

52397
E8237

Universidad de Los Andes
Facultad de Ciencias Económicas y Sociales
Sección de Estudios de Postgrado en Economía
Maestría en Economía

**DETERMINACIÓN DEL TURNO OPTIMO DE COSECHA
EN PLANTACIONES FORESTALES DE *Eucalyptus*
urophylla CON FINES DE PRODUCCIÓN DE PULPA
PARA PAPEL Y CARTÓN.**

www.bdigital.ula.ve

Ing. Forestal Omar Carrero
Tutor: Prof. Giampaolo Orlandoni
Co-Tutor: Prof. Mauricio Jerez

Trabajo Presentado como
Requisito parcial para optar al título de
Magister Scientiae en Economía

Mérida-Venezuela
2006

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY - NC - SA 3.0 VE)

DEDICATORIA

A Carmen Aurora

A Omar, Fanny y Tata

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

A Giampaolo Orlandoni por sus consejos y disposición a ayudarme en todo momento en la elaboración de este trabajo.

A Mauricio Jerez, por su orientación y acertados comentarios.

A Raúl Macchiavelli, por haberme demostrado que la estadística es un área fascinante.

A mi amigo Víctor Andrade por orientarme en los aspectos relacionados con la Economía Forestal

A Jurgen Stock, gran amigo, por siempre haber confiado en mí.

A Francisco Ruíz, el compadre, siempre dispuesto a trabajar.

A la División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela, por haberme permitido la oportunidad de llevar a cabo este trabajo, especialmente a Rafael Arriechi, Ronalds Gonzalez, Beatriz Acosta, Julio Rojas, Julio Linares y Jesús Espinoza.

www.bdigital.ula.ve

RESUMEN.

Se determinó el turno óptimo de cosecha desde el punto de vista técnico y financiero para la especie *Eucalyptus urophylla* establecida en plantaciones industriales con fines de producción de pulpa para papel y cartón en el Centro-Occidente de Venezuela. Actualmente la edad de corta es alrededor de 7 años, sin embargo esta no tiene como base elementos financieros, y tampoco toma en cuenta las diferencias existentes en las distintas calidades de sitio donde fueron establecidas las plantaciones. Para ello se ajustaron modelos que relacionan la altura mayor y la edad haciendo uso de los modelos mixtos, obteniéndose la curva guía, con la cual se clasificaron las parcelas por calidades de sitio. A partir de ellas se ajustaron curvas de rendimiento necesarias para la determinación del turno óptimo de cosecha, haciendo uso de tres criterios distintos. Se pudo comprobar que los modelos mixtos tienen mejor ajuste, que el modelo lineal general, en el caso en que se tienen medidas repetidas. El turno óptimo usando el VES ó considerando el turno técnico es el mismo. Para la calidad de sitio I y II el turno es de 6 años, sin embargo para la calidad de sitio III es de 8 años, lo que es explicado por la menor productividad de este sitio, por lo que el turno óptimo de cosecha depende de la calidad de sitio. También se hizo el análisis de sensibilidad para conocer cuales variables son más críticas en la determinación del turno, y se determinó que éste es poco sensible ante cambios en la tasa de descuento, así como a las variaciones de costos.

Palabras Claves: Turno Optimo, Valor Esperado del Suelo, Cosecha, Modelos Mixtos, Faustmann

ABSTRACT.

Optimal harvest turn was determined from a technical and financial point of view for the specie *Eucalyptus urophylla* established in industrial plantations with the aim to produce pulp for paper and board in the Venezuela's middle-west. Right now the harvest age is around 7 years, however this one does not have a financial basis, neither it takes into account site quality differences. It was adjusted a top height and age relationship model using mixed models, obtaining a guide curve, and using it was possible a plot classification by site quality. Using this plot classification it was adjusted yield curves necessary in order to determine the optimal turn, using tree different criteria. We proved that mixed models have a better adjust than general linear models when the data has repeated measures. The optimal turn using LEV or the technical criteria is the same. It is 6 years for site quality I and II, however is 8 years on site quality III; it is explained by a poor site quality. As well it was proved that the optimal turn depends on site quality, diminishing it as plantations were established in better sites. Also was done a sensitivity analysis in order to know the more important variables that have influence to determine the optimal turn, and it was determined that interest rate and cost changes have low influence

Keywords: Optimal turn, Land Expected Value, Harvest, Mixed Models. Faustmann

INDICE GENERAL	Página
RESÚMEN.	4
1.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR.	11
2.-OBJETIVOS	11
3.-HIPÓTESIS	12
4.-REVISIÓN DE LA LITERATURA	12
4.1.-El Turno Optimo	12
4.2.-Variables que Influyen la Determinación del Turno Optimo.	13
4.2.1.-Calidad de sitio	15
4.3.-La función de producción (curva de crecimiento).	21
4.4.-La función de producción como herramienta para la toma de decisiones.	23
4.5.-Modelos de crecimiento	25
4.5.1-Von Bertalanffy	25
4.5.2-Chapman-Richardsy modelos relacionados	26
4.5.3.-Schumacher	27
4.6.-El ajuste de la curva de crecimiento	29
4.6.1.-Modelo lineal general	29
4.6.2.-Modelos mixtos	31
4.6.2.1.-Modelo lineal mixto	33
4.6.2.2.-Modelo no lineal mixto	33
4.6.3.-Criterios de bondad de ajuste	34
4.7.-Criterios financieros para seleccionar el turno óptimo	35
4.7.1.-El valor actual neto (VAN)	35
4.7.2.-Valor esperado del suelo (VES)	36
4.7.3.-Tasa interna de retorno (TIR)	37
4.7.4.-Razón beneficio/costo	39
4.8.-Tipos de Turno.	40
4.8.1.-Turnos no Financieros.	40
4.8.1.1.-Turno físico	40
4.8.1.2.-Turno silvicultural	40
4.8.1.3.-Turno técnico:	40
4.8.2.-Turnos Financieros a Nivel de Rodal.	41
4.8.2.1.-Turno del máxima renta forestal.	41

4.8.2.2.-Turno de Fisher-Hotelling.	41
4.8.2.3-Turno de Faustmann-Pressler-Ohlin	43
	Página
4.8.2.4.-Turno de Samuelson	45
4.8.2.5.-Turno de Boulding.	45
4.8.2.6.-Turno de Hartman.	46
4.8.3.-Turnos Financieros a Nivel de un Bosque Regulado	46
4.9.-Supuestos	48
5.-METODOLOGÍA.	49
5.1.-Área de Estudio.	49
5.2.- Recopilación de los Datos.	51
5.2.1.- De Campo	51
5.2.2.- De Oficina	52
5.3.-Procesamiento De Los Datos:	54
5.3.1.- Procesamiento preliminar de los datos	54
5.3.2.- Normalidad de los datos	56
5.3.3.- Ajuste de la curva guía para la clasificación del sitio	56
5.3.3.1.-Modelo lineal	57
5.3.3.2.-Modelo no lineal	57
5.3.3.3-Modelo lineal mixto	58
5.3.3.4.-Modelo no lineal mixto	59
5.3.4.-Comparación de los modelos	62
5.4.-Las calidades de sitio	62
5.5.-Ajuste de curvas de rendimiento por calidad de sitio	63
5.6.-Elaboración del modelo en hoja de cálculo para determinar el turno óptimo	64
5.7- Análisis de Sensibilidad	73
6.-RESULTADOS Y DISCUSION	73
6.1.-Calidad de sitio y curvas de rendimiento	73
6.2.-Determinación del turno óptimo financiero de cosecha	90
6.3.- Análisis de Sensibilidad	98
7.- CONCLUSIONES	101
8.-RECOMENDACIONES	103

9.-REFERENCIAS	104
10.-ANEXOS	110

LISTA DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Información básica de las parcelas permanentes de E. urophylla	53
CUADRO 2. Variables relevantes en la determinación del turno óptimo	65
CUADRO 3. Costos de establecimiento, manejo y generales	69
CUADRO 4. Pruebas de la autocorrelación	77
CUADRO 5. Pruebas de la normalidad de los datos.	77
CUADRO 6. Bondad de ajuste de los modelos de la curva guía	81
CUADRO 7. Bondad de ajuste de los modelos de la curva de rendimiento por calidad de sitio.	85
CUADRO 8. VAN y VES en US\$/ha para distintas edades y calidades de sitio	92
CUADRO 9. Pérdida del VAN y VES en US\$/ha para distintas edades y calidades de sitio	95

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Fases del Proceso Productivo en una Plantación con Fines Comerciales	14
FIGURA 2. Curvas anamórficas	18
FIGURA 3. Curvas polimórficas sin intersecciones	18
FIGURA 4. Conceptualización de la función de producción para fines de manejo forestal	24
FIGURA 5. Curvas de crecimiento para distintos valores de m.	28
FIGURA 6. Tasa Interna de Retorno ocurre cuando el VAN es cero	38
FIGURA 7. Determinación gráfica del turno de máxima renta forestal	42
FIGURA 8. Determinación gráfica del turno de Fisher-Hotelling	44
FIGURA 9. Ubicación Relativa de las Fincas de Smurfit Cartón de Venezuela y Sitios de Interés	50
FIGURA 10. Vista de la hoja "INICIO" del modelo desarrollado para la determinación del turno óptimo de cosecha.	67
FIGURA 11. Vista de la hoja "VMP" donde se calcula el valor de la madera en pie	67
FIGURA 12. Vista de la hoja "FLUJO DE FONDOS CS" donde se calculan los indicadores financieros	72
FIGURA 13. Relación entre altura mayor y edad	74
FIGURA 14. Relación lineal entre el Ln de la altura mayor y la raíz cuadrada del inverso de la edad	74
FIGURA 15. Relación entre los residuos y la edad de la parcela	78
FIGURA 16. Relación entre los residuos y los valores predichos del Ln de la altura mayor.	78
FIGURA 17. Gráfico de tallo y hojas para los residuos	80
FIGURA 18. Gráfico de probabilidad normal	80

	Página
FIGURA 19. Curva guía y curvas de clasificación sobrepuestos a los valores observados de la altura mayor	84
FIGURA 20. Curva guía y curvas de clasificación sobrepuestos a los valores observados de la altura mayor comprendidos entre 5, 5 y 7, 5 años de edad.	84
FIGURA 21. Curvas de rendimiento por calidad de sitio expresados en m³/ha	87
FIGURA 22. Curvas de rendimiento por calidad de sitio expresados en Tn/ha	87
FIGURA 23. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio I.	89
FIGURA 24. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio II.	89
FIGURA 25. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio III.	91
FIGURA 26. VAN por calidad de sitio	94
FIGURA 27. VES por calidad de sitio.	94
FIGURA 28. Costo de oportunidad usando el VAN	97
FIGURA 29. Costo de oportunidad usando el VES	97
FIGURA 30. Sensibilidad del turno ante cambios en la tasa de Descuento	99
FIGURA 31. Sensibilidad del turno ante cambios en el costo de transporte	99
FIGURA 32. Sensibilidad del VAN en la calidad de sitio II ante variaciones del costo suponiendo un turno de 6 años	100

LISTA DE ANEXOS	Página
10.1.- Estructuras de la Matriz de Varianza-Covarianza	110
10.2.- Valores de los parámetros del modelo de curva guía de mejor ajuste	112
10.3.- Análisis de la varianza y comparación de medias para la variable VOLSCHA en distintas edades y dos niveles de significancia	112
10.4.-Programa SAS elaborado para el procesamiento de los datos.	113

www.bdigital.ula.ve

1.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA A INVESTIGAR.

La determinación del turno óptimo es una de los aspectos más importantes en el área de plantaciones con fines de producción, pues este influirá de alguna manera en los beneficios a obtener de la inversión realizada. Tendrá incidencia en la composición del bosque, en el aseguramiento del flujo más o menos constante de materia prima, y finalmente en la cantidad y calidad de productos a obtener. El turno óptimo de cosecha estará fuertemente influenciado por los objetivos que persiga la empresa forestal, su régimen de manejo, y sus costos operativos.

La División Forestal de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela (DFSCV), que pertenece a uno de los grupos más importantes en el mundo en la producción de pulpa, cartón y papel (Frances, 2001) ha establecido desde la década de los ochenta alrededor de 20.000 ha de *Eucalyptus sp.*, *Gmelina arborea* y *Pinus caribaea* en la región Centro-Occidental de Venezuela con fines de producir pulpa para cartón y papel. Estas plantaciones fueron establecidas en calidades de sitio distintas (Henri, 2001), lo que tendrá gran influencia en el nivel de producción alcanzado en el momento de la corta, en los costos de producción (establecimiento, mantenimiento y manejo), y en los costos de explotación. Actualmente la empresa tiene como turno de cosecha los 7 años para la especie *Eucalyptus sp.* sin tomar en cuenta la calidad de sitio en la cual la plantación fue establecida, lo que seguramente influye en los retornos de la inversión. La determinación del turno óptimo permitirá ordenar adecuadamente el patrón de cosechas de la empresa al poder incorporar esta información en el modelo preliminar de cosechas que actualmente se utiliza en la empresa.

2.-OBJETIVOS

- ❖ Determinar el turno óptimo de cosecha para *Eucalyptus sp.* en las plantaciones de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela.
- ❖ Determinar el turno óptimo de cosecha por calidad de sitio.

- ❖ Comparar tres criterios para la determinación del turno óptimo de cosecha.
- ❖ Conocer la pertinencia de los modelos de Chapman Richards, Gompertz, Logística, Weibull y Monomolecular utilizados para ajustar las curvas de altura mayor y curvas de rendimiento de las plantaciones de DFSCV.
- ❖ Elaborar un modelo gerencial usando hojas de cálculo electrónicas para la toma de decisiones y análisis de sensibilidad.

3.-HIPÓTESIS

El criterio financiero es más adecuado que el técnico cuando el objetivo que persigue la empresa es maximizar el beneficio como es el caso de DFSCV, por lo que se espera que el turno óptimo sea mayor o igual al actual. La calidad de sitio es una variable que tiene gran influencia en la determinación del turno óptimo, por lo que es de esperarse que éste varíe para cada una de ellas.

4.-REVISIÓN DE LA LITERATURA

4.1.-El Turno Optimo

La determinación del turno óptimo es una de las decisiones económicas más importantes en el área de plantaciones con fines de producción, y consiste en determinar la edad óptima de cosecha de una masa forestal. En el proceso productivo, como se puede apreciar en la Figura 1, existen tres fases: La fase I que comienza cuando el nivel de factores utilizados es cero hasta el punto donde el Producto Medio (Incremento Medio Anual) es máximo, la fase II va desde el punto anterior hasta la edad en la cual el producto total es máximo ó en donde el producto marginal (Incremento Corriente Anual) se hace cero, y la fase III donde el producto total decrece. Es obvio que el turno óptimo no se encuentra en la fase III pues sería una decisión económicamente ineficiente esperar más tiempo para cosechar si el producto total va a ser menor; en la etapa I el producto medio va en aumento y cosechar en esta fase sería perder la oportunidad de incrementar el beneficio; así que el turno óptimo se encuentra en la fase II y el momento óptimo de la cosecha dependerá de variables financieras (Lima et al. 1999). El

turno óptimo técnico coincide con el punto donde el Incremento Medio Anual (Producto Medio) es máximo, el cual en ocasiones puede coincidir con el turno óptimo financiero.

4.2.-Variables que Influyen en la Determinación del Turno Optimo.

Las variables que tienen influencia en la determinación del turno óptimo de cosecha son múltiples, sin embargo Duerr (1960) las clasifica en: 1) aquellas que tienen influencia en el crecimiento marginal del capital y 2) la tasa alternativa de retorno de la empresa.

La primera de ellas puede ser descompuesta en: a) las que tienen influencia en la función de producción (curva de crecimiento) pues cualquier cambio de ella afectará el turno óptimo de cosecha. Entre ellas tenemos la calidad de sitio, como lo señala Gomes et al. (1998) quienes encontraron en plantaciones de *Pinus taeda* en Brasil que mientras mejor sea la calidad de sitio menor será el turno óptimo de cosecha. De la misma manera dentro de esta categoría podrían considerarse la densidad inicial, el régimen de aclareo, la fertilización o cualquier otra operación silvicultural que afecte el crecimiento del rodal. El mejoramiento genético es un caso especial pues sus efectos pueden palparse en un mayor plazo de tiempo, de tal manera que cuando se suponen múltiples rotaciones esta es una variable a ser tomada en cuenta. b) El cambio en el valor de la madera debido a los premios por mayores dimensiones, calidad, etc. Los precios de la madera afectan el turno óptimo de cosecha de manera diferente, si se espera que el precio suba y se mantenga constante a partir de ese momento entonces no tendrá ninguna influencia. Por el contrario si se espera que la pendiente de la función de los precios netos se incremente, lo que quiere decir que se espera un aumento de los precios en cada período, en ese caso el turno se alarga (*ceteris paribus*) (Lohmander, 1987). Un último caso es aquel en el cual el aumento de precios se debe a una situación coyuntural en el mercado por lo que éste aumento es momentáneo, lo cual acorta el turno, y de ésta manera el productor aprovecha la situación del mercado (Yin y Newman, 1995); en los dos últimos casos el manejo se hace más intensivo. Lohmander (1987) señala que cuando el IMA máximo crece, el turno óptimo de cosecha decrece y el valor presente óptimo se incrementa.

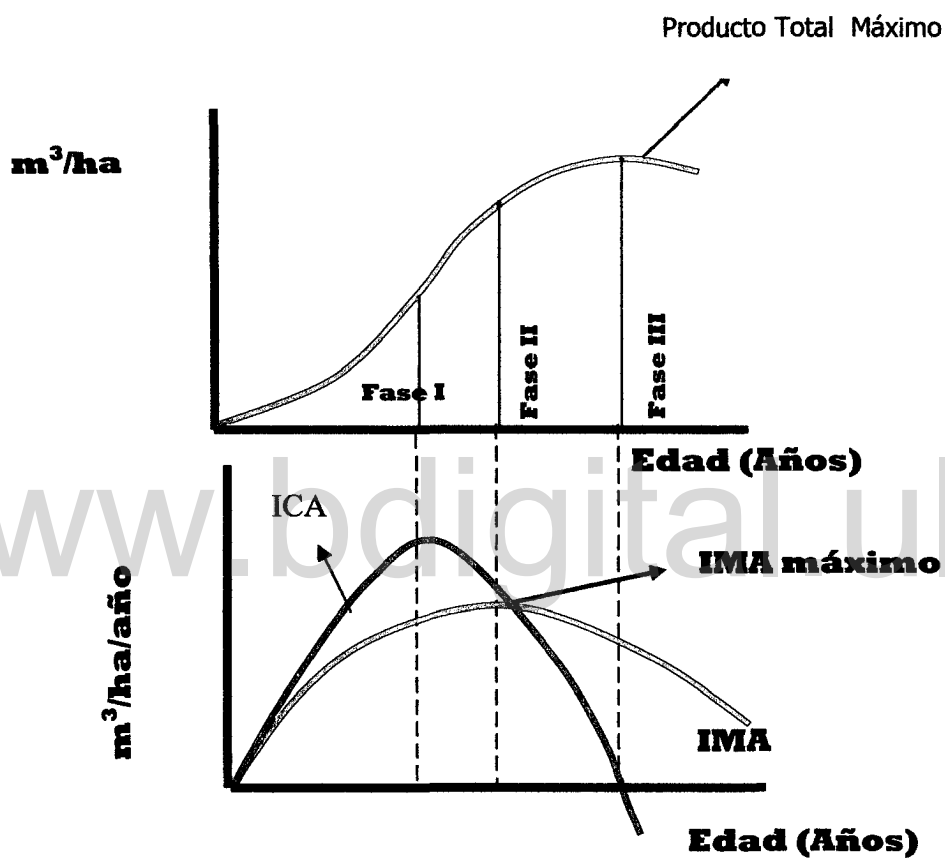


FIGURA 1. Fases del Proceso Productivo en una Plantación con Fines Comerciales

Así mismo cuando la edad del IMA máximo se incrementa el turno se hace mayor y el valor presente óptimo decrece. c) Cualquier otro costo diferente a la tasa de interés que varíe con la edad, el tamaño ó el inventario. El control de malezas y bachacos tienen una relación inversa con el inventario, de manera que si se llega pronto al momento en el cual ocurre el cierre de dosel estos costos disminuyen. De la misma manera si los costos de regeneración se incrementan, el turno se hace más largo (Lohmander, 1987).

Por otro lado, la tasa alternativa de retorno de la empresa tiene influencia en la determinación del turno, pues cuando ésta aumenta, el turno óptimo de cosecha se hace más corto (Duerr, 1960; Lohmander, 1987; Gomes et al., 1998). En el caso de ser muy alta haría económicamente inviable cualquier régimen de manejo que se proponga, por lo que sería preferible no hacer la inversión (Acerbi, et al., 2002)

4.2.1- Calidad de Sitio

La calidad de sitio, como se mencionó anteriormente, es una de las variables que tienen influencia en la determinación del turno óptimo de cosecha, y por ser de gran importancia para este propósito se considera en esta sección.

Ante todo habría que definir lo que se entiende por sitio. Según Clutter et al. (1983) este término tiene dos connotaciones: la primera se refiere a una localidad geográfica; la segunda involucra a la totalidad de las condiciones ambientales existentes en una localidad en particular (bióticas, edáficas y climáticas).

La calidad de sitio es definida como la capacidad intrínseca que tiene él mismo para el crecimiento de una especie forestal, expresándose por la producción que se obtiene al momento de la corta final (Thrower, 1989 citado por Andenmatten y Letourneau, 1998; Davis y Johnson, 1987 citado por Soares et al, 2004). Batista y Couto (1986) y Mora y Meza (2004) señalan que en las ciencias forestales el término "sitio" se utiliza para designar la influencia del ambiente sobre la producción forestal. Para Clutter et al. (1983) la calidad de sitio, en el manejo forestal, es definida como "el potencial de producción de madera de un sitio para una especie ó un tipo de bosque", considerando que mejores

calidades tendrán mayor producción. Y señala también que este concepto es relativo, pues un sitio puede ser considerado bueno para una especie y malo para otra, a pesar de que trata de la misma área considerada. Los ecólogos y los silvicultores definen al sitio desde dos puntos de vista diferentes: los primeros como una unidad geográfica uniforme caracterizada por una combinación de factores del medio; los segundos lo definen como un factor de producción primario capaz de producir madera o productos forestales (Da Cunha et al., 1996; Schonau, 1987 citado por Scolforo, 1992).

La clasificación de la calidad del sitio es de gran importancia para la planificación del manejo forestal, al tener ésta gran influencia sobre el crecimiento de la masa forestal. De tal manera que la productividad del sitio se ve directamente influenciada por la calidad de sitio, y en consecuencia, los tratamientos silviculturales, el turno de cosecha, las técnicas de explotación, los productos a obtener y la rentabilidad de la inversión en cada uno de ellos puede variar (Da Cunha et al. 1996; Gaillard et al., 2000; Scolforo, 1992).

Existen varias técnicas para la clasificación de los sitios. Clutter et al. (1983) las divide en métodos directos y métodos indirectos; para los primeros, es necesario que la especie de interés exista o haya existido en esa localidad y es basado en características de la masa forestal compuesta por la especie de interés, el segundo grupo se basa en relacionar el sitio con otras características distintas a las consideradas anteriormente, como el suelo, topografía, otras especies indicadoras, etc; lo que es un poco complejo por la interacción de las variables ambientales (Jones 1969 citado por Soares y Leite, 2004; Mora y Meza, 2004). Sin embargo, se considera que los primeros dan mejores clasificaciones (Clutter et al, 1983; Tonini et al., 2001)

Dentro de la primera clasificación Clutter et al. (1983) menciona tres métodos: el primero de ellos tiene que ver con el registro histórico de producción en la misma área, lo que en ocasiones es difícil de obtener; el segundo de ellos relaciona la calidad de sitio con el volumen, sin embargo esta variable es muy influenciada por la densidad del rodal, los factores genéticos, y la edad de rotación, por lo que la calidad de sitio puede estar enmascarada por estos otros factores (Spur, 1952 citado por Batista y Couto, 1986). El tercero, que a pesar de las fallas que puedan tener, es considerado el mejor para

clasificar sitio. Relaciona la altura mayor con la calidad de sitio, entendiéndose por altura mayor cómo el promedio de la altura de los 100 árboles más altos (dominantes y codominantes) por hectárea, ó de los 100 árboles con mayor diámetro por hectárea (Clutter et al., 1983; Da Cunha et al., 1996; Tonini et al., 2001, Andenmatten y Letourneau, 1998, Batista y Couto, 1986). Este tercer método, con sus variantes, ha sido el más utilizado pues tiene la ventaja de que la altura mayor es poco influenciada por la densidad de la plantación (si ésta permanece dentro de cierto rango), es fácil de medir en el campo, y tiene buena correlación con la producción volumétrica (Clutter et al. 1983, Burger 1976 citado por Tonini et al., 2001). Para este último modelo es necesario que las parcelas elegidas no se encuentren en un estado juvenil de crecimiento, las densidades deben ser homogéneas (entre 900 y 2500 árboles por hectárea), que no se hayan realizado prácticas silviculturales que hayan afectado a la altura de los árboles dominantes y codominantes, y que los árboles no hayan sufrido daños severos (incendios, plagas, etc) (Tonini et al., 2001; Soares et al., 2001).

De tal manera que con este método se clasifican los sitios al evaluar la altura mayor de los rodales a una edad determinada, conocida como edad base (Torres, 2001; Da Cunha, 1996). La edad base, que es un criterio subjetivo, y por lo general es la edad en la cual se alcanza el máximo crecimiento medio en altura (Zepeda y Rivero, 1984 citado por Andenmatten y Letourneau, 1998), ó una edad próxima al turno de cosecha (Clutter et al. 1983)

Una vez ajustado el modelo mediante regresión, se escoge aquel con mejor ajuste, a partir del cual se genera una familia de curvas de índice de sitio, las cuales han sido divididas en dos grupos: anamórficas y polimórficas (Clutter et al., 1983, Batista y Couto, 1986). Las primeras se caracterizan porque la altura de las otras curvas a cualquier edad es una proporción fija de la curva originalmente ajustada, por lo que estas curvas tendrán la misma forma (Figura 2). Las curvas polimórficas, por su lado, pueden ser de dos tipos:

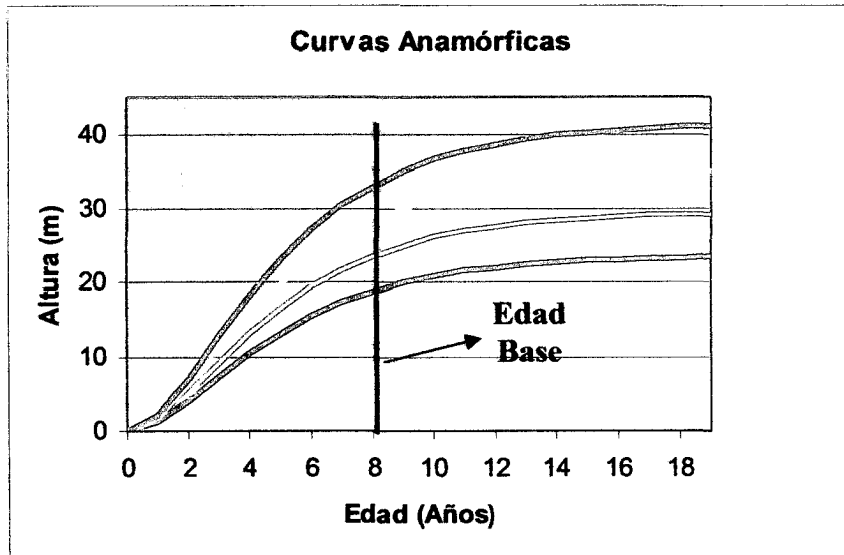


FIGURA 2. Curvas anamórficas

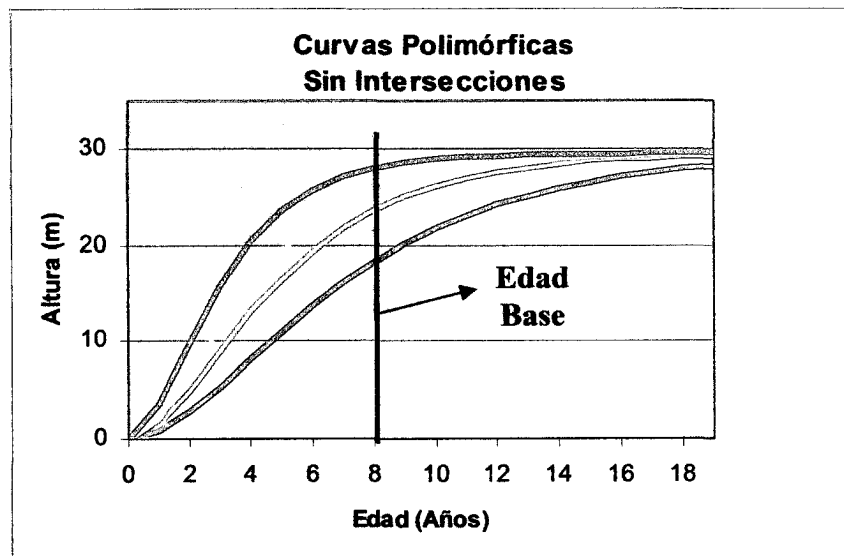


FIGURA 3. Curvas polimórficas sin intersecciones

con intersecciones y sin intersecciones, como las mostradas en la figura 3; en los dos casos la proporción entre la familia de curvas a diferentes edades es distinta, por lo que estas tendrán formas distintas en cualquiera de sus dos variaciones, pero en cualquiera de los casos se tendrán varias curvas en un rango tal que contengan todos los valores observados de la altura mayor. (Torres, 2001). En cualquiera de las dos formas como se presenten las curvas es posible reparametrizarlas como lo indican García (2005), García y Ruiz (2003), Da Cunha (1996), y Scolforo (1992), si se supone que el modelo viene dado por :

$$y = f(t, a, b)$$

donde “y” es la variable respuesta, “t” es la edad, “a” y “b” son parámetros del modelo.

Dependiendo de cual de los dos parámetros suponemos común y cual suponemos variable para todos los rodales, entonces podríamos tener dos casos:

- 1) “b” es un parámetro común a todos los rodales por lo cual lo llamaremos factor global, y “a” es un parámetro que varía para cada rodal por lo que llamaremos factor local. Donde “a” representa la asíntota alcanzada por la función, en este caso se generan curvas anamórficas pues estas son proporcionales en el eje vertical, lo que quiere decir que la asíntota depende del sitio. Supongamos que se trabaja con el modelo de Chapman- Richards que viene dado por:

$$y = a(1 - \exp^{-bt})^c \quad (1)$$

donde:

a, b y c = parámetros del modelo

t = edad (años)

Cuando $t=t_b$ (t_b es la edad base) entonces $y=S$, pues por definición la altura mayor “y” alcanzada a la edad base genera la calidad de sitio del rodal “S”. Sustituyendo estos valores en (1) y despejando “a” entonces:

$$a = \left(\frac{S}{1 - \exp^{-bt_b}} \right) \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1) tenemos:

$$y = S \left(\frac{(1 - \exp^{-bt})^c}{1 - \exp^{-btb}} \right) \quad (3)$$

Que representa la curva de índice de sitio en función de la calidad de sitio, suponiendo que la asíntota es diferente para cada una de las calidades. Este modelo es más ventajoso que (1) pues la altura mayor a la edad base es conocida, lo contrario del valor de la asíntota “a” que es desconocido pues habría que esperar un tiempo demasiado largo para medirla.

Si además de ello consideramos que las diferencias en el clima, condiciones de suelo, variaciones de densidad del vuelo, los errores de observación (pues la estimación de la altura de los árboles es muy imprecisa), además de los errores de muestro, pueden tener influencia en la estimación podríamos pensar que la calidad de sitio “S” puede variar aleatoriamente; en ese caso el modelo vendría expresado como:

$$y = (S + u) \left(\frac{(1 - \exp^{-bt})^c}{1 - \exp^{-btb}} \right) \quad (4)$$

donde:

u= efecto aleatorio asociado con la altura mayor a la edad base (S)

- 2) “b” es el factor local, y “a” es el factor global. Donde “b” es un factor ligado con la escala temporal pues afecta el dominio de la función; en este caso se generan curvas polimórficas pues son proporcionales en el eje horizontal, lo que hace que el dominio de la función dependa de la calidad de sitio. Despejando “b” de (1) y suponiendo $t=tb$ y en consecuencia $y=S$, tenemos:

$$b = \left(\frac{-\ln \left[1 - \left(\frac{S}{a} \right)^{\frac{1}{c}} \right]}{tb} \right) \quad (5)$$

Sustituyendo (5) en (1) tenemos la curva de índice de sitio en función de la calidad de sitio “S”, suponiendo que el factor local es “b”.

$$y = a \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{S}{a} \right)^{\left(\frac{1}{c} \right)} \right]^{\left(\frac{t}{b} \right)} \right\}^c \quad (6)$$

Si además suponemos que “S” varía de manera aleatoria tendremos:

$$y = a \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{(S+u)}{a} \right)^{\left(\frac{1}{c} \right)} \right]^{\left(\frac{t}{b} \right)} \right\}^c \quad (7)$$

donde:

u= efecto aleatorio asociado con la altura mayor a la edad base (S)

García y Ruiz (2003) han encontrado, para un modelo de crecimiento de eucalipto, que aquellos modelos que suponen como factor local al parámetro “b” ajustan mejor.

García (2005) considera dos definiciones de índice de sitio dependiendo si se trata de un enfoque determinístico ó estocástico. En el primer caso parece no haber confusión con la definición pues ésta es entendida como la altura observada a la edad base, lo cual es una propiedad particular del rodal y es llamada “índice de sitio del rodal”. En el segundo caso es la altura más probable a la edad base de entre todos los rodales hipotéticos que podrían crecer en ese sitio. Asimismo, las curvas de sitio y los parámetros locales se interpretarían como los valores más probables y recibe el nombre de “índice de sitio del sitio”

4.3.-La función de producción (curva de rendimiento).

La función de producción se entiende en economía como la relación que existe entre la cantidad de insumos utilizados y la máxima cantidad de producto generado con ellos, por lo que es de suponer que se es eficiente en el proceso productivo (Samuelson y Nordhaus, 1996; Katz y Rosen, 1994, Nicholson, 1997).

Las empresas forestales necesitan conocer sus niveles de producción para poder tomar decisiones técnicas y financieras, así como la determinación de la combinación óptima

de insumos (Mendoza, 1993). En el caso forestal el proceso productivo es más complejo, pues en el intervienen algunas variables que son difíciles de controlar por los técnicos forestales como las variables ambientales, la calidad de sitio, etc. Sin embargo el pronóstico de los niveles de producción es indispensable para la planificación, y ello es posible con el uso de modelos de crecimiento y producción (Leite et al. 2001; Rayner y Turner 1990; Nautiyal y Couto, 1984).

Las funciones de producción son descripciones simples del proceso productivo en un lenguaje matemático útiles para la toma de decisiones en el manejo forestal (Duerr 1960 citado por Nautiyal y Belli 1989). Los economistas han usado las técnicas econométricas para ajustar funciones de producción que son útiles para entender el proceso productivo industrial (Walters 1963 citado por Belli y Nautiyal 1989).

La función de producción en el caso forestal generalmente ha sido expresada como función del tiempo por ser considerado como un insumo, ya que en este caso el capital en gran parte está constituido por la madera en pie que varía sus niveles a través del tiempo (Duerr 1963, Lima et al. 1999, Robinson, 1987). La función de crecimiento es equivalente a la primera derivada con respecto al tiempo de la función anterior (producto marginal), mientras que las otras variables explicativas se juntan en la variable calidad de sitio. Sin embargo, estos modelos no toman en cuenta los factores básicos responsables del crecimiento como el agua, nutrientes, radiación solar, etc (Nautiyal y Couto 1984).

Es necesario mencionar algunas de las características de las funciones de producción cuando se supone que uno de los insumos es variable mientras los demás permanecen constantes; como es el caso de la figura 1 donde el insumo variable es el tiempo. Inicialmente presenta rendimientos marginales crecientes, lo que quiere decir que un aumento del insumo variable genera un aumento más que proporcional del producto, luego los rendimientos marginales son constantes (cerca al punto de inflexión de la curva) donde un incremento en el insumo variable trae como consecuencia un incremento de la misma proporción en el producto, y finalmente presenta rendimientos

marginales decrecientes, pues al incrementar el insumo variable el incremento en el producto es menos que proporcional (Robinson , 1987, Samuelson y Nordaus, 1996)

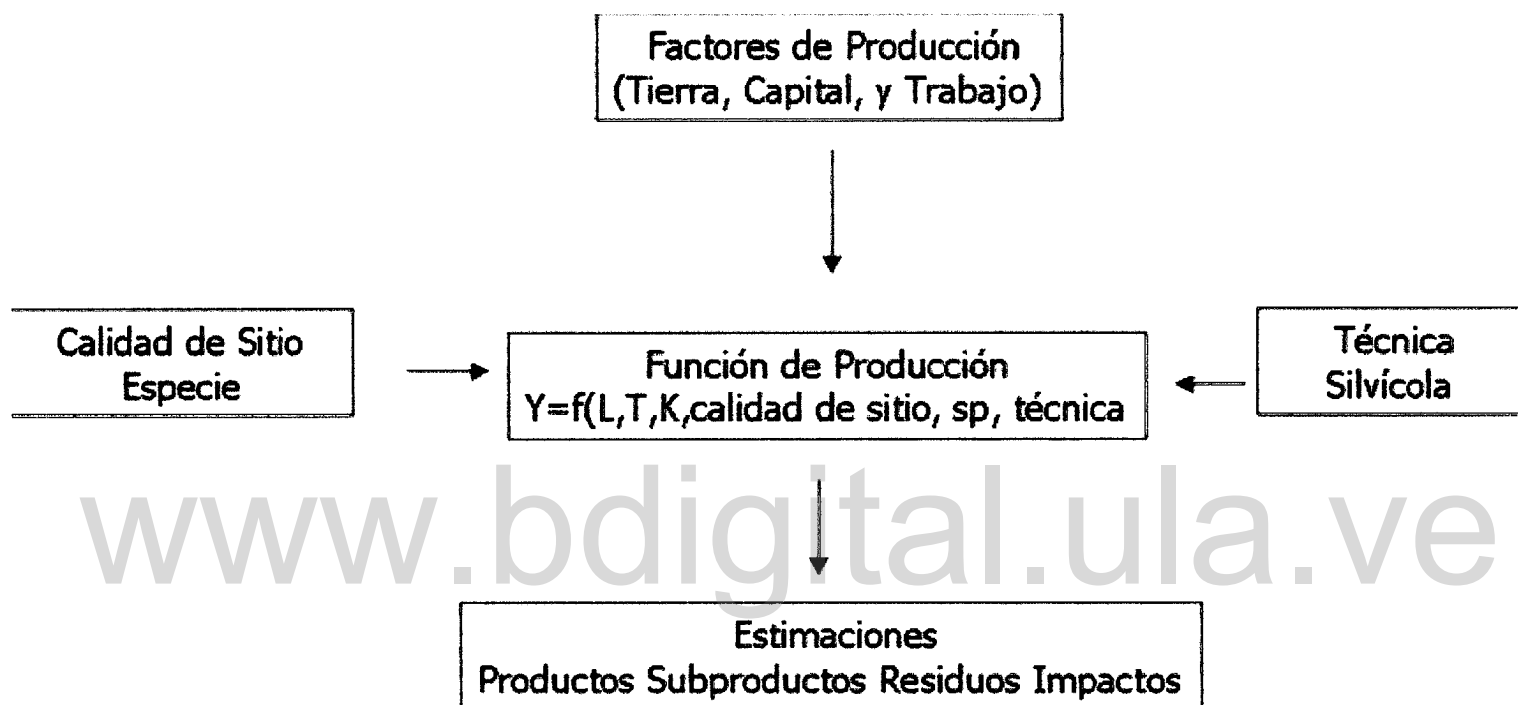
Para Mendoza (1993) la función de producción es específica para cada combinación de sitio, especie, y régimen de manejo; ésta abarca todo el rango de experiencias silvícolas que con anterioridad han sido demostradas como biológicamente factibles. La figura 4 esquematiza lo comentado en los párrafos anteriores.

4.4.-La función de producción como herramienta para la toma de decisiones.

En la toma de decisiones forestales es necesario seleccionar la combinación óptima de insumo con el objetivo de maximizar los resultados financieros (en el caso de plantaciones privadas) y esta decisión es imposible de tomar si no se tiene conocimiento de la función de producción. Las cantidades correctas de insumos a ser utilizados depende tanto de la función de producción, así como del precio de los insumos y de los productos (Rawat y Nautiyal 1985; Nautiyal y Belli 1989).

Para Belli y Nautiyal (1989) existen dos razones por las cuales los técnicos forestales deben considerar el empleo de funciones de producción: 1) La función de producción de madera puede ayudar a desarrollar un manejo intensivo de las plantaciones forestales al hacer un uso eficiente de los recursos. 2) La tendencia actual en el modelado del crecimiento de plantaciones es incluir más variables biológicas de tal manera que se pueda describir mejor el proceso de crecimiento.

Belli y Nautiyal (1989), y Nautiyal y Couto (1984) señalan que las funciones de producción pueden ser utilizadas en el manejo intensivo de las plantaciones para predecir, controlar y tomar decisiones económicas. Una de las aplicaciones más útiles de la función de producción es que sirve de base para la planificación y el diseño de políticas, por ejemplo, la escogencia del turno óptimo de cosecha forestal, así como la escogencia de la combinación óptima de insumos.



Fuente: Mendoza (1993)

FIGURA 4. Conceptualización de la función de producción para fines de manejo forestal

4.5.-Modelos de crecimiento

Richards (1959) señala que las curvas de crecimiento clásicas y mejor conocidas son:

	Monomolecular	Autocatalítica	Gompertz
Ecuación	$W = A(I - be^{-kt})$	$W = A/(1 + be^{-kt})$	$W = Ae^{-be^{-kt}}$
Tasa de Crecimiento	$k(A - W)$	$kW(A - W)/A$	$kW \log_e(A/W)$

Donde V representa el tamaño en el momento t , A es la asíntota para el crecimiento, y k es una tasa constante que determina el dominio de la función; es decir, la amplitud de la función a lo largo del eje donde se representa al tiempo. En cambio b es un factor de poca importancia biológica, pues refleja sólo la escogencia del punto cero de la variable tiempo. La función monomolecular no tiene punto de inflexión, y la tasa de crecimiento disminuye paulatinamente a través del tiempo. La función autocatalítica o logística es simétrica con respecto al punto de inflexión, y la curva de Gompertz se asemeja a la autocatalítica, pero no es simétrica con respecto al punto de inflexión pues este se ubica cuando $W = A/e$ ó cuando se alcanza el punto en el que se alcanza el valor 0.368A.

4.5.1-Von Bertalanffy

Von Bertalanffy (1951) citado por Pienaar y Turnbull (1973) derivó su modelo de sus estudios alométricos, entendiendo por estos las relaciones que existen entre diferentes partes de un organismo. Von Bertalanffy formuló una hipótesis en la que expresaba la tasa de crecimiento en volumen de un organismo, como la diferencia entre la tasa anabólica y la tasa catabólica. La tasa anabólica es proporcional a la superficie del organismo, que es expresada como una proporción del volumen; mientras la tasa catabólica es proporcional al volumen de la biomasa, lo que se expresa matemáticamente como:

$$\partial V / \partial t = \eta V^{2/3} - \gamma V \quad (1)$$

donde:

$\partial V / \partial t$ = Tasa de crecimiento en volumen

V =Volumen

γ y η =parámetros

2/3=constante alométrica

Integrando la ecuación (1) utilizando la ecuación de Bernoulli para la integración de ecuaciones diferenciales, tenemos:

$$V_t = \left[\eta / \gamma - \eta / \gamma * \exp\{-\gamma(1 - 2/3)(t - t_0)\} \right]^{1/(1-2/3)} \quad (2)$$

donde:

V_t =Volumen total en el momento t , dado que en el momento inicial $t=t_0$ y $V_{t_0}=0$

Von Bertalanffy demostró que los modelos de crecimiento como el (2) se adaptaban bien al crecimiento de muchos organismos.

Si $t \rightarrow \infty$ $V_{t \rightarrow \infty} \rightarrow (\eta / \gamma)^{1/(1-2/3)}$ y si la asíntota para el volumen se denota como A entonces:

$\eta / \gamma = A^{1-2/3}$ y si $(1 - 2/3)\gamma = k$ entonces:

$$V_t = A \left[1 - \exp\{-k(t - t_0)\} \right]^{1/(1-2/3)} \quad (3)$$

4.5.2-Chapman-Richards y modelos relacionados

Richards (1959) y Chapman (1961) citado por Pienaar y Turnbull (1973) señalan que la constante alométrica de Von Bertalanffy era muy restrictiva y no se adaptaba a otras formas de vida, por lo que sugirieron que la constante alométrica no tuviese un valor definido, por lo que propusieron un modelo generalizado en el cual:

$$\partial V / \partial t = \eta V^m - \gamma V \quad (4)$$

en el que m debería ser estimado para cada organismo y ambiente

Por lo que integrando (4) tenemos:

$$V_t = A \left[1 - \exp\{-k(t - t_0)\} \right]^{1/(1-m)} \quad (5)$$

Derivando (4) con respecto a V , la máxima tasa de crecimiento, que es el punto de inflexión de la curva, ocurre en el momento en que:

$$\begin{aligned} V_{\max} &= \left[m(\eta / \gamma) \right]^{1/(1-m)} \\ V_{\max} &= A m^{1/(1-m)} \end{aligned} \quad (6)$$

donde $m^{1/(1-m)}$ se puede interpretar como la fracción de la asíntota A en la cual ocurre la tasa de crecimiento máxima. Usando (5) la tasa de crecimiento también puede ser escrita como:

$$\partial V / \partial t = \frac{kV[(A/V)^{1-m} - 1]}{1-m} \quad (7)$$

Para algunos valores de m el modelo generalizado de Chapman-Richards asume la forma de los modelos de crecimiento clásicos. Cuando $m=0$ la ecuación (5) es la función de crecimiento monomolecular, y si $m=2/3$ se convierte en la función de crecimiento de Von Bertalanffy's. En cambio si $m \rightarrow 1$ se aproxima al modelo de Gompertz si se asume que $V_{t \rightarrow \infty} \rightarrow A$. Y si $m=2$ se genera la curva de crecimiento autocatalítica (logística). La forma funcional de estos modelos se presenta a continuación y en la figura 5 muestra las curvas de crecimiento generadas al variar el valor de m :

Chapman-Richards $y = a(1 - e^{-bt})^c$

Gompertz $y = ae^{-be^{-ct}}$

Logística $y = \frac{a}{(1 + ce^{-bt})}$

Weibull $y = a\left(1 - e^{-bt^c}\right)$

Monomolecular $y = a(1 - ce^{-bt})$

4.5.3.-Schumacher

Existen algunos modelos de crecimiento del bosque que consideran el logaritmo de alguna medida de la producción del rodal como variable dependiente y el recíproco de la edad como variable predictiva; estos fueron propuestos originalmente por Mac Kinney et al. (1937) y Schumacher (1939), citados por Clutter et al. (1983). Sullivan y Clutter (1972) hacen mejoras sustanciales en el modelo, y actualmente el volumen futuro puede ser expresado como:

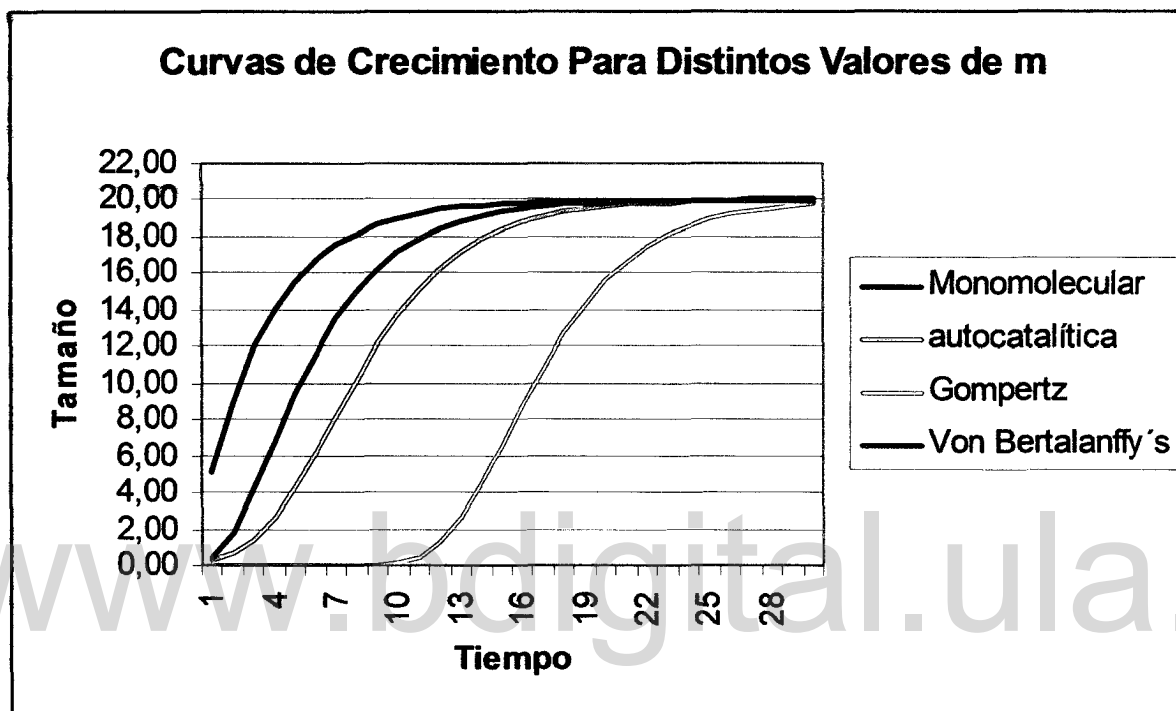


FIGURA 5. Curvas de crecimiento para distintos valores de m .

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 A_2^{-1} + \beta_3 \ln(B_2)$$

donde:

V=Volumen por unidad de superficie

S=Índice de sitio

A_2 =Edad proyectada

B_2 =Área basal proyectada a la edad A_2

β =parámetros del modelo

Sin embargo, el área basal puede ser expresada como:

$$\ln(B_2) = \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \ln(B_1) + \alpha_0 \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right) + \alpha_1 S \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)$$

donde:

A_1 =Edad inicial

B_1 =Área basal inicial

Incorporando la segunda expresión en la primera, obtenemos:

$$\ln(V_2) = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 A_2^{-1} + \beta_3 \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \ln(B_1) + \beta_4 \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right] + \beta_5 S \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right]$$

Este modelo posee algunas características deseables que vale la pena mencionar (Clutter et al. 1983):

- Si A_2 se aproxima a A_1 , $\ln(B_2)$ se aproximará a $\ln(B_1)$.
- Si A_2 tiende a ∞ , $\ln(B_2)$ tenderá a aproximarse a $\alpha_0 + \alpha_1 S$. Además el modelo tendrá una asíntota superior de área basal que es función de la calidad de sitio.
- Los valores del área basal proyectada no son afectados por el número de pasos necesarios para hacer la proyección, por ejemplo proyectar B_3 a partir de B_2 , es igual que proyectarlo desde B_1 .

4.6.-El ajuste de la curva de crecimiento

4.6.1.-Modelo Lineal General

En el modelo lineal general las variables respuesta están relacionadas con las variables explicativas de manera lineal (en los parámetros). El modelo se muestra a continuación:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

donde:

y= vector de observaciones

X= Matriz de diseño

β =vector de parámetros (efectos fijos)

ϵ =vector de errores

En él se supone que los errores (ϵ) son independientes y tienen distribución normal con media 0, y varianza constante (σ^2) (Kuehl, 2001, y Balzarini et al. 2005). Este modelo es ampliamente utilizado, sin embargo, tiene dos desventajas: la primera de ellas es que, en ocasiones las variables deben ser transformadas para linealizar la relación entre ellas, patrón que no se ajusta, muchas veces, a la naturaleza del fenómeno en estudio y que dificulta su interpretación; la segunda tiene que ver con el cumplimiento de los supuestos, lo que lo hace un tanto inflexible.

Este modelo ha sido utilizado ampliamente para el ajuste de curvas de crecimiento y rendimiento de rodales. Para el caso del *Eucalyptus* podemos mencionar el trabajo de Nautiyal y Couto (1984), en el cual para ajustar las ecuaciones de crecimiento usaron el análisis de regresión, y para comparar los modelos y seleccionar el más adecuado utilizaron los siguientes criterios:

- Consistencia del modelo con la información biológica obtenida a priori.
- Significancia estadística de los parámetros cuando se consideran individualmente.
- Bondad del ajuste.
- Pertinencia y consistencia de los modelos para aplicaciones prácticas.

También Soares et al. (1998) estimando los intervalos de confianza de un modelo de crecimiento y producción compuesto por ecuaciones simultáneas y utilizando el modelo de Clutter (1963, citado por Soares et al. (1998)), estimaron los parámetros del modelo estructural haciendo uso de mínimos cuadrados en dos etapas. La precisión de cada ecuación se verificó por medio del coeficiente de determinación ajustado (R^2) y del gráfico de valores observados “versus” valores estimados.

La manera más simple de estimar los parámetros del modelo de ecuaciones simultáneas de crecimiento y producción, es usar el procedimiento de los mínimos cuadrados ordinarios. Sin embargo, ello trae problemas por la naturaleza de los datos, pues hay que recordar que en el caso forestal las mediciones se hacen sobre el mismo sujeto, por lo que los errores están autocorrelacionados, y en este caso estamos suponiendo que la varianza de la medición n es independiente de la varianza de la medición $n-1$.

Los datos necesarios para ajustar el modelo son en la mayoría de los casos insuficientes e inadecuados (Nautiyal y Belli, 1989); sin embargo, de su naturaleza y calidad va a depender la disponibilidad de modelos que represente el crecimiento de la masa forestal; la naturaleza de los datos influenciará la selección del modelo estadístico, y la calidad de ellos determinará la bondad del ajuste; sin embargo, para obtener modelos adecuados también es importante un conocimiento silvicultural de las especies cuyo crecimiento se trata de simular (Rayner y Turner, 1990).

4.6.2.-Modelos Mixtos.

En muchas ocasiones los datos con los que trabajamos en el campo forestal son longitudinales, entendiéndose por estos, como aquellos en los cuales el mismo sujeto es medido repetidas veces a través del tiempo, por lo general en intervalos aproximadamente de un año, y en el que las variables medidas son diámetro a la altura de pecho (sobre corteza), altura total, sobrevivencia; mientras que el volumen por árbol es estimado a partir del diámetro a la altura de pecho y la altura total utilizando una ecuación de volumen previamente ajustada (Ogliari y Andrade, 2001; Hall, 2004; Durán et al., 2002; Soares et al. 1998; Nautiyal y Couto, 1984; García y Ruíz, 2003. Sin embargo, otros autores como (Nautiyal y Belli, 1989) incluyen otras variables explicativas como radiación solar, evapotranspiración y niveles de nutrientes en el suelo.

El hecho de realizar mediciones repetidas sobre el mismo sujeto implica que no es posible aleatorizar el factor tiempo, y en consecuencia las medidas en el mismo sujeto están autocorrelacionadas; lo que supone una violación de uno de los supuestos del modelo lineal general (Schabenberger y Pierce, 2002). Además de ello, en el caso que nos concierne que son los modelos de crecimiento y rendimiento, las varianzas de los

errores en distintos momentos del tiempo son heterogéneas haciéndose éstas mayores a medida que aumenta la edad, lo que viola el supuesto de homocedasticidad, y puede llevar a inferencias erradas.

Una alternativa para enfrentar estos problemas son los modelos mixtos que se han venido usando en el campo forestal sobre todo en la última década. Las estimaciones se hacen por máxima verosimilitud (Calegario et al. 2005; Sullivan y Clutter, 1972); sin embargo, han sido poco utilizados. Como ejemplo se pueden citar los trabajos de: Calegario et al. (2005) y Calegario et al. (2005) en los que se estiman el crecimiento en área basal y altura por individuo para árboles de *Eucalyptus*, usando modelos lineales mixtos en multiniveles en el primer caso, y modelos lineales generalizados en multiniveles en el segundo caso. Vale también la pena mencionar el trabajo de Ogliari y Andrade (2001), en el cual se compararon cuatro tratamientos que consistieron en la combinación de dos espaciamientos y dos especies, en un diseño en bloques completos al azar, medidos repetidamente en el tiempo. De la misma manera Hall (2004) utilizó un modelo multivariante no lineal mixto para predecir la producción de *Pinus elliottii*. Durán et al. (2002) analizaron el crecimiento en altura de árboles haciendo uso de modelos lineales mixtos. García (2004) señala que los modelos lineales mixtos lineales y no lineales se han vuelto populares en los últimos años entre otras razones por su relativa accesibilidad a través de los paquetes estadísticos disponibles. Según este autor estos métodos consideran el factor local (efectos aleatorios) como una variable aleatoria, que varía dentro de una población de rodales, sin embargo el interés se centra en la estimación de los factores globales (efectos fijos); en los cuales la autocorrelación de los términos del error pueden modelarse. Se asume que el factor local (efectos aleatorios) tiene cierta distribución de probabilidad y además se asume que las parcelas son escogidas al azar de una población de parcelas. En otros estudios se ha pronosticado el crecimiento y rendimiento forestal por medio de un sistema simultáneo de modelos lineales y no lineales de efectos mixtos (Fang, 1999, citado por Calegario et al. 2005). La conicidad también fue modelada para especies de Oregón Central usando modelos mixtos no lineales con estructura del error autoregresiva (Garber y Maguire, 2003, citado por Calegario et al. 2005).

Varias son las ventajas del uso de los modelos mixtos. Al incluir efectos aleatorios en el modelo, se reduce el error estándar de los residuos; y ello implica mayor precisión cuando se hacen las pruebas de hipótesis (Calegario et al., 2005). En el caso de hacer el ajuste sin tomar en cuenta la autocorrelación y la heterocedasticidad puede ocurrir que los niveles de significancia en la pruebas F y t puedan variar (Kuehl, 2001; Shabenberger y Pierce, 2001), en ese caso, los estimadores de los parámetros sigue siendo insesgados pero no son de mínima varianza, llevando a conclusiones erróneas. Es probable que los límites de confianza derivados de ellos sean diferentes a aquellos generados tomando en cuenta la violación de estos supuestos (Gujarati, 1997; Shabenberger y Pierce, 2001; Sullivan y Clutter, 1972; Woollons y Hayward, 1985).

4.6.2.1-Modelo Lineal Mixto

El modelo lineal mixto surge de incorporar efectos aleatorios, en el modelo lineal general, diferentes de los asociados con el término de error residual; de tal manera que estos contemplan efectos fijos y aleatorios, y de allí su nombre de mixtos. El modelo mixto se puede especificar como:

$$y = X\beta + Zu + \varepsilon$$

donde:

y= vector de observaciones

X= Matriz de diseño (efectos fijos)

β =vector de parámetros (efectos fijos)

Z=Matriz de diseño (efectos aleatorios)

u= vector de parámetros (efectos aleatorios)

ε =vector de errores

Se supone que u y ε son independientes entre ellos, y se asume que tienen distribución $N(0, G)$ y $N(0, R)$ respectivamente

Sin embargo una segunda manera de abordar el problema de la autocorrelación y la heterocedasticidad es modelar directamente la matriz de varianza-covarianza asociada con ε , sin incluir efectos aleatorios en el modelo (Balzarini et al., 2005; Durán et al., 2005). Varias estructuras de la matriz de varianza-covarianza pueden ser modeladas, algunas de ellas se muestran en el anexo 1.

4.6.2.2-Modelo No Lineal Mixto.

En estos modelos los parámetros entran en la función de manera no lineal; por ejemplo, bien sea multiplicando ó siendo exponente de otro parámetro. El uso de funciones no lineales tiene la ventaja de que los parámetros estimados tienen interpretación biológica (Calegario et al., 2005). Además la inclusión de efectos aleatorios induce a la autocorrelación de los errores, lo que toma en cuenta la naturaleza de los datos (Balzarini et al, 2005; y Schabenberger y Pierce, 2001). Estos modelos no lineales mixtos son difíciles de ajustar por problemas de cómputo. El modelo no lineal se muestra a continuación:

$$y = f(x, \theta, b) + e$$

donde:

y= vector de observaciones

f= denota una función no lineal

x= vector de variables de diseño

θ = vector de efectos fijos

b= vector de efectos aleatorios que modela la heterogeneidad entre sujetos

ε = vector de errores

4.6.3-Criterios de Bondad de Ajuste

Los modelos mixtos se ajustan haciendo uso de el método de la máxima verosimilitud (ML) y máxima verosimilitud restringida (REML), por lo que la precisión de los modelos se evalúa por la prueba de la razón de máxima verosimilitud si los modelos son anidados, es decir uno de ellos es una simplificación del otro.

$$PMV = -2 (\log \text{Likelihood (MR)} - 2 \log \text{Likelihood (MC)})$$

donde:

PMV= prueba de máxima verosimilitud

MR= modelo reducido

MC= modelo completo

El valor calculado de PMV se compara con $\chi^2(k_{mc} - k_{mr}, \alpha)$

donde:

k_{mc} = parámetros del modelo completo

k_{mr} = parámetros del modelo reducido

α =nivel de significancia

Si $PMV > \chi^2(k_{mc}-k_{mr}, \alpha)$ entonces el modelo correcto es el completo, en caso contrario será mejor el reducido (Balzarini et al., 2005; Schabenberger, 2001; Calegario et al., 2005)

También se utilizan los criterios de información de Akaike (AIC), el criterio de información de Akaike corregido (AICC), el criterio de información bayesiano de Schwartz (BIC), en los cuales a menor valor, mejor el ajuste (Calegario et al., 2005). Estos criterios se definen a continuación:

$$AIC = -2 \log (MV) + 2 (q+p)$$

$$AICC = -2 \log (MV) + [2n(p+q+1)/(n-(p+q)-2)]$$

$$BIC = -2 \log (MV) + d \log (n)$$

donde:

MV= máxima verosimilitud

q= número de parámetros de covarianza estimados

p= rango de la matriz de diseño X

n=número de observaciones

4.7.-Criterios Financieros para Seleccionar el Turno Optimo.

El criterio financiero es el más ampliamente utilizado, especialmente por empresas privadas, para la determinación del turno óptimo de cosecha, entendiéndose éste como aquel que maximiza los excedentes monetarios (Chacón, 1995; Oliveira et al, 1998). Existen varios criterios que se pueden utilizar para evaluar alternativas financieras, los cuales son útiles para la determinación del turno óptimo de cosecha. Algunos autores como Robinson (1987), Oliveira et al.(1998), Santos (1998), Chacón (1995) mencionan los siguientes criterios:

4.7.1-El Valor Actual Neto (VAN).

El Valor Actual Neto ó Valor Líquido General considera explícitamente el costo de oportunidad por el uso del suelo; lo que quiere decir que la tierra puede ser mantenida en el futuro bajo el mismo uso, pero también existe la posibilidad de que la tierra sea vendida para dedicarla a otros usos (Acerbi, 2002). Al contrario del Valor Esperado del Suelo, donde se supone que la tierra va a ser mantenida

bajo el mismo uso a perpetuidad. Este criterio puede ser expresado de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{n=0}^t (R_n - C_n) * (1 + i)^{-n} - L$$

donde:

L=costo de la tierra (U.M.)

t= turno de cosecha (años)

Rn=Ingresos en el año n (U.M.)

Cn=Costos en el año n (U.M.)

i= tasa de interés (tanto por uno)

Bentley y Teengarden (1965), y Gomes (1999) citados por Acerbi (2002) señalan que este criterio le da a la tierra solamente su valor de mercado actual y cualquier excedente pasa a formar parte de la renta del propietario, es decir una cantidad por encima de aquella requerida para pagar su salario y los costos de capital.

4.7.2.-Valor Esperado del Suelo (VES).

El valor descontado al presente de las rentas obtenidas en una serie infinita de rotaciones idénticas es lo que se conoce como Valor Esperado del Suelo, Valor del Suelo Según su Productividad ó Valor del Suelo Desnudo (Nautiyal, 1990). El valor esperado del suelo es el criterio de evaluación financiera más utilizado en el caso forestal porque una de sus características más importantes es que permite comparar rodales con edades de cosecha distintas (Ribeiro et al. 2001). Pereira (2001) considera que dado que este criterio considera un horizonte de planificación infinito, no existen problemas de corrección de duraciones diferentes entre alternativas. Esto hace que su uso sea adecuado para la determinación del turno óptimo de cosecha, siempre y cuando se suponga que se usará el suelo en la misma actividad durante infinitas rotaciones (Lopes et al. 1999). El VES es un criterio superior a los demás porque supone que a) el sitio permanecerá para la producción forestal infinitamente y, b) considera el uso de todos los valores del flujo de caja de acuerdo a los precios de mercado, y cualquier ingreso en exceso es considerado como un renta para el sitio (Newman, 1988; citado por Santos 1998). Ese flujo de caja descontado al presente es la función objetivo que se pretende maximizar (Lee et al, 1985).

En el cálculo del Valor Esperado del Suelo el costo de oportunidad por el uso del suelo no es incluido; ese costo se considera implícitamente al suponer que el suelo se mantendrá a perpetuidad bajo el mismo uso (Gomes et al, 1998); lo que Duerr (1960) considera como el costo tipo B en la determinación de la combinación óptima de insumos. Uno de los supuestos del VES es que no existe acceso a los mercados de tierras, lo que convierte a la tierra en un factor de producción fijo, y en consecuencia todos los excedentes económicos son atribuidos a la tierra. (Bentley y Teenguarden, 1965 citado por Acerbi, 2002). El VES puede ser obtenido con la siguiente fórmula:

$$VES = \frac{\sum_{n=0}^t (R_n - C_n) * (1+i)^{-n}}{((1+i)^t - 1)}$$

donde:

VES: Valor Esperado del Suelo (unidades monetarias)

Rn: ingreso en el año n (unidades monetarias)

Cn: costo en el año n (unidades monetarias)

i: tasa de interés (tanto por uno)

t: turno de cosecha (años)

4.7.3-Tasa Interna de Retorno (TIR).

La tasa interna de retorno es un criterio financiero muy utilizado en el momento de comparar cursos de acción. Se define como la tasa de descuento que iguala los costos con los ingresos, por lo que esta tasa hace el VAN igual a cero; ello puede apreciarse en la Figura 6; también puede considerarse como la tasa de retorno que genera la inversión; sin embargo es un índice de la rentabilidad relativa y no absoluta lo que conlleva algunas desventajas para quién no está familiarizado con este indicador (Clutter et al.,1983; Robinson, 1987; Blank y Tarkin, 1999; Millán, 2002).

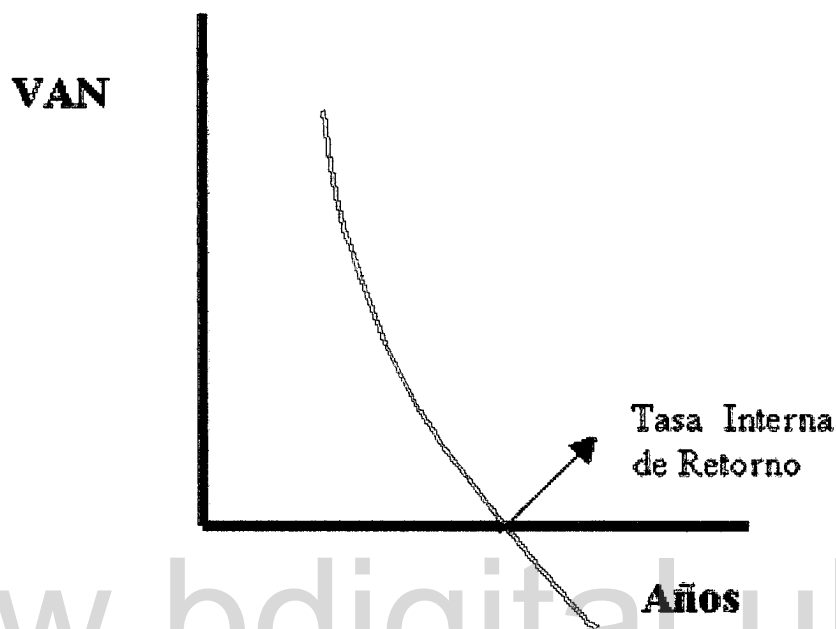


FIGURA 6. Tasa Interna de Retorno ocurre cuando el VAN es cero

La tasa interna de retorno tiene algunas ventajas, una de ellas es que no se necesita conocer cual es la tasa de descuento de mercado o la tasa alternativa de retorno; su valor sólo depende de los costos e ingresos asociados a la alternativa financiera. Sin embargo, algunas dificultades también conlleva el uso de este criterio de decisión, entre los cuales vale la pena mencionar: 1) posibilidad de tener 2 o más TIR, 2) complejidad al hacer comparaciones de alternativas, 3) la TIR tiende a infinito cuando los costos de plantación son muy pequeños, lo que no tiene sentido (Clutter et al., 1983; Robinson, 1984; Millán, 2002). Chacón (1985) considera que el uso de la TIR en el caso de escoger el turno óptimo es pertinente en aquellos casos en los que la inversión consiste en una serie de rotaciones en los que los flujos de efectivo liberados se invierten en bosques que tienen una tasa de retorno igual a la TIR.

4.7.4.-Razón Beneficio / Costo.

La razón Beneficio/Costo es otro criterio para la selección de alternativas y es muy utilizada por las entidades públicas. Se trata de una relación entre ingresos descontados entre los costos descontados como se puede ver a continuación:

$$B/C = \frac{\sum_{n=0}^t \frac{B_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=0}^t \frac{C_n}{(1+i)^n}}$$

donde:

B_n=ingresos en el año n

C_n=costos en el año n

i= tasa de descuento

t=turno de cosecha (años)

Este criterio es independiente de las unidades lo que lo hace útil, pues no va a depender del monto de la inversión. Así, es posible comparar alternativas con distintos grados de importancia en cuanto a la inversión inicial. Una relación B/C igual a 1 significa que los costos y los ingresos descontados son iguales, lo que hace que el VAN sea cero. Por lo tanto la alternativa se escoge siempre y cuando el B/C sea mayor a 1 (Clutter, 1983; Blank y Tarkin, 1999)

4.8.-Tipos de Turno.

Existen distintos turnos óptimos dependiendo del objetivo para el cual se establezca la plantación; así como de los supuestos implícitos en su determinación. Entre ellos podemos mencionar:

4.8.1.-Turnos no Financieros.

4.8.1.1.-Turno físico

Este turno tiene una duración igual al ciclo de vida de los árboles y tiene interés en aquellos casos en los cuales se establecen plantaciones con fines de protección o recreación (Luna, 1978).

4.8.1.2.-Turno silvicultural

El turno silvicultural se alcanza en el momento en el cual suficientes árboles que componen el rodal alcanzan una edad en la cual son capaces de reproducirse naturalmente, por lo que se supone que el manejo del rodal coetáneo está basado en la regeneración natural. Otra condición necesaria es que este turno debe ser mayor al turno técnico (Mendoza, 1993; Luna, 1978).

4.8.1.3.-Turno técnico

Es aquel en el cuál el incremento medio anual es máximo (producto medio máximo). Este momento ocurre cuando el incremento corriente anual (producto marginal) y el incremento medio anual (producto medio) se igualan, como se aprecia en la Figura 1 (Robinson, 1987, Millán, 2002, Pesonomics, 2001). Por lo tanto, este turno es aquel donde la productividad del factor de producción Tierra es máxima.

4.8.2.-Turnos Financieros a Nivel de Rodal.

4.8.2.1.-Turno de la máxima renta forestal.

El turno de la máxima renta forestal ocurre en el momento en el cual el **ingreso neto anual promedio** es máximo, tal como se puede apreciar en la Figura 7. Es decir:

$$INPA = \frac{IN}{E}$$

donde:

INPA: ingreso neto promedio anual (U.M./año)

IN: ingreso neto (U.M.)

E: edad (años)

Sin embargo en los costos no se considera la tasa interés, razón por la cuál no revela el verdadero momento óptimo de corta, aunque puede dar alguna idea aproximada del momento en el cual éste ocurre. Si los costos fuesen nulos y el precio de la madera constante, el turno técnico y el de máxima renta forestal coincidirían (Robinson, 1987; Rivero, 1984).

4.8.2.2.-Turno de Fisher-Hotelling.

El turno de Fisher-Hotelling o de madurez financiera, como originalmente fue propuesto por Duerr et al.(1956) consiste en maximizar el Valor Actual Neto de la inversión y se establecen como supuestos los siguientes: 1) se considera una sola rotación, y no todas las subsiguientes, 2) la tasa de interés es constante, 3) los precios de la madera no varían con las dimensiones del árbol y son constantes a través del tiempo, 4) no se consideran los costos de explotación y 5) no se considera el costo de oportunidad del suelo (Lee y Lyon, 1985; Millán, 2002; Rivero, 1984). Sin embargo, muchas variantes pueden ser formuladas al relajar estos supuestos. El modelo es el que se muestra a continuación :

$$VAN = P * f(t) * e^{-it} - K$$

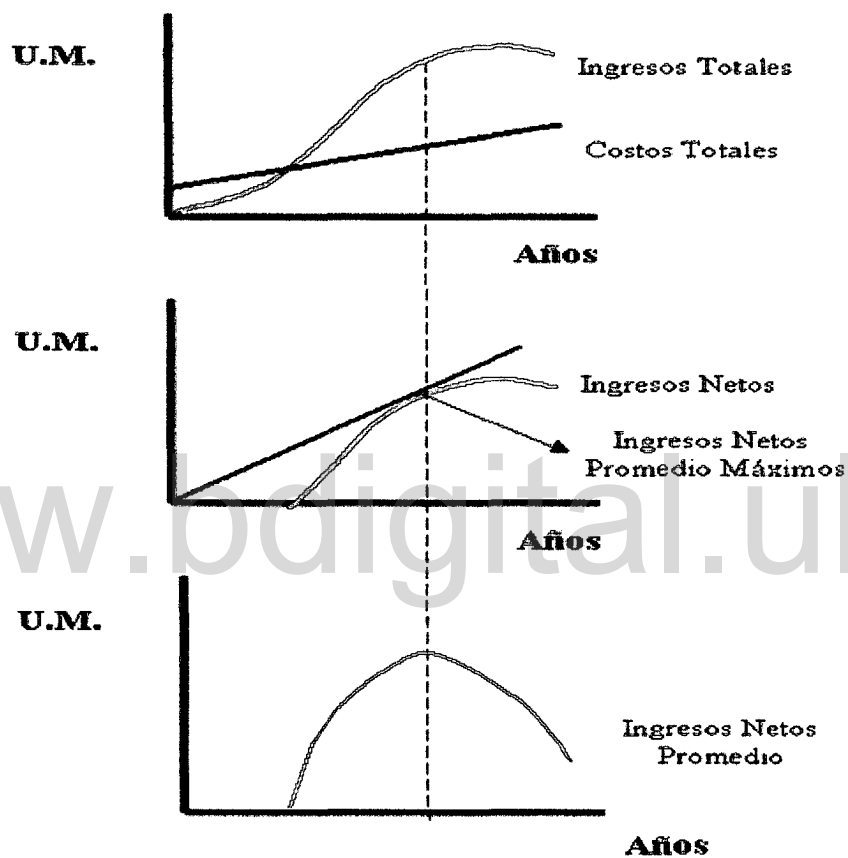
donde:

P: precio de la madera

f(t): crecimiento del rodal

i: Tasa de descuento

K: costo de la plantación



Fuente Rivero (1984)

FIGURA 7. Determinación gráfica del turno de máxima renta forestal

Maximizando el VAN, tenemos que:

$$f'(t)/f(t) = i$$

Esto significa que el momento óptimo de corta ocurre en el momento en el cual la tasa de crecimiento del rodal (la expresión de la izquierda) se iguala con la tasa de descuento. Por lo tanto mientras la tasa de crecimiento del rodal sea mayor a la tasa de descuento es conveniente mantener la madera en pie (Robinson, 1987; Lee y Lyon, 1985; Duerr, 1960). La determinación gráfica del turno de Fisher-Hotelling puede apreciarse en la figura 8.

Sin embargo, este criterio no contempla la posibilidad de aprovechar la plantación y luego arrendar el suelo; ello conduce a que este turno sea más largo que el óptimo, a menos que el propietario del suelo sólo esté considerando la producción de madera durante un solo turno (Millán, 2002).

4.8.2.3-Turno de Faustmann-Pressler-Ohlin.

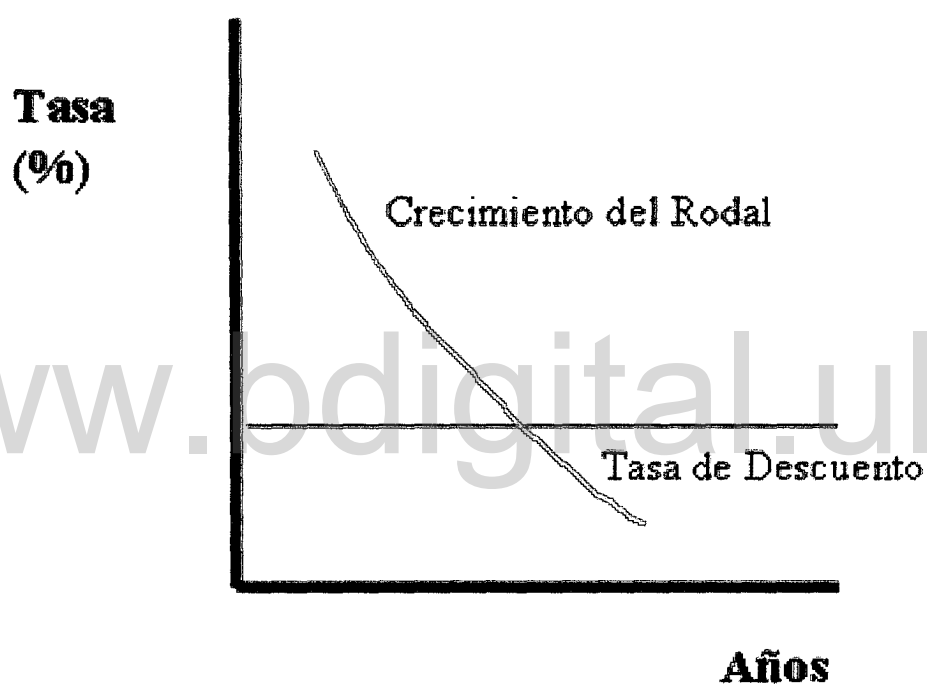
Algunos autores como Duerr (1960), Clutter et al. (1983), Robinson (1987) y Kula (1988), señalan que la determinación del turno óptimo cuando se consideran turnos múltiples se obtiene maximizando la fórmula de Faustmann:

$$LEV = \frac{(P * f(t) - K * e^{-it})}{e^{-it} - 1}$$

donde :

LEV: valor esperado del suelo

Esta expresión es conocida en la literatura como el valor esperado del suelo (land expected value), valor del suelo según su productividad o valor del suelo desnudo (bare land value). El turno óptimo ocurre en el momento en el cual el valor esperado del suelo es máximo, que es el mismo punto donde el valor del producto marginal (ingreso marginal) es igual al costo marginal que viene dado por el costo de oportunidad en el que se incurre por dejar en pie un año más la plantación ; es decir, el costo adicional de tener el dinero invertido en el bosque un año más en forma de madera en pie y terreno.



Fuente: Rivero (1984)

FIGURA 8. Determinación gráfica del turno de Fisher-Hotelling

Dada la misma tasa de interés y el mismo crecimiento, el turno óptimo financiero determinado por la ecuación de Faustmann es más corto que aquél determinado por Fisher Hotelling (Lee et al.; 1985).

4.8.2.4.-Turno de Samuelson

Consiste en incluir explícitamente la renta de la tierra en la expresión que mide el Valor Actual Neto de la inversión (Pesonomics, 2001); por lo que el turno óptimo ocurre en el año en el cual se maximiza la expresión:

$$VAN = P * f(t) * e^{-it} - K - R \int_0^t e^{-is} ds \quad (2)$$

donde :

VAN: valor actual neto

P : precio de la madera (se supone constante).

f(t) : función de producción forestal (curva de crecimiento)

K: costo de establecimiento (constante que no varía con la edad de la masa)

R: renta anual (costo por el uso de la tierra)

e : factor de capitalización , cuando esta se considera continua

i: tasa de descuento

s: año en cual se efectúa el pago anual por el uso de la tierra

t: edad de la masa forestal

Si se determina el turno óptimo a partir de la expresión de Faustmann se llega al mismo resultado. Ambos enfoques parten de considerar el coste de oportunidad de la tierra (Pesonomics, 2001). Samuelson lo hace explícitamente y Faustmann implícitamente, pues éste considera que el costo de oportunidad de la tierra viene dado por posponer los ingresos X años para el primer turno, 2X años para el segundo turno y así sucesivamente (Duerr, 1960).

4.8.2.5.-Turno de Boulding.

Este turno consiste en determinar el momento en el cual la Tasa Interna de Retorno (TIR) es máxima (Openshaw, 1980). Este turno es menor al de Fisher-Hotelling si la tasa de descuento es menor a la TIR, lo cual es una condición necesaria para que la inversión sea rentable (Blank y Tarkin, 1999). Si las tasas son iguales ambos turnos coinciden. Sin embargo este turno presenta algunos

problemas, especialmente en el caso donde los costos de producción son pequeños, porque los valores de la TIR son exageradamente altos; lo cual no tendría sentido (Millán, 2002). Además, presenta los problemas propios de la utilización de la TIR, como fueron señalados anteriormente. Sin embargo, el uso de la TIR para la determinación del turno óptimo es recomendable en el caso en el cual se espera que el suelo sea dedicado al mismo uso durante infinitas rotaciones, los costos e ingresos permanecen constantes, y en el que los fondos obtenidos por los propietarios se reinvierten en otra alternativa a una tasa igual a la TIR (Chacón, 1995).

4.8.2.6.-Turno de Hartman.

Considera valores de bienes no mercadeables en la función a maximizar para la determinación del momento óptimo de cosecha.

4.8.3.-Turnos Financieros a Nivel de un Bosque Regulado.

Un bosque se considera manejado si es posible obtener de él rentas anuales explotando una proporción constante de él. Esta proporción es igual a $1/t$, donde t es el turno óptimo de cosecha, de tal manera que es posible que exista rendimiento sostenido pues el bosque no se agota porque de esta manera se asegura una producción constante (Ribeiro et al., 2001).

El turno óptimo, en el caso del bosque manejado, difiere del turno óptimo del rodal. En este caso no sólo debe considerarse el costo de posponer X años la primera cosecha, $2X$ años la segunda y así sucesivamente, que es lo que Duerr (1960) considera el costo tipo b; sino que también, considera el costo de oportunidad que es ocasionado por explotar una menor superficie cada año al tener que alargar el turno, por lo que la proporción explotada, que es igual a $1/t$ del área total, disminuye. Supongamos que existe un bosque manejado con un turno de 7 años, cada año se explota $1/7$ de la superficie total; si se decide incrementar el turno a 8 años entonces cada año se explotará $1/8$ de la superficie

total; en consecuencia, el costo vendría dado por dejar de explotar 1/7-1/8 de superficie todos los años (Duerr, 1960).

El turno óptimo en este caso donde se consideran t rodales de distintas edades consecutivas difiere del turno óptimo de un solo rodal siendo éste último más largo (Duerr, 1960; Leech, 1993; Ribeiro et al., 2001). Sin embargo, en muchos casos de bosques regulados, se asume el turno óptimo como el correspondiente a un solo rodal, lo que no es correcto. En su lugar, se propone que el turno óptimo de cosecha de un bosque manejado ocurre en el momento en el cual la variación del valor neto por unidad de superficie del rodal dividido por la correspondiente variación en el inventario de madera ocasionado por incremento en un año en el turno de cosecha se iguale con la tasa de descuento (Oderwald y Duerr, 1963 citados por Ribeiro et al., 2001).

Según Ribeiro et al. (2001) el Valor Esperado del Suelo Total para un bosque manejado está dado por la siguiente expresión:

$$TSEV_{bosreg} = TVSE_{rodal} * \frac{[1 - (1+r)^{-t}]}{[1 - (1+r)^{-1}]}$$

donde:

$TSEV_{bosreg}$ =Valor Esperado del Suelo Total para el Bosque Regulado

$TVSE_{rodal}$ =Valor Esperado del Suelo Total para los Rodales Aislados

r = tasa de descuento

t =tiempo (años)

El turno óptimo de cosecha ocurre en el momento en el cual se maximiza la expresión anterior como se muestra a continuación:

$$p * \frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{a_t}{t} * r * [p * Y(t) - HC] + M$$

donde:

p =precio de la madera en pie (Bs/m³)

$\delta Y / \delta t$ = Crecimiento instantáneo del rodal (m³/ha/año)

r = tasa de descuento

$Y(t)$ =Crecimiento del rodal (m³/ha)

HC = costo de aprovechamiento de un rodal de edad t (Bs/ha)

M =costo de mantenimiento del rodal (Bs/ha)

a_t =beneficio por unidad de superficie del rodal aprovechado a edad t

4.9.-Supuestos.

Algunos autores como Kula (1988), Leech (1996), Nautiyal y Williams (1990) señalan los siguientes supuestos en la determinación del turno óptimo de cosecha para un solo rodal:

- ❖ Los precios de la madera, la tasa de interés, así como los costos de producción se mantienen constantes y son conocidos en el transcurso de los infinitos ciclos de corta.
- ❖ El mercado de tierra y de dinero se rige bajo el esquema de competencia perfecta.
- ❖ Para un nivel dado de insumos los rendimientos son conocidos y constantes para cada edad a lo largo de los infinitos ciclos.
- ❖ El turno de cosecha es constante.
- ❖ No existen cortas intermedias.
- ❖ La madera se vende en pie; por lo que no se consideran costos de cosecha, ni de transporte.
- ❖ Las trozas tienen el mismo valor independientemente de sus dimensiones.
- ❖ La plantación de un rodal se hace inmediatamente después de la cosecha.
- ❖ El objetivo del propietario es maximizar su renta
- ❖ La decisión de corta es independiente de lo que acontezca con otros rodales, por lo cual el nivel de decisión es a nivel de rodal, y no de la plantación entera.
- ❖ No se considera valores de bienes intangibles.
- ❖ No existe riesgo de daños ni a la plantación, ni al suelo.

5.-METODOLOGÍA.

5.1.-Área de Estudio.

La División Forestal de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela viene operando en el Occidente de Venezuela desde el año 1981, estableciendo plantaciones de especies exóticas con fines de producir la materia prima para la elaboración de pulpa para cartón. En la actualidad opera en tres estados: Portuguesa, Lara y Cojedes, con centro de operaciones en la ciudad de Acarigua, como se aprecia en la figura 9. Cuenta en estos momentos con 20.861 hectáreas de plantaciones de la especie *Eucalyptus sp.* (6.792 ha), *Gmelina arborea* (5.898 ha) y *Pinus caribaea var. hondurensis* (7.718 ha), además del área que destina a ensayos que asciende a 452 hectáreas, las que se distribuyen en 15 fincas diferentes.

La temperatura promedio anual se encuentra entre los 24°C y los 28.5°, mientras que la precipitación promedio anual va desde 1330.6 mm los hasta los 1715 mm dependiendo de la finca. Ocupa geoformas de montaña, colinas, pie de monte y planicie aluvial. El bioclima se corresponde con el de la Zona de Vida Bosque Seco Tropical (Ewell, Madriz y Tossi, 1968).



LEYENDA

- | | |
|---------------------|-------------------------------|
| 1 : Santo Tomas | 9 : Joya-Tacamajaca-Alacranes |
| 2 : Cujicito | 10 : Toco-Tigrera |
| 3 : El Piñal | 11 : Los Garzones |
| 4 : Saltanejas | 12 : Morador |
| 5 : Bumbi-pastoreña | 13 : La Productora |
| 6 : Yaguara | 14 : Garachico |
| 7 : Cabafia | 15 : Las Minas |
| 8 : Hierro-Linareña | |

FIGURA 9. Ubicación Relativa de las Fincas de Smurfit Cartón de Venezuela y Sitios de Interés

5.2.- Recopilación de los Datos.

5.2.1.- De Campo

Descripción de los datos

Los datos para ajustar las curvas de rendimiento del rodal, por calidad de sitio, provienen de mediciones de parcelas permanentes de *Eucalyptus urophylla* establecidas en las plantaciones de Smurfit Cartón de Venezuela. Todas estas parcelas fueron establecidas utilizando las mismas técnicas de preparación de sitio y establecimiento de plantaciones; sin embargo, pueden diferir en la fuente de la semilla, la calidad de sitio, y la localidad geográfica, en la cual fueron establecidas. Originalmente se plantó un lote, del cuál se seleccionó aleatoriamente una porción del mismo para utilizarlo como parcela permanente.

Estas parcelas permanentes están conformadas por 55 árboles, establecidos con un distanciamiento de 3X3 m., por lo que cada parcela tiene una superficie de 495 m². Las variables medidas fueron la altura total, la circunferencia a la altura de pecho, la bifurcación y la sobrevivencia. Con estas variables se generaron otras nuevas; al transformarlas o utilizarlas en ecuaciones, las cuales se enumeran a continuación:

- ❖ Diámetro a la altura de pecho (cm)
- ❖ N° de árboles bifurcados por parcela y por hectárea
- ❖ N° de árboles muertos por parcela y por hectárea
- ❖ Diámetro a la altura de pecho promedio (cm)
- ❖ Altura promedio (m)
- ❖ Volumen sobre corteza por parcela (m³/parcela)
- ❖ Volumen bajo corteza por parcela (m³/parcela)
- ❖ Densidad de la parcela (arb/parcela)
- ❖ Volumen por hectárea (m³/ha)
- ❖ Densidad (arb/ha)

Estas parcelas fueron medidas anualmente, en la mayoría de los casos a partir del segundo año, desde el momento del establecimiento de la plantación; sin embargo, por lo general no se midieron en el mismo mes, por lo que el intervalo de medición no es exactamente un año.

Las parcelas al ser de diferentes edades tienen diferente número de mediciones, oscilando entre 4 y 10. En el cuadro 1 se presenta un cuadro sinóptico con la información de las parcelas.

Se puede considerar que la base de datos es clasificada como longitudinal, pues los mismos sujetos (parcelas) fueron medidos repetidas veces a través del tiempo; es irregularmente espaciada en el tiempo, porque el lapso entre mediciones es diferente; y es desbalanceada debido a que el número de mediciones no es igual para los sujetos (parcelas).

5.2.2.- De Oficina

Los registros contables de la empresa proveen la información financiera necesaria para la determinación del turno óptimo de cosecha. La información recopilada consistió en los costos de:

- Establecimiento (vivero, transporte de plantas, preparación de terreno, implantación)
- Fertilización
- Control de malezas
- Protección (control de incendios y control fitosanitario)
- Manejo (gastos generales sin incluir costos de explotación y transporte de madera, hay que recordar que el análisis se hace para el momento justo antes de la corta).

CUADRO 1. Información básica de las parcelas permanentes de *E. urophylla*

Finca	Lote	Año de Plantación	Fuente	N° de mediciones
Cujicito	3	1995	Ripasa	7
Cujicito	13	1995	jari	7
Cujicito	27	1995	jari	7
Garachico	6	1996	Aracruz	5
Garachico	8	1996	Aracruz	5
La Joya	6	1993	Saltanejas	10
Las Minas	10	1996	Aracruz	4
Las Minas	11	1996	Aracruz	5
EL Piñal	11	1994	Monte Dorado	8
EL Piñal	13	1994	Monte Dorado	7
EL Piñal	16,1	1994	Aracruz	8
Tacamajaca	1	1993	Jari	9
Tacamajaca	2	1993	Jari	10
Tacamajaca	3	1993	Jari	10
Tacamajaca	6	1993	Ripasa	10
Tacamajaca	7	1993	Ripasa	10
Tacamajaca	9	1993	Ripasa	10
Tacamajaca	10	1993	Aracruz	10
Yaguara	2	1995	Aracruz	7
Yaguara	6	1995	Jari	9
Yaguara	10	1995	Jari	9
Yaguara	15	1995	Aracruz	9
Yaguara	19	1995	Jari	8
Yaguara	28	1995	Aracruz	9
Yaguara	33	1995	Aracruz	8

Además de ello se hizo uso de:

- Tasa de descuento corporativa
- Valor de la madera en planta, costos unitarios de transporte y explotación (necesario para determinar el valor de la madera en pie).

5.3.-Procesamiento De Los Datos:

5.3.1.-Procesamiento preliminar de los datos

Para cada parcela en cada edad fueron medidas las variables circunferencia a la altura de pecho (1,30 m de altura) y la altura total. Fueron transformadas en:

$$Dap = \left(\frac{Cap}{\pi} \right)$$

donde: Dap= diámetro a la altura de pecho (cm)

Cap= circunferencia a la altura de pecho (cm)

A la altura total medida se le adicionó 1,5 m. porque la altura total fue medida con instrumentos basados en relaciones trigonométricas, y la lectura se hizo desde la altura del ojo humano (medida desde el suelo) hasta el ápice del árbol, no considerando la altura desde el ojo humano hasta el suelo. Esta adición intenta remediar esta falla, sin embargo se sabe que esta medida remedial contiene sesgos, debido a que seguramente fueron distintas las personas que hicieron la medición y ellas tenían distintas estaturas. Además, se calculó la densidad de la parcela, entendiéndola, como el número de árboles vivos en la parcela (Clutter et al., 1983)

$$Densidad / parcela = \sum av$$

donde: av: árboles vivos en la parcela

La edad de la parcela también fue determinada usando como unidad de medida los años, y con precisión de un decimal; como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Edad = \left(\frac{moeva - 6}{12} \right) + (ae - plant)$$

donde:

moeva: mes de la evaluación

ae: año de la evaluación

plant: año de la plantación

La razón por la cuál al mes de la evaluación se le resta 6 se debe a que todas las parcelas fueron establecidas en ese mes.

Con los valores del diámetro a la altura de pecho (dap) y altura total y utilizando las ecuaciones de volumen para *Eucalyptus urophylla*, generadas con datos de las plantaciones de la División Forestal de Smurfit Cartón de Venezuela (Reynolds et al., 2000) se calculó el volumen sobre corteza y bajo corteza para cada árbol de la parcela. Las ecuaciones utilizadas fueron las siguientes:

Volumen sobre corteza:

$$Vol_{sc} = 0.000053070 * Dap^{1.729573445} * H^{1.092641909} - 0.000033577 * \left[\frac{d_m^{3.287761}}{Dap^{3.287761-2}} \right] * (H - 1.3)$$

Volumen bajo corteza:

$$Vol_{bc} = 0.000031209 * Dap^{1.725099072} * H^{1.217206264} - 0.000028254 * \left[\frac{d_m^{3.333246}}{Dap^{3.333246-2}} \right] * (H - 1.3)$$

Donde:

Vol_{sc} = Volumen comercial con corteza (m³)

Vol_{bc} = Volumen comercial sin corteza (m³)

Dap = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura total (m)

dm = Diámetro comercial mínimo (5 cm)

Como el interés es generar variables por parcela, y no por árbol individual, se hizo la sumatoria del volumen de los árboles que conforman la parcela y así se obtuvo el volumen por parcela como se muestra a continuación:

$$Volumen_{sc} / parcela = \sum_{i=1}^{i=N} Vol_{sc}$$

$$Volumen_{bc} / parcela = \sum_{i=1}^{i=N} Vol_{bc}$$

Donde:

Vol_{sc} = Volumen comercial con corteza (m³)

Vol_{bc} = Volumen comercial sin corteza (m³)

N = Total de árboles vivos por parcela

El equivalente de esos valores por hectárea se calculó multiplicando el volumen por parcela y la densidad arbórea de la parcela por un factor, que representa la cantidad de parcelas de esa superficie, 495 m² en nuestro caso, que cabrían en una hectárea; por lo se supone que todas las parcelas son similares. A continuación se muestra la manera en que fue hecha la conversión:

$$Volumensc / hectarea = \frac{10000 * Volumensc / parcela}{495}$$

$$Arboles / hectarea = \frac{10000 * Arboles / parcela}{495}$$

5.3.2.- Normalidad de los Datos

Uno de los supuestos del modelo clásico necesario para un buen ajuste y una correcta interpretación del modelo ajustado, es el de la normalidad de los datos. Para corroborar que los datos provienen de una población normal se hicieron varias pruebas, entre las cuales podemos mencionar:

- ❖ Shapiro Wilk
- ❖ Kolmogorov-Smirnov
- ❖ Cramer Van Mises
- ❖ Anderson-Darling

Además, se construyeron los gráficos de tallo y hojas, y el de probabilidad normal con los residuales del ajuste lineal sin considerar los efectos aleatorios.

5.3.3.-Ajuste de la curva guía para la clasificación de sitio.

Para poder ajustar la curva guía y relacionar la edad con la altura mayor de la parcela, considerada, en este trabajo, como la altura promedio de los cien árboles más altos por hectárea, o su equivalente en este caso; es decir, los cinco árboles más altos por parcela de 495 m²; se probaron varios modelos de regresión, los cuales se muestran a continuación:

5.3.3.1.-Modelo Lineal.

Se ajustó el modelo propuesto por Schumacher (1939), el cual relaciona el logaritmo natural de la altura mayor, y el inverso de la edad; sin embargo con él se presupone la presencia de autocorrelación de los términos de error, para lo cual se hizo uso del estadístico de Durbin-Watson. El ajuste se realizó con el procedimiento REG del SAS® El modelo ajustado fue el siguiente:

$$\text{Ln}(\text{Altura_Mayor}) = a + b \left(\frac{1}{\text{edad}} \right)^{0.5} + \text{Ln}(\varepsilon_i)$$

Donde:

a y b = parámetros a estimar

edad = edad del rodal (años)

ε_i = término aleatorio

Se graficaron el logaritmo natural de la altura mayor contra el inverso de la edad, los residuales contra la edad y los residuales contra los valores predichos. El primero para conocer la aproximación que podían tener los datos con una línea recta de pendiente negativa, el segundo para detectar patrones que puedan dar indicios de la presencia de autocorrelación de los residuos, y el tercero para poder descartar patrones originados por heterocedasticidad.

5.3.3.2.-Modelo No Lineal

Para ello se hizo uso del procedimiento NLIN del SAS®, en el cual se requiere dar valores iniciales a los parámetros para poder iniciar los cálculos. Los modelos ajustados fueron los siguientes:

Chapman-Richards
$$\text{Alt_Mayor} = a(1 - \exp^{-b \cdot \text{edad}})^c + \varepsilon_i$$

Gompertz
$$\text{Alt_Mayor} = a \exp^{-b \exp^{-c \cdot \text{edad}}} + \varepsilon_i$$

Logística
$$\text{Alt_Mayor} = \frac{a}{(1 + c \exp^{b \cdot \text{edad}})} + \varepsilon_i$$

Weibull

$$Alt_Mayor = a \left(1 - \exp^{-b \cdot edad^c} \right) + \varepsilon_i$$

Monomolecular

$$Alt_Mayor = a(1 - c \exp^{-b \cdot edad}) + \varepsilon_i$$

Donde:

a, b y c = parámetros a estimar

edad = edad del rodal (años)

ε_i = término aleatorio

5.3.3.3.-Modelo Lineal Mixto

El ajuste de estos modelos no se hace a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios, sino a través del Método de Máxima Verosimilitud, y para ello se usó el procedimiento MIXED de SAS®, con el cual se pueden modelar distintas estructuras de la matriz de varianzas-covarianzas, las cuales se muestran en el Anexo 1. Se ajustaron varios modelos, en los cuales todos tienen la misma estructura de medias que en el modelo ajustado a través de procedimiento REG de SAS®; sin embargo, se probaron distintas estructuras de la matriz de varianzas - covarianzas, donde se supone que la variable asociada a la medida repetida es el año de la evaluación (ae), y el sujeto es el lote anidado dentro de cada finca. Los modelos ajustados fueron los siguientes:

Estructura de medias

$$\ln(Altura_Mayor) = a + b \left(\frac{1}{edad} \right)^{0.5} + \ln(\varepsilon_i)$$

Donde:

a y b = parámetros a estimar

Edad = edad del rodal (años)

ε_i = término aleatorio

Estructura de la matriz de varianzas-covarianzas

- ❖ Sin Estructura (UN)
- ❖ Componentes de Varianza (VC)
- ❖ Autoregresiva de Primer Orden (AR(1))
- ❖ Simetría Compuesta (CS)
- ❖ Toeplitz (TOEP)
- ❖ Autoregresiva de Primer Orden Heterocedástica (ARH(1))

- ❖ Simetría Compuesta Heterocedástica (CSH)
- ❖ Toeplitz Heterocedástica (TOEPH)

5.3.3.4.-Modelo No Lineal Mixto

También se ajustó un modelo no lineal incluyendo no sólo efectos fijos sino también aleatorios, es decir modelos mixtos no lineales, de tal manera que se toma en cuenta la presencia de autocorrelación y heterocedasticidad. Se usó el procedimiento NLMIXED de SAS® para lo cual era necesario dar valores iniciales a los parámetros, así como a las desviaciones estándar de los efectos fijos y de los efectos aleatorios. Se ajustaron tres grupos de modelos dependiendo si el modelo se reparametrizaba ó no, y de cuál parámetro se consideraba como local, es decir cuál parámetro se asociaba al efecto aleatorio, de tal manera se tiene:

a) Modelos sin Reparametrizar Asíntota Aleatoria ($a+u$);

Estos modelos no fueron reparametrizados, por lo cual se usó su forma funcional original, el parámetro asociado a la asíntota se considera como de efectos aleatorios y el sujeto es el lote dentro de finca. La forma funcional de los modelos ajustados se presenta a continuación:

Chapman-Richards
$$Alt_Mayor = (a + u) \left(1 - \exp^{-b \cdot edad} \right)^c + \varepsilon_i$$

Gompertz
$$Alt_Mayor = (a + u) \exp^{-b \exp^{-c \cdot edad}} + \varepsilon_i$$

Logística
$$Alt_Mayor = \frac{(a + u)}{(1 + c \exp^{b \cdot edad})} + \varepsilon_i$$

Weibull
$$Alt_Mayor = (a + u) \left(1 - \exp^{-b \cdot edad^c} \right) + \varepsilon_i$$

Monomolecular
$$Alt_Mayor = (a + u) (1 - c \exp^{-b \cdot edad}) + \varepsilon_i$$

Donde:

a, b y c = parámetros a estimar
 Edad = edad del rodal (años)
 u = efecto aleatorio

ε_i = término aleatorio

b) Modelos Reparametrizados en Función de a ($S+u$);

Se reparametriza el modelo en función del parámetro “ a ”, y se supone que el factor local es “ S ”, el cual se considera que contiene el efecto aleatorio; es decir la altura mayor promedio a la edad base “ S ” varía aleatoriamente para cada parcela. Por lo tanto los modelos ajustados fueron:

Chapman-Richards
$$Alt_Mayor = (S + u) \left(\frac{1 - \exp^{-bedad}}{1 - \exp^{-beb}} \right)^c + \varepsilon_i$$

Gompertz
$$Alt_Mayor = (S + u) \left(\frac{\exp^{-b \exp^{-edad}}}{\exp^{-b \exp^{-ceb}}} \right) + \varepsilon_i$$

Logística
$$Alt_Mayor = (S + u) \left(\frac{1 + c \exp^{beb}}{1 + c \exp^{bedad}} \right) + \varepsilon_i$$

Weibull
$$Alt_Mayor = (S + u) \left(\frac{1 - \exp^{-bedad^c}}{1 - \exp^{-beb^c}} \right) + \varepsilon_i$$

Monomolecular
$$Alt_Mayor = (S + u) \left(\frac{1 - c \exp^{-bedad}}{1 - c \exp^{-beb}} \right) + \varepsilon_i$$

Donde:

b y c = parámetros a estimar
 edad = edad del rodal (años)
 eb = edad base (años)
 S = altura mayor a la edad base (metros)
 u = efecto aleatorio
 ε_i = término aleatorio

c) Modelos Reparametrizados en Función de b ($S+u$);

En este caso se reparametriza el modelo en función del parámetro b , y el término “ S ” se considera aleatorio para cada parcela, de tal manera que los modelos ajustados fueron:

Chapman-Richards
$$Alt_Mayor = a \left(1 - \left(1 - \left(\frac{S+u}{a} \right)^{\frac{1}{c}} \right)^{\frac{edad}{eb}} \right)^c + \varepsilon_i$$

Gompertz
$$Alt_Mayor = a \left(\frac{S+u}{a} \right)^{e^{-c(edad-eb)}} + \varepsilon_i$$

Logistica
$$Alt_Mayor = \frac{a}{1 + c \left(\frac{\left(\frac{a}{S+u} \right) - 1}{c} \right)^{\frac{edad}{eb}}} + \varepsilon_i$$

Weibull
$$Alt_Mayor = a \left(1 - \left(1 - \left(\frac{S+u}{a} \right)^c \right)^{\frac{edad}{eb}} \right) + \varepsilon_i$$

Monomolecular
$$Alt_Mayor = a \left(1 - c \frac{1 - \left(\frac{S+u}{a} \right)^{\frac{edad}{eb}}}{c} \right) + \varepsilon_i$$

Donde:

a y c = parámetros a estimar

edad = edad del rodal (años)

eb = edad base (años)

S = altura mayor a la edad base (metros)

u = efecto aleatorio

ε_i = término aleatorio

5.3.4-Comparación de los modelos

Se utilizaron los siguientes criterios como medidas de bondad de ajuste:

- ❖ AIC
- ❖ AICC
- ❖ BIC

Además se estimó $-2 \text{ Log Likelihood}$, en caso de ser necesario hacer la prueba de la razón de máxima verosimilitud. Además de ello para cada modelo se obtuvo la suma de cuadrados corregidos de los residuos (CSS).

5.4-Las Calidades de Sitio

Una vez escogido el modelo que mejor ajusta los datos, se usó como curva guía. A partir de esta curva se generaron otras dos que constituyeron los límites entre calidades de sitio. Para la primera curva (A) los valores de la altura mayor para cada edad son 5% mayor que aquellos valores, para la misma edad de la curva guía, y ésta constituye el límite entre las categorías I y II. La segunda curva (B) es 5% menor en relación a la curva guía, y es el límite entre las categorías II y III. La curva guía no forma ningún límite entre categorías, sólo es utilizada para generar las otras dos. Estas dos curvas que se generaron, son proporcionales a la curva guía, es decir que tienen la misma forma que la curva guía; sin embargo, están desplazadas verticalmente en relación a ésta; ellas se trazaron de tal manera que en cada calidad de sitio existiera una cantidad de observaciones más o menos similar.

Con estas tres categorías es posible clasificar una parcela según la altura mayor que ésta tenga a la edad base; y para ello se seleccionaron las alturas mayores de las parcelas comprendidas entre los 6 y 7 años. Hay que recordar que la edad base es 6,5 , años que está próxima a la edad del turno de cosecha (turno técnico), usado tradicionalmente por la empresa para cualquier calidad de sitio.

De esta manera se tienen tres categorías bien definidas, y su clasificación dependerá de si el modelo de mejor ajuste es determinístico ó estocástico. En el primer caso se compara la altura mayor de la parcela a la edad base seleccionada, con los

valores correspondientes, a la misma edad de las dos curvas generadas. En ese caso, una parcela será clasificada como de calidad de sitio I si su altura mayor es mayor que el valor de la curva A; como de calidad de sitio II, si su valor esta comprendido entre los valores correspondientes a las curvas A y B; ó como de calidad de sitio III, si su valor es menor al correspondiente a la curva B para la misma edad.

Si el modelo de mejor ajuste es estocástico, entonces el proceso de clasificación es similar al anterior, sin embargo el valor de la altura mayor a la edad base representa el valor más probable de entre todos los rodales hipotéticos que podrían crecer en ese sitio en particular; hay que recordar que en el ajuste la altura mayor "S" se supuso que era un efecto aleatorio para cada parcela. Por lo que la probabilidad de pertenecer a una categoría u otra dependerá de la variabilidad de la altura mayor a la edad base "S"; y para ellos se usaron los estimadores bayesianos.

5.5.-Ajuste de curvas de rendimiento por calidad de sitio.

Con la información de rendimiento obtenida a partir de las parcelas permanentes y la clasificación de las parcelas según su calidad de sitio, se ajustó una curva de rendimiento para cada una de ellas, que servirán para la determinación del turno óptimo de cosecha. Para ello se hizo uso del procedimiento NLINMIXED SAS®. Las formas funcionales del modelo que se utilizaron fueron las que se muestran más abajo. Para su selección se usaron los mismos criterios de bondad de ajuste utilizados para la selección de la curva guía en la que se relacionaba la altura mayor y la edad.

Chapman-Richards
$$Volsc_Ha = (a + u) \left(1 - e^{-b*edad} \right)^c + \varepsilon_i$$

Gompertz
$$Volsc_Ha = (a + u) e^{-be^{-c*edad}} + \varepsilon_i$$

Logistica
$$Volsc_Ha = \frac{(a + u)}{(1 + ce^{b*edad})} + \varepsilon_i$$

Weibull
$$Volsc_Ha = (a + u) \left(1 - e^{-b*edad^C} \right) + \varepsilon_i$$

Monomolecular
$$Volsc_Ha = (a + u)(1 - ce^{-b*edad}) + \varepsilon_i$$

Donde:

a, b y c = parámetros a estimar
edad = edad del rodal (años)
u = efecto aleatorio
 ε_i = término aleatorio

5.6.-Elaboración del Modelo en Hoja de Cálculo para Determinar el Turno Optimo.

Con los modelos de crecimiento, y la información almacenada en la base de datos se elaboró un modelo para la determinación del turno óptimo de cosecha usando para ello dos tipos de turnos financieros: Turno de Fisher-Hotelling y Turno de Faustmann-Pressler-Ohlin, y un turno no financiero: Turno Técnico. En este modelo el usuario puede interactuar por medio de una interfaz gráfica y de esta manera puede conocer el turno óptimo de cosecha para cada rodal; así como, ver la sensibilidad de la decisión ante cambios en algunas variables de estado. Este modelo se elaboró usando para ello la hoja de cálculo Excel®. En la figura 10 se puede apreciar la hoja "INICIO" en la cuál hay hipervínculos hacia las demás hojas que constituyen el modelo, y de esa manera poder desplazarse con facilidad a través de él. Está compuesto por varias hojas relacionadas que se describen a continuación:

"ESCENARIOS": en esta hoja están almacenados todos los datos necesarios para los cálculos posteriores. En ésta hoja es donde se introducen los datos y ella está hipervinculada con todas las otras hojas del modelo, por lo que estas últimas sólo sirven para mostrar los datos iniciales, hacer cálculos ó mostrar los resultados. La hoja "ESCENARIOS" permite tener el control del modelo al administrar los datos iniciales y poder hacer cualquier combinación de las variables creando cualquier escenario, pudiendo probar de esta manera la sensibilidad de los resultados ante cambios de las variables.

CUADRO 2. Variables relevantes en la determinación del turno óptimo

Tasa de Interés	8%
Valor de la Madera en Planta (US\$/Tn)	59
Costo de Cosecha (US\$/Tn)	16,00
Costo de Transporte (US\$/Tn)	12,00
Densidad de la Madera (Tn/m ³)	0,8
Calidad de Sitio	1

En esta hoja se incluyen algunas variables relevantes para la determinación del turno óptimo de cosecha desde el punto de vista financiero. Se consideró una tasa de descuento de 8%, que es la tasa corporativa (usada en la empresa). También se utilizó el valor de la madera en planta, al que se le sustrajo el costo unitario de transporte y cosecha, que sirvieron para el cálculo del valor de la madera en pie. También se hizo uso del valor, empleado por la empresa, de la densidad de la madera para transformar los metros cúbicos (m^3) a toneladas (Tn). La calidad de sitio también se incluye como una de las variables relevantes al tener esta gran influencia en la determinación del turno óptimo de cosecha. Estas cifras pueden ser apreciadas en el cuadro 2.

“PARÁMETROS”: ésta hoja muestra los parámetros, por calidad de sitio, de los modelos de rendimiento; además contiene el valor de la densidad de la madera en Tn/m^3 .

“RENDIMIENTO”: en ella se encuentran los valores estimados, hasta los 19 años, del rendimiento en m^3/ha y Tn/ha para cada calidad de sitio. También genera dos gráficos con estos valores como se puede apreciar en la figuras 21 y 22.

“VALOR DE LA MADERA EN PIE”: en ella se calcula el Valor de la Madera en Pie (VMP) en $US\$/Tn$. Para su cálculo se asume que el valor de la madera es el máximo valor que pagaría un comprador por ella; no necesariamente es el valor de transacción. Sin embargo como la División Forestal ésta integrada verticalmente con los Molinos de Cartón y Papel (MOCARPEL) este valor puede

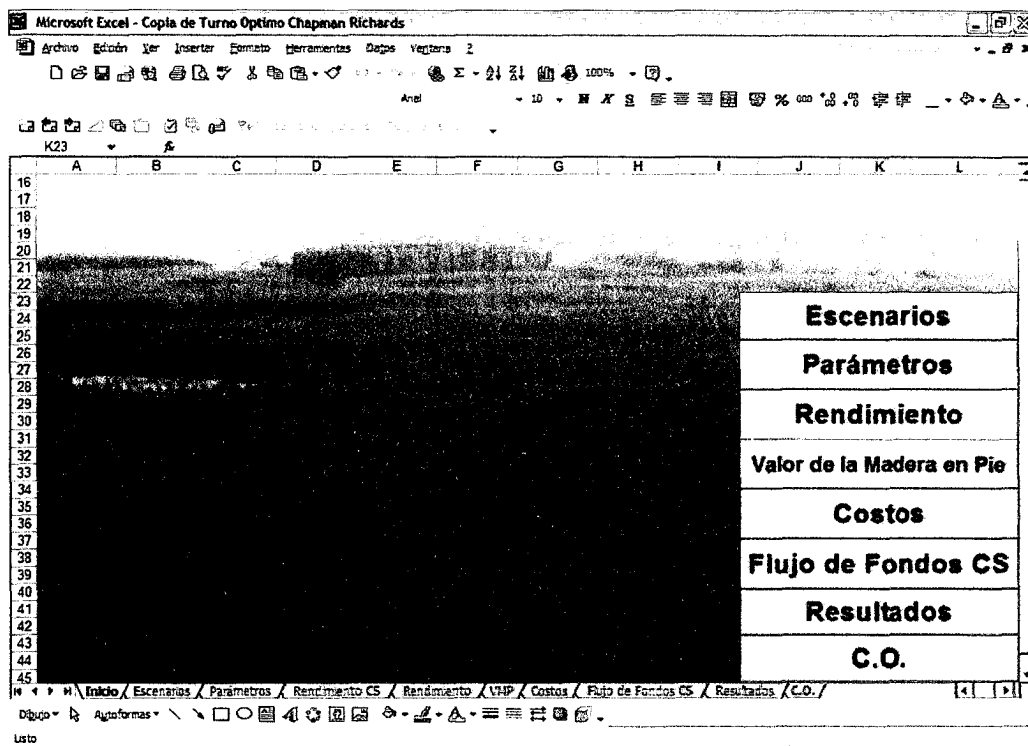


FIGURA 10. Vista de la hoja "INICIO" del modelo desarrollado para la determinación del turno óptimo de cosecha.

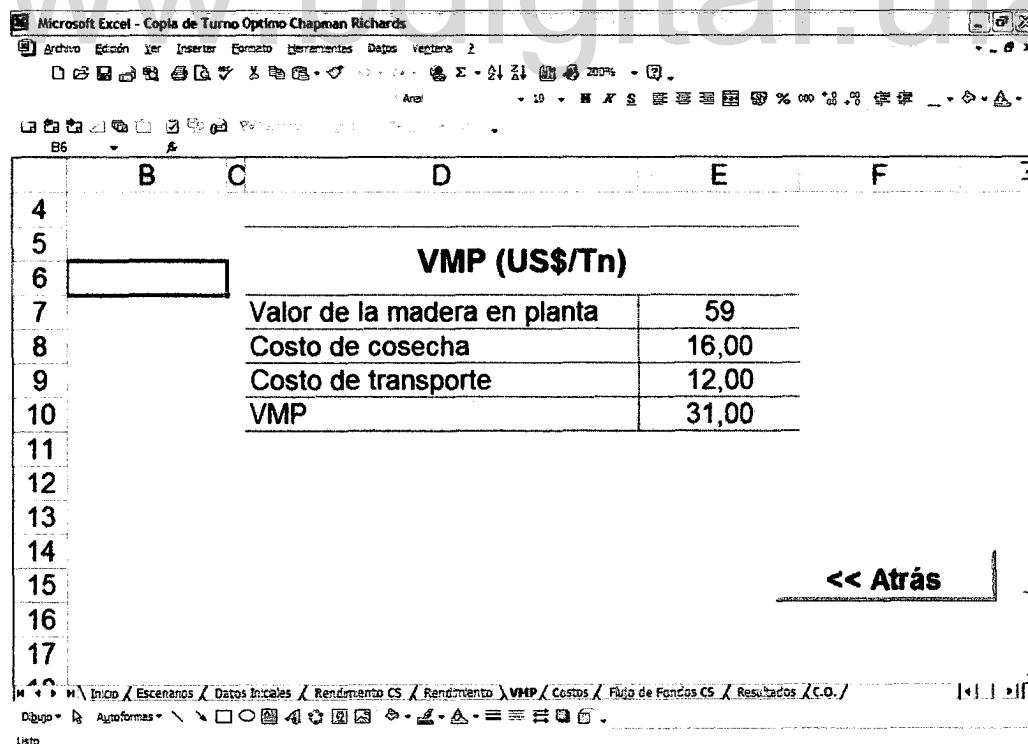


FIGURA 11. Vista de la hoja "VMP" donde se calcula el valor de la madera en pie

usarse para nuestros fines. El VMP se calculó como el residuo de restar los costos de aprovechamiento y transporte al valor de la madera en planta, como lo proponen (Cortes y Contreras, 1978). Se asume aquí que el costo de transporte y aprovechamiento de cualquier rodal es el mismo; algo que en la realidad no es cierto; sin embargo, este valor puede dar una buena aproximación del valor de la madera en pie, ya que los costos antes mencionados no fluctúan mucho por encontrarse los rodales en condiciones más o menos similares, lo que influye poco en el turno óptimo de cosecha. Hay que recordar que el turno lo estamos determinando sólo para valores enteros de la variable edad, debido a que operativamente no es práctica una mayor aproximación. En la figura 11 se muestra una vista de ésta hoja.

“COSTOS”: muestra la tasa de descuento y la base de datos de los costos (expresados en US\$/ha) y el momento en el cual ocurren. Se incluyen todos aquellos costos en los cuales incurre la empresa para el manejo del rodal desde la producción de plantas en el vivero hasta el momento justo antes de la corta. Se enumeran a continuación:

- ❖ Vivero
- ❖ Transporte de plántulas
- ❖ Preparación del terreno
- ❖ Plantación
- ❖ Fertilización
- ❖ Control de malezas pre-plantío
- ❖ Control de malezas post-plantío
- ❖ Control fitosanitario
- ❖ Control de incendios
- ❖ Gastos generales

Los costos de establecimiento, manejo y generales son mostrados en el cuadro

3. Además se indica el año de ocurrencia de cada uno de ellos.

CUADRO 3. Costos de establecimiento, manejo y generales

Items de costos	US\$/ha	Año de Ocurrencia
Transporte de Plantas	4,0	0
Vivero	113,0	0
Preparación de Terreno	92,0	0
Plantación	16,7	0
Fertilización	31,4	0
Control de Malezas preplantío	54,0	0
Control de Malezas posplantío (mec + químico)	65; 59; 22; y 4	0,1,2 y 3
Control Fitosanitario	113; 56; 42; y 8,4	0,1,2 y 3
Control de Incendios	24; y 12	El primero ocurre hasta el año 5, a partir de allí el costo es el 2do anualmente
Gastos Generales	83,9	

www.bdigital.ula.ve

“FLUJO DE FONDOS CS”: en esta hoja están los flujos de fondos para cada alternativa probada. El flujo de fondos que se muestra en la figura 12 corresponde al caso de un rodal de calidad de sitio II (CS 2) el cual se pretende cortar a los 6 años de edad. De la misma manera se hizo para todas las combinaciones de calidades de sitio (I, II y III) y edades (desde los 6 hasta los 12 años). La primera parte de ésta hoja corresponde a los costos y está hipervinculada con la hoja anterior llamada “COSTOS”. Se supone que a partir del año 6 los costos en los que se incurren no varían hasta el año 19; ello es necesario por no contar con información a partir de esta edad, pues el turno de cosecha en la empresa ha sido alrededor de los 6 ó 7 años; de esta manera, será posible calcular los indicadores financieros hasta para un turno de 12 años. En esta hoja también se puede apreciar que los costos se totalizan año a año.

El ingreso es el resultado de multiplicar el valor de la madera en pie por el rendimiento del rodal en una calidad de sitio particular a una edad determinada. Se supone que el valor de la madera en pie no varía con el tiempo, lo que es razonable pues es la propia empresa quién controla el valor de la madera en planta al tener una integración vertical, y además se supone que los costos de aprovechamiento y transporte no varían con mucha rapidez en el tiempo (hay que recordar que este es un análisis estático); tampoco varían los costos señalados con las dimensiones de la madera lo que se justifica por ser madera destinada a la producción de pulpa. Este ingreso ocurre a la edad en la que se pretende cortar el rodal, en el caso mostrado en la figura 12 el ingreso se percibiría al final del año 6. Todos los ingresos y costos se suponen que ocurren al final de cada año, y no a principios que podría ser la otra alternativa.

El ingreso neto es el resultado de restarle, año a año, el total de costos del total de ingresos. En esta misma hoja se calculan tres indicadores financieros: 1) VAN (Valor Actual Neto): para lo cual se hace uso de la función VNA del Excel®; 2) VES (Valor Esperado del Suelo): en este caso se introdujo directamente la fórmula para su cálculo; y 3) TIR (Tasa Interna de Retorno): para su cálculo se hizo uso

del función TIR del Excel®. Para los dos primeros se utilizó la tasa de descuento incluida en la hoja “COSTOS”.

“RESULTADOS”: contiene un cuadro sinóptico contentivo de los valores del VAN y del VES para cada una de la calidades de sitio desde la edad de los 6 años hasta la edad de 12 años. Además hay dos gráficos donde se refleja esta información por indicador financiero, como las que se pueden apreciar en las figuras 26 y 27. En esta hoja se puede apreciar a que edad ocurre el mayor VAN ó VES por calidad de sitio, lo que determina el turno óptimo financiero de cosecha.

“COSTO DE OPORTUNIDAD”: se entiende como costo de oportunidad a la cantidad de dinero que se dejaría de percibir por tomar la decisión de cortar el rodal a una edad distinta a aquella en la cual el VAN ó VES es máximo (turno óptimo financiero). Desde el punto de vista del economista esto constituye un costo, sin embargo no lo es desde el punto de vista contable al no representar ningún egreso para la empresa. En esta hoja su valor es calculado como la resta del máximo valor del VAN ó VES para esa calidad de sitio menos el valor del VAN ó VES (dependiendo de cuál indicador se esté utilizando) para esa misma calidad de sitio en cualquier otro año. Por lo tanto, para el año en el cual ocurre el turno óptimo, el costo de oportunidad es cero. También en esta hoja se generan dos gráficos con la información del costo de oportunidad para cada uno de los indicadores financieros (Figuras 28 y 29).

Turno Optimo de Cosecha en Plantaciones de *Eucalyptus urophylla*

Microsoft Excel - Copia de Turno Optimo Chapman Richards

ArchivoEdiciónVerInsertarFormatoHerramientasDatosVentana2

100%

Ariel

12

</

FIGURA 12. Vista de la hoja "FLUJO DE FONDOS CS" donde se calculan los indicadores financieros.

5.7.- Análisis de Sensibilidad

Para poder conocer que tan sensible es un resultado ante cambios en las variables que lo determinan, se hace uso del análisis de sensibilidad. El primero de ellos relaciona el turno óptimo de cosecha ante variaciones de la tasa de descuento, los costos de cosecha, y los costos de transporte. El segundo análisis de sensibilidad se hizo para conocer el efecto de los cambios en los costos en el VAN ó el VES para una calidad de sitio dada, suponiendo que la corta se realizará a los 6 años.

6.- RESULTADOS Y DISCUSION

6.1.-Calidad de sitio y curvas de rendimiento.

Se graficó la altura mayor en contra de la edad de la parcela para tener una idea de la forma funcional del modelo que podría ajustarse, como se muestra en la figura 13. De allí se desprende que antes de los 4 años se aprecia un crecimiento a tasa aceleradas y a partir de los 4 años de edad se percibe un crecimiento pero a tasas cada vez menores. Se podría pensar en algún modelo que siga una curva sigmoide, sin embargo es posible que estos datos también se ajusten a una función logarítmica. Previamente mediante un procedimiento similar se identificaron graficamente algunos datos atípicos, los cuales fueron eliminados de la base de datos.

Sin embargo, adicionalmente se ajustó el modelo lineal para tener un modelo de comparación, y así aprovechar algunas opciones que tiene el SAS®, para la verificación de los supuestos del modelo lineal, cuando se ajustan modelos lineales con el procedimiento REG.

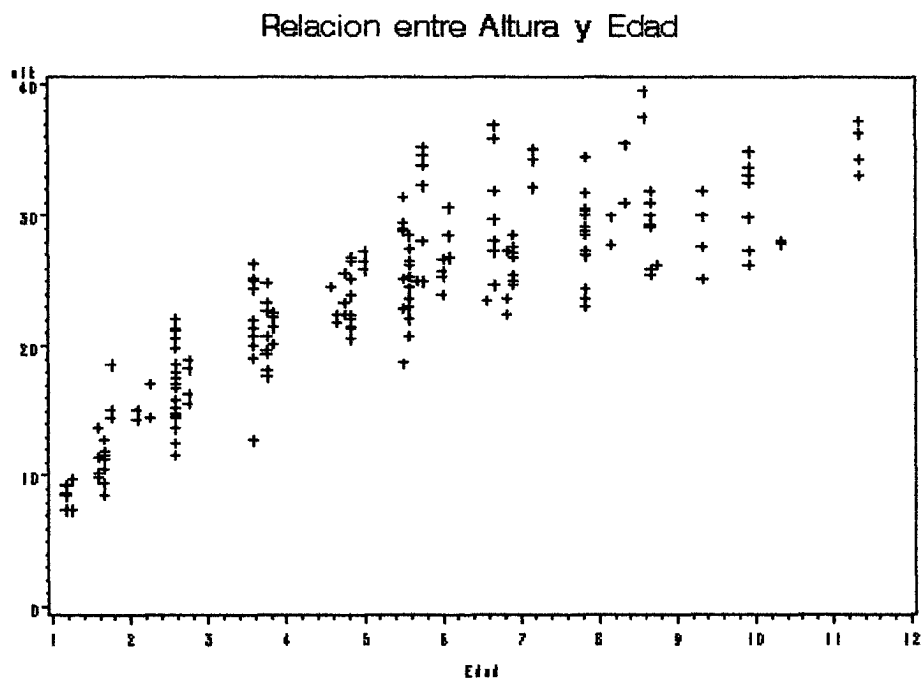


FIGURA 13 Relación entre altura mayor y edad

la ecuación utilizada es $\text{Altura}_{\text{dominante}} = \exp[B_0 + B_1(1/\text{Edad})^{0.5}] +$
 Relación lineal entre $\ln(\text{Altura})$ vs $(1/\text{edad})^{0.5}$

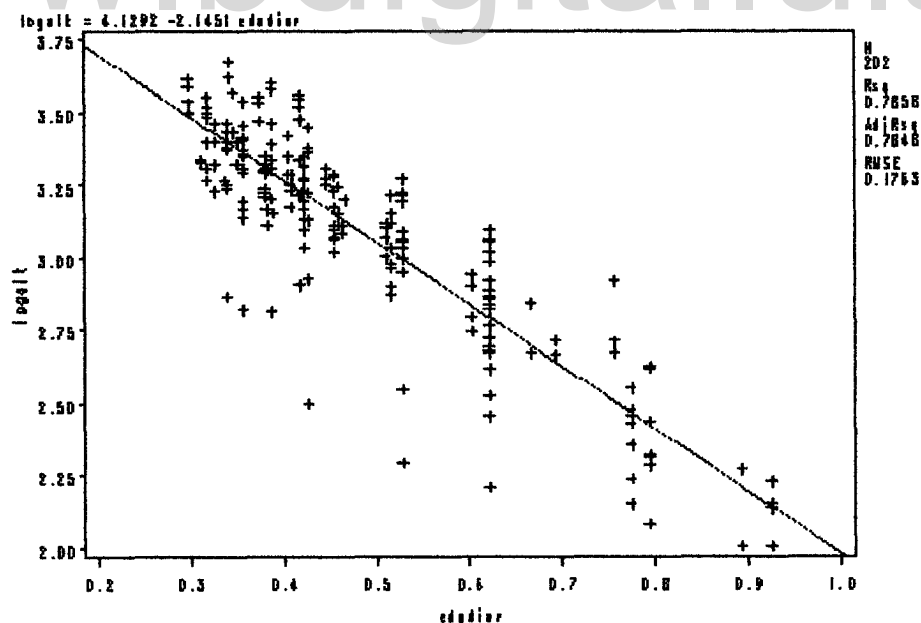


FIGURA 14. Relación lineal entre el Ln de la altura mayor y la raíz cuadrada del inverso de la edad

En la figura 14 se muestra el modelo lineal ajustado luego de la transformación de los datos, cuya gráfica muestra el logaritmo neperiano de altura contra la raíz cuadrada del inverso de la edad. Adicionalmente se muestra la línea del ajuste, y se puede apreciar la dispersión de los datos alrededor de la línea, pudiéndose apreciar que ésta no es igual para diferentes edades, lo que pondría en duda el supuesto de la igualdad de varianzas.

En esa figura se muestran los coeficientes del modelo ajustado, así como, el R^2 ajustado (0,7848), que pareciera indicar un buen ajuste; sin embargo, se sospecha la presencia de autocorrelación por la estructura de los datos, y de heterocedasticidad.

En el cuadro 4 se muestran dos pruebas para detectar la presencia de autocorrelación de los residuos. La primera de ellas es el estadístico de Durbin Watson con un valor de 0,646, y la segunda es el coeficiente de autocorrelación de primer orden con un valor de 0,672; lo que claramente induce a pensar la presencia de autocorrelación de los residuos. Por lo que se estaría violando uno de los supuestos del modelo lineal general, lo que invalidaría las inferencias que se puedan hacer a partir del modelo ajustado anteriormente.

En la figura 15 se grafican los residuos contra la edad para detectar la presencia de autocorrelación. Se puede presenciar que los residuales tienen un patrón cíclico a través del tiempo; en los tres primeros años la dispersión alrededor del valor cero es mayor que aquella que se puede apreciar alrededor de los años 4 y 5, momento a partir del cual vuelve a ser mayor hasta alrededor del año 9 cuando empieza a ser menor. Este patrón de los residuos a través del tiempo es una prueba más de la presencia de autocorrelación.

De la misma manera, en la figura 16 se graficaron los residuales contra los valores predichos de la variable "Ln de la altura mayor", donde podemos apreciar al igual que en la figura anterior, que la dispersión de los residuos alrededor del valor cero es

diferente para distintos valores de la variable dependiente, lo que lleva a pensar en la presencia de heterocedasticidad, violando otro de los supuestos de modelo lineal general.

En el cuadro 5 se presentan varias pruebas de normalidad de los datos, y en cada prueba no se rechaza la hipótesis nula. Se evidencia que los residuos son una muestra que proviene de una distribución normal, cumpliéndose así el supuesto de normalidad del modelo lineal general.

Esto puede ser corroborado al observar el gráfico de tallo y hojas, elaborado a partir de los valores de los residuos. En la figura 17 se puede apreciar claramente que la distribución de los residuos se asemeja a la de la normal. Con ello se cumple el supuesto de normalidad y en consecuencia, es posible hacer inferencia usando esta distribución. De la misma manera en la figura 18, donde se presenta el gráfico de probabilidad normal y se corrobora lo anterior.

www.bdigital.ula.ve

CUADRO 4. Pruebas de la autocorrelación

Durbin-Watson D	0.646
Number of Observations	194
1st Order Autocorrelation	0.672

CUADRO 5. Pruebas de la normalidad de los datos.

Tests for Normality				
Test	Statistic		p Value	
Shapiro-Wilk	W	0.994569	Pr < W	0.7069
Kolmogorov-Smirnov	D	0.051331	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.053611	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.336541	Pr > A-Sq	>0.2500

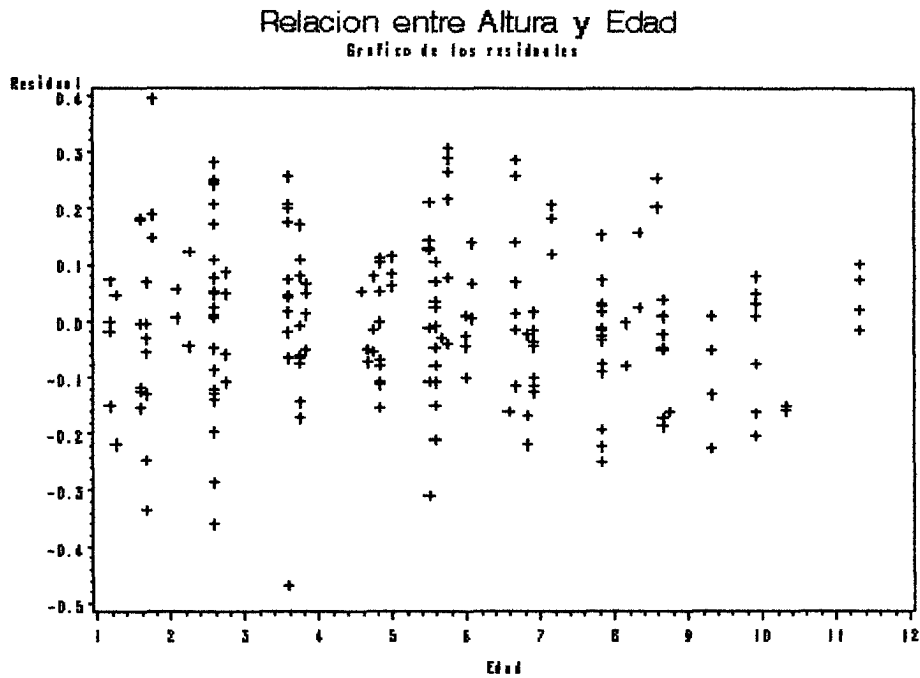


FIGURA 15. Relación entre los residuos y la edad de la parcela

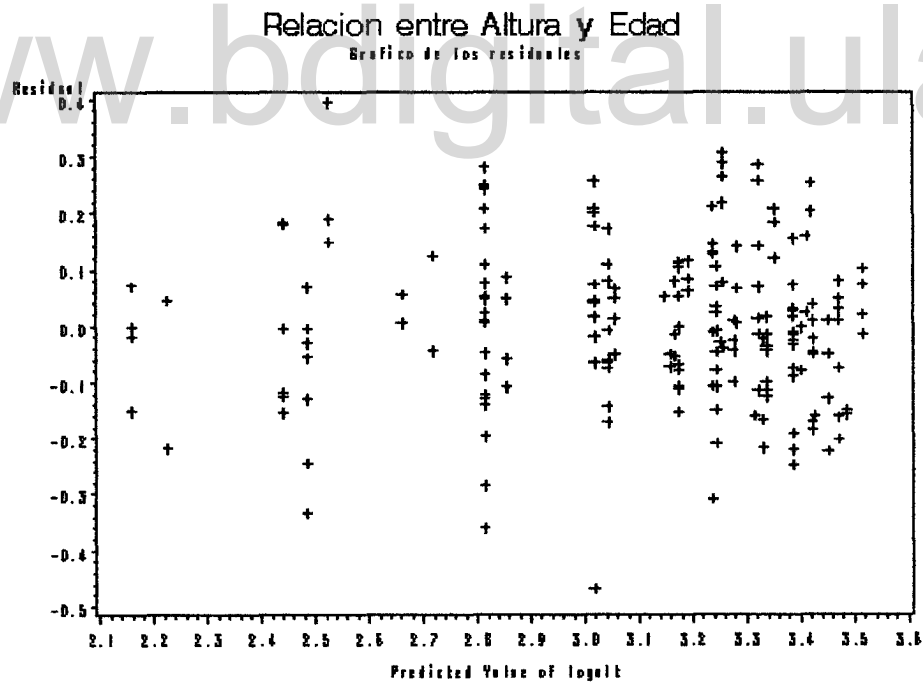


FIGURA 16. Relación entre los residuos y los valores predichos del Ln de la altura mayor.

En el cuadro 6 se pueden apreciar los criterios de bondad de ajuste de los modelos de curva guía. En él se presenta varios criterios: AIC, AICC, y BIC; y se muestra el valor “-2 loglikelihood”, y la suma de cuadrados corregida “CSS”. El modelo lineal, que tiene sólo efectos fijos, se ajustó por mínimos cuadrados ordinarios razón por la cuál sólo se presenta el valor “CSS”, y si se compara con los otros modelos lineales pero de efectos mixtos se puede apreciar que su valor de “CSS” es el menor de todos, sólo igualado por el modelo de estructura de varianzas covarianzas “VC”, que en definitiva es el mismo modelo. Sin embargo en este modelo se supone que los errores son independientes y las varianzas son iguales, algo que se ha probado que es falso. Por esa razón, se ajustaron los otros modelos que toman en cuenta estas dos condiciones, donde el mejor ajuste lo tuvo aquél con una estructura de la matriz de varianzas covarianzas autoregresiva de orden 1 (AR1), teniendo incluso mejor ajuste que el modelo de componentes de varianza (VC). Las estructuras “UN” y “TOEPH” no pudieron ser ajustadas por SAS®, seguramente debido a la gran cantidad de parámetros a estimar.

Como la relación altura mayor edad no sigue una tendencia lineal, tal como se muestra en la figura 13. Se ajustaron modelos no lineales de efectos fijos y mixtos, siendo posible hacerlo con SAS®. En el cuadro 6 se muestran los criterios de bondad de ajuste para estos modelos. De los cinco modelos no lineales de efectos fijos ajustados el de menor suma de cuadrados fue el “MONOMOLECULAR”. Sin embargo, éste modelo tiene la desventaja de que no presenta punto de inflexión como los otros, lo que va en contra de lo que normalmente ocurre en el crecimiento de masa boscosas. Los modelos Chapman Richards y Weibull tuvieron ajustes muy parecidos. Adicionalmente, existen otras dos desventajas en relación a los modelos mixtos, pues en estos últimos el espacio de inferencia es mayor, al no limitarse ésta sólo a las parcelas medidas, sino que se puede inferir sobre una población mayor al suponer que estas parcelas fueron seleccionadas al azar de una población de parcelas; y además, al incluir un efecto aleatorio se induce a que haya autocorrelación de los errores, y de esta manera, es posible modelar la matriz de varianzas-covarianzas.

Stem Leaf	#	Boxplot
4 0	1	0
3		
3 1	1	
2 556667899	9	
2 00111124	8	
1 55678889	10	
1 0111111233444	14	
0 5555555667777777788888889	28	+-----+
0 111111111122222333344	23	+
-0 444433333222221111111000000	29	*-----*
-0 99888887776666555555555	24	+-----+
-1 43333222111111100	18	
-1 997766665555	14	
-2 42222100	9	
-2 85	2	
-3 31	2	
-3 6	1	0
-4		
-4 7	1	0
-----+-----+-----+-----+-----		

Multiply Stem Leaf by 10^{*-1}

FIGURA 17. Gráfico de tallo y hojas para los residuos
Normal Probability Plot

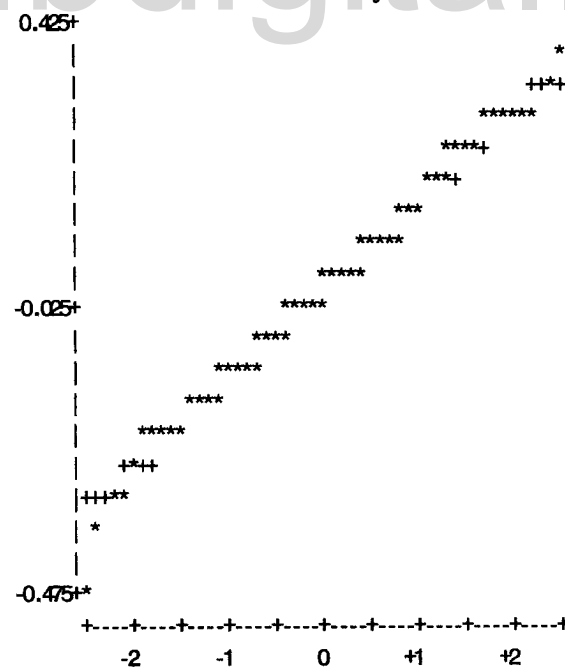


FIGURA 18. Gráfico de probabilidad normal

CUADRO 6. Bondad de ajuste de los modelos de la curva guía

Calidad de Sitio					
Modelo	CSS	-2Log Likelihood	AIC	AICC	BIC
Lineal	3,7611	-	-	-	-
Lineal Mixto					
UN	-	-	-	-	-
VC	3,7611	-203.4	-201.4	-201.4	-200.2
AR(1)	3,7724	-347.6	-343.6	-343.5	-341.2
CS	3,7801	-298.4	-294.4	-294.4	-292.0
Toeplitz	3,7686	-356.9	-336.9	-335.7	-324.7
ARH(1)	3,7734	-360.8	-338.8	-337.3	-325.3
CSH	3,7829	-323.2	-301.2	-299.7	-287.8
TOEPH	-	-	-	-	-
No Lineal					
Chapman Richards	1988,04	-	-	-	-
Gompertz	2018,72	-	-	-	-
Logística	2060,01	-	-	-	-
Weibull	1989,25	-	-	-	-
Monomolecular	1986,66	-	-	-	-
No Lineal Mixto					
Chapman Richards	187,3860	890.2	900.2	900.5	906.3
Gompertz	732,1218	892.3	902.3	902.6	908.4
Logística	755,0849	897.8	907.8	908.1	913.9
Weibull	724,2893	890.1	900.1	900.5	906.2
Monomolecular	725,1851	890.2	900.2	900.6	906.3
No Lineal Mixto Reparametrizado Factor Local (b0+u)					
Chapman Richards	724,5937	890.2	900.2	900.5	906.3
Gompertz	732,1217	892.3	902.3	902.6	908.4
Logística	755,0834	897.8	907.8	908.1	913.9
Weibull	1221,4100	1185.8	1195.8	1196.2	1201.9
Monomolecular	725,1851	890.2	900.2	900.6	906.3
No Lineal Mixto Reparametrizado Factor Local (b1+u)					
Chapman Richards	805,4957	907.7	917.7	918.0	923.8
Gompertz	1179,5100	964.4	974.4	974.7	980.5
Logística	932,2536	933.4	943.4	943.7	949.5
Weibull	-	-	-	-	-
Monomolecular	808,7754	908.4	918.4	918.8	924.5

Se ajustaron los modelos no lineales mixtos de los cuales se ajustaron tres tipos o familias de modelos. El que tuvo el mejor ajuste fue el "WEIBULL" sin reparametrizar. Sin embargo, el modelo "CHAPMAN-RICHARDS" reparametrizado en función de "b0" y suponiendo como factor local "S", tuvo un ajuste muy parecido, teniendo este último la ventaja de que no es necesario suponer que los valores de la asíntota "b0" estén asociados al efecto aleatorio, ya que el valor de la asíntota no es conocido; y a que se espera que lo que varíe aleatoriamente sea la altura mayor a la edad base y no la asíntota. En aquellos modelos que incluyen "b0" (modelos sin reparametrizar y modelos reparametrizados en función de "b1" y suponiendo como factor local "S") este valor no es conocido por no ser observado ya que ocurre mucho después del turno de cosecha; por el contrario el valor de la altura mayor a la edad base "S" si lo es, por ser un valor observado. Hay que recordar que para ajustar los modelos no lineales es necesario dar valores iniciales para los parámetros del modelo. Por estas razones el modelo de "CHAPMAN-RICHARDS" reparametrizado en función de "b0" y suponiendo como factor local "S" fue escogido como curva guía.

Es notable igualmente que la suma de cuadrados corregidos de este modelo es claramente inferior a aquellas correspondientes a los modelos no lineales de efectos fijos. Con los modelos lineales mixtos no es posible compararlo ya que en estos las variables han sido transformadas. Sin embargo el hecho de no transformar las variables, en el caso de los modelos no lineales, representa una ventaja porque hace más fácil la interpretación del modelo, debido a que los parámetros tienen significado biológico.

El modelo seleccionado como curva guía se muestra en la figura 19, en esta también se muestran los valores observados de la altura mayor de las parcelas permanentes. Se pueden apreciar dos curvas adicionales que son proporcionales a la curva guía. Los valores de la primera (1) de ellas son 5% mayores a los de la curva guía y representa el límite entre las calidades de sitio I y II; mientras los de la segunda (2) son 5% menores y representan el límite entre las calidades de sitio II y III.

En la figura 20 se muestra la curva guía con las curvas A y B, y los valores observados de las alturas mayores de las parcelas permanentes; sin embargo, la diferencia con la figura anterior es que sólo se muestran los valores de las alturas mayores para las edades comprendidas entre las edades 6 y 7, rango que fue definido como la edad base, ante la imposibilidad de que todas las parcelas fueran medidas a la misma edad. En el caso de la clasificación determinística (índice de sitio del rodal), sólo bastaría conocer si el valor de la altura mayor de una parcela está sobre la curva A, entre las curvas A y B, ó debajo de la curva B, para así clasificarlas como de calidad de sitio I, II ó III respectivamente. Sin embargo, con la clasificación estocástica (índice de sitio del sitio) cada valor observado de la altura mayor de la parcela es sólo uno entre los múltiples valores que éste podría tomar (el efecto aleatorio está asociado con la altura mayor a la edad base), por lo que la clasificación de una parcela dependerá de la probabilidad de que el valor de la altura mayor se encuentre dentro de una categoría u otra. Esta última clasificación fue la utilizada en este trabajo, por ser estocástico el modelo de mejor ajuste.

Con las parcelas clasificadas se ajustaron las curvas de rendimiento por calidad de sitio. De los cinco modelos ajustados el que tuvo mejor ajuste fue el "MONOMOLECULAR" como puede ser apreciado en el cuadro 5. Sin embargo, ésta curva no tiene punto de inflexión, lo que es desventajoso pues las masas forestales por lo general crecen a tasa crecientes hasta el punto de inflexión, punto a partir del cual crecen a tasas decrecientes hasta alcanzar la asíntota. Este comportamiento es lo que determina el turno técnico de cosecha. Por esta razón, se prefirió utilizar el modelo que siguiente en mejor ajuste y que correspondió al de "CHAPMAN RICHARDS". La bondad de ajuste de los modelos de la curva de rendimiento se muestran en el cuadro 7.

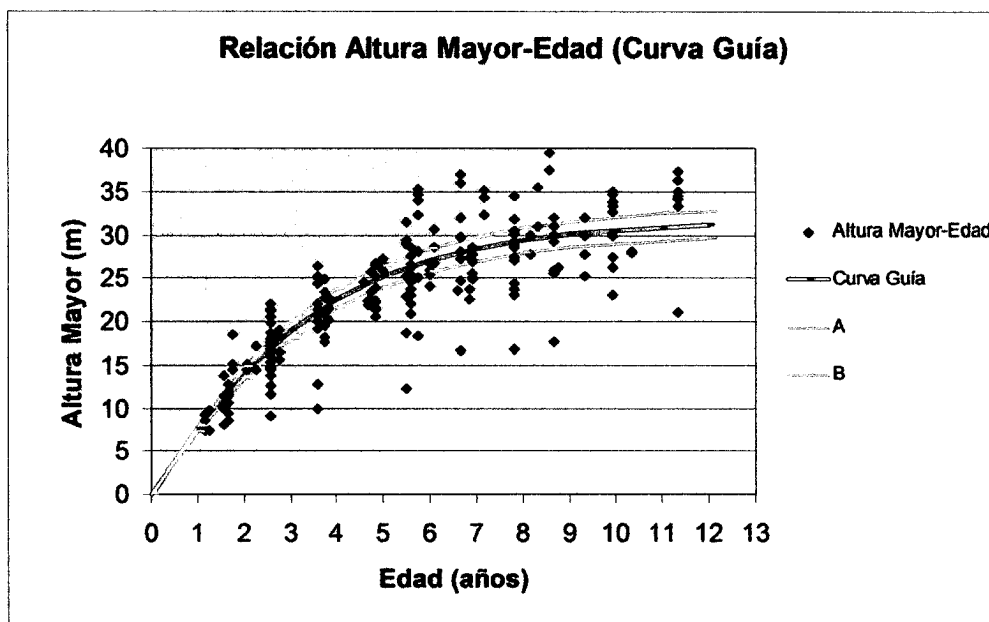


FIGURA 19. Curva guía y curvas de clasificación sobrepuestos a los valores observados de la altura mayor

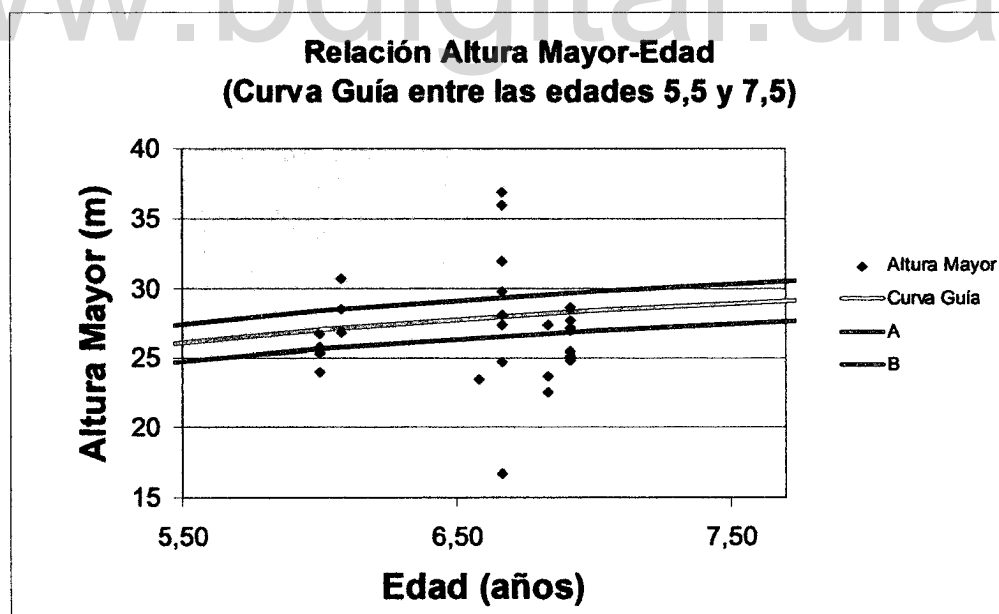


FIGURA 20. Curva guía y curvas de clasificación sobrepuestos a los valores observados de la altura mayor comprendidos entre 5, 5 y 7, 5 años de edad.

CUADRO 7. Bondad de ajuste de los modelos de la curva de rendimiento por calidad de sitio.

Rendimiento	CS1					CS2					CS3				
	CSS-2LogLikelihood	AC	AIC	BC	95%	CSS-2LogLikelihood	AC	AIC	BC	95%	CSS-2LogLikelihood	AC	AIC	BC	95%
ChapmanRichards	688	607	607	641.7	641.1	96	7181	7281	7289	7301	377	4423	4523	4536	4512
Gompertz	688	687.7	647.7	648.7	648.1	96	7213	7313	7321	7333	377	6161	6261	6274	6250
Logística	688	647.1	657.1	658.1	657.5	96	7309	7409	741.7	7429	377	6161	6261	6274	6250
Weibull	688	622	622	642	642.6	96	7222	7322	7330	7342	377	4426	4526	4539	4515
Monomolecular	688	6230	6330	6340	6334	96	7141	7241	7249	7261	377	4420	4520	4533	4509

www.bdigital.ula.ve

En la figura 21 se muestran las curvas de rendimiento por calidad de sitio expresadas en m^3/ha , en ella se aprecia que claramente existe una diferencia entre la curva correspondiente a la calidad de sitio I y las otras dos. Entre las curvas correspondientes a las calidades de sitio II y III tal diferencia es evidente entre los 4 y 7 años, y no para los otros años. La tendencia para estas dos calidades de sitio es alcanzar valores cercanos para la asíntota a partir del año 12.

Para probar si existen diferencias estadísticamente significativas se realizó un análisis de la varianza para la variable volumen sobre corteza por hectárea (VOLSCHA) por edad, entre los 6 y 9 años edades cuando ocurre el turno óptimo de cosecha. En el anexo 10.3 se pueden apreciar los resultados, y se constata que generalmente hay dos grupos bien diferenciados. El primero constituido por la calidad de sitio I, y el segundo por las calidades de sitio II y III. Sin embargo hay dos excepciones, una a los 8 años cuando el nivel de significancia es de $p=0,05$ se encuentra que no hay diferencias significativas en el rendimiento; y la otra a los 7 años cuando el nivel de significancia es $p=0,01$ en cual cada calidad de sitio constituye un grupo diferente.

Sin embargo, los técnicos de la empresa por su experiencia de campo, tienden a identificar tres calidades de sitio bien diferenciadas en todo el rango de edades. Ellos opinan que el hecho de que aquí no exista una diferencia marcada entre las calidades II y III, puede deberse a que es posible que las parcelas permanentes, que son clasificadas como parcelas de investigación por la empresa, tengan un mejor cuidado que el resto de los rodales establecidos, con fines operativos. Por esa razón, se consideraron tres turnos óptimos (uno para calidad de sitio), en lugar de dos.

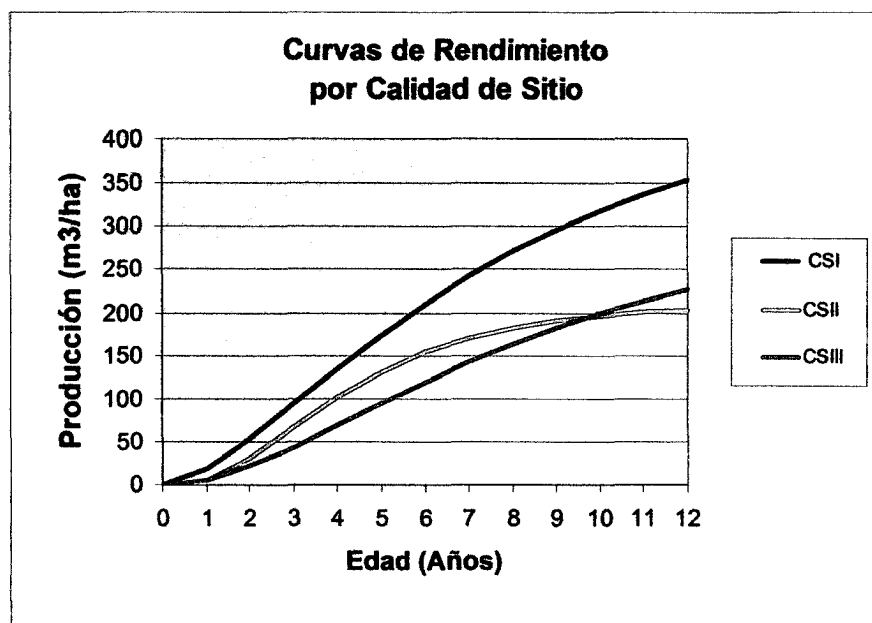


FIGURA 21. Curvas de rendimiento por calidad de sitio expresados en m^3/ha

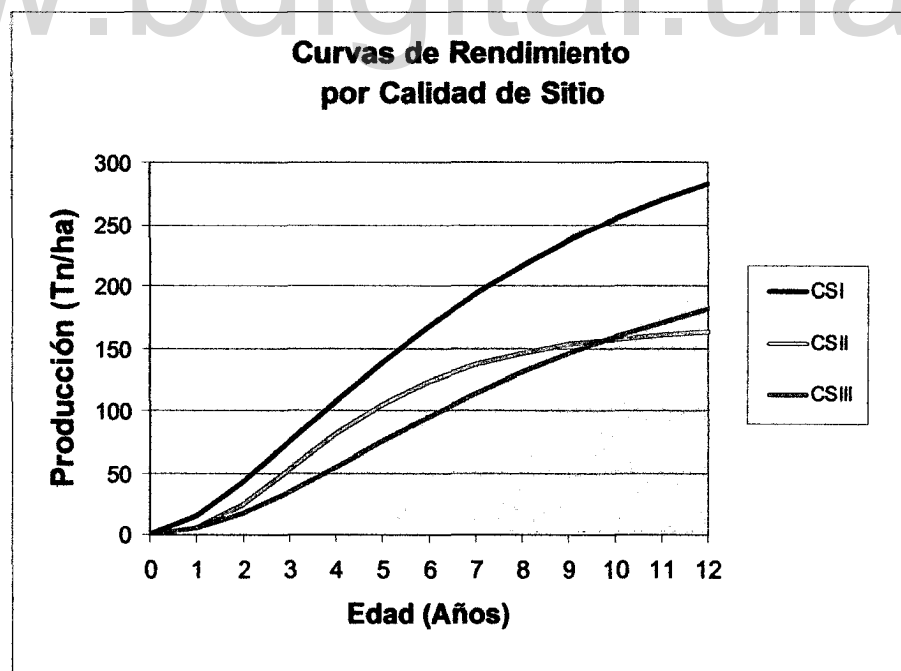


FIGURA 22. Curvas de rendimiento por calidad de sitio expresados en Tn/ha

En la figura 22 se muestran las tres curvas de rendimiento por calidad de sitio, en este caso expresadas en Tn/ha. Son el resultado de multiplicar los valores, para cada edad, de las curvas presentadas en la figura 21 por la densidad de la madera ($0,8 \text{ Tn/m}^3$). Estos valores concuerdan con los valores que se manejan para la empresa para rodales tipo de cada calidad de sitio, al momento del turno de cosecha hasta ahora utilizado.

El máximo incremento medio anual (IMA), como se aprecia en la figura 23, alcanza un valor de $35 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$. Ocurre para la calidad de sitio I alrededor de los 6 años de edad, y es a esta edad en la que ocurre el turno técnico de cosecha para esta calidad de sitio. El máximo incremento medio anual coincide con el momento en el que éste se iguala con el incremento corriente anual (ICA).

Para la calidad de sitio II, el máximo incremento medio anual se alcanza cerca de los 6 años, alcanzando un valor de $26,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, como se muestra en la figura 24. Es un valor menor al alcanzado para la calidad de sitio I y representa una disminución de la productividad del suelo.

El incremento medio anual alcanzado en un rodal típico establecido en calidad de sitio III es de $20,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{año}$, y se logra a la edad de 8 años (Figura 25), lo que representa 58% de la capacidad productiva del sitio I y 77,86% en relación a la calidad de sitio II. Además de ello, en esta calidad de sitio el máximo IMA se logra 2 años después en relación al momento en el cual se alcanza este mismo valor para las calidades de sitio I y II

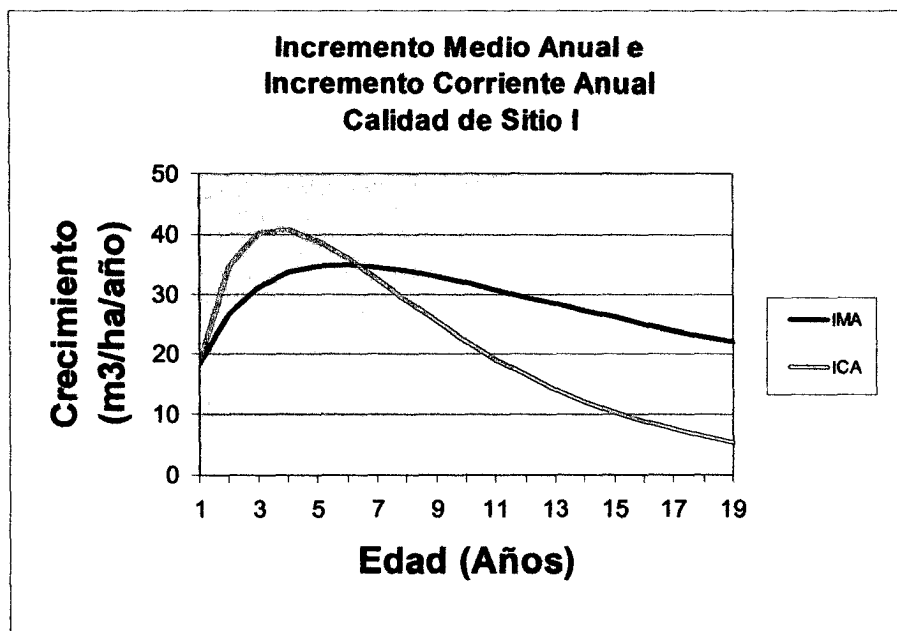


FIGURA 23. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio I.

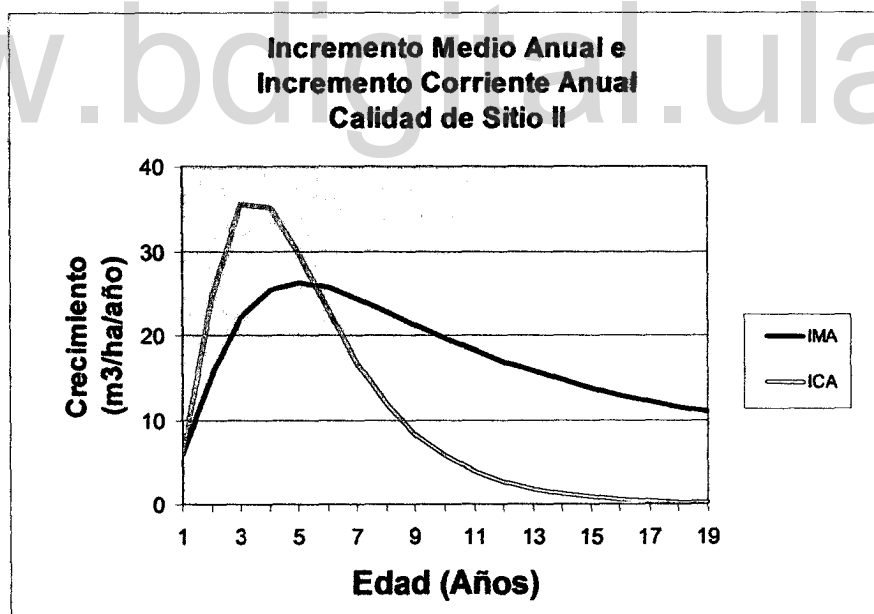


FIGURA 24. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio II.

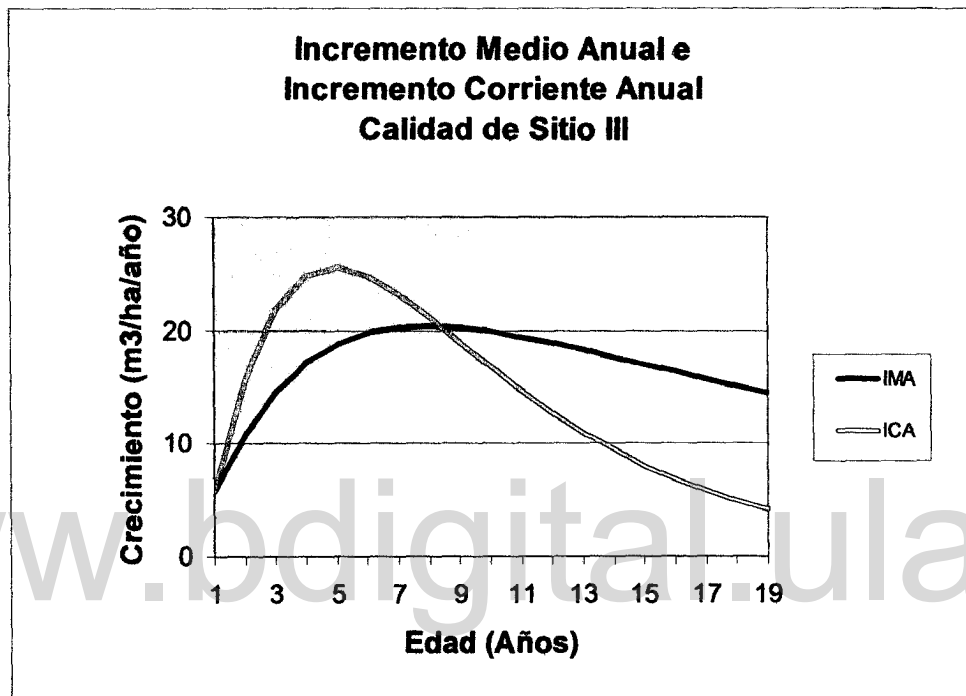


FIGURA 25. Incremento medio anual y corriente anual para un rodal de calidad de sitio III.

CUADRO 8. VAN y VES en US\$/ha para distintas edades y calidades de sitio

Edad	VAN			VES		
	CS1	CS2	CS3	CS1	CS2	CS3
6	2011,51	1146,65	596,07	5439,01	3100,48	1611,74
7	2183,29	1154,94	738,78	5241,88	2772,90	1773,75
8	2259,06	1079,39	818,80	4913,86	2347,87	1781,04
9	2257,09	952,68	844,49	4516,42	1906,31	1689,83
10	2194,44	797,99	825,48	4087,95	1486,54	1537,77
11	2086,04	630,66	771,22	3652,56	1104,25	1350,38
12	1944,47	460,41	690,27	3225,27	763,67	1144,94

www.bdigital.ula.ve

En la figura 26 se muestra el VAN por calidad de sitio, y se detalla la edad en la cual ocurre el máximo valor por calidad de sitio. Llama la atención que el máximo VAN para la calidad de sitio II representa alrededor de 51% del valor del máximo VAN de la calidad de sitio I; de la misma manera el máximo VAN de la calidad de sitio III representa 37,4 % con respecto a la calidad de sitio I y 72,5 % con respecto a la calidad de sitio II.

De la misma manera en la figura 27 se puede observar el VES por calidad de sitio para las diferentes edades. Allí se observa que el máximo VES para las calidades I y II ocurre a la edad de 6 años, mientras que para la calidad de sitio III ocurre a los 8 .

El máximo VES para la calidad de sitio II representa tan sólo 48% del valor correspondiente al máximo VES para la calidad de sitio I. Similarmente, el máximo VES para la calidad de sitio III representa tan sólo el 27% con respecto a la calidad de sitio I, y 57,5% en relación a la calidad de sitio II. Esta relación es interesante pues éste valor además de ser útil para la determinación del turno óptimo de cosecha, es un indicador del máximo valor que podría pagarse por el suelo desnudo. Si se quiere ver de otra manera, es un indicador de la rentabilidad de la inversión. De allí se desprende que el máximo valor a pagar por una hectárea en la calidad de sitio II, bajo las condiciones de manejo actuales, debe ser poco menos de la mitad del valor a pagar por una en la calidad de sitio I. De igual forma, para adquirir una hectárea en la calidad de sitio III sólo se debería pagar como máximo 27% del valor de una hectárea correspondiente a la calidad de sitio I. Visto de otra manera, se puede decir que dos hectáreas en la calidad de sitio II generan el mismo beneficio que una hectárea en la calidad de sitio I, lo que puede ser relevante en el momento de la toma de decisiones para adquirir nuevas fincas. Sería conveniente adquirir fincas en las cuales las calidades de sitio sean mejores. En ese caso a pesar de pagar más por el suelo se tiene la ventaja de concentrar la producción en una superficie menor, lo que facilita las operaciones de la empresa y en consecuencia llevaría a una disminución de los costos. Sin embargo, hay que recordar que en estos momentos en el país, a raíz de

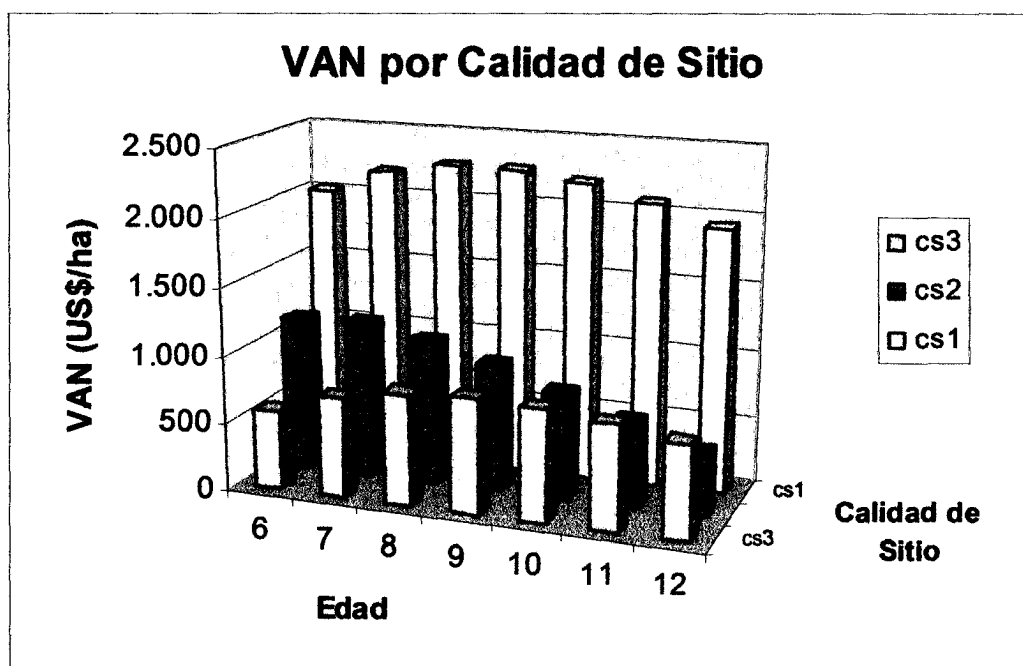


FIGURA 26. VAN por calidad de sitio.

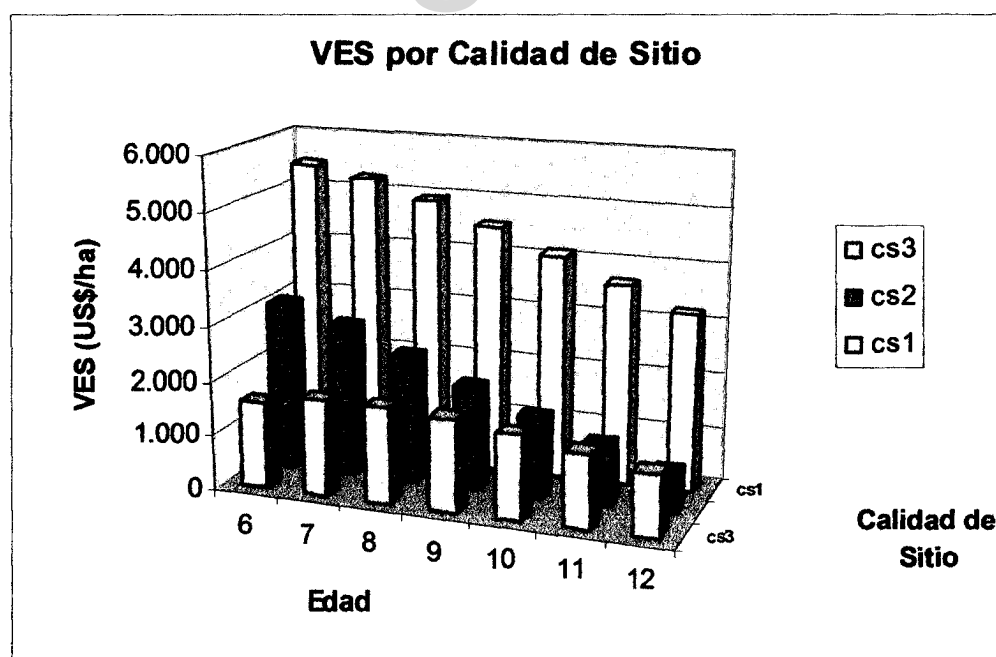


FIGURA 27. VES por calidad de sitio.

CUADRO 9. Pérdida del VAN y VES en US\$/ha para distintas edades y calidades de sitio

Edad	Pérdida de VAN			Pérdida de VES		
	CS1	CS2	CS3	CS1	CS2	CS3
6	-247,54	-8,29	-248,42	0,00	0,00	-169,30
7	-75,76	0,00	-105,71	-197,14	-327,58	-7,29
8	0,00	-75,55	-25,69	-525,15	-752,61	0,00
9	-1,97	-202,26	0,00	-922,59	-1194,17	-91,21
10	-64,62	-356,96	-19,01	-1351,07	-1613,94	-243,27
11	-173,01	-524,28	-73,27	-1786,45	-1996,23	-430,67
12	-314,59	-694,53	-154,23	-2213,75	-2336,81	-636,10

la promulgación de la Ley de Tierras y Desarrollo Agrario, hay restricciones para el uso de la tierra.

En el cuadro 9 se muestra las cantidades que la empresa dejaría de percibir como consecuencia de tomar la decisión de cortar a una edad diferente al turno óptimo. Esto representaría un costo de oportunidad para el economista, pero no desde el punto de vista contable, al no representar un gasto para la empresa. De lo anterior se deduce que si se corta a la edad óptima el costo de oportunidad sería cero. En ese cuadro se muestran las pérdidas, para las diferentes edades y para los dos indicadores, en las que se incurrirían si no se cortan los rodales a la edad óptima. Se puede percibir que retrasar la corta en un año con respecto al óptimo, representa una pérdida de 197,14, 327,58 y 91,21 US\$/ha para las calidades de sitio I, II y III respectivamente. Si se tuviera que retrasar la corta de algunos rodales, debido a una disminución de la demanda de madera, por ejemplo, sería preferible entonces retrasar la corta de los rodales que están establecidos en calidades de sitio III, pues de ésta manera se reduciría la pérdida.

En la figura 28 se muestran las pérdidas por calidad de sitio y para las diferentes edades, cuando se usa como indicador el VAN. Las mayores pérdidas están representadas por los rodales de calidad de sitio II, y ello es consecuencia, como se dijo anteriormente, de una disminución en el crecimiento más acentuada.

En la figura 29 se muestran las pérdidas por calidad de sitio y por edad en el caso en el cual se utiliza como indicador financiero el VES. En este caso, las pérdidas son mayores si se comparan con las pérdidas incurridas cuando se usa el VAN. Esto se debe a que el VES toma en cuenta no sólo los resultados financieros de la primera rotación, sino además, todos los resultados financieros de las rotaciones subsiguientes. En esta figura se puede apreciar que las pérdidas pueden alcanzar valores cercanos a 2500 US\$/ha en el caso que un rodal de calidad de sitio II se coseche a los 12 años.

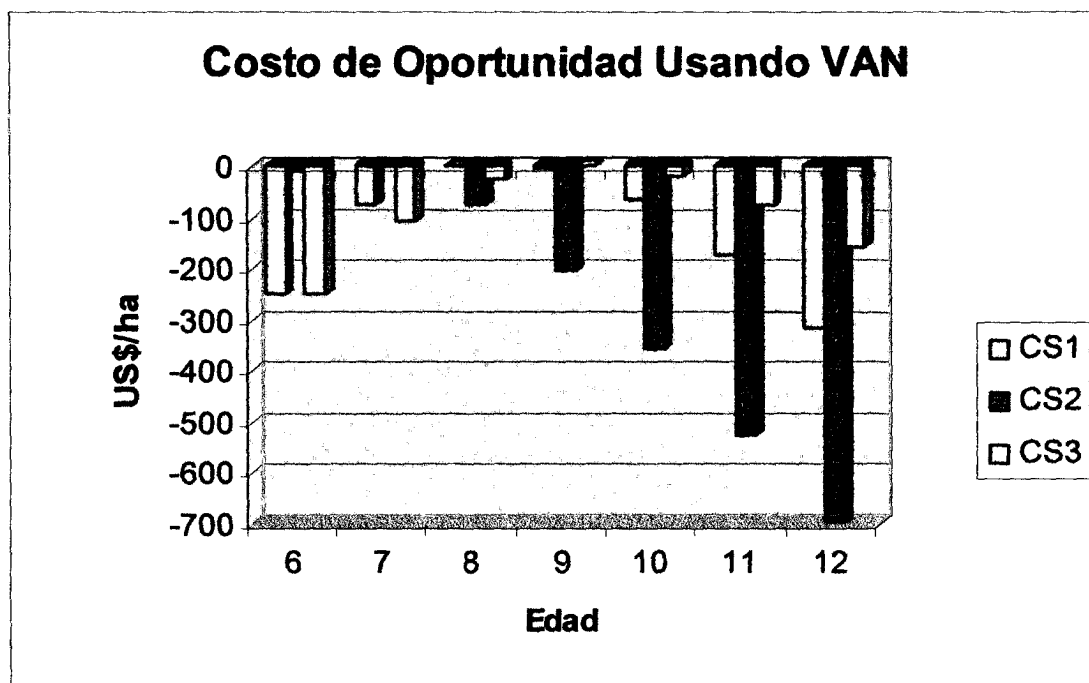


FIGURA 28. Costo de oportunidad usando el VAN

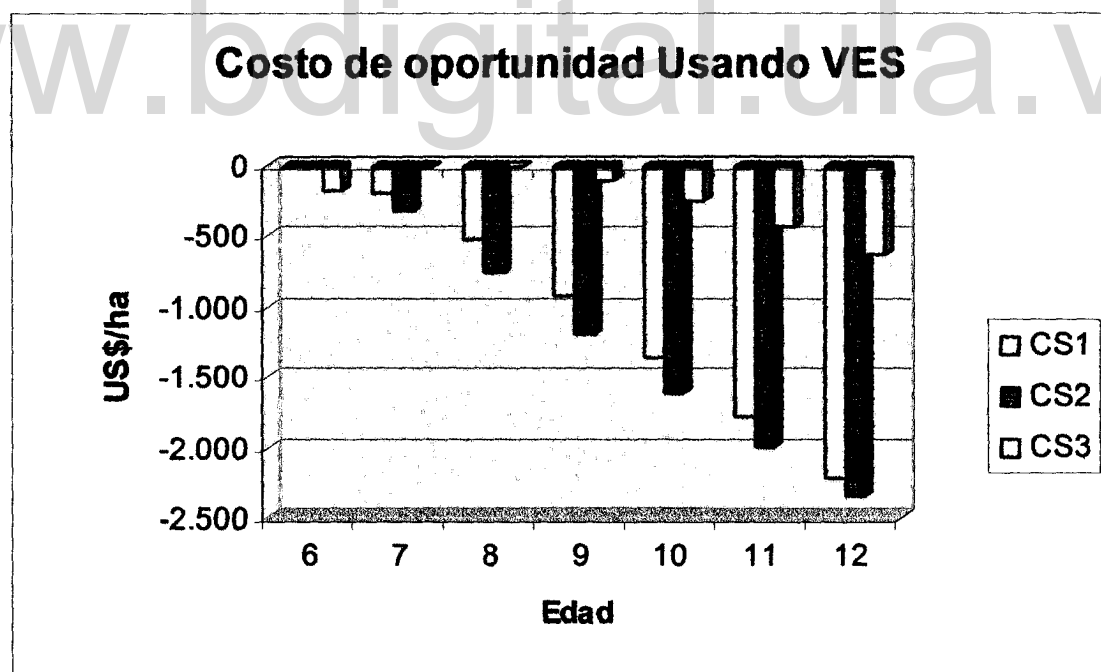


FIGURA 29. Costo de oportunidad usando el VES

6.3.- Análisis de Sensibilidad

En la figura 30 se muestra el efecto que causa un aumento en la tasa de descuento sobre el turno óptimo de cosecha para cada calidad de sitio. Se muestra que una menor tasa de descuento alarga el turno óptimo de cosecha; sin embargo, para que ello ocurra es necesaria una disminución en 5% en el valor de la tasa, algo que es poco probable que ocurra para la tasa de descuento corporativa. Es notable también que para la calidad de sitio II, incluso con esta variación de la tasa de descuento, el turno óptimo de cosecha permanece invariable.

En la figura 31 se muestra la sensibilidad del turno óptimo de cosecha, cuando se usa como criterio el VES ante cambios en el costo de transporte. El costo de transporte, a pesar de no considerarse directamente en el flujo de fondos, ocurre después de que el rodal ha sido cosechado y afecta el turno óptimo al influir en el valor de la madera en pie. Si el costo de transporte aumenta, el valor de la madera en pie disminuye, y en consecuencia, los ingresos se hacen menores. El mismo efecto tiene el incremento en los costos de cosecha, ó la disminución del valor de la madera en planta. En esta figura se aprecia que el aumento de los costos de transporte trae como consecuencia un incremento en el turno óptimo de cosecha. Sin embargo, el turno óptimo de cosecha es poco sensible ante cambios en los costos de transporte, pues es necesario un incremento mayor al 100% para que éste cambie.

En la figura 32 se puede apreciar la sensibilidad del VAN ante variaciones de los costos, suponiendo que la cosecha se realizará a los 6 años. Con esta figura se pretende mostrar cuales son los costos que mayor influencia tienen sobre la rentabilidad del rodal sólo para un turno de cosecha. Es notorio que los costos de transporte y cosecha son los que hacen variar más rápidamente el VAN. Estos dos costos son los más críticos desde el punto de vista financiero pues un pequeño aumento en estos hacen disminuir rápidamente el VAN, afectando la rentabilidad del rodal.

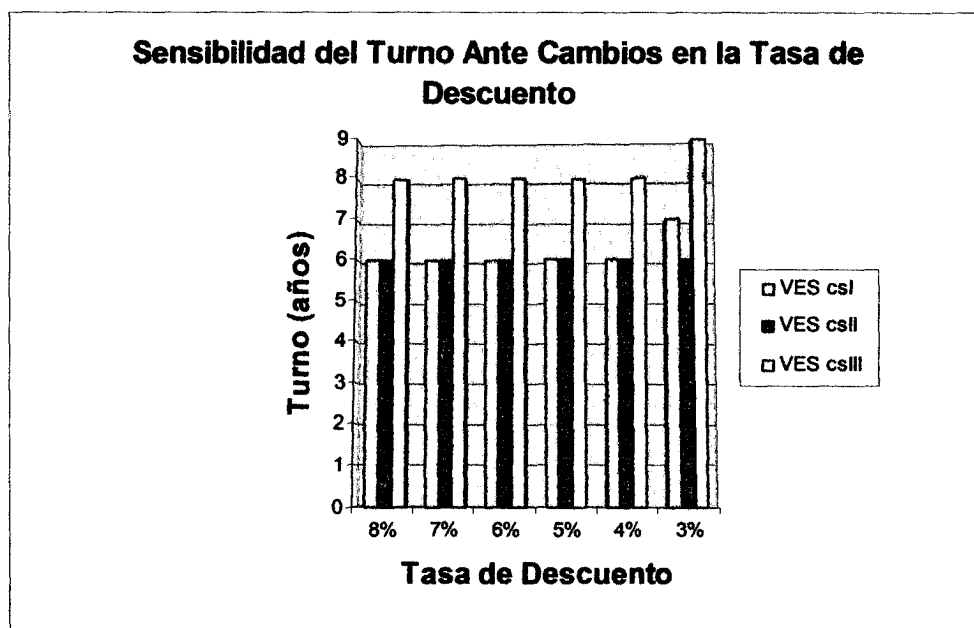


FIGURA 30. Sensibilidad del turno ante cambios en la tasa de descuento

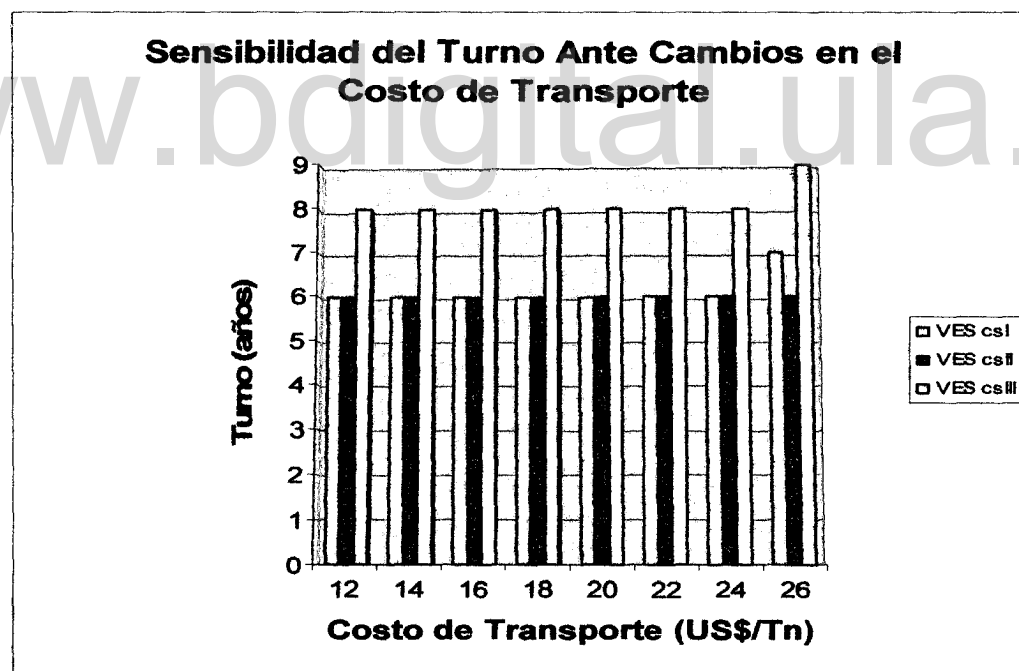


FIGURA 31. Sensibilidad del turno ante cambios en el costo de transporte

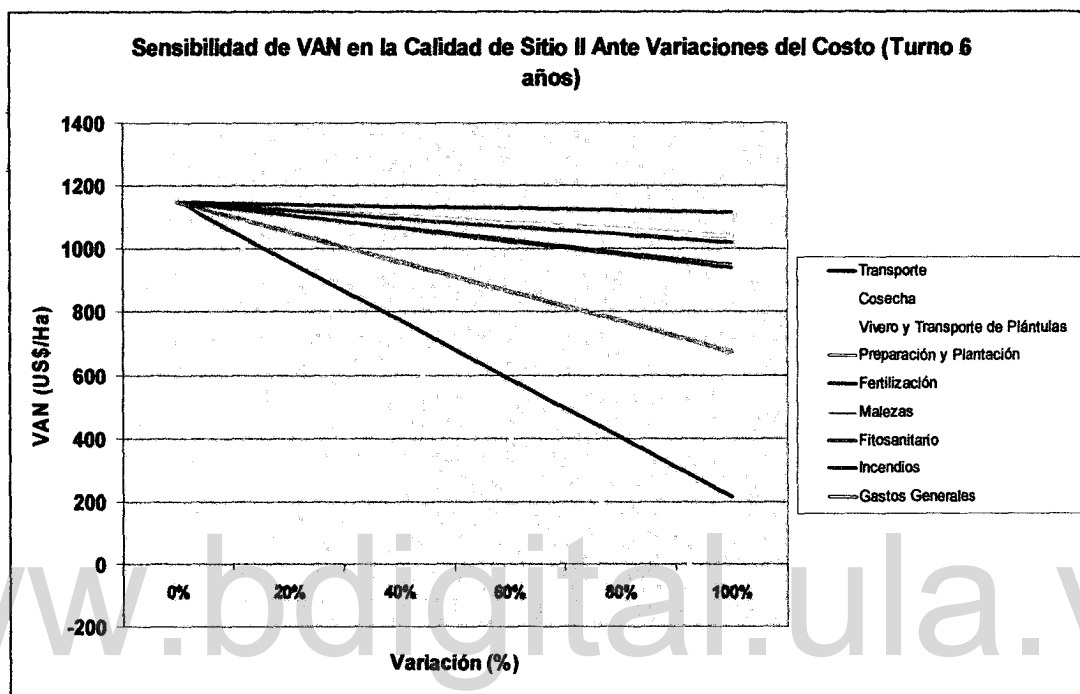


FIGURA 32. Sensibilidad del VAN en la calidad de sitio II ante variaciones del costo suponiendo un turno de 6 años.

7.- CONCLUSIONES

- ❖ El turno óptimo de cosecha es mayor cuando se usa como criterio de decisión el Valor Actual Neto (VAN) en lugar del Valor Esperado del Suelo (VES), lo que se debe a que éste último criterio considera, además de la primera rotación, a todas las subsiguientes. En el caso de que el objetivo que se persiga sea la maximización del beneficio, y los rodales se manejen para múltiples rotaciones, como es el caso de las plantaciones de la empresa Smurfit Cartón de Venezuela, el criterio a utilizar para la determinación del turno óptimo de cosecha debe ser el VES.
- ❖ El turno óptimo de cosecha usando como criterio de decisión el VES ó considerando el turno técnico es el mismo. Para la calidad de sitio I y II el turno es de 6 años; sin embargo, para la calidad de sitio III, debe ser de 8 años, lo que es explicado por la menor productividad de este sitio. Es importante mencionar que es posible que para la calidad de sitio I, que es de mayor productividad, el turno óptimo de cosecha desde el punto de vista financiero sea menor a los 6 años; sin embargo, no es recomendable cortar a edades menores a los 6 años, pues la calidad de la madera no es adecuada, lo que se convierte en una restricción. Ello es cierto para las condiciones de manejo y los genotipos que se usan actualmente, pero esta situación podría cambiar en el futuro.
- ❖ Las diferencias en las calidades de sitio se reflejan en el crecimiento y rendimiento de la plantación, y en consecuencia, genera que existan diferencias entre el turno óptimo para las distintas calidades de sitio. Sin embargo, el turno óptimo de cosecha en la calidad de sitio II es igual al correspondiente a la calidad de sitio I, y se debe a que en esa calidad de sitio la tasa de crecimiento descende a mayor velocidad en el rango de edades considerados; lo que implica que el crecimiento generado por dejar crecer la plantación un año más es tan bajo que no compensa los costos adicionales en los que se incurre por tomar esta decisión. Por esta razón es preferible cosechar a más temprana edad un rodal perteneciente a la calidad de sitio II.

- ❖ El mayor costo de oportunidad que se genera como consecuencia de dejar la plantación en pie un año adicional y no cosechar en el turno óptimo ocurre para los rodales establecidos en la calidad de sitio II. Esto se debe a las tasas de crecimiento para esta calidad de sitio. El menor en los rodales correspondientes a la calidad de sitio III. Es importante para el caso en que se deba tomar la decisión de cosechar menos madera en un año determinado; en ese caso, sería mejor postergar la cosecha de rodales establecidos en la calidad de sitio III, pues de esa manera el costo de oportunidad se minimiza.
- ❖ El mejor ajuste de la curva guía, para definir los índices de sitio, se consiguió utilizando modelos mixtos. Estos modelos consideran, además de los efectos fijos, a los efectos aleatorios; por la ventaja de que el espacio de inferencia es mayor. Además con estos modelos se toman en cuenta la autocorrelación y en algunos casos la heterocedasticidad. El modelo con mejor ajuste, y que se adapta al patrón de crecimiento de los rodales forestales, fue el de Chapman Richards, tanto para la curva guía necesaria para la clasificación de las parcelas por calidad de sitio, como para el ajuste de la curvas de rendimiento.
- ❖ El turno óptimo de cosecha financiero es poco sensible ante cambios en la tasa de descuento, así como a las variaciones de costos. Sin embargo, es importante conocer cómo podría verse afectado ante cambios en las variables que lo determinan. La rentabilidad de la inversión cuando se considera sólo un turno, es más sensible ante variaciones de los costos de cosecha y transporte, por lo que sería deseable tener mayor control sobre estas variables, pues son las que mayor efecto tienen en los resultados financieros.

8.- RECOMENDACIONES

- ❖ Sería de gran utilidad continuar usando los modelos mixtos para el ajuste de curvas guías para la clasificación de sitios, así como para el ajuste de curvas de crecimiento y rendimiento. Se demostró aquí que tienen un mejor ajuste que los modelos utilizados clásicamente, ello permitirá mejorar el sistema de clasificación de sitios.
- ❖ Es necesario incorporar estos resultados para la determinación del turno óptimo a nivel de todo el bosque. De esta manera se tendría un turno óptimo dependiente de lo que acontece con los otros rodales,
- ❖ Para optimizar el manejo de la plantaciones de la empresa, es de gran importancia determinar el turno óptimo de cosecha para las dos otras especies que se plantan operativamente: *Pinus caribaea* y *Gmelina arborea*.
- ❖ Para una mayor precisión es necesario diferenciar los costos unitarios de transporte y cosecha por zonas geográficas y topográficas, pues aquí fueron considerados iguales.
- ❖ Es necesario prestar mayor atención a las actividades de cosecha y transporte, pues son estos costos los que mayor influencia tienen en la rentabilidad del rodal. Mayor proporción del presupuesto de investigación debería orientarse al estudio de estas actividades con el objetivo de reducir estos costos.
- ❖ Relacionar las calidades de sitio con las condiciones del suelo para explicar en parte estas diferencias que se presentan; y ello servirá para planificar el establecimiento de las futuras plantaciones.

9.- REFERENCIAS

ACERBI, F.; J. SOARES, A. DONIZETTE y R. MAESTRI. 2002. Modelo para prognose do crescimento e da producao e analise economica de regimes de manejo de Pinus taeda L. Revista Arvore, 26 (6):699-713

ANDENMATTEN, E., y F. LETOURNEAU. 1998. Curvas de índice de sitio y crecimiento en altura para pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) (Mirb.). Franco de aplicación en la región andino patagónica de las provincias de Río Negro y Chubut, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 103 (1): 69-75

BALZARINI, M., R. MACCHIAVELLI, y F. CASANOVES 2005. Aplicaciones de modelos mixtos en agricultura y forestería. Notas del Curso. Mimeografiado 189 p.

BATISTA, J., y H. COUTO. 1986. Escolha de modelos matemáticos para a construção de curvas de índice de sitio para florestas implantadas de eucalyptus sp no estado de São Paulo . IPEF (32):33-42

BELLI, K.; y J. NAUTIYAL. 1989. Production functions: a useful tool for forest management. Forest Ecology and Management 29 (1989): 267-275.

BLANK, L.; y A. TARKIN. 1999. Ingeniería Económica. Cuarta Edición. Mac Graw Hill. Bogotá, Colombia. 722 p.

CALEGARIO, N., R. DANIELS, A. LOPES, y R. MAESTRI. 2005. Estimativa do crescimento de povoamentos de Eucalyptus baseada em modelos lineares em multiníveis de efeito misto. Revista Arvore. 29(2): 251-261.

CALEGARIO, N., R. MAESTRI, C. LEAL, y R. DANIELS. 2005. Estimativa do crescimento de povoamentos de Eucalyptus baseada na teoria dos modelos não lineares em multiníveis de efeito misto. Ciência Florestal 15(3): 285-292.

CAULFIELD, J. 1988. A stochastic efficiency approach for determining the economic rotation of a forest stand. Forest Science. 34 (2): 441-457.

CHACON, I. 1995. Edad óptima de cosecha. Una discusión en torno al valor presente neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Ciencia e Investigación Forestal. 9 (1):103-116.

CLUTTER, J., J. FORSTON, L. PIENAAR, G. BRISTER, y R. BAILEY 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons. USA. 331 p

CLUTTER, J., J. FORSTON, L. PIENAAR, G. BRISTER, y R. BAILEY 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons. USA. 331 p

CORTES, H., y M. CONTRERAS. 1978. Determinación de Valor de la Madera en Pie. Boletín Técnico # 40. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile.

DA CUNHA, R., R.S. SCOLFORO, A. DE OLIVEIRA, N. CALEGARIO, y H. JUNIOR. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sítio para eucalyptus grandis e eucalyptus urophylla na região de Luiz Antonio – SP. , [en línea]. Lavras, 1996 Dirección URL:<<http://www.dcf.ufla.br/cerne/revistav2n2-1996/CURVAS.PDF>>[Consulta: 24 Dic..2005].

DOS SANTOS, F.; R. MAESTRI; y C. SANQUETTA.1998. Análise financeira de regimes de manejo em povoamentos de Pinus taeda L., visando a produção de madeira para a industria de papel e celulose. Revista Arvore. 22 (2): 227-243.

DUERR, W., J. FEDRIW y S. GUTTENBURG. 1956.Financial maturity: a guide to profitable timber growing. USDA Tech. Bull.1146

DUERR, W. 1960.Fundamentals of forestry economics. Mc Graw-Hill Book Company. New York. USA.579 p

DURAN, M., P. DONOSO, y M. QUINTERO. 2002. Análisis del crecimiento en altura de árboles bajo un sistema de selección mediante cortas ciclicas, usando modelos lineales mixtos. Revista Forestal Venezolana 46 (2): 5-62.

EWEL M.; MADRIZ, A. y J. TOSSI. 1968. Zonas de Vida de Venezuela. Memoria explicativa. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas

FAUSTMANN, M. 1849. Calculation of the value wick forest land and immature stands possesses for forestry.P. 18-34 in Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flow.. Pap. 42,Commonw. For. Ins., Oxford (1968, Trans. W. Linnard).

FRANCES, A.2001. Estrategia para la empresa en América Latina. Ediciones IESA. Caracas. Venezuela. 302 p.

GAILLARD, C., M. PECE, M. JUÁREZ, Y N. RIOS. 2000. Estimación del crecimiento y producción de una plantación de paraíso gigante (*Melia azedarach* var. gigantea) sin riego en la provincia de Santiago del Estero, Argentina. Quebracho 9: 127-140

GARCIA, O. Site index: concepts and methods, [en línea]. British Columbia 2005.Dirección URL:< <http://web.unbc.ca/~garcia/publ/SiteSDEj2.pdf>>[Consulta: 24 Dic. 2005]

GARCIA, O. 2004. Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Measurements and Quantitative Methods and Management, Hot Springs, AR, June 15-18, 2004

GARCIA, O.; y F. RUIZ. 2003. A growth model for eucalypt in Galicia, Spain. Forest Ecology and Management. 173 (2003):49-62.

GOMES, F.; R. MAESTRI y C. SANQUETTA. 1998. Análise financeira de regimes de manejo em povoamentos de Pinus taeda L., visando a producao de madeira para a industria de papel e celulose. Revista Arvore. 22 (2):227-243.

GONZALEZ, H.; C. FLORES. 2003. Indices de calidad de sitio para regeneración de *Pinus rudis* ende. en San José de la Joya, Galeana, Nuevo León.

GUJARATI, D. 1997. Econometría. Tercera Edición. Mac Graw Hill. Bogotá. 824 p.

HALL, D. 2004. Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics* 60 : 16-24.

HENRI, C. 2001. Soil site productivity of *Gmelina arborea*, *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* forest plantations in western Venezuela. *Forest Ecology and Management*, 144 (2001):255-264.

KATZ, M.; y H. ROSEN. 1994 Microeconomía. Irwin. USA. 742 p.

KUEHL, R. 2001. Diseño de Experimentos: principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. 2da Edición. Thomson Editores. 666 p.

KULA, E .1988. The economics of forestry : modern theory and practice. Croom Helm. Australia.185 p

LEE, E.; y G. LYON. 1985. The determination of financial rotation ages for coppicing tree species. *Forest Science*. 31 (2): 398-404.

LEECH, J. 1996. Determination of rotation length for radiata pine plantations. *Australian Forestry*. 56 (3) : 195-200.

LEITE, H.; G. NOGUEIRA, A. MOREIRA, y J. DE LIMA. 2001. Un modelo de crescimento e producao para *Pinus taeda* L. Na regio sul do Brasil. *Revista Arvore*, 25 (1):105-112.

LIMA, V., J. PEREIRA, y M. LOPEZ. 1999. Os estágios de produção e a idade ótima de corte: diferença entre a teoria da produção instantânea e a preferencia temporal na produção Florestal. *Revista Arvore*. 23(4): 393-401

LOHMANDER, P. 1987. The rotation age, the constrained Faustmann problem and the initial conditions. *Scandinavian Forest Economics*, 29:101-129

LOPES, M.; A. FONTES; y H. GARCIA. 1999. Rotação económica em plantações de eucalipto não desbastadas e destinadas a multiproductos. *Revista Arvoes*. 23 (4): 403-412.

LUNA, A. 1978. Aspectos técnicos del manejo de bosques. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mimeografiado. 25 p.

MENDOZA, M. 1993. Conceptos básicos de manejo forestal. Noriega Editores. México. 161 p.

MILLAN, J.. Valoración Forestal e Industrial 2da Parte. [en línea]. España 2002. Dirección URL: <<http://www.udl.es/usuarios/x3052006/>> [Consulta: 20 Sep.2002]

MORA, F., y V. MEZA. Comparación del crecimiento en altura de la Teca (*Tectona grandis*) en Costa Rica con otros trabajos previos y con otras regiones del mundo. [en línea]. Costa Rica 2004. Dirección URL: <<http://www.una.ac.cr/inis/teca/articulos/silvicultura/ComparaCrecTeca3.pdf>> [Consulta: 24 Dic. 2005]

NAUTIYAL, J.; y J. WILLIAMS. 1990. Response of optimal stand rotation and management intensity to one time changes in stumpage price, management cost, and discount rate, *Forest Science*. 36 (2): 212-223.

NAUTIYAL, J. y K. BELLI. 1989. Study of productions functions for modeling forest biomass: an area for research. 35 (3): 843-849.

NAUTIYAL, J. y L. COUTO. 1984. The nature and uses of the timber production function: *Eucalyptus grandis* in Brazil. *Forest Science*. 30 (3): 761-773.

NICHOLSON, W. 1997. Teoría microeconómica: principios básicos y aplicaciones. Mac Graw Hill. Sexta Edición. España. 599 p.

OGLIARI, P., y D. ANDRADE. 2001. Analysing longitudinal data via nonlinear models in randomized block designs. *Computational Statistics & Data Analysis* 36: 319-332.

OLIVEIRA, E.; S. AMARAL; y A. FIGUEIREDO. 1998. Sistema para simulação do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. E avaliação económica de regimes de manejo. *Revista Arvore*. 22 (1):99-111.

OPENSHAW, K. 1980. Cost and financial accounting in forestry. Pergamon Press. Gran Bretaña. 188 p.

PEREIRA, J.; A. NOGUEIRA; A. DONIZETTE. 2001. Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp.: o caso do aumento das receitas. *Scientia Forestalis*. (59):27-39.

PESONOMICS. Para Economistas: Modelos de economía forestal , [en línea]. Buenos Aires 2001. Dirección URL: <<http://www.pesonomics.com>> [Consulta: 20 Mar.2003].

PIENAAR, L. y K. TURNBULL. 1973. The Chapman-Richard generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even aged stands. *Forest Science*. 19-(1):2-22.

RAYNER, M.; y B. Turner. 1990. Growth and yield of australian eucalyptus forest II. Future trends. *Australian Forestry*. 53 (4):238-247

RAWAT, J. y J. NAUTIYAL. 1985. An application of a production function for juvenile hybrid poplar to intensive forest management. *Forest Science*. 31 (1):143-156.

REYNOLDS, J; G. Marathón; L. Rosales, y J. Wright. 2000. Ecuaciones de volumen y peso para *Eucalyptus urophylla*, el híbrido *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* (urograndis) en Smurfit Cartón de Venezuela. Informe de Investigación #21. Smurfit Cartón de Venezuela. Mimeog. 7 p.

RIBEIRO, C.; D. BETTERS; O. MONTEIRO, y M. LOPES. 2001. Rethinking the economic rotation age of an even aged regulated forest. *Revista Arvore*. 25 (2): 217-222.

RICHARDS, F. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*. 10 (29):290-300.

RIVERO, P. 1984. Determinación de longitudes de turnos (Criterios Financieros). *Chile Forestal*. 9 (47): 21-47.

ROBINSON, G. 1987. Resource economics for foresters. John Wiley & Sons. USA. 477 p

SAMUELSON, P.; y W. NORDHAUS. 1996. Economía. Mac Graw Hill. Decimoquinta edición. 808 p.

SCHABENBERGER, O., y F. PIERCE. 2001. Contemporary statistical models for the plant and soil sciences. CRC Press. 737 p.

SCHUMACHER, F.X. 1939. A new growth curve and its application to timber yield studies. *J. For.* 37:819-820

SCOLFORO, R. 1992. Curvas de índice de sitio para *pinus caribaea* var. *hondurensis* IPEF, 45: 40-47.

SOARES, C., H. LEITE, M. DE OLIVEIRA y A. CARVALHO. 2004. Especificação de um modelo de crescimento e produção florestal. *Revista Árvore*, 28 (6): 831-837.

SOARES, C., H. LEITE. 2004. Especificação de um modelo de crescimento e produção Florestal. *Revista Arvore* 28 (6): 831-837.

SOARES, C.; H. LEITE; J. CAMPOS; y G. SEDIYAMA. 1998. Intervalo de previsão para un modelo de crescimento e produção composto por equações simultâneas. *Revista Arvore*, 22 (2):185-192.

SULLIVAN, A.; y J. CLUTTER. 1972. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. *Forest Science*. 18 (1): 76-86.

TONINI, H., C. GUIMARAES, P. SCHNEIDERS, P. SPATHELF. 2001. Crescimento em altura de *pinus elliottii* engelm., na região de piratini no rio grande do sul, brasil. *ciencia rural*. 31 (3): 417-423.

TORRES, J. 2001. Curvas de índice de sitio de forma y escala variables en la investigación forestal. *Agrociencia* 35:87-98

WOOLLONS R.; y W. HAYWARD. 1985. Revision of a growth and yield model for radiata pine in New Zealand. *Forest Ecology and Management*. 11 (1985):191-202

YIN, R.; Y D. NEWMAN. 1995. Optimal timber rotations with evolving prices and costs revisited. *Forest Science*, 41 (3):477-490

www.bdigital.ula.ve

10.-ANEXOS

10.1.- Estructuras de la Matriz de Varianza-Covarianza

Sin Estructura

(TYPE = UN)

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \sigma_{14} \\ \sigma_{12} & \sigma_{22} & \sigma_{23} & \sigma_{24} \\ \sigma_{13} & \sigma_{32} & \sigma_{33} & \sigma_{34} \\ \sigma_{14} & \sigma_{42} & \sigma_{43} & \sigma_{44} \end{bmatrix}$$

Autoregresiva de Primer Orden

(TYPE = AR(1))

$$\sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho & \rho^2 & \rho^3 \\ \rho & 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho^2 & \rho & 1 & \rho \\ \rho^3 & \rho^2 & \rho & 1 \end{bmatrix}$$

Simetría Compuesta

(TYPE = CS)

$$\begin{bmatrix} (\sigma^2 + \sigma_1) & \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & (\sigma^2 + \sigma_1) & \sigma_1 & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & (\sigma^2 + \sigma_1) & \sigma_1 \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma_1 & (\sigma^2 + \sigma_1) \end{bmatrix}$$

Toeplitz
(TYPE = TOEP)

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 & \sigma_4 \\ \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 & \sigma_3 \\ \sigma_3 & \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma_2 \\ \sigma_4 & \sigma_3 & \sigma_2 & \sigma_1 \end{bmatrix}$$

Autoregresiva de Primer Orden Heterocedástica (ARH(1))

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 & \sigma_1\sigma_4\rho^3 \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho^2 \\ \sigma_3\sigma_1\rho^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho^3 & \sigma_4\sigma_2\rho^2 & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Simetría Compuesta Heterocedástica (CSH)
(TYPE =CSH)

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho & \sigma_1\sigma_4\rho \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho & \sigma_2\sigma_4\rho \\ \sigma_3\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho \\ \sigma_4\sigma_1\rho & \sigma_4\sigma_2\rho & \sigma_4\sigma_3\rho & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Toeplitz Heterocedástica

(TYPE = TOEPH(q))

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho & 0 \\ \sigma_2\sigma_1\rho_1 & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho_1 & \sigma_2\sigma_4\rho_2 \\ \sigma_3\sigma_1\rho_2 & \sigma_3\sigma_2\rho_1 & \sigma_3^2 & \sigma_3\sigma_4\rho_1 \\ 0 & \sigma_4\sigma_2\rho_2 & \sigma_4\sigma_3\rho_1 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

Componentes de Varianza

(TYPE = VC)

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_4^2 \end{bmatrix}$$

10.2.- Valores de los parámetros del modelo de curva guía de mejor ajuste

	Calidad de Sitio 1	Calidad de Sitio 2	Calidad de Sitio 3
A	447,07	208,29	298,47
k	-0,1716	-0,4022	-0,1769
m	1,7179	3,2238	2,1714

10.3.- Análisis de la varianza y comparación de medias para la variable VOLSCHA en distintas edades y dos niveles de significancia

edad	Nivel de Significancia p=0,05	Discriminación de Medias	Nivel de Significancia p=0,1	Discriminación de Medias
6	0,0009	1 / 2 y 3 iguales	0,0003	1 / 2 y 3 iguales
7	0,0002	1 / 2 y 3 iguales	0,0001	todos diferentes
8	0,0478	todos iguales	0,0297	1 / 2 y 3 iguales
9	0,0422	1 / 2 y 3 iguales	0,0400	1 / 2 y 3 iguales

10.4.-Programa SAS elaborado para el procesamiento de los datos.

*Este programa esta creado para ajustar curvas de Calidad de Sitio;
*y curvas de rendimiento por calidad de sitio con datos de parcelas permanentes de *Eucalyptus urophylla*;
*Creado por Omar Carrero G a partir de una versión hecha por Julio Rojas,
* Modificado por Raul Macchiavelli;
* Merida-Venezuela Diciembre de 2005;

*PRIMERA PARTE:en esta parte se importan los archivos de las bases de datos por fincas

y se unen en uno solo;

*SEGUNDA PARTE: en esta parte se hace los calculos y transformaciones necesarias para crear
las variables basicas para el analisis;

*TERCERA PARTE: Se ajustan curvas para determinar Calidad de Sitio;

*I Modelos Lineales;

*II Modelos No Lineales Efectos Fijos;

*III Modelos No Lineales Mixtos;

*IV Clasificación de Sitios;

*1era clasificación de sitios;

*2da clasificación de sitios;

*3era clasificación de sitios;

*CUARTA PARTE: Se ajustan curvas de Rendimiento por Calidad de Sitio;

ods rtf file='c:\Calidad de Sitio(3) y Rendimiento Eucalyptus Smurfit.rtf';

*PRIMERA PARTE:en esta parte se importan los archivos de las bases de datos por fincas y se unen en uno solo;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Cujicito.xls" out=cujicito replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Pinal.xls" out=Pinal replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Garachico.xls" out=Garachico replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Joya.xls" out=Joya replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Minas.xls" out=Minas replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Tacamajaca.xls" out=Tacamajaca replace;

proc import datafile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\Base de Datos1\Yaguara.xls" out=Yaguara replace;

Data PPeucalyptus; Set cujicito;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=pinal force;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=garachico force;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=joya force;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=minas force;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=tacamajaca force;

PROC APPEND BASE=PPeucalyptus DATA=yaguara force;

Turno Optimo de Cosecha en Plantaciones de *Eucalyptus urophylla*

```
run;
*SEGUNDA PARTE: en esta parte se hace los calculos y transformaciones
necesarias para crear las variables basicas para el analisis;
Data PPeucalyptus; set PPeucalyptus;
if fuente ne "C";
If fuente ne "c88";
run;

Data calculo; set PPeucalyptus;
    if cap ne . then alt=alt+1.5; else alt=alt; * Adiciona 1.5m a la
altura cuando es medido con hipsometro;
    if bif=. then bif=0;
    dap=cap/3.1416;
    *order=_n_;
    Edad=(moeva-6)/12+(ae-plant);
    volsc=0.000053070*((dap)**1.729573445)*(alt**1.092641909)-
0.000033577*((5**3.287761)/(dap**(3.287761-2)))*(alt-1.3);
    volbc=0.000031209*(dap)**1.725099072*alt**1.217206264-
0.000028254*((5**3.333246)/(dap**(3.333246-2)))*(alt-1.3);
run;

Proc sort data=calculo;
    by lotefinca Parcela ae order;
run;
Proc sort;
    by lotefinca Parcela Ae order;
Proc means n sum mean min max cv noprint;
    by lotefinca parcela ae edad;
    var dap alt bif volsc volbc; *para generar nalt y sbif;
    Output out=medias mean=dap alt bif volsc volbc n=nalt sum=sdap salt
sbif svolsc svolbc;
run;

*Transforma los datos a ha;
Data calculoha; set medias;
    volhabc=10000*svolbc/495;
    volhasc=10000*svolsc/495;
    Densidad= round((10000*(nalt-sbif)/495),1);

    label volhabc='Volbc/ha'
    volhasc='Volsc/ha'
    Densidad='Arb/ha';
run;

Data calculo1;set calculo;
    keep lotefinca ae alt order edad;
run;

Data calculo2; set calculo1;
    If order<6;
run;

proc means noprint;
    by lotefinca ae;
    output out=SIPromedio mean=;
run;
```

```
Data SIPromedioLin;set SIPromedio;
    edadinv=(1/edad)**0.5;
    logalt=(log(alt));
run;

proc gplot;
    Title1 "Relacion entre Altura y Edad";
    plot alt*edad="o";
run;

*TERCERA PARTE: Se ajustan curvas para determinar Calidad de Sitio;

*I Modelos Lineales;
proc reg;
Title1 "La ecuacion utilizada es Altura_dominante = exp[Bo + B1(1/Edad)^0.5]
+ ei";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    model logalt=edadinv/corrb covb DW;
    output out=schulinfijo
            p= yhat
            r= yres;
    *plot logalt*edadinv="a";
run;

proc gplot data=modell;
    Title2 "Grafico de los residuales";
    plot yres*(edad)="o";
    plot yres*yhat="a";
run;

proc univariate data=modell plot normal;
    var yres;
run;

Data schulinun;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Sin Estructura";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv/solution outp=schulinun;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=UN;
proc means uss css;
    var resid;
run;

Data schulinvc;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianza Covarianzas: Componentes de Varianza";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv /solution outp=schulinvc;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=VC;
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

```
Data schulinar1;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Autoregresiva de Orden 1";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv /solution outp=schulinar1;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=AR(1);
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

```
Data schulinsc;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Simetria Compuesta ";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv /solution outp=schulinsc;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=CS;
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

```
Data schulintoep;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Toeplitz ";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv/solution outp=schulintoep;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=TOEP;
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

```
Data schulinarh1;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Autoegresiva de Orden 1 y Heterocedastica ";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv/solution outp=schulinarh1;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=ARH(1);
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

```
Data schulinsch;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Simetria Compuesta Heterocedastica";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv/solution outp=schulinsch;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=CSH;
proc means uss css;
    var resid;
```

```
run;

Data schulintoeph;set SIPromedioLin;
proc mixed;
    Title1 "Matriz de Varianzas Covarianzas: Toeplitz Heterocedastica
";
    title2 "Relacion lineal entre Ln(Altura) vs (1/edad)^0.5";
    class lotefinca ae;
    model logalt=edadinv/solution outp=schulintoeph;
    repeated ae/ subject=lotefinca Type=TOEPH;
proc means uss css;
    var resid;
run;
```

*II Modelos No Lineales Efectos Fijos;

```
Data chapmannlin;set sipromedio;
proc nlin;
    Title "Chapman-Richards No Lineal Efectos Fijos";
    parms b0=30 b1=0.229 b2=1.5;
    model alt=b0*(1-exp(-b1*Edad))**b2;
    output out=chapmannlin
        p= yhat
        r=yres;
```

```
proc means uss css;
    var yres;
```

```
run;
```

```
Data gompertznlm;set sipromedio;
proc nlin;
    Title "Gompertz No Lineal Efectos Fijos";
    parms b0=30 b1=0.229 b2=1.5;
    model alt=b0*exp(-b1*exp(-b2*edad));
    output out=gompertznlm
        p= yhat
        r=yres;
```

```
proc means uss css;
    var yres;
```

```
run;
```

```
Data logisticanlin;set sipromedio;
Title "Logística No Lineal Efectos Fijos";
proc nlin;
    parms b0=30 b1=0.229 b2=1.5;
    model alt=b0/(1+b2*exp(b1*Edad)) ;
    output out=logisticanlin
        p= yhat
        r=yres;
```

```
proc means uss css;
    var yres;
```

```
run;
```

```
Data weibullnlin;set sipromedio;
Title "Weibull No Lineal Efectos Fijos";
proc nlin;
    parms b0=30 b1=0.229 b2=1.5;
    model alt=b0*(1-exp(-b1*edad)**b2) ;
    output out=weibullnlin
        p= yhat
        r=yres;
proc means uss css;
    var yres;
run;

Data monomolecularnlin;set sipromedio;
Title "Monomolecular No Lineal Efectos Fijos";
proc nlin;
    parms b0=30 b1=0.229 b2=1.5;
    model alt=b0*(1-b2*exp(-b1*edad)) ;
    output out=monomolecularnlin
        p= yhat
        r=yres;
proc means uss css;
    var yres;
run;

*III Modelos No Lineales Mixtos;

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Schumacher No Lineal Mixto";
    parms b0=3.9 b1=-2.11 su=5 se=8;
    schumacher=exp(b0+u+b1*(edad**(-0.5)));
    model alt~ normal(schumacher,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id schumacher;
    predict alt-schumacher out=schunlinmix;
run;
proc means uss css;
    var pred;
run;

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Chapman-Richards No Lineal Mixto";
    title "Chapman Richards";
    parms b0=30 b1=-0.229 b2=1.5 su=5 se=8;
    chapman=(b0+u)*(1-exp(b1*Edad))**b2;
    model alt~ normal(chapman,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id chapman;
    predict alt-chapman out=chapmannlinmix;
    predict u/su out=EBayes;
run;
proc means uss css;
    var pred;
run;
```

```

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Gompertz No Lineal Mixto";
    title "Gompertz";
    parms b0=30 b1=-0.229 b2=1.5 su=5 se=8;
    gompertz=((b0+u)*(exp(b1*(exp(-b2*Edad)))));
    model alt~ normal(gompertz,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id gompertz;
    predict alt-gompertz out=gompertznlinmix;
proc means uss css;
    var pred;
run;

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Logística No Lineal Mixto";
    title "Logística";
    parms b0=30 b1=-0.229 b2=1.5 su=5 se=8;
    logistica=((b0+u)/(1+(-b1*exp(-b2*edad))));
    model alt~ normal(logistica,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id logistica;
    predict alt-logistica out=logisticnlinmix;
proc means uss css;
    var pred;
run;

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Weibull No Lineal Mixto";
    title "Weibull";
    parms b0=30 b1=-0.229 b2=1.5 su=5 se=8;
    weibull=((b0+u)*(1-exp(b1*(Edad**b2))));
    model alt~ normal(weibull,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id weibull;
    predict alt-weibull out=weibullnlinmix;
run;
proc means uss css;
    var pred;
run;

proc nlmixed data=sipromedio;
Title1 "Monomolecular No Lineal Mixto";
    title "Monomolecular";
    parms b0=30 b1=-0.229 b2=1.5 su=5 se=8;
    monomolecular=((b0+u)*(1-(-b1*exp(-b2*Edad))));
    model alt~ normal(monomolecular,se*se);
    random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
    id monomolecular;
    predict alt-monomolecular out=mononlinmix;
    *predict u/su out=EBayes;

proc means uss css;
    var pred;
run;

```

*IV Clasificación de Sitios;

*Consultar con Orlandoni los empirical bayes como funcionan para clasificación, y me parece que en la clasificación se comparan desviaciones standar vs probabilidades?;

*Escoger una sola clasificación;

*1ERA CLASIFICACION DE SITIOS;

* voy a clasificar los sitios segun el valor del efecto aleatorio de sitio estandarizado:

CS =1 esta por encima del cuartil 3

CS =2 esta entre Q1 y Q3

CS =3 esta debajo del primer cuartil;

data siteeffects1;set ebayes;

if edad ge 6 and edad lt 7;

run;

data siteeffects1;set siteeffects1;

if pred<-0.65 then cs=3;

else if pred<0.5 then cs=2;

else cs=1;

run;

proc export data=siteeffects1 outfile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\siteeffects1.xls" replace;

run;*/

*2DA CLASIFICACION DE SITIOS;

proc means data=ebayes mean noprint;

by lotefinca ae;

var pred;

output out=siteeffects2 mean= ;

run;

data siteeffects2;set siteeffects2;

if pred<-0.65 then cs=3;

else if pred<0.5 then cs=2;

else cs=1;

run;

proc export data=siteeffects2 outfile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\siteeffects2.xls" replace;

run;

*3ERA CLASIFICACION DE SITIOS;

data siteeffects3; set chapmannlinmix;

if edad ge 6 and edad lt 7;

cguia=(32.4462*(1-((-1.0214)*exp(-0.29*Edad))));

I=1.01*cguia;

II=0.95*cguia;

run;

Data siteeffects3;set siteeffects3;

if alt<II then cs=3;

else if alt>I then cs=1;

else cs=2;

run;

proc export data=siteeffects3 outfile="C:\Documents and Settings\Omar Carrero\Escritorio\siteeffects3.xls" replace;

run;

proc sort data=siteeffects2 ;

```
by lotefinca ae;
run;

*CUARTA PARTE: Se ajustan curvas de Rendimiento por Calidad de Sitio;

Data final;set calculoha siteeffects2;
merge calculoha siteeffects2; by lotefinca ae;
run;

proc sort;
by cs lotefinca ae;
run;

proc export data=final outfile="C:\Documents and Settings\Omar
Carrero\Escritorio\final.xls" replace;
run;

proc gplot;
Title1 "Relacion entre volumen por hectarea sobre corteza y edad por calidad
de sitio";
by cs;
plot volhasc*edad="o";
run;

proc nlmixed data=final;
title "Rendimiento Chapman-Richards No Lineal Mixto";
by cs;
*revisar los valores de los parámetros;
chapman=(b0+u)*(1-exp(b1*Edad))**b2;
parms b0=300 b1=-0.2 b2=2 su=50 se=30;
model volhasc~ normal(chapman,se*se);
random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
predict volhasc-chapman out=chapmanlnmixv;
proc means uss css;
by cs;
var pred;
run;

proc nlmixed data=final;
title "Rendimiento Gompertz No Lineal Mixto";
by cs;
gompertz=((b0+u)*(exp(b1*(exp(-b2*Edad)))));
parms b0=300 b1=-0.2 b2=2 su=50 se=30;
model volhasc~ normal(gompertz,se*se);
random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
predict volhasc-gompertz out=gompertznlinmixv;
proc means uss css;
by cs;
var pred;
run;

proc nlmixed data=final;
```



```

title "Rendimiento Logistica No Lineal Mixto";
by cs;
logistica=((b0+u)/(1+(-b1*exp(-b2*edad))));
parms b0=300 b1=-0.2 b2=2 su=50 se=30;
model volhasc~ normal(logistica,se*se);
random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
predict volhasc-logistica out=logisticcanlinmixv;
proc means uss css;
by cs;
var pred;
run;

proc nlmixed data=final;
title "Rendimiento Weibull No Lineal Mixto";
by cs;
weibull=((b0+u)*(1-exp(b1*(Edad**b2))));
parms b0=300 b1=-0.2 b2=2 su=50 se=30;
model volhasc~ normal(weibull,se*se);
random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
predict volhasc-weibull out=weibullnlinmixv;
run;
proc means uss css;
by cs;
var pred;
run;

proc nlmixed data=final;
title "Rendimiento Monomolecular No Lineal Mixto";
by cs;
monomolecular=((b0+u)*(1-(-b1*exp(-b2*Edad))));
parms b0=300 b1=-0.2 b2=2 su=50 se=30;
model volhasc~ normal(monomolecular,se*se);
random u ~ normal(0,su*su) subject=lotefinca;
predict volhasc-monomolecular out=mononlinmixv;
proc means uss css;
by cs;
var pred;
run;

data finall; set final;
IF edad LT 5 then clasedad=0;
If edad GE 5 and edad LT 6 then clasedad=5;
If edad GE 6 and edad LT 7 then clasedad=6;
If edad GE 7 and edad LT 8 then clasedad=7;
If edad GE 8 and edad LT 9 then clasedad=8;
If edad GE 9 and edad LT 10 then clasedad=9;
If edad GE 10 and edad LT 11 then clasedad=10;
If edad GE 11 and edad LT 12 then clasedad=11;
run;

data finall;set finall;
if clasedad ne 0;
run;

proc sort;

```