones forestales, obliga a enfocarlos como verdaderos ecosistemas y abre la pauta para que el resto de servicios ambientales que éstas proveen (protección del agua, protección de la biodiversidad, belleza escénica, protección de ecosistemas, etc) sean también sujetos de retribución económica; siempre y cuando las plantaciones sean manejadas con prácticas silviculturales sostenibles y su explotación no signifique un cambio drástico en el uso de la tierra.

* Aunque toda valoración efectiva que se realice por el almacenamiento de CO₂ tenga como efecto el alargamiento del turno, el *momento* en el cual se otorga el

pago también influye en la longitud del turno óptimo financiero y ambiental, así como en su rentabilidad asociada:

a) Si el pago se realiza al inicio de cada turno, el resultado es un alargamiento mayor en la longitud del mismo y la rentabilidad asociada.

b) Si el pago se realiza al final de cada turno, el resultado es un alargamiento menor en la longitud del mismo y la rentabilidad asociada.

c) Si el pago se realiza como una anualidad, es decir durante el turno, el resultado es un alargamiento intermedio entre los dos anteriores, pero más cercano al caso en que el almacenamiento de CO₂ se paga al final. Su rentabilidad es afectada en forma similar.

* En los casos particulares de *Cordia alliodora* y *Tectona grandis* el pago por almacenamiento de CO₂ no tuvo un impacto tan grande en la determinación del turno óptimo financiero y ambiental debido a que sus altos precios hacen que en el flujo de ingresos, la proporción debida a pago por éste servicio ambiental sea mínima. Es por ello que el pago por servicios ambientales representa una compensación financiera importante más que todo, para el empresario forestal que utilice especies con bajos precios en el mercado.

* Los turnos óptimos financieros a largo plazo y considerando el costo de oportunidad de la tierra (VANFCLR) que son en general los más realistas cuando no se ofrecen incentivos, resultaron en algunos casos significativamente distintos a los empíricamente recomendados.

8. RECOMENDACIONES.

- * Explorar más profundamente formas funcionales que puedan precisar con mayor exactitud el crecimiento volumétrico a lo largo del tiempo.
- * Repetir el trabajo cuando se tengan mejores datos de campo disponibles, en especial sobre el crecimiento a largo plazo de especies como Melina y Eucalipto.
- * Expandir el presente estudio a fin de determinar turnos óptimos financieros y ambientales para otros productos forestales específicos como leña, postes y pulpa.
- * Perfeccionar las modelaciones ya realizadas para fabricar un paquete computacional de acceso al usuario que permita sistematizar, aún más, la decisión de turno óptimo financiero y ambiental bajo nuevos y mas variados escenarios.
- * Explorar la determinación de turnos óptimos financieros y ambientales si el pago por mitigación de gases con efecto invernadero (e.i CO₂) se realiza no con pagos totales sino a través de porcentajes a lo largo del tiempo y/o incorporando

las formas de pago propuestas por las instituciones gubernamentales pertinentes.

* Se sugiere explorar funciones de crecimiento volumétrico que modelen el volumen de una plantación forestal *con manejo*, es decir, evaluar funciones de producción que consideren el conjunto de tratamientos silviculturales que se aplican a las plantaciones con objetivos de productos y mercados específicos, para afinar los análisis financieros llevados a cabo en este estudio.

* Evaluar el posible efecto de plagas de alta incidencia, sobre todo, en especies susceptibles como *Eucalyptus saligna* y *Cordia alliodora*. Así mismo, explorar el riesgo que tales plagas representarían a lo largo del tiempo, sobre todo cuando se están recomendando turnos muy largos.

9. LITERATURA CONSULTADA.

- AGUIRRE, J. 1995. Apuntes del curso Economía Forestal. Escuela de Postgrado. Turrialba, C. R. CATIE.
- ALFARO MURILLO, M. 1990. Estudio de caso sobre la rentabilidad y el uso óptimo de recursos en plantaciones forestales en Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, CATIE. 162 p.
- AMACHER, G; BRAZEE, R.; THOMSON, T. 1991. The effect of forest productivity taxes on timber stand investment and rotation length. *Forest Science*. (U.S.A). 37 (4):1099-1118.
- BARRES, H. 1993. Carbon-fixing and timber production in Tropical Klinki Pine Forest Plantations. The Klinki Pine Project.
- BARROS, N.F. 1984. Análisis del crecimiento de *Eucalyptus saligna* en diferentes niveles de NPK. *IPEF (Bra)* 26 :13-17.
- BOROUGH, C.J. 1978. *Eucalyptus* for wood production. Eds. W.E. Hillis, A.G. Brown. Adelaide, Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. p 110-116.
- BRIGHMAN, E. 1988. *Fundamentals of financial management*. 4th.Edition. New York, USA. 221 p.

BRISCOE, C. 1989. Perspectivas personales para plantaciones. Programa de Silvicultura, CATIE, Turrialba, Costa Rica. 7 p.

CAMPOS, J.C.; CAMPOS, A.L.A. da S.; LEITHE, H.G. 1988. Decisao silvicultural empregando um sistema de predicao do crescimento e da producao. Rev. Árvore. Brasil. 12 (2): 100-110.

CÁMARA COSTARRICENSE FORESTAL. 1997. Informe de labores presidencia de la CCF. Período 1996. Desde el Bosque. Costa Rica. 5(21): 3-5

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1994. Deglupta, *Eucalyptus deglupta* Blume, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba , C.R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 240. 41p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1994. Grandis, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba , C.R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 235. 41p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1994. Laurel *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba , C.R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 239. 41p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1993. Manejo de plantaciones forestales, guía técnica para el extensionista forestal. Ed. Tec. Glenn Galloway. CATIE. Turrialba C.R. Serie Técnica. Manual Técnico No. 7. 68 p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1991. *Pinus caribaea* var *hondurensis* Barr y Golf., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, C. R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 172. 44p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1991. Pochote *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand, especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, C. R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 172. 44p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y

ENSEÑANZA. 1991. Saligna *Eucalyptus saligna* Smith. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, C.R. Serie Técnica, Informe Técnico No. 184. 66p.

CHAVES E.; FONSECA, W. 1991. Teca *Tectona grandis* L.f. especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, CR. Serie Técnica, Informe Técnico No. 179. 47 p.

COSTA RICA. FONDO NACIONAL DE FINANCIAMIENTO FORESTAL.

1997. Pago de servicios ambientales e incentivos para proyectos forestales. San José. 11 p.

- DEBERTIN, L. 1986. Agricultural production economics. Macmillan Publish Company. Ney York, USA. 250p.
- FERREIRA, C. 1978. Contribución al estudio de la determinación de la época de corte de *Eucalyptus saligna*. *Silvicultura (Bra.)* 2 (14):85-86.
- GÓMEZ, M.; REICHE, C. 1996. Costos de establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica. CATIE, 50 p.
- GUJARATI, D. 1993. Econometría. Trad. V. Mayorga. 2da. edición. México. Mc Graw-Hill. Mc Graw-Hill 597 p.
- HENAO, I. 1982. Estudio de rendimientos y rentabilidad de una plantación de teca (*Tectona grandis* L.f.) del departamento de Córdoba, Colombia. *Crónica forestal t del Medio Ambiente (Col)* 2 (1-2): 1-78.
- HUGHELL, D. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de cuatro especies de árboles de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Sostenido. Serie Técnica. Boletín Técnico No. 22. 70 p.
- HUGHELL, D. 1991. Modelo preliminar para la predicción del rendimiento de *Gmelina arborea* Roxb en América Central. *Silvoenergía, (C.R.)* Mayo1991: 10-12).

- JIMÉNEZ ARIAS, S. 1991. Crecimiento en altura de *Gmelina arborea* Roxb. en el Pacífico Seco de Costa Rica. *Ciencias Ambientales (C.R.)* no.7:37-47
- JIMÉNEZ ARIAS, S. 1991. Tablas de crecimiento preliminares de *Gmelina arborea* Roxb aplicables al Pacífico Seco de Costa Rica. *Ciencias Ambientales (C.R.)* no. 7 : 23-36.
- JIMÉNEZ, S.; ALFARO, M.; ARAYA, J. 1992. Introducción a la Valoración Forestal. Universidad Nacional. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Heredia. Costa Rica. 96 p.
- JOHNSON, A.; JOHNSON, M.; BUSE, R. 1987. *Econometrics basic and applied*. New York, U.S.A. Macmillan Publishing Company. 451 p.
- LEGA R, F. 1988. Estudio de la forma de *Gmelina arborea* Roxb. Análisis de las plantaciones en Manila, Siquirres. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 146 p.
- MADELEÑA. 1994. Proyecto de cultivos de árboles de uso múltiple. Boletín de Precios y otra estadísticas del sector forestal. 11 (7) 11-14.
- MARTÍNEZ, H., H.A. 1990. *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, especie de propósito múltiple: producción y usos en América Central. CATIE, Turrialba, C.R. Serie Técnica Informe Técnico no. 158. p. 35-49.
- McCLELLAND, J; WETZSTEIN, M; NOLES, R. 1989. Optimal replacement policies for rejuvenated assets. *American Journal of Agricultural Economics*. (U.S.A). 71 (1): 147-156.

- MONTERO MATA, M. 1992. Modelos de crecimiento para *Pinus Caribaea* var *hondurensis* Barr y Golf. en la Sabana Oaxaca, México. Tesis Lic. México. Universidad Autónoma de Chapingo. 73 p.
- MORATAYA MONTENEGRO, R.A. 1996. Desarrollo de modelos de predicción para peso de follaje y volumen de albura: aplicación de la Teoría del Modelo Vascular (TMV) e implicaciones en el manejo, en *Tectona grandis* L. y *Gmelina arborea* Roxb., Hojanca, Guanacaste, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 123 P.
- MUIR, N.G. 1996. Un sistema para el análisis de calidad de fuste con el fin de predecir rendimiento comercial de pulpa y madera sólida de melina (*Gmelina arborea* Roxb) en inventarios precosecha. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C. R. , CATIE. P. 41-84.
- MURILLO O.; VALERIO, J. 1991. Melina *Gmelina arborea* Roxb., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, C.R. Serie Técnica, Informe Técnico No, 181. 69p.
- NAUTIYAL, J; WILLIAMS, J. 1990. Response of optimal stand rotation and management intensity to one-time changes in stumpage price, management cost and discount rate. *Forest Science* (U.S.A.). 36 (2): 212-223.
- NAVARRO C.; MARTÍNEZ, H. 1989. El pochote (*Bombacopsis quinatum*) en Costa Rica: Guía silvicultural para el establecimiento de plantaciones. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Serie Técnica . Informe Técnico No. 142. 38 p.

- OTÁROLA ACEVEDO, 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.
- OVIEDO MARIN, J. 1981. *Cordia alliodora*. San José, Costa Rica, Ministerios de Agricultura y Ganadería . Dirección General Forestal, Informe divulgativo. No. 35. 12 p.
- QUIRÓS, H.R. 1991. Optimización del proceso de aserrío en madera de cortas dimensiones en el Pacífico Seco de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 131 p.
- RAMÍREZ, O., GÓMEZ, M. 1997. Valuing the contribution of plantatio forestry to the national accounts of Costa Rica from the ecological economics perspective. CATIE, Turrialba. 31 p.
- RICHARDS, P. 1959. A stochastic efficiency approach for determining the economic rotation of a forest stand. *Forest Science (USA)*. 14 (2) 441-457.
- SALAS G., VALENCIA, J. 1979. Notas sobre la reforestación con *Cordia alliodora* en dos zonas tropicales de bajura. Opón, Colombia. CONIF, Bogotá, Colombia. Serie técnica No. 10.
- SALAZAR, R. 1988. Observaciones preliminares sobre el comportamiento de la melina en el trópico americano. *In* Reunión de la Comisión Forestal Latinoamericana (COFLA) (16., 1988 Kingston, Jam.) 1988. Memorias.

CATIE, Programa de producción y desarrollo agropecuario sostenido.
Turrialba, C.R. 73 p.

SÁNCHEZ SÁNCHEZ, A. 1994. Crecimiento de *Eucalyptus deglupta* y *E. grandis* bajo tres sistemas de plantación a nivel de finca en la zona de Turrialba, C.R. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 95 p.

SAPAG, N; SAPAG, R. 1975. Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos. Editorial Mc Graw Hill Latinoamericana. 5^{ta} Edición. p. 220-225.

SEMINARIO REGIONAL DE EXTENSIÓN FORESTAL (1o., 1994 , CATIE) 1993. La extensión forestal: avances y perspectivas en América Central. Edit. por Carlos A. Rivas. Turrialba, Costa Rica. Proyecto de Diseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple. 230 p.

SERRANO M., R. 1992. Evaluación de aserrío y elaboración de dos especies forestales de plantación: melina (*Gmelina arborea*) y laurel (*Cordia alliodora*). Tecnología en Marcha. (Costa Rica) . 11 (esp): 25-32.

SOMARRIBA, E., BEER, J. 1986. Dimensiones volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. CATIE, Turrialba, C.R. Serie técnica, Boletín técnico. 23 p.

TORRES, L. 1972. Durabilidad relativa de la teca (*Tectona grandis*) procedente de una plantación de la región de Barrinitas, Estado Barinas, Venezuela. Mérida. Universidad de los Andes, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. 14 p.

- TREVIZOL JÚNIOR, T.L. 1985. Análise de um modelo compátivel de crescimento e producao em plantacoes de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), Tesis Mag. Sc. Vicosá, Brasil. UFU. 74 p.
- UGALDE, L. 1990. Resumen de crecimiento de las especies prioritarias del Proyecto Madeleña en América Central. (Informe interno). Turrialba, C.R., CATIE. 7 p.
- VÁSQUEZ, W. 1986. Tres intensidades de raleo en *Pinus Caribaea* var. *hondurensis*, Análisis de diez años de crecimiento en un diseño de cuadrado latino. *In* Congreso Forestal Nacional (1o., 1986, SAN JOSÉ, C.R.) 1986. Memorias. Universidad de Costa Rica. p. 14-19.
- VÁSQUEZ, W. 1991. Aportes de madeleña en el desarrollo de modelos de crecimiento y rendimiento de algunas especies de árboles de uso múltiple. *In* Simposio Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica. (1o., 1991 CARTAGO, C.R.) 1991. Memorias. ITCR, Cartago, C.R. 19 p.
- VASQUEZ, W.; UGALDE, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico No. 256. CATIE. 40p.

- VASQUEZ, W. ; UGALDE, L. 1995. Tablas de volumen y de productos de *Eucalyptus grandis* en Costa Rica. CATIE. Proyecto de Diseminación del Cultivo de Árboles de Uso Múltiple. Serie Técnica. Informe Técnico No 263. 30 p.
- VENEGAS, T. 1971. Observaciones y experiencias en la reforestación con *Cordia alliodora* "nogal" en Caldas. Bogotá, Colombia. INDIRENA. Nota técnica. No. 12, 8 p.
- WALTER, G. A. 1980. Saligna Eucalyptus growth in 15-year-old spacing study in Hawaii. USDA. Pacific Southwet forest and Range Experiment Station (USA) Research paper. PSW-151. 7p.
- YOSHIMOTO, A. 1997. Study plan for quantitative analysis of timber trade and forest protection. Department of Agricultural and Forest Economics. Mizayaki University. 11 p.

Anexo 1. Modelo de Regresión para modelo polinomial individual. Especie: *Gmelina arborea*.

Listado de los Datos

OBS	Z1	Z3	T	T2	T3	V
1	0	0	0	0	0	0.0
2	6	0	6	36	216	106.1
3	10	0	10	100	1000	169.9
4	12	0	12	144	1728	188.6
5	14	0	14	196	2744	205.7
6	0	0	0	0	0	0.0
7	0	0	4	16	64	117.2
8	0	0	8	64	512	238.6
9	0	0	12	144	1728	301.0
10	0	0	14	196	2744	319.7
11	0	0	0	0	0	0.0
12	0	4	4	16	64	206.6
13	0	8	8	64	512	356.7
14	0	12	12	144	1728	429.9
15	0	14	14	196	2744	445.8

Análisis de Regresion

Model: MODEL1
Dependent Variable: V

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	5	296118.75443	59223.75089	132.553	0.0001
Error	9	4021.12957	446.79217		
C Total	14	300139.88400			

Root MSE	21.13746	R-square	0.9866
Dep Mean	205.72000	Adj R-sq	0.9792
C V.	10.27487		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
INTERCEP	1	0.131021	12.15556256	0.011	0.9916
Z1	1	-9.321324	1.42214761	-6.554	0.0001
Z3	1	10.987143	1.45862325	7.533	0.0001
T	1	37.149229	9.40603050	3.950	0.0034
T2	1	-0.777584	1.73114553	-0.449	0.6639
T3	1	-0.019164	0.08161565	-0.235	0.8196

Variable	DF	Tolerance	Variance Inflation
INTERCEP	1	.	0.00000000
Z1	1	0.61637953	1.62237706
Z3	1	0.64868204	1.54158730
T	1	0.01302446	76.77862771
T2	1	0.00181815	550.00900663
T3	1	0.00406102	246.24367927

Collinearity Diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop INTERCEP	Var Prop Z1	Var Prop Z3	Var Prop T
1	4.34530	1.00000	0.0078	0.0100	0.0097	0.0002
2	1.00007	2.08446	0.0000	0.2204	0.2625	0.0000
3	0.34766	3.53533	0.4431	0.0110	0.0125	0.0000
4	0.27884	3.94759	0.0052	0.7000	0.6819	0.0004
5	0.02764	12.53866	0.4390	0.0521	0.0333	0.0879
6	0.0004892	94.24637	0.1049	0.0066	0.0001	0.9116

Var Prop Number	Var Prop T2	Var Prop T3
1	0.0000	0.0001
2	0.0000	0.0000
3	0.0001	0.0009

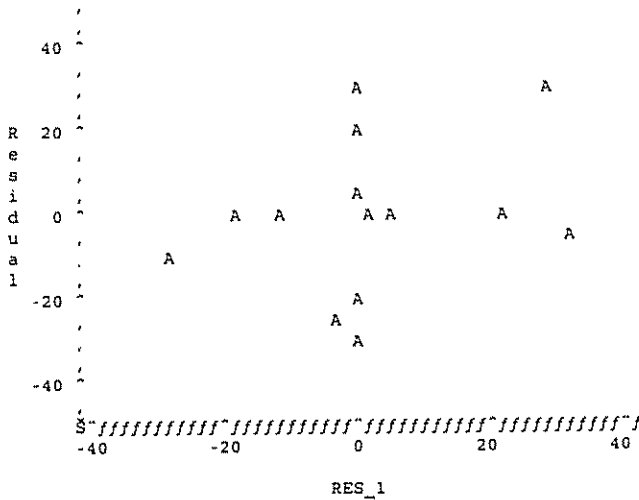
Analisis de Regresion

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
4	0.0002	0.0007
5	0.0000	0.0221
6	0.9996	0.9762

Durbin-Watson D 1.293
 (For Number of Obs.) 15
 1st Order Autocorrelation 0.286

Graficos de Residuos

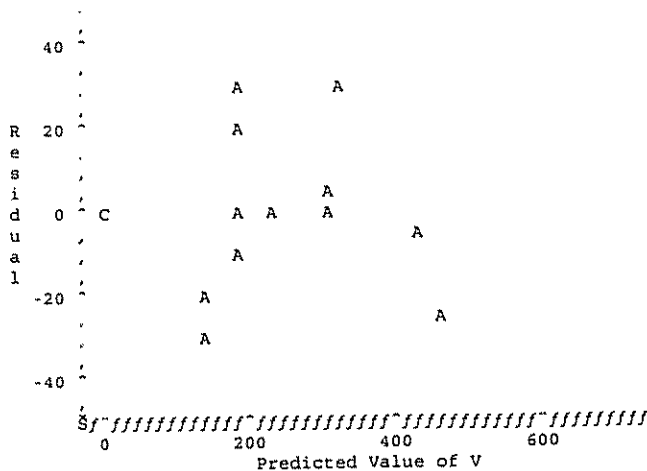
Plot of RES*RES_1. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 1 obs had missing values

Graficos de Residuos

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

Moments

N	15	Sum Wgts	15
Mean	0	Sum	0
Std Dev	16.94767	Variance	287.2235
Skewness	0.277337	Kurtosis	-0.02656
USS	4021.13	CSS	4021.13
CV	.	Std Mean	4.37587
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000
Num ^= 0	15	Num > 0	6
M(Sign)	-1.5	Pr>=|M|	0.6072
Sgn Rank	-3	Pr>=|S|	0.8905
W:Normal	0.92221	Pr<W	0.2071

Quantiles (Def=5)

100% Max	31.05551	99%	31.05551
75% Q3	4.473128	95%	31.05551
50% Med	-0.13102	90%	27.59135
25% Q1	-11.5874	10%	-23.2469
0% Min	-28.8659	5%	-28.8659
		1%	-28.8659
Range	59.92145		
Q3-Q1	16.06048		
Mode	-0.13102		

Extremes

Lowest	Obs	Highest	Obs
-28.8659(	2)	0.852657(	8)
-23.2469(	15)	4.473128(	10)
-17.8601(	7)	20.97166(	5)
-11.5874(	3)	27.59135(	12)
-2.77944(	14)	31.05551(	13)

Stem Leaf	#	Boxplot
3 1	1	0
2 18	2	|
1		|
0 014	3	++++++
-0 30000	5	*-----*
-1 82	2	++++++
-2 93	2	|

Multiply Stem Leaf by 10**+1

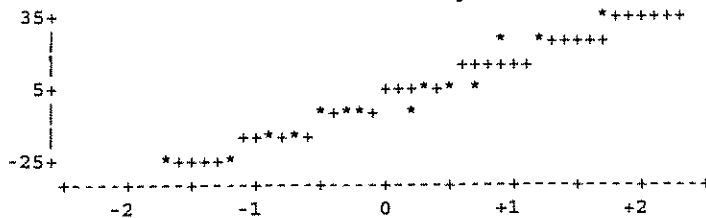
Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

Normal Probability Plot



Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	6	7.20781	3.60391	5	0.6077

Anexo 2. Modelo de Regresión para modelo polinomial individual. Especie: *Eucalyptus saligna*.

Listado de los Datos

OBS	Z1	Z3	T	T2	T3	V
1	0	0	0	0	0	0.0
2	4	0	4	16	64	7.0
3	6	0	6	36	216	.
4	8	0	8	64	512	56.7
5	10	0	10	100	1000	95.2
6	12	0	12	144	1728	139.9
7	14	0	14	196	2744	.
8	18	0	18	324	5832	251.6
9	20	0	20	400	8000	275.3
10	0	0	0	0	0	0.0
11	0	0	4	16	64	23.7
12	0	0	6	36	216	.
13	0	0	8	64	512	131.8
14	0	0	10	100	1000	205.1
15	0	0	12	144	1728	.
16	0	0	14	196	2744	314.9
17	0	0	18	324	5832	371.8
18	0	0	20	400	8000	399.4
19	0	0	0	0	0	0.0
20	0	4	4	16	64	66.8
21	0	6	6	36	216	158.2
22	0	8	8	64	512	269.0
23	0	10	10	100	1000	.
24	0	12	12	144	1728	435.3
25	0	14	14	196	2744	.
26	0	18	18	324	5832	587.8
27	0	20	20	400	8000	626.4

Analisis de Regresion

Model: MODEL1

Dependent Variable: V

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	5	722339.39934	144467.87987	348.875	0.0001
Error	15	6211.45304	414.09687		
C Total	20	728550.85238			
Root MSE	20.34937	R-square	0.9915		
Dep Mean	210.28095	Adj R-sq	0.9886		
C.V.	9.67723				

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
INTERCEP	1	-2.602082	11.50299960	-0.226	0.8241
Z1	1	-7.501208	0.87937860	-8.530	0.0001
Z3	1	12.347834	0.89739800	13.760	0.0001
T	1	-1.736329	5.58227758	-0.311	0.7600
T2	1	3.179323	0.71766871	4.430	0.0005
T3	1	-0.104862	0.02415580	-4.341	0.0006
Variance					
Variable	DF	Tolerance	Inflation		
INTERCEP	1	.	0.00000000		
Z1	1	0.66840578	1.49609717		
Z3	1	0.67320399	1.48543385		
T	1	0.01396979	71.58304100		
T2	1	0.00181878	549.81931625		
T3	1	0.00386958	258.42599979		

Collinearity Diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop INTERCEP	Var Prop Z1	Var Prop Z3	Var Prop T
1	4.24712	1.00000	0.0057	0.0108	0.0107	0.0002
2	1.00012	2.06073	0.0000	0.2511	0.2656	0.0000
3	0.42263	3.17004	0.2300	0.0047	0.0072	0.0000
4	0.30042	3.75994	0.0428	0.7024	0.6922	0.0005
5	0.02914	12.07246	0.4949	0.0280	0.0146	0.0899
6	0.0005640	86.78120	0.2265	0.0030	0.0096	0.9094

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
1	0.0000	0.0001
2	0.0000	0.0000
3	0.0002	0.0013

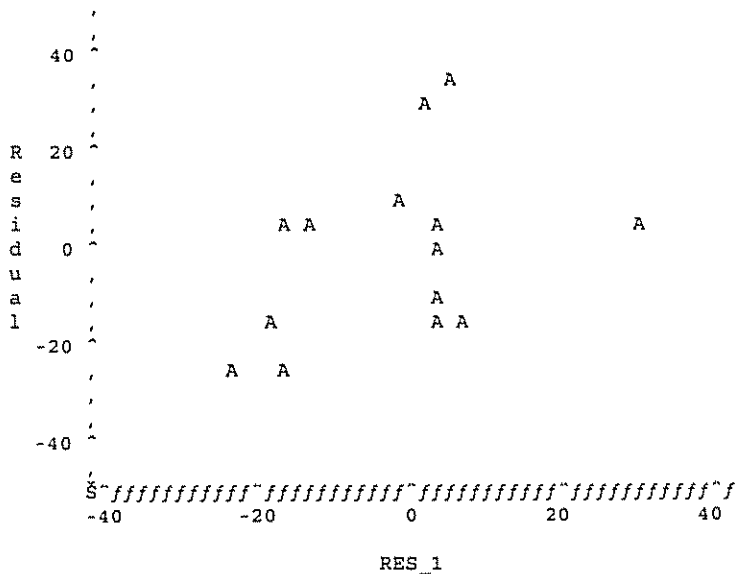
Analisis de Regresion

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
4	0.0001	0.0003
5	0.0000	0.0222
6	0.9996	0.9762

Durbin-Watson D 1.357
 (For Number of Obs.) 21
 1st Order Autocorrelation 0.300

Graficos de Residuos

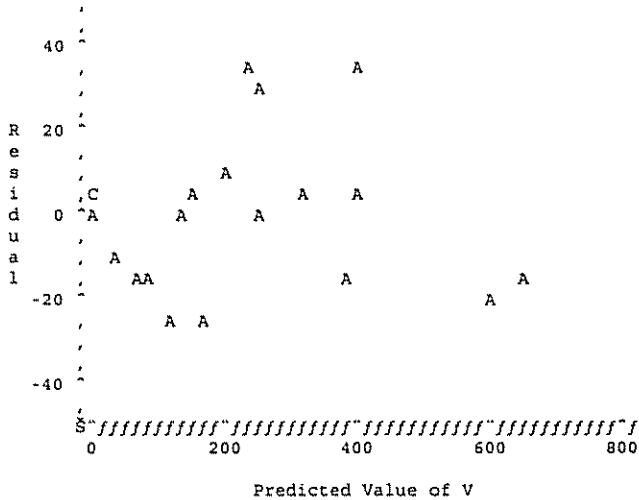
Plot of RES*RES_1. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 13 obs had missing values.

Graficos de Residuos

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 6 obs had missing values.

Prueba de Normalidad de los Residuos
Univariate Procedure

Variable=RES

Residual		Moments	
N	21	Sum Wgts	21
Mean	0	Sum	0
Std Dev	17.62307	Variance	310.5727
Skewness	0.7006	Kurtosis	-0.02548
USS	6211.453	CSS	6211.453
CV		Std Mean	3.84567
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000
Num ^= 0	21	Num > 0	12
M(Sign)	1.5	Pr>=|M|	0.6636
Sgn Rank	-0.5	Pr>=|S|	0.9866
W:Normal	0.90555	Pr<W	0.0419
Quantiles (Def=5)			
100% Max	36.92284	99%	36.92284
75% Q3	5.327667	95%	33.94349
50% Med	2.394244	90%	29.82174
25% Q1	-16.0591	10%	-19.1489
0% Min	-23.268	5%	-22.8926
		1%	-23.268
Range	60.19084		
Q3-Q1	21.38677		
Mode	2.602082		

Extremes			
Lowest	Obs	Highest	Obs
-23.268	(6)	6.405424	(16)
-22.8926	(5)	11.99533	(14)
-19.1489	(26)	29.82174	(9)
-17.2019	(20)	33.94349	(24)
-16.5848	(4)	36.92284	(22)

Missing Value			Boxplot
Stem Leaf	Count	#	
3 047	3	3	<pre> | | | +---+---+ | | +---+---+ | | </pre>
2			
1 2	1	1	
0 22333456	8	8	
-0 1	1	1	
-1 977631	6	6	
-2 33	2	2	

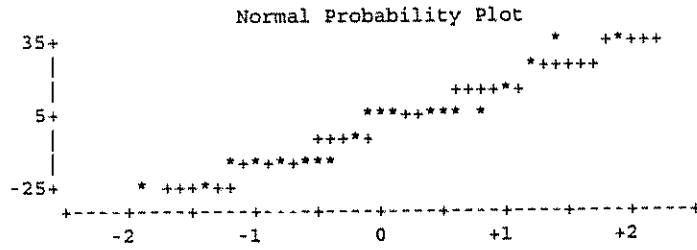
Multiply Stem Leaf by 10***+1

Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual



Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	6	22.6639	11.3320	5	0.0452

Anexo 3. Modelo de Regresión para modelo polinomial individual. Especie: *Bombacopsis quinatum*.

Listado de los Datos

OBS	Z1	Z3	T	T2	T3	V
1	0	0	0	0	0	0.0
2	4	0	4	16	64	9.4
3	6	0	6	36	216	19.6
4	8	0	8	64	512	35.5
5	10	0	10	100	1000	58.2
6	14	0	14	196	2744	.
7	16	0	16	256	4096	143.3
8	20	0	20	400	8000	.
9	22	0	22	484	10648	245.8
10	24	0	24	576	13824	.
11	26	0	26	676	17576	.
12	30	0	30	900	27000	364.5
13	0	0	0	0	0	0.0
14	0	0	4	16	64	30.5
15	0	0	6	36	216	51.2
16	0	0	8	64	512	79.6
17	0	0	10	100	1000	117.0
18	0	0	14	196	2744	.
19	0	0	16	256	4096	233.0
20	0	0	20	400	8000	.
21	0	0	22	484	10648	.
22	0	0	24	576	13824	386.6
23	0	0	26	676	17576	.
24	0	0	30	900	27000	476.5
25	0	0	0	0	0	0.0
26	0	4	4	16	64	50.1
27	0	6	6	36	216	78.2
28	0	8	8	64	512	115.2
29	0	10	10	100	1000	.
30	0	14	14	196	2744	230.2
31	0	16	16	256	4096	.
32	0	20	20	400	8000	351.0
33	0	22	22	484	10648	.
34	0	24	24	576	13824	.
35	0	26	26	676	17576	489.2
36	0	30	30	900	27000	570.5

Analisis de Regresion

Model: MODEL1

Dependent Variable: V

Source	DF	Sum of Squares		F Value	Prob>F
		Squares	Mean Square		
Model	5	722622.95488	144524.59098	2358.057	0.0001
Error	18	1103.21470	61.28971		
C Total	23	723726.16958			
Root MSE		7.82877	R-square	0.9985	
Dep Mean		172.29583	Adj R-sq	0.9981	
C.V.		4.54380			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
INTERCEP	1	0.296182	4.25439100	0.070	0.9453
Z1	1	-4.449703	0.25405910	-17.514	0.0001
Z3	1	2.821628	0.24192075	11.663	0.0001
T	1	4.589654	1.29155152	3.554	0.0023
T2	1	0.803084	0.10534989	7.623	0.0001
T3	1	-0.013856	0.00234434	-5.911	0.0001

Variance Inflation

Variable	DF	Tolerance	Inflation
INTERCEP	1	.	0.00000000
Z1	1	0.64507500	1.55020735
Z3	1	0.58114768	1.72073301
T	1	0.01603175	62.37620764
T2	1	0.00242942	411.62030468
T3	1	0.00553201	180.76609315

Collinearity Diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop INTERCEP	Var Prop Z1	Var Prop Z3	Var Prop T
1	4.16236	1.00000	0.0050	0.0101	0.0114	0.0003
2	1.00332	2.03680	0.0007	0.2828	0.2001	0.0000
3	0.52147	2.82524	0.1868	0.0010	0.0069	0.0000
4	0.27878	3.86404	0.0324	0.6588	0.7333	0.0006
5	0.03316	11.20372	0.3860	0.0468	0.0464	0.1098
6	0.0009153	67.43656	0.3891	0.0005	0.0020	0.8893

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
1	0.0001	0.0002
2	0.0000	0.0000
3	0.0003	0.0015

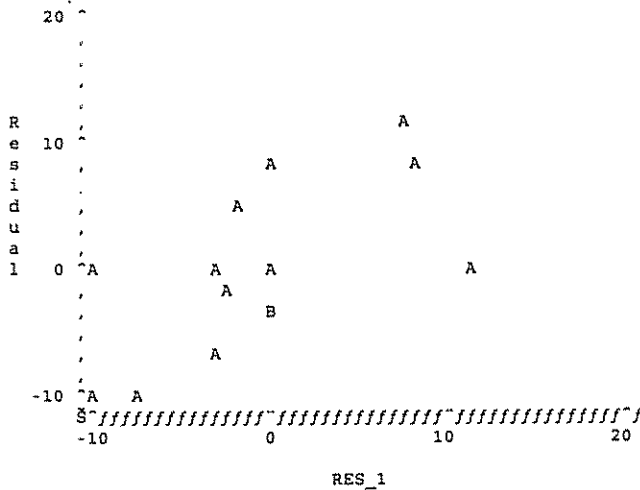
Analysis de Regression

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
4	0.0002	0.0008
5	0.0001	0.0343
6	0.9993	0.9631

Durbin-Watson D 1.044
 (For Number of Obs.) 24
 1st Order Autocorrelation 0.478

Graficos de Residuos

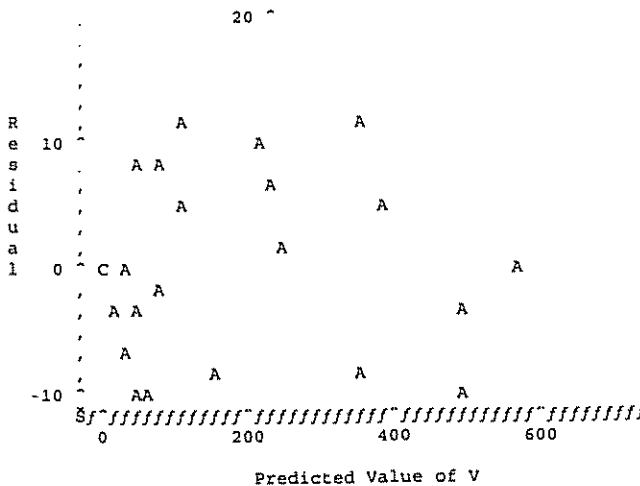
Plot of RES*RES_1 Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 22 obs had missing values.

Graficos de Residuos

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 12 obs had missing values.

Prueba de Normalidad de los Residuos
Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

Moments

N	24	Sum Wgts	24
Mean	0	Sum	0
Std Dev	6.925739	Variance	47.96586
Skewness	0.133244	Kurtosis	-1.01838
USS	1103.215	CSS	1103.215
CV	.	Std Mean	1.41371
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000
Num ^= 0	24	Num > 0	9
M(Sign)	-3	Pr>=|M|	0.3075
Sgn Rank	-6	Pr>=|S|	0.8681
W:Normal	0.93833	Pr<W	0.1539

Quantiles (Def=5)

100% Max	11.35486	99%	11.35486
75% Q3	5.945749	95%	11.31073
50% Med	-0.29618	90%	10.43606
25% Q1	-5.4362	10%	-9.94758
0% Min	-10.2186	5%	-10.1362
		1%	-10.2186

Range 21.57348
Q3-Q1 11.38195
Mode -0.29618

Extremes

Lowest	Obs	Highest	Obs
-10.2186 (	4)	7.518115 (	27)
-10.1362 (	24)	8.196168 (	26)
-9.94758 (	5)	10.43606 (	19)
-8.06869 (	7)	11.31073 (	28)
-7.90348 (	32)	11.35486 (	12)

Missing Value

Count	12
% Count/Nobs	33.33

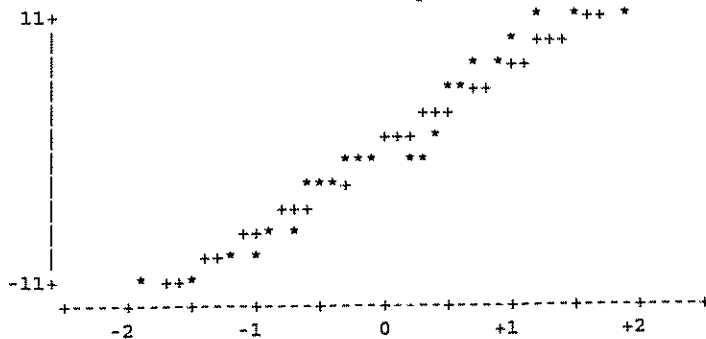
Prueba de Normalidad de los Residuos
Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

Stem	Leaf	#	Boxplot
10	434	3	
8	2	1	
6	85	2	
4	41	2	
2			
0	3	1	
-0	783331	6	
-2	416	3	
-4			
-6	95	2	
-8	91	2	
-10	21	2	

Normal Probability Plot



Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	6	14.7024	7.35119	5	0.1958

Anexo 4. Modelo de Regresión para modelo polinomial individual. Especie: *Cordia alliodora*.

Listado de los Datos

OBS	Z1	Z3	T	T2	T3	V
1	.	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.	.
4	0	0	0	0	0	0.0
5	4	0	4	16	64	0.8
6	8	0	8	64	512	9.4
7	10	0	10	100	1000	26.7
8	12	0	12	144	1728	.
9	14	0	14	196	2744	.
10	16	0	16	256	4096	166.7
11	20	0	20	400	8000	283.3
12	22	0	22	484	10648	.
13	26	0	26	676	17576	372.3
14	30	0	30	900	27000	404.6
15	0	0	0	0	0	0.0
16	0	0	4	16	64	1.8
17	0	0	8	64	512	19.6
18	0	0	10	100	1000	70.8
19	0	0	14	196	2744	215.5
20	0	0	20	400	8000	418.2
21	0	0	30	900	27000	536.0
22	0	0	0	0	0	0.0
23	0	4	4	16	64	13.5
24	0	8	8	64	512	127.7
25	0	10	10	100	1000	.
26	0	12	12	144	1728	296.7
27	0	14	14	196	2744	.
28	0	16	16	256	4096	428.1
29	0	20	20	400	8000	.
30	0	22	22	484	10648	571.6
31	0	26	26	676	17576	.
32	0	30	30	900	27000	678.5

Analisis de Regresion

Model: MODEL1

Dependent Variable: V

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	5	1005918.9417	201183.78833	217.968	0.0001
Error	16	14767.95653	922.99728		
C Total	21	1020686.8982			
Root MSE		30.38087	R-square	0.9855	
Dep Mean		210.99091	Adj R-sq	0.9810	
C.V.		14.39914			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
INTERCEP	1	0.978567	16.53584422	0.059	0.9535
Z1	1	-5.287391	0.97535339	-5.421	0.0001
Z3	1	6.371479	1.02547223	6.213	0.0001
T	1	-11.246960	5.21196237	-2.158	0.0465
T2	1	2.757031	0.43876228	6.284	0.0001
T3	1	-0.059943	0.00971653	-6.169	0.0001

Variance

Variable	DF	Tolerance	Inflation
INTERCEP	1	.	0.00000000
Z1	1	0.53272300	1.87714817
Z3	1	0.59334100	1.68537147
T	1	0.01636419	61.10905042
T2	1	0.00233396	428.45602593
T3	1	0.00522083	191.54029968

Collinearity Diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop INTERCEP	Var Prop Z1	Var Prop Z3	Var Prop T
1	4.21574	1.00000	0.0055	0.0103	0.0092	0.0003
2	1.00074	2.05247	0.0002	0.1740	0.2662	0.0000
3	0.49763	2.91060	0.2108	0.0017	0.0001	0.0000
4	0.24935	4.11183	0.0395	0.7275	0.6549	0.0005
5	0.03571	10.86548	0.4194	0.0736	0.0667	0.0984
6	0.0008332	71.13009	0.3246	0.0129	0.0029	0.9008

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
1	0.0001	0.0002
2	0.0000	0.0000
3	0.0002	0.0015

Analisis de Regresion

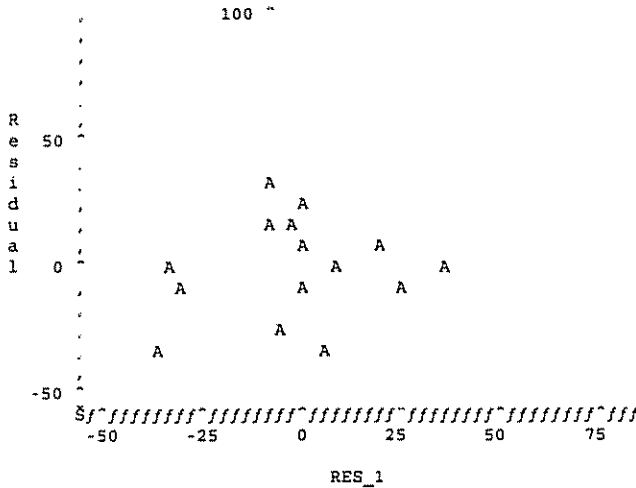
Number	Var Prop T2	Var Prop T3
4	0.0002	0.0010
5	0.0001	0.0267
6	0.9993	0.9705

Durbin-Watson D 1.127
(For Number of Obs.) 22

1st Order Autocorrelation 0.385

Graficos de Residuos

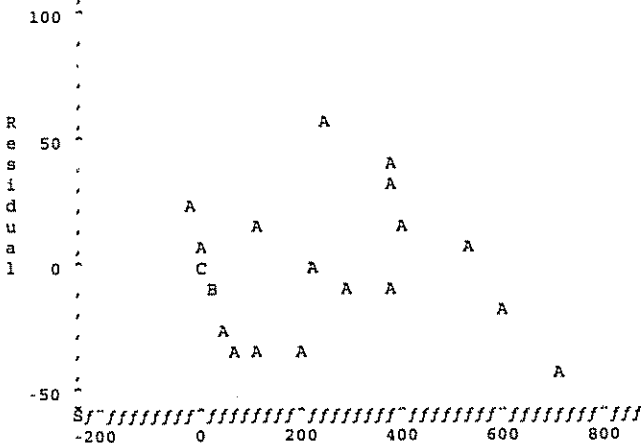
Plot of RES*RES_1. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 17 obs had missing values.

Graficos de Residuos

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

		Moments	
N	22	Sum Wgts	22
Mean	0	Sum	0
Std Dev	26.5186	Variance	703.236
Skewness	0.556707	Kurtosis	-0.00913
USS	14767.96	CSS	14767.96
CV	.	Std Mean	5.653784
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000
Num ^= 0	22	Num > 0	8
M(Sign)	-3	Pr>=|M|	0.2863
Sgn Rank	-10.5	Pr>=|S|	0.7417
W:Normal	0.960251	Pr<W	0.4889
Quantiles(Def=5)			
100% Max	60.79615	99%	60.79615
75% Q3	18.8917	95%	44.85547
50% Med	-2.44717	90%	36.78314
25% Q1	-18.2486	10%	-33.4691
0% Min	-39.083	5%	-37.1621
		1%	-39.083
Range	99.8791		
Q3-Q1	37.14034		
Mode	-0.97857		

Extremes			
Lowest	Obs	Highest	Obs
-39.083(	32)	19.96609(	24)
-37.1621(	17)	25.68269(	5)
-33.4691(	18)	36.78314(	14)
-30.0026(	10)	44.85547(	28)
-24.6952(	7)	60.79615(	26)

Missing Value
 Count 10
 % Count/Nobs 31.25

Prueba de Normalidad de los Residuos
 Univariate Procedure

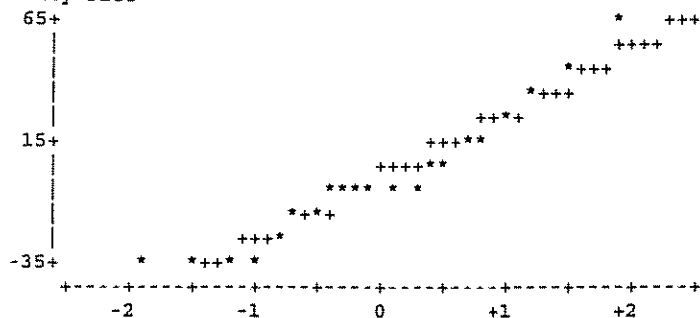
Variable=RES

Residual

Stem	Leaf	#	Boxplot
6	1	1	
5			
4	5	1	
3	7	1	
2	06	2	
1	09	2	
0	6	1	
-0	9854111	7	
-1	80	2	
-2	5	1	
-3	9730	4	

Multiply Stem Leaf by 10***+1

Normal Probability Plot



Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	6	23.9335	11.9667	5	0.0352

Anexo 5. Modelo de Regresión para modelo polinomial individual. Especie: *Tectona grandis*.

Listado de los Datos

OBS	Z1	Z3	T	T2	T3	V
1	0	0	0	0	0	0.0
2	4	0	4	16	64	5.1
3	6	0	6	36	216	.
4	8	0	8	64	512	36.2
5	10	0	10	100	1000	59.2
6	12	0	12	144	1728	.
7	14	0	14	196	2744	118.8
8	18	0	18	324	5832	.
9	24	0	24	576	13824	224.2
10	30	0	30	900	27000	.
11	32	0	32	1024	32768	285.6
12	40	0	40	1600	64000	333.3
13	0	0	0	0	0	0.0
14	0	0	4	16	64	9.6
15	0	0	6	36	216	.
16	0	0	8	64	512	90.4
17	0	0	10	100	1000	136.7
18	0	0	12	144	1728	.
19	0	0	14	196	2744	.
20	0	0	18	324	5832	295.6
21	0	0	24	576	13824	390.9
22	0	0	30	900	27000	461.5
23	0	0	32	1024	32768	.
24	0	0	40	1600	64000	533.9
25	0	0	0	0	0	0.0
26	0	4	4	16	64	23.6
27	0	6	6	36	216	112.5
28	0	8	8	64	512	182.3
29	0	10	10	100	1000	.
30	0	12	12	144	1728	297.7
31	0	14	14	196	2744	.
32	0	18	18	324	5832	404.4
33	0	24	24	576	13824	.
34	0	30	30	900	27000	.
35	0	32	32	1024	32768	551.4
36	0	40	40	1600	64000	613.0

Analisis de Regresion

2

Model: MODEL1

Dependent Variable: V

Analysis of Variance						
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F	
Model	5	870838.40076	174167.68015	138.189	0.0001	
Error	18	22686.51882	1260.36216			
C Total	23	893524.91958				
Root MSE		35.50158	R-square	0.9746		
Dep Mean		215.24583	Adj R-sq	0.9676		
C.V.		16.49350				

Parameter Estimates						
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|	
INTERCEP	1	-17.882480	18.46477501	-0.968	0.3456	
Z1	1	-5.885301	0.84028829	-7.004	0.0001	
Z3	1	3.023548	0.86869394	3.481	0.0027	
T	1	15.262180	4.45947271	3.422	0.0030	
T2	1	0.225178	0.27197144	0.828	0.4185	
T3	1	-0.006669	0.00452062	-1.475	0.1574	
Variance Inflation						
Variable	DF	Tolerance	Inflation			
INTERCEP	1	.	0.00000000			
Z1	1	0.62631652	1.59663679			
Z3	1	0.64040422	1.56151375			
T	1	0.01525001	65.57371493			
T2	1	0.00240713	415.43302340			
T3	1	0.00559241	178.81373716			

Collinearity Diagnostics

Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop INTERCEP	Var Prop Z1	Var Prop Z3	Var Prop T
1	4.13273	1.00000	0.0054	0.0116	0.0112	0.0003
2	1.00019	2.03272	0.0000	0.2407	0.2693	0.0000
3	0.53853	2.77022	0.2072	0.0000	0.0002	0.0000
4	0.29004	3.77474	0.0220	0.7230	0.7047	0.0007
5	0.03758	10.48605	0.3598	0.0239	0.0093	0.0963
6	0.0009326	66.56927	0.4056	0.0008	0.0053	0.9026

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
1	0.0001	0.0002
2	0.0000	0.0000
3	0.0002	0.0014

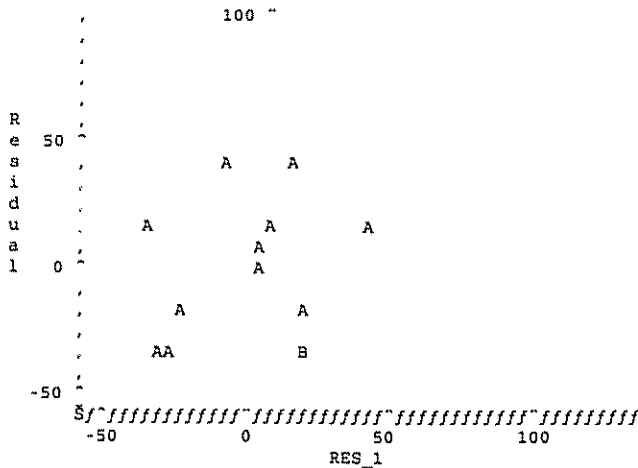
Analysis de Regresion

Number	Var Prop T2	Var Prop T3
4	0.0003	0.0008
5	0.0001	0.0332
6	0.9994	0.9644

Durbin-Watson D 1.045
 (For Number of Obs.) 24
 1st Order Autocorrelation 0.445

Graficos de Residuos

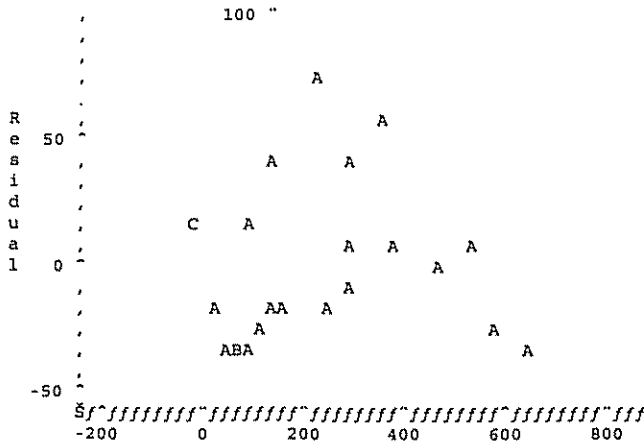
Plot of RES*RES_1. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 23 obs had missing values.

Graficos de Residuos

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual

		Moments	
N	24	Sum Wgts	24
Mean	0	Sum	0
Std Dev	31.40653	Variance	986.3704
Skewness	0.839156	Kurtosis	0.021547
USS	22686.52	CSS	22686.52
CV	.	Std Mean	6.410832
T:Mean=0	0	Pr>|T|	1.0000
Num ^= 0	24	Num > 0	11
M(Sign)	-1	Pr>=|M|	0.8388
Sgn Rank	-14	Pr>=|S|	0.6980
W:Normal	0.913075	Pr<W	0.0408
Quantiles (Def=5)			
100% Max	75.25196	99%	75.25196
75% Q3	17.88248	95%	59.07469
50% Med	-4.85835	90%	42.89974
25% Q1	-26.3644	10%	-34.0224
0% Min	-36.7423	5%	-34.8365
		1%	-36.7423
Range	111.9942		
Q3-Q1	44.24683		
Mode	17.88248		

Extremes			
Lowest	Obs	Highest	Obs
-36.7423(	14)	17.88248(	25)
-34.8365(	26)	42.63159(	12)
-34.0224(	36)	42.89974(	28)
-32.5352(	5)	59.07469(	32)
-31.9295(	4)	75.25196(	30)

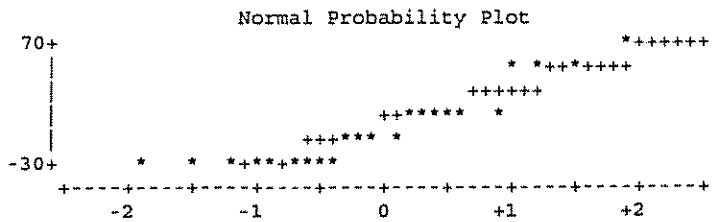
Missing Value			
Count	% Count/Nobs	#	Boxplot
12	33.33		
6	5	1	|
4	339	3	|
2			|
0	5584888	7	+++++
-0	8491	4	*-----*
-2	754328500	9	+-----+

Multiply Stem.Leaf by 10**+1
Prueba de Normalidad de los Residuos

Univariate Procedure

Variable=RES

Residual



Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	6	28.3766	14.1883	5	0.0145

Anexo 6. Modelo de Regresión para modelo polinomial general. Todas las Especies.

Model: MODEL1
 Dependent Variable: V

Analysis of Variance					
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	12	3950174.7831	329181.23192	195.578	0.0001
Error	117	196925.48891	1683.12384		
C Total	129	4147100.272			
Root MSE		41.02589	R-square	0.9525	
Dep Mean		188.44000	Adj R-sq	0.9476	
C.V.		21.77133			

Parameter Estimates					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > |T|
INTERCEP	1	-4.236938	8.59767785	-0.493	0.6231
T3	1	-0.015421	0.00315101	-4.894	0.0001
T2	1	0.764722	0.16835222	4.542	0.0001
T	1	-21.363102	3.88354031	-5.501	0.0001
IST	1	1.776335	0.15486013	11.471	0.0001
ISE2T	1	0.670064	0.27529714	2.434	0.0164
ISE3T	1	-0.864615	0.22273316	-3.882	0.0002
ISE4T	1	-0.837577	0.18722116	-4.474	0.0001
ISE5T	1	-0.269317	0.22732069	-1.185	0.2385
E2T	1	-23.557346	6.39186234	-3.686	0.0003
E3T	1	14.761549	4.03665092	3.657	0.0004
E4T	1	13.837692	3.81862371	3.624	0.0004
EST	1	0.516459	4.47590804	0.115	0.9083

Variance Inflation			
Variable	DF	Tolerance	Inflation
INTERCEP	1	.	0.00000000
T3	1	0.00949136	105.35899126
T2	1	0.00421013	237.52227676
T	1	0.00954918	104.72106097
IST	1	0.01724801	57.97771668
ISE2T	1	0.01368672	73.06352209
ISE3T	1	0.02904534	34.42892710
ISE4T	1	0.02725132	36.69546426
ISE5T	1	0.01081485	92.46548944
E2T	1	0.01482039	67.47459516
E3T	1	0.01916241	52.18549303
E4T	1	0.02179437	45.88341446
EST	1	0.00911429	109.71781373

Prueba de Breusch-Pagan Collinearity Diagnostics						
Number	Eigenvalue	Condition Index	Var Prop	Var Prop	Var Prop	Var Prop
			INTERCEP	T3	T2	T
1	6.01431	1.00000	0.0025	0.0002	0.0001	0.0001
2	2.16060	1.66842	0.0029	0.0001	0.0000	0.0000
3	1.99007	1.73844	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
4	1.96660	1.74878	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.55942	3.27886	0.2125	0.0018	0.0003	0.0001
6	0.12641	6.89772	0.0563	0.0182	0.0024	0.0002
7	0.08400	8.46181	0.2598	0.0061	0.0000	0.0047
8	0.04550	11.49684	0.1018	0.0155	0.0004	0.0198
9	0.02828	14.58209	0.0113	0.0025	0.0003	0.0072
10	0.01234	22.07919	0.0019	0.0063	0.0030	0.0276
11	0.00896	25.90287	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
12	0.00206	54.07006	0.2324	0.7093	0.7386	0.0020
13	0.00145	64.33111	0.1185	0.2400	0.2548	0.9383

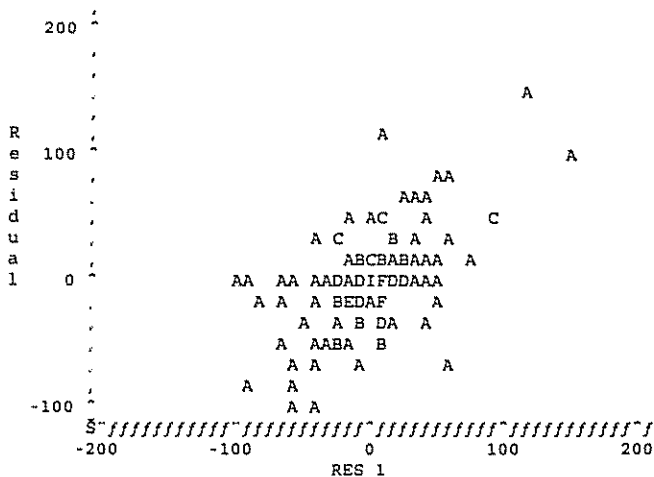
Var Prop Number	Var Prop IST	Var Prop ISE2T	Var Prop ISE3T	Var Prop ISE4T	Var Prop ISE5T	Var Prop E2T	Var Prop E3T
1	0.0002	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
2	0.0000	0.0014	0.0001	0.0003	0.0007	0.0015	0.0001
3	0.0000	0.0008	0.0037	0.0002	0.0003	0.0009	0.0024
4	0.0000	0.0002	0.0013	0.0044	0.0000	0.0002	0.0009
5	0.0002	0.0008	0.0005	0.0005	0.0000	0.0008	0.0003
6	0.0000	0.0013	0.0146	0.0185	0.0137	0.0011	0.0038
7	0.0429	0.0020	0.0002	0.0002	0.0016	0.0039	0.0064
8	0.0032	0.0003	0.0081	0.1734	0.0000	0.0000	0.0018
9	0.0058	0.0004	0.3653	0.0581	0.0008	0.0005	0.2180
10	0.0418	0.0817	0.0934	0.0650	0.1878	0.0943	0.0926
11	0.0000	0.4930	0.0000	0.0000	0.1449	0.5301	0.0001
12	0.2200	0.1113	0.1165	0.1813	0.2111	0.1175	0.2212
13	0.6859	0.3068	0.3960	0.4980	0.4389	0.2492	0.4525

Var Prop Number	Var Prop E4T	Var Prop EST
1	0.0001	0.0001
2	0.0002	0.0006
3	0.0002	0.0003
4	0.0035	0.0000
5	0.0004	0.0000
6	0.0019	0.0090
7	0.0205	0.0031
8	0.1198	0.0002
9	0.0516	0.0006
10	0.0667	0.1442
11	0.0001	0.1272
12	0.2656	0.2497
13	0.4694	0.4650

Durbin-Watson D 0.866
 (For Number of Obs.) 130
 1st Order Autocorrelation 0.560

Prueba de Breusch-Pagan

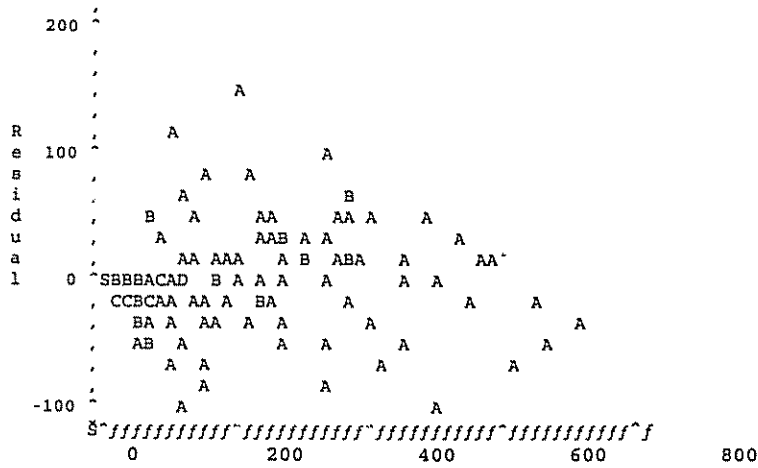
Plot of RES*RES_1 Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



NOTE: 1 obs had missing values.

Prueba de Breusch-Pagan

Plot of RES*PRED. Legend: A = 1 obs, B = 2 obs, etc.



Predicted Value of V
Prueba de Breusch-Pagan

OBS	Number of parameters in model	Sum of squared errors	Chi-Cuadrado Calculado	GL	Prob > Chi-Cuadrado Calculado
1	13	387.438	193.719	12	0

Anexo 7. Modelo de Regresión para modelo exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards.
Especie: *Gmelina arborea*

Non-Linear Least Squares Summary Statistics			Dependent Variable V	
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Regression	2	839841.78209	419920.89105	
Residual	13	95108.87791	7316.06753	
Uncorrected Total	15	934950.66000		
(Corrected Total)	14	300139.88400		

NOTE: The Jacobian is singular.

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
M	1202.596233	0.00000000000	1202.5962335	1202.5962335
A	0.009705	0.15632580938	-0.3280158	0.3474266
B	0.634868	0.15319307261	0.3039148	0.9658215

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	M	A	B
M	1		
A		1	0.9999995524
B		0.9999995524	1

----- NLINRSQ -----
 --- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ---

R-SQUARE FOR THE NON-LINEAR MODEL IS DEFINED AS 1 - SSE/CSS, WHERE SSE IS THE VARIANCE OF THE FULL MODEL, CSS IS THE VARIANCE OF THE MEAN MODEL.

R-SQUARE = 0.683118

Anexo 8. Modelo de Regresión para modelo exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards.
Especie: *Eucalyptus saligna*

--- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ---

Non-Linear Least Squares Summary Statistics			Dependent Variable V	
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Regression	3	694933.88721	231644.62907	
Residual	18	244538.99279	13585.49960	
Uncorrected Total	21	939472.88000		
(Corrected Total)	20	601576.19238		

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
M	283591.3451	1018004.2294	-1855142.0455	2422324.7356
A	0.0245	0.0651	-0.1122	0.1613
B	6.7776	21.6015	-38.6052	52.1604

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	M	A	B
M	1	0.9991624367	0.9999964994
A	0.9991624367	1	0.9990563387
B	0.9999964994	0.9990563387	1

----- NLINRSQ -----
 --- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ---

R-SQUARE FOR THE NON-LINEAR MODEL IS DEFINED AS 1 - SSE/CSS, WHERE SSE IS THE VARIANCE OF THE FULL MODEL, CSS IS THE VARIANCE OF THE MEAN MODEL.

R-SQUARE = 0.593503

Anexo 9. Modelo de Regresión para modelo exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards.
Especie: *Bombacopsis quinatum*.

--- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ----
Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable V

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	3	428056.55686	142685.51895
Residual	24	471059.29314	19627.47055
Uncorrected Total	27	899115.85000	
(Corrected Total)	26	664046.49852	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Asymptotic 95 % Confidence Interval Upper
M	1147.865062	6204.1354466	-11656.738047	13952.468172
A	0.004655	0.3929708	-0.806390	0.815701
B	0.812894	2.7110765	-4.782448	6.408236

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	M	A	B
M	1	0.4129403441	0.5767023638
A	0.4129403441	1	0.9821914295
B	0.5767023638	0.9821914295	1

----- NLINRSQ ----- 3
 --- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ----
 R-SQUARE FOR THE NON-LINEAR MODEL IS DEFINED AS 1 - SSE/CSS, WHERE SSE IS THE VARIANCE OF OF THE FULL MODEL, CSS IS THE VARIANCE OF THE MEAN MODEL.
 R-SQUARE = 0.290623

Anexo 10. Modelo de Regresión para modelo exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards.
Especie: *Cordia alliodora*.

--- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ----
Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable V

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	517416.28799	258708.14400
Residual	21	286523.61201	13643.98152
Uncorrected Total	23	803939.90000	
(Corrected Total)	22	566967.84957	

NOTE: The Jacobian is singular.

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Asymptotic 95 % Confidence Interval Upper
M	14787.54317	549143.04488	-1127209.0262	1156784.1125
A	0.00659	0.00000	0.0066	0.0066
B	2.14638	4.00994	-6.1927	10.4854

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	M	A	B
M	1	.	-1.00000311
A	.	1	.
B	-1.00000311	.	1

----- NLINRSQ ----- 3
 --- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ----
 R-SQUARE FOR THE NON-LINEAR MODEL IS DEFINED AS 1 - SSE/CSS, WHERE SSE IS THE VARIANCE OF OF THE FULL MODEL, CSS IS THE VARIANCE OF THE MEAN MODEL.
 R-SQUARE = 0.494639

Anexo 11. Modelo de Regresión para modelo exponencial. Caso específico de la fórmula de Richards.
 Especie: *Tectona grandis*.

--- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ---

Non-Linear Least Squares Summary Statistics Dependent Variable V

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	785091.3510	392545.6755
Residual	24	529589.1190	22066.2133
Uncorrected Total	26	1314680.4700	
(Corrected Total)	25	907755.1896	

NOTE: The Jacobian is singular.

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
M	3564.107134	0.0000000000	3564.1071337	3564.1071337
A	0.001315	0.09619722979	-0.1972251	0.1998543
B	0.802663	0.49590275810	-0.2208222	1.8261473

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	M	A	B
M	1		
A		1	1.0000003767
B			1

NLINRSQ

3

--- R-SQUARE FOR A NON-LINEAR MODEL ---

R-SQUARE FOR THE NON-LINEAR MODEL IS DEFINED AS 1 - SSE/CSS, WHERE SSE IS THE VARIANCE OF THE FULL MODEL, CSS IS THE VARIANCE OF THE MEAN MODEL.

R-SQUARE = 0.416595

Cuadro 1A. Actividades incluidas en los costos de plantaciones para las cinco especies utilizadas en este estudio.

AÑO	COSTOS VARIABLES ANUALES	COSTOS FIJOS ANUALES
1	chapea, trazado, rodajea inicial, ahoyado, transporte, distribución y siembra de plantas, fertilización, replante, chapea manual y química, rodajea manual, control de zompopos, prevención de fuego.	Administración, asistencia técnica, depreciación de equipo y herramienta, gastos generales y gastos sociales.
2	chapea manual y química, rodajea manual, control de zompopos, fertilización.	Administración, asistencia técnica, depreciación de equipo y herramienta, gastos generales y gastos sociales.
3	chapea manual y química, rodajea manual, control de zompopos, prevención de fuego	Administración, asistencia técnica, depreciación de equipo y herramienta, gastos generales y gastos sociales.
4	chapea manual, prevención de fuego ¹	Administración, asistencia técnica, depreciación de equipo y herramienta, gastos generales y gastos sociales.

¹ A partir del año 5 solo se incluyó solamente prevención de fuego.

Cuadro 2A. Costos de plantaciones de *Gmelina Arborea*¹

Tiempo (años)	Costos Variables Anuales(\$)	Costos Fijos anuales (\$)	Costos Totales Anuales(\$)
1	443.2352941	133.3190045	576.5542986
2	195.2972851	79.90180995	275.199095
3	171.5402715	76.77104072	248.3113122
4	65.27828054	65.89049774	131.1687783
5	40.34162896	63.20769231	103.5493213
6 ²	13.44886878	45.84162896	59.29049774

¹ Fuente: Actualizado y puesto en \$US para 1997 de Gómez, 1996. Costos de Establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica.

² A partir del año 5 se utilizaron los mismos costos para toda la serie de años posteriores.

Cuadro 3A. Costos de plantaciones de *Eucalyptus saligna*.

Tiempo (años)	Costos Variables Anuales(\$)	Costos Fijos anuales (\$)	Costos Totales Anuales(\$)
0	566.1	133.32	699.42
1	248.43	79.9	328.33
2	164.79	76.77	241.56
3	83.55	65.89	149.44
4	88.63	63.2	151.83
5	88.63	63.2	151.83

¹ Fuente: Actualizado y puesto en \$US para 1997 de Gómez, 1996. Costos de Establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica.

² A partir del año 5 se utilizaron los mismos costos para toda la serie de años posteriores.

Cuadro 4A. Costos de plantaciones de *Bombacopsis quinatum*.

Tiempo (años)	Costos Variables Anuales(\$)	Costos Fijos anuales (\$)	Costos Totales Anuales(\$)
0		0	0
1	531.4	133.3190045	664.7190045
2	199.22	79.90180995	279.12181
3	84.9	76.77104072	161.6710407
4	61.12	65.89049774	127.0104977
5	79.16	63.20769231	142.3676923

¹ Fuente: Actualizado y puesto en \$US para 1997 de Gómez, 1996 Costos de Establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica.

² A partir del año 5 se utilizaron los mismos costos para toda la serie de años posteriores.

Cuadro 5A. Costos de plantaciones de *Cordia alliodora*.

Tiempo (años)	Costos Variables Anuales(\$)	Costos Fijos anuales (\$)	Costos Totales Anuales(\$)
1	507.65	133.3190045	640.9690045
2	235.62	79.90180995	315.52181
3	151.85	76.77104072	228.6210407
4	84.34	65.89049774	150.2304977
5	81.29	63.20769231	144.4976923
6	81.29	45.84162896	127.131629

¹ Fuente: Actualizado y puesto en \$US para 1997 de Gómez, 1996 Costos de Establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica.

² A partir del año 5 se utilizaron los mismos costos para toda la serie de años posteriores.

Cuadro 6A. Costos de plantaciones de *Tectona grandis*

Tiempo (años)	Costos Variables Anuales(\$)	Costos Fijos anuales (\$)	Costos Totales Anuales(\$)
0	0	0	0
1	418.08	133.3190045	551.3990045
2	200.53	79.90180995	280.43181
3	113.1	76.77104072	189.8710407
4	73.53	65.89049774	139.4204977
5	63.14	63.20769231	126.3476923
6	63.14	45.84162896	108.981629

¹ Fuente: Actualizado y puesto en \$US para 1997 de Gómez, 1996 Costos de Establecimiento y manejo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Costa Rica.

² A partir del año 5 se utilizaron los mismos costos para toda la serie de años posteriores.