

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a figure holding a staff, surrounded by various symbols including a crown, a lion, and a cross. The shield is set against a background of a landscape with a building and a tree. The outer ring of the seal contains the Latin motto: "CAETERA ORBIS CONSPICUA CAROLINA ACACIA COACTEMALENSIS INTER".

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Pinus pseudostrobus*
Lindley, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE
CHIMALTENANGO Y SOLOLA.

PEDRO AGUSTIN LOPEZ VELASQUEZ

GUATEMALA, ABRIL DE 2003.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Pinus pseudostrobus*
Lindley, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE
CHIMALTENANGO Y SOLOLA.**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

PEDRO AGUSTIN LOPEZ VELASQUEZ

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL DE 2003.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M. V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Ing. Agr. Edgar Oswaldo Franco Rivera
VOCAL I	Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello
VOCAL II	Ing. Agr. Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL III	Ing. Agr. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL IV	Br. Wener Armando Ochoa Orozco
VOCAL V	Br. Juan Manuel Corea Ochoa
SECRETARIO	Ing. Agr. Edil René Rodríguez Quezada

Guatemala, abril de 2003

Miembros Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Pinus pseudostrobus*
Lindley, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE
CHIMALTENANGO Y SOLOLA.**

Presentado como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

Pedro Agustín López Velásquez

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios, dador de la vida, sabiduría y entendimiento

La memoria de mi madre Roselia Amanda Velásquez Fuentes

Mi padre y su esposa

Jaime Feliciano López Orozco

Dora Asunción Cifuentes Monzón

La memoria de mi abuelo Agustín Victoriano López Orozco

Mi abuela Celsa Marta Orozco González

Mis hermanos y hermanas

López Velásquez: Caleb Eliseo, Jaime Guillermo, Juan Carlos y Celsa Roselia

López Cifuentes: Paulo César, Marco Antonio, Josué Abraham y Marta Eugenia

Mis sobrinos y sobrinas

Brenda Nohemí, Viviana Nathalí, Danilo Eliseo, Evelyn Amanda, Joselyn Guadalupe y Angel Guillermo

Mis cuñadas

Mirta Barrios

Corina Vela

Mis tíos y tías

Especialmente a los hermanos López Orozco y respectivas familias

Mis primos y primas

Mi familia en general

Mis amigos y amigas

La Aldea Champollap, municipio San Pedro Sacatepéquez, departamento de San Marcos

TESIS QUE DEDICO

A:

Sector Forestal de Guatemala

La Facultad de Agronomía

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Mi familia

Mis amigos y amigas

AGRADECIMIENTOS

A:

M.Sc. Edwin Enrique Cano Morales, por su gran apoyo en la asesoría del presente trabajo de tesis y por su orientación en el campo profesional.

Agradezco al Proyecto 7 “Manejo y Utilización Sostenida de Bosques Naturales de Coníferas en Guatemala”, del Programa Regional Forestal para Centroamérica – PROCAFOR-, por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

M.Sc. Mario Arturo Escobedo López, por su orientación en el trabajo de campo y técnico de la presente investigación.

Los propietarios de las fincas de Chimaltenango y Sololá que permitieron la recopilación de muestras e información básica para el desarrollo de la presente investigación.

Ronaldo Antonio Camey, por su apoyo durante la realización de la etapa de campo del presente trabajo de tesis.

Rubén Morales y familia, de aldea San José Chirijuyú, Tecpán Guatemala, Chimaltenango; por el apoyo brindado en su carpintería para la lectura de muestras de pino para la obtención de información básica en el desarrollo de esta investigación.

INDICE GENERAL

Contenido	Página
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCION.....	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	2
3. MARCO TEORICO.....	3
3.1 Marco Conceptual.....	3
3.1.1 Descripción del <i>Pinus Pseudostrobus</i> Lindley.....	3
A. Descripción anatómica-morfológica.....	3
B. Distribución geográfica.....	4
3.1.2 Crecimiento e Incremento.....	5
A. Crecimiento.....	5
B. Incremento.....	5
C. Desarrollo e incremento en altura.....	6
D. Desarrollo e incremento en diámetro.....	6
E. Desarrollo e incremento en volumen.....	7
F. Edad de rotación.....	7
G. Métodos para determinar el incremento y la producción.....	7
H. Análisis troncal.....	8
3.1.3 Rendimiento.....	9
A. Tablas de producción.....	9
B. Predicción del crecimiento y rendimiento.....	10
C. Clasificación de modelos de predicción del rendimiento.....	11
D. Predicción del rendimiento actual.....	11
3.2 Marco Referencial.....	13
3.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	13
3.2.2 Clima.....	14

3.2.3	Zona de vida.....	14
3.2.4	Geología.....	14
3.2.5	Región fisiográfica.....	17
3.2.6	Hidrografía.....	18
3.2.7	Series de suelos.....	18
4.	OBJETIVOS.....	20
4.1	General.....	20
4.2	Específicos	20
5.	METODOLOGIA.....	21
5.1	Descripción General del Area de Estudio.....	21
5.2	Fase I de Campo: Reconocimiento del Area de Estudio.....	21
5.3	Fase II de Campo.....	24
5.3.1	Método de muestreo y características de los rodales.....	24
5.3.2	Procedimiento para la selección de los rodales.....	25
5.3.3	Estudio de crecimiento.....	26
	A. Tamaño de la muestra.....	26
	B. Información recabada.....	27
5.3.4	Estudio de Rendimiento.....	29
	A. Tamaño de la muestra.....	29
	B. Información recabada.....	30
5.4	Procesamiento y Análisis de la Información.....	30
5.4.1	Crecimiento.....	30
	A. Funciones de crecimiento.....	30
	B. Incrementos.....	32
	C. Declinación del crecimiento.....	32
5.4.2	Rendimiento	33
	A. Función de rendimiento.....	33
	B. Tablas de rendimiento.....	34
6.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	35
6.1	Estudio de Crecimiento.....	35
6.1.1	Calidad de Sitio I.....	35
	A. Funciones de crecimiento.....	35

B.	Incrementos.....	38
C.	Declinación del crecimiento.....	40
6.1.2	Calidad de Sitio II.....	43
A.	Funciones de crecimiento.....	43
B.	Incrementos.....	45
C.	Declinación del crecimiento.....	48
6.1.3	Calidad de Sitio III.....	50
A.	Funciones de crecimiento.....	50
B.	Incrementos.....	52
C.	Declinación del crecimiento.....	55
6.2	Estudio de Rendimiento.....	57
6.2.1	Calidad de Sitio I.....	58
A.	Función de rendimiento (volumen-edad).....	58
B.	Función de rendimiento (volumen-edad-índice de sitio-área basal).....	61
6.2.2	Calidad de Sitio II.....	64
A.	Función de rendimiento (volumen-edad).....	64
B.	Función de rendimiento (volumen-edad-índice de sitio-área basal).....	67
7.	CONCLUSIONES.....	70
8.	RECOMENDACIONES.....	72
9.	BIBLIOGRAFIA.....	73
10.	A N E X O S.....	76

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
Cuadro 1	Listado de áreas de muestreo, donde se llevó a cabo el estudio de crecimiento y rendimiento de <i>P. pseudostrobus</i>	22
Cuadro 2	Características de las condiciones de desarrollo para el estudio de crecimiento y rendimiento de <i>P. pseudostrobus</i> , en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	25
Cuadro 3	Cantidad de árboles muestreados para el estudio de crecimiento de <i>P. pseudostrobus</i> , en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	27
Cuadro 4	Cantidad de parcelas levantadas para el estudio de rendimiento de <i>P. pseudostrobus</i> , en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	29
Cuadro 5	Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para la relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio I; en el estudio de crecimiento para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	36
Cuadro 6	Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio I, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	39
Cuadro 7	Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para la relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio II; en el estudio de crecimiento para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	44
Cuadro 8	Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio II, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	47
Cuadro 9	Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para la relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio III; en el estudio de crecimiento para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	51

Cuadro 10	Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio III, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	54
Cuadro 11	Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la relación Edad-Volumen, calidad de sitio I; para <i>P. pseudostrobus</i> , en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	58
Cuadro 12	Volumen (m ³ /ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio I, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	60
Cuadro 13	Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la tabla de rendimiento de <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio I, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	62
Cuadro 14	Tabla de rendimiento para <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio I, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	63
Cuadro 15	Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la relación Edad-Volumen, calidad de sitio II; para <i>P. pseudostrobus</i> , en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	64
Cuadro 16	Volumen (m ³ /ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio II, para <i>P. pseudostrobus</i> en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá	66
Cuadro 17	Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la tabla de rendimiento de <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio II, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	68
Cuadro 18	Tabla de rendimiento para <i>P. pseudostrobus</i> , calidad de sitio II, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá	69

INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
Figura 1	Localización geográfica del área de estudio. Departamentos de Chimaltenango y Sololá	15
Figura 2	Zonas de vida donde se distribuye naturalmente la especie <i>Pinus pseudostrobus</i> . Departamentos de Chimaltenango y Sololá	16
Figura 3	Localización de puntos de muestreo en el área de estudio. Departamentos de Chimaltenango y Sololá	23
Figura 4	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio I	40
Figura 5	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio I	42
Figura 6.	Función de crecimiento de Volumen sin corteza (m ³), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio I	43
Figura 7	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio II.....	48
Figura 8	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio II	49
Figura 9	Función de crecimiento de Volumen sin corteza (m ³), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio II	50
Figura 10	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio III	55

Figura 11	Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio III	56
Figura 12	Función de crecimiento de Volumen sin corteza (m ³), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio III	57
Figura 13	Función de rendimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en volumen (m ³ /ha), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio I	61
Figura 14	Función de rendimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en volumen (m ³ /ha), para <i>P. pseudostrobus</i> ; calidad de sitio II.....	67

ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *Pinus pseudostrabus* Lindley, EN BOSQUES NATURALES DE LOS DEPARTAMENTOS DE CHIMALTENANGO Y SOLOLA

GROWTH AND YIELD STUDY OF *Pinus pseudostrabus* Lindley, IN NATURAL FORESTS OF THE COUNTRIES OF CHIMALTENANGO AND SOLOLA

RESUMEN

La presente investigación contiene información generada sobre el crecimiento y rendimiento de *Pinus pseudostrabus* Lindley, conocido comunmente como pino triste. El área de estudio estuvo enmarcada en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá, especialmente en donde la especie se distribuye naturalmente; por lo que la información básica se recabó en fincas donde se encontraron las unidades de muestreo con características como: bosques naturales puros, diferentes condiciones de desarrollo, poco o no intervenidos y densidad completa o normal (cobertura entre 80 a 100%).

Entendiendo el crecimiento del árbol como el aumento gradual de las variables que se miden en él (altura, diámetro y volumen) (21), por lo que en esta investigación se generaron patrones de crecimiento de la especie de interés, es decir, se establecieron modelos que permiten visualizar la tendencia del aumento de las variables altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y volumen (V) en función de la edad (E). Además, se determinaron los incrementos medio anual y corriente anual para cada una de las variables, lo cual permitió establecer la declinación del crecimiento. Es importante indicar que la información fue generada para 3 calidades de sitio, lo cual permite apreciar el crecimiento en diferentes condiciones de sitio.

Los principales productos obtenidos en el estudio de crecimiento son los siguientes:

Para la calidad de sitio I el modelo que mejor explica la tendencia de crecimiento en altura es $H = \frac{E}{6.707323 + 0.024988 E^2}$, para la variable diámetro es $DAP = \frac{E}{5.617738 + 0.017989 E^2}$, y para el volumen $V = e^{(-10.965802 + 4.733262 \ln E - 0.409710 (\ln E)^2)}$. La declinación del crecimiento en altura se alcanza a los 16 años y en diámetro a los 18 años. Para el caso de volumen, la declinación del crecimiento se establece cuando es estudiado a nivel de rodal, es decir, no en forma de árboles individuales, por lo que en el estudio de rendimiento se hace referencia a la declinación de esta variable.

En el caso de la calidad de sitio II el modelo que mejor explica la tendencia de crecimiento en altura es $H = \frac{E}{9.612541 + 0.030237 E^2}$, para la variable diámetro es $DAP = \frac{E}{10.114146 + 0.017628 E^2}$, y para el

volumen $V = e^{(-12.046440 + 4.385073 \ln E - 0.264838 (\ln E)^2)}$. La declinación del crecimiento en altura se alcanza a los 18 años y en diámetro a los 24 años.

Respecto a la calidad de sitio III el modelo que mejor explica la tendencia de crecimiento en altura es $H = \frac{E}{13.608091 + 0.031158E^2}$, para la variable diámetro es $DAP = \frac{E}{16.898717 + 0.017628E^2}$, y para el volumen $V = 0.000644E^2$. La declinación del crecimiento en altura se alcanza a los 21 años y en diámetro a los 31 años.

Considerando que el rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha por unidad de superficie (20), por lo que se establecieron patrones que permiten visualizar la tendencia del rendimiento, ya sea cuando este depende de una sola variable (edad), o de otras variables (edad, índice de sitio y área basal). Con estos patrones se establecieron edades de rotación, especialmente cuando el volumen depende solamente de la edad, ya que permite determinar la declinación del rendimiento; así mismo, se elaboraron tablas de rendimiento, cuando el volumen depende de la edad, índice de sitio y área basal.. Es importante indicar que la información fue generada para 2 calidades de sitio, ya que al recabar la información de campo no se encontraron unidades de muestreo con las características deseadas de otras calidades de sitio.

Los principales resultados del estudio de rendimiento son los siguientes:

Para la calidad de sitio I el modelo que mejor explica la tendencia de rendimiento cuando el volumen está en función de la edad es $V = e^{(-2.169082 + 4.351353 \ln E - 0.536267 \ln^2 E)}$, la declinación del volumen que puede considerar como edad de rotación es a los 23 años. Cuando el volumen esta en función de la edad (A), índice de sitio (S) y área basal (G) el modelo que mejor explica esta relación es

$$\ln(V) = -0.364523 + 0.555541 \ln(S) + 1.280962 \ln(G) - 0.909053 \frac{1}{A}$$

Respecto a la calidad de sitio II el modelo que mejor explica la tendencia de rendimiento cuando el volumen esta en función de la edad es $V = e^{(-1.350732 + 3.496563 \ln E - 0.372421 \ln^2 E)}$, la declinación del volumen que puede considerar como edad de rotación es a los 28 años. Cuando el volumen está en función de la edad (A), índice de sitio (S) y área basal (G) el modelo que mejor explica esta relación es $\ln(V) = -0.057725 + 0.552798 \ln(S) + 1.185625 \ln(G) - 0.219837 \frac{1}{A}$.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país forestal no solamente por la vocación de sus suelos, sino especialmente por la diversidad de sus ecosistemas.

Según datos correspondientes a 1980, el 51.2% del área del país es estrictamente de vocación forestal, o sea, que los suelos en esas áreas pierden su capacidad productiva al ser utilizados por la agricultura o ganadería, y pueden ser utilizados para la producción forestal (37.1%) o protección de ecosistemas (14.1%)(3).

Los recursos forestales de Guatemala representan un potencial, ya que pueden constituirse en importante base para el desarrollo del país; sin embargo, la idiosincrasia del guatemalteco ha sido diferente, ya que históricamente los bosques han sido explotados con criterio minero, como si se tratara de un recurso natural no renovable, sin considerar que es capaz de producir bienes y servicios a perpetuidad. Prueba de ello es que, según datos de la FAO(3), la deforestación hacia 1997 se estimó en 82,000 ha/año. Por otro lado, se estimó que la tasa de reforestación hasta 1997 (Paiz, M. Programa de Incentivos Forestales (PINFOR)-INAB. 1998) era aproximadamente de 2,600 ha/año lo que significa, un déficit anual de 79,400 ha.

Varios factores, como: falta de manejo adecuado del recurso forestal, leyes inadecuadas o incumplimiento de las mismas y la carencia de una cultura forestal de la población, entre otros, han obstaculizado el desarrollo de la actividad forestal.

Probablemente uno de los principales obstáculos ha sido la falta de planes de manejo, considerados estos como una directriz de las actividades a realizar de acuerdo a la condiciones particulares de cada área y no simplemente como un requisito legal. En este sentido, El Programa Forestal para Coníferas de Centro América (PROCAFOR), a través del Proyecto de Manejo y Utilización Sostenida de los bosques naturales de coníferas de Guatemala, con el apoyo de la Agencia Finlandesa para el Desarrollo (FINNIDA), ha implementado en coordinación con el Instituto Nacional de Bosques -INAB- (anteriormente Dirección General de Bosques y Vida Silvestre, DIGEBOS), un modelo práctico y simplificado de formulación de planes de manejo forestal.

Sin embargo, para la implementación del mismo, es importante contar con herramientas, que permitan determinar de una manera fácil y precisa, como crece el bosque en diferentes calidades de sitio, para estimar el volumen y crecimiento total del mismo, y así mismo definir el tiempo de rotación. En este aspecto, en la presente

investigación se pretende proporcionar dichas herramientas, para la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Además, conviene indicar que esta investigación forma parte de los estudios del Proyecto de Crecimiento y Rendimiento de Masas Forestales, Subprograma de Silvicultura, del Programa de Investigaciones en Recursos Naturales Renovables (PIRENAR), adscrito al Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA).

Dentro de las nuevas estrategias para el desarrollo de la actividad forestal del país, se encuentra el Programa de Incentivos Forestales (PINFOR), que es una herramienta de la política forestal nacional de largo plazo que promueve el Instituto Nacional de Bosques (INAB), con miras a impulsar el fomento de la producción forestal sostenible en el país, mediante el estímulo a la inversión en las actividades de forestación, reforestación y manejo de bosques naturales; por lo que los productos de esta investigación pueden ser de gran utilidad especialmente en lo relacionado al manejo de bosques naturales.

2. DEFINICION DEL PROBLEMA

Uno de los factores que hace poco atractiva la actividad forestal, es el tiempo de retorno del capital, el cual está determinado por ciclos de producción relativamente largos. Es por ello que en Guatemala existe incertidumbre para la inversión en la dicha actividad, ya que no se pueden predecir objetivamente los resultados a obtener a corto, mediano y largo plazo.

Esta situación ha determinado el hecho de que, en nuestro país la actividad forestal sea una operación de explotación conllevando a la liquidación del recurso forestal, o bien privando a la comunidad de recursos inmediatos y reduciendo el potencial futuro del bosque. Esto ha provocado que esta actividad no esté contribuyendo al desarrollo integral del país, más bien al bienestar de particulares.

Por otra parte, se evidencia una falta de manejo adecuado del recurso forestal. Lo cual se debe, en gran medida, a la inadecuada implementación de planes de manejo; considerado el plan de manejo como el instrumento técnico que contempla todas las intervenciones silviculturales para ordenar el bosque, considera sus limitaciones y posibilidades y se fundamenta en los principios de la rentabilidad, persistencia y el máximo rendimiento; a fin de lograr el rendimiento sostenido del recurso en el largo plazo, sin degradarlo.

Sin embargo, para la implementación de planes de manejo, es necesario desarrollar estudios que permitan conocer la dinámica de los rodales, considerados éstos como las unidades de manejo. Dentro de estos estudios, los referentes al crecimiento y rendimiento de masas forestales son de vital importancia. Ya que el crecimiento es una de las mediciones más importantes en trabajos de silvicultura, ordenación forestal, predicción del rendimiento, otros; en tanto que las tablas de rendimiento son herramientas útiles para ayudar al manejo y justificar inversiones, puesto que las mismas tienen la característica de proporcionar entre otros datos de orden dasométrico e inclusive financiero, los rendimientos y/o producción de los rodales a una densidad, diferenciados por clase de edad y de sitio.

3. MARCO TEORICO

3.1 Marco Conceptual

3.1.1 Descripción del *Pinus pseudostrobus* Lindley.

El *Pinus pseudostrobus* Lindley, conocido como pino triste, es una de las 23 especies de pino identificadas que se distribuyen naturalmente en Guatemala. Esta especie está estrechamente relacionada con *Pinus montezumae*, teniendo la capacidad de entrecruzarse, produciendo híbridos que son difíciles de determinar y agrupar (22).

A. Descripción anatómica-morfológica

El pino triste es un árbol que alcanza alturas de hasta 45 m, con ramas extendidas y verticiladas, formando copas densas y redondeadas. En árboles jóvenes los crecimientos anuales (las partes entrenodales) son largos, de corteza lisa y color café rojizo claro. La corteza en la vejez es áspera y grietada. Es característico para la especie que las ramas tiernas tengan un color blanco azulado, las bases de las brácteas con esparcidas y frecuentemente adheridas dejando huellas sumergidas en las ramas. Esta característica, sirve para diferenciarla de la especie *P. montezumae*, porque esta última tiene retoños gruesos, con una apariencia más o menos rojiza y las partes adherentes a las brácteas son densas, fuertes y persistentes (22).

Hojas en grupos de 5 por fascículo, de 17 a 29 cm de largo, muy delgadas, colgantes, flexibles de color verde intenso, a veces con un tono glauco a amarillento en el final de la época seca (22).

Los cortes transversales de las hojas demuestran 2 a 4 canales resiníferos medios, rara vez con externo o interno. El hipodermo es casi uniforme, comprende de 2 a 3 hileras de células con ligeras entradas en el clorénquima. El endodermo tiene sus paredes externas engrosadas. Dos haces fibrovasculares muy aproximados o poco distinguibles (22).

Las vainas son perennes, anilladas de 2 a 3 mm de largo, de color 5YR 4/2 (castaño ceniciento) algo brillante. Yemas oblongo cónicas, de color anaranjado. Conillos subterminales, oblongos, largamente pedunculados, solitarios o por grupos hasta tres, oscuros, con escamas provistas de puntos, la cual posteriormente es caediza (22).

Conos ovoides o largamente ovoides de 7.5 a 12 cm de largo, de color café claro, amarillento o moreno extendidos, levemente encorvados, no prontamente caedizos, sobre pedúnculos de 10 a 18 mm, a veces casi sésiles. Frecuentemente queda el pedúnculo con las escamas basales, formando una roseta sobre las ramas, al caer el cono. La maduración es de enero a febrero (22).

Las escamas son delgadas, quilla por lo común baja y poco marcada; cúspide pequeña deprimida, provista de una punta cónica, frágil y persistente; esta especie tiene en Guatemala tres variedades, la de *apulcensis*, *coatepequeensis* y la *esteresii*, y una forma la *protuberans*, y la especie *oaxacana* (22).

B. Distribución geográfica

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida en Guatemala, por De la Cruz (7), basado en el sistema Holdridge, la especie *P. pseudostrobus* es una especie indicadora de las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical.

La zona de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical, se caracteriza por estar entre una altitud de 1800 a 3000 msnm, con precipitación pluvial entre 2065 a 3900 mm anuales. La especie se distribuye naturalmente en el departamento de Chimaltenango (Patzún, Tecpán, Comalapa, San José Poaquil, Sta. Cruz Balanyá, Zaragoza, Colinas, Santa Polonia, San Martín Jilotepeque), Sololá (Nahualá, San Lucas Tolimán), Totonicapán (San Francisco el Alto), Quetzaltenango (San Carlos Sija, Sibilia), San Marcos, Huehuetenango (San Juan Ixcay, Santa Eulalia, San Mateo Ixtatán), Quiché (cerca de Nebaj) (7).

Para la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical, la especie se localiza a una altitud entre 1500 a 2400 msnm, con precipitación entre 1057 a 1588 mm anuales. Distribuida naturalmente en Mixco a San Juan Sacatepéquez, Chimaltenango, Chichicastenango y Santa Cruz del Quiché (7).

3.1.2 Crecimiento e Incremento

A. Crecimiento

Bajo el término de crecimiento de un árbol o una masa, se entiende el fenómeno de desarrollo del árbol o masa observado en ellos íntegramente. El crecimiento de un árbol o de una masa está representado por su respectivo desarrollo, de aquí que se hable del desarrollo del árbol en altura y diámetro y del desarrollo en volumen de un árbol o de una masa, al referirnos al crecimiento (20).

Según Loján (21), se entiende por crecimiento del árbol, el aumento gradual de las variables que se miden en él (diámetro, altura y volumen), este aumento se produce por la actividad fisiológica de la planta. El ritmo del crecimiento está influenciado por factores internos (genéticos), externos (ecológicos) y por el tiempo. Este último factor siempre va unido al crecimiento y es la razón por la cual se busca la edad del árbol.

B. Incremento

Lo que crece un árbol en períodos sucesivos de tiempo es lo que se llama "incremento" (21). Se deben diferenciar los siguientes incrementos: incremento del árbol en diámetro, incremento del árbol en altura, incremento del árbol en volumen. Por analogía se habla del incremento de una masa o bosque (20).

Incremento corriente anual, es el crecimiento que logra un árbol o una masa en el curso de un año. Incremento periódico, es el crecimiento de un árbol o una masa en un tiempo determinado. Incremento periódico anual, es el promedio anual del incremento periódico. Incremento total, es el crecimiento de un árbol o una masa durante toda su vida. Incremento medio anual, es el promedio anual del incremento total; se obtiene dividiendo las dimensiones de un árbol o una masa entre su edad (20).

C. Desarrollo e incremento en altura

El crecimiento depende de varios factores, entre los cuales se pueden mencionar como los mas importantes: genotipo, calidad de estación, medio ambiente, etc. (20).

Según Klepac (20), en el mismo sitio y bajo las mismas condiciones se notó con frecuencia que los árboles de la misma especie y aun de la misma variedad, mostraron incrementos en altura muy diferentes. El factor individual más importante es el genético, puesto que bajo las mismas condiciones algunos árboles exhiben un incremento hasta dos y tres veces mayor que otros.

Es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles está menos influenciado por el medio ambiente que en diámetro (20).

Parece ser que de los factores externos, la calidad del suelo influye bastante en el crecimiento e incremento en altura. Por lo anterior ha surgido la idea de clasificar al suelo con base en la altura y edad del árbol. Por otra parte la altura del árbol frecuentemente se toma como un indicador de la calidad de estación (20).

D. Desarrollo e incremento en diámetro

Los mismos factores que influyen en el crecimiento e incremento del árbol en altura, actúan también en diámetro. El incremento anual en diámetro se puede decir que depende también de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año. Pero el crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del medio ambiente que el crecimiento e incremento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz (20).

El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento. Cada árbol produce normalmente un anillo de crecimiento por año (20).

Bajo condiciones normales el incremento en diámetro es pequeño al principio, después aumenta hasta alcanzar una fase de alta actividad y disminuye gradualmente, llegando a ser muy reducido en los árboles viejos (20).

E. Desarrollo e incremento en volumen

El volumen del árbol aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte. El incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal. Es característica del incremento del volumen no decrecer tan rápidamente como el incremento en altura y diámetro, ya que persiste durante más tiempo en el mismo nivel. Esta característica del incremento en volumen se explica por el hecho de que el incremento en diámetro interviene al cuadrado en el incremento en volumen; de tal manera que al disminuir el incremento en diámetro no necesariamente disminuye el incremento en volumen (20).

El incremento total en volumen del árbol consiste en general de tres partes: a) La madera propiamente dicha, b) Follaje, semillas y frutos; y c) La parte que se pierde por medio de la transpiración (20).

F. Edad de rotación

La producción total de un cierto sitio depende de la duración del período de rotación. El fundamento biológico que determina la rotación se define mediante la culminación del incremento medio anual; es decir, el punto donde la curva del incremento periódico anual se cruza con la curva del incremento medio anual. Esta culminación se utiliza generalmente para definir los turnos. La rotación se define como la edad en que la tasa de crecimiento anual cae por debajo de un cierto nivel aceptable del 5 al 6% (8).

Para una cierta calidad de sitio y una especie determinada, la edad en que el crecimiento culmina depende de las restricciones de utilización del rodal y de la intensidad del manejo forestal. Cuando la calidad de sitio es inferior, el lapso que debe transcurrir para que el rodal alcance su culminación es más largo que el de un sitio de buena calidad (8).

G. Métodos para determinar el incremento y la producción

Se pueden clasificar en dos métodos básicos:

- a) Métodos indirectos
- b) Métodos directos

Los métodos indirectos se basan en factores tales como el clima o la cubierta vegetal. Los métodos directos son aquellos en los cuales se toman medidas del incremento directamente. Los métodos directos se pueden clasificar en cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncales (20).

H. Análisis troncal

En las zonas de clima templado las capas del incremento anual se aprecian claramente. Estas sirven para la estimación del crecimiento e incremento del árbol, debido a que es posible por medio de ellas saber qué tan grande era el árbol, cuál era su diámetro y cuál era su volumen en un determinado año de su vida. El procedimiento por medio del cual se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante su vida se le llama "análisis troncal". Para este propósito el árbol debe ser derribado. Del árbol apeado se toman secciones o rodajas transversales de las cuales dos de ellas deben ubicarse en sitios precisos. La primera debe tomarse precisamente a la altura del apeo (20-30 cm), y la segunda a la altura del pecho (1.30 m), las restantes se obtienen a igual distancia unas de otras (1, 2 o 3 m) si es posible. En las partes superiores del fuste la distancia entre las secciones es generalmente menor. En las secciones aserradas se anota en el lado inferior, la altura a la cual se hizo el corte, en el lado superior, que corresponde exactamente a la altura anotada, se cuentan los anillos de crecimiento y se llevan a cabo las mediciones (20).

En lugar de medir el incremento anual, generalmente se mide el incremento en períodos de 5 o 10 años. En los árboles jóvenes de rápido crecimiento se toman períodos de 5 años y para árboles viejos períodos de 10 años (19).

Se determina la edad, contando los anillos de crecimiento en la sección de apeo o tocón; generalmente se considera que el número de anillos de crecimiento en una sección transversal muestra la edad de esa parte del árbol. Si el árbol en su primer año de crecimiento, en altura, creció al nivel del tocón y si en medio de la sección transversal se encuentra la sección de la planta a esa edad, entonces el número de anillos de crecimiento del tocón nos da la edad total del árbol. Si la condición anterior no se llena, se añade el número de anillos del tocón al número de anillos que fueron necesarios para que la planta en sus primeras etapas, haya alcanzado la altura del tocón. De esta manera se obtiene la edad física del árbol (20).

Una gran cantidad de información sobre la dinámica de un rodal, puede ser obtenida del análisis del fuste. Pero el procedimiento solamente es posible en climas estacionales y con especies que produzcan anillos claramente definidos (20).

3.1.3 Rendimiento

Rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha por unidad de superficie (20).

Según Alder (1), rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha, o el volumen de los árboles de un grupo particular de especies, o también algún producto no maderable, tal como corteza, follaje, resina, etc.

A. Tablas de producción

Para Curtis, 1972, citado por Garzon (10), una tabla de producción puede definirse en general como una tabulación que muestra varias características dasométricas de los rodales forestales a diferentes edades y para diferentes calidades de estación. Según Spurr, 1952, citado por Garzon (10), una tabla de producción describe las características básicas del rodal, correspondiente a edades sucesivas, características que dependen de diferentes factores naturales y de la intervención del hombre.

Las tablas de producción, son guías para encauzar un bosque hacia fines predeterminados, ya que al encuadrar dentro de ecuaciones y tabulaciones la evolución de las características dasométricas de una masa forestal se puede tener la descripción de una población en un momento de su vida; pueden ser utilizadas al planificarse la obtención de un producto determinado en función de aspectos silvícolas y económicos (10).

Existen diferentes tipos de tablas de producción según el tipo de bosque para el que se construye y las variables que se consideren (10).

a) Tablas de producción para bosques no manejados. Tablas normales de producción.

Los primeros estudios al respecto se efectuaron en rodales coetáneos naturales que no se encontraban bajo ninguna clase de manejo silvícola; las observaciones y la toma de datos fueron realizadas sólo en rodales que tenían una densidad completa (full stocked stands), a la que se denominó densidad normal. Al tomarse en

cuenta solamente rodales de densidad completa se pretendía conocer, a través de ella, la producción de los rodales bajo una utilización plena del sitio. Con este procedimiento, y si se uniforma la variable densidad, en todos los rodales comprendidos en el estudio las variables de las que dependen las diversas características dasométricas, resulta ser la edad y la calidad de estación (10).

b) Tablas de producción para densidad variable o tablas empíricas.

El hecho de que las tablas normales de producción tengan estricta aplicación en rodales totalmente densos, y la consideración de orden práctico de la dificultad de su empleo en bosques con densidad variable, condujeron a los primeros intentos, a desarrollar tablas de producción basadas en tres variables independientes: edad, calidad de estación y densidad. A este tipo de tablas se les llamó tablas empíricas de producción (10).

Los datos de campo para la elaboración de tablas de producción pueden provenir de sitios temporales o permanentes de experimentación. Recientemente, con las facilidades de utilizar computadoras, se han construido tablas de producción por medio de simulaciones, empleando ecuaciones diferenciales en la expresión del crecimiento como una función de la edad, calidad de estación y densidad (10).

B. Predicción del crecimiento y rendimiento

La metodología de la predicción del crecimiento y rendimiento, contiene 4 fases principales que son (1):

- a- Estimación del crecimiento y rendimiento: Esta fase tiene mayores complicaciones de índoles prácticos, una vez se han hecho las definiciones apropiadas. Es decir las dificultades serán en cuanto a la accesibilidad del bosque, mediciones en las parcelas de muestreo, el tiempo de mantenimiento de las parcelas permanentes de muestreo.
- b- Construcción de un modelo matemático y su ajuste a los datos de crecimiento y rendimiento: Cuando se han obtenido ya los datos, se pueden ajustar a modelos matemáticos que describan el comportamiento de las relaciones entre las variables.
- c- Prueba del modelo para su validación: Cuando se ha obtenido ya el modelo, debe de comprobarse su validez y precisión.

- d- Aplicación del modelo para el uso final requerido: Los modelos de crecimiento y rendimiento obtenidos pueden ser usados en forma de tablas, gráficas o bien a través de computadores.

Para la construcción de modelos, "el muestreo es una alternativa de la experimentación en situaciones donde las variables que entran en el modelo no pueden ser controladas por el investigador. En estudios de crecimiento y rendimiento esta condición se aplica principalmente a las variaciones de sitio" (1).

C. Clasificación de modelos de predicción del rendimiento

Los modelos de predicción de rendimiento se pueden clasificar de la siguiente manera (6):

- a- Modelos de forma tabular
- b- Modelos como ecuaciones y sistemas de ecuaciones

Los modelos presentados en forma tabular solo son usados pocas veces hoy en día.

Una extensa variedad de ecuaciones de rendimiento están presentadas en la literatura y nuevas son desarrolladas cada año. La complejidad de éstas es variada, desde la simple y regular ecuación de regresión, expresando el rendimiento/acre como una función de edad, índice de sitio y área basal/área; hasta la detallada y complicada del sistema de ecuaciones simulando el crecimiento para cada árbol individual en un rodal como una función de sus propias características asociadas a los árboles y las distancias aledañas de los árboles, y las distancias entre los árboles.

D. Predicción del rendimiento actual

La predicción del rendimiento actual no envuelve una proyección de la densidad del rodal. Por ejemplo, se tiene un rodal con una edad conocida, un índice de sitio y una área basal actual; la estimación del volumen actual por acre en este rodal, de los valores conocidos, es una predicción de rendimiento actual (6).

Los sistemas de predicción de rendimiento actuales se dividen en: Sistemas de Predicción Explícitos, en donde la solución de ecuaciones incluyen la estimación del volumen por unidad de área. Los otros sistemas son

llamados de Predicción Implícitos, en donde la solución de ecuaciones envuelve y produce información básica de la estructura del rodal (6).

La primera ecuación de predicción de rendimiento de densidad variable fue desarrollada usando la metodología propuesta por Mackinney et al (1937) y Schumacher (1939). La fórmula básica del modelo de rendimiento de Schumacher es (6):

$$\ln(V) = B_o + B_1 \frac{I}{A} + B_2 f(S) + B_3 g(D_s)$$

Donde:

V: Alguna expresión de rendimiento por acre

A: Edad del rodal

f(S): Alguna función de índice de sitio

g(D_s): Alguna función de densidad del rodal

Varias ecuaciones de rendimiento, basadas en el modelo de Schumacher, han sido utilizadas y han empleado algunas modificaciones que se muestran a continuación (6):

1. Rodales naturales de pino slash (pino de incienso), en Georgia y Norte de Florida (Bennet, 1970)

$$\ln(V_1) = 5.98812 - 121.713 \frac{I}{S} - 19.758 \frac{I}{A} + 0.89683 \ln(B)$$

2. Rodales naturales de pino loblolly en Virginia, Sur de Carolina y Georgia (Sullivan y Clutter, 1972)

$$\ln(V_2) = 2.8837 + 0.014441S - 21.326 \frac{I}{A} + 0.9506 \ln(B)$$

3. Abeto negro en suelos orgánicos en Minnesota (Peralta,1971)

$$\ln(V_3) = 1.07542 + 0.61265 \ln(S) + 0.9686 \ln(B) - 9.54064 \frac{1}{A}$$

Donde:

A: Edad del rodal (años)

S: Índice de sitio en pies (para la ecuación 1 se utilizó una edad base de 50 años)

B: Area basal en pies cuadrados por acre.

V_1 : Volumen en pies cúbicos por acre con corteza, de todos los árboles de 4.6 pulgadas de DAP hasta un diámetro de utilización de 4 pulgadas.

V_2 : Volumen en pies cúbicos por acre, entero sin corteza, para todos los árboles incluyendo el tocón y la punta.

V_3 : Volumen en pies cúbicos por acre, entero sin corteza, de todos los árboles de 3.6 pulgadas de DAP y mayores a estos.

3.2 Marco Referencial

3.2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en los departamentos de Chimaltenango y Sololá (Ver Figura 1), en donde se encuentra distribuida naturalmente la especie *P. pseudostrobus*. Para lo cual se contó con el apoyo de los propietarios de algunas fincas forestales donde se estaban realizando aprovechamientos con licencias aprobadas por DIGEBOS (hoy INAB). Cada una de las fincas se consideró como área de muestreo para la recolección de información.

3.2.2 Clima

De acuerdo al mapa climatológico según Thornthwaite el área se encuentra en un clima templado, con invierno benigno dentro de un bosque húmedo con invierno seco (B'₂b'Bi) (13).

La precipitación media anual oscila entre 1000 y 2000 mm, distribuidos en 120 a 140 días anuales (17).

La evapotranspiración según Thornthwaite oscila entre 700 a 800 mm (16).

3.2.3 Zona de vida

El área de estudio se encuentra dentro de las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical (Ver Figura 2) (7).

La primera zona de vida se encuentra en un rango altitudinal entre los 1800 a 3000 msnm, con precipitación pluvial entre 2065 a 3900 mm anuales; en tanto que la segunda se encuentra en un rango altitudinal de 1500 a 2400 msnm, con precipitación entre los 1057 a 1588 mm anuales (7).

3.2.4 Geología

Los materiales geológicos del área son básicamente:

- a. Tv. Terciarios. Rocas volcánicas sin dividir, predominando el mioplioceno. Incluye tobas coladas de lava, material lahárico y sedimentos volcánicos.
- b. Qp. Cuaternario. Rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez de origen diverso (12).

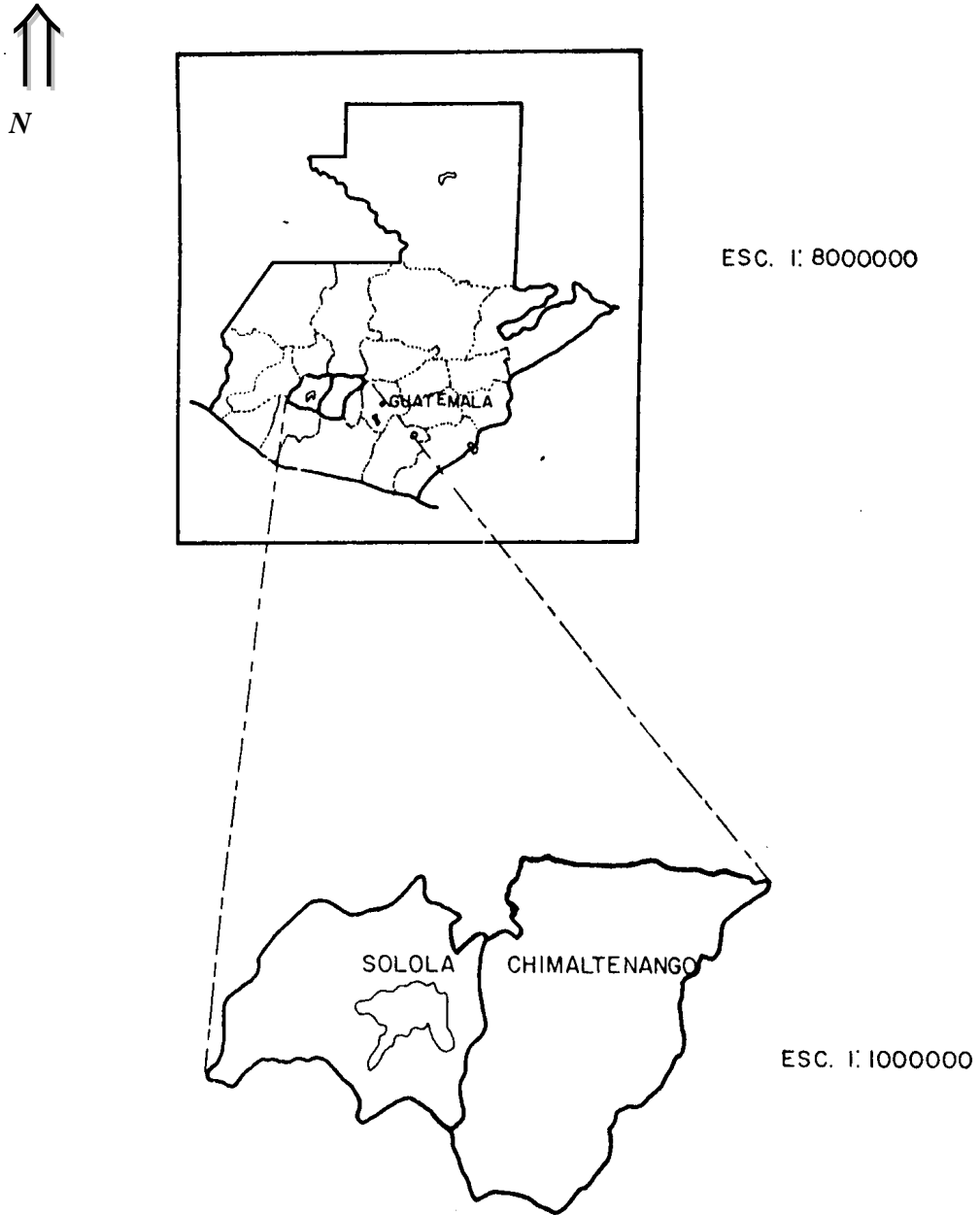
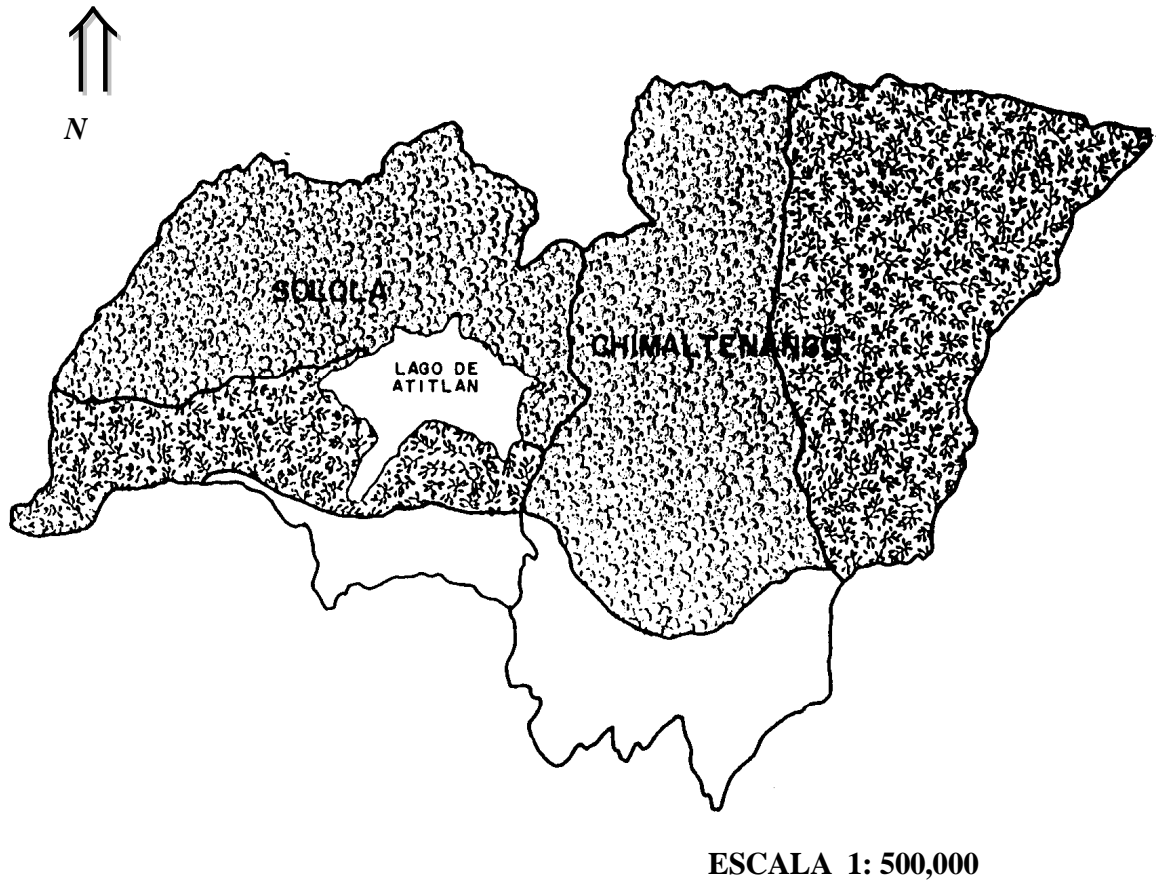


Figura 1. Localización geográfica del area de estudio. Departamento de Chimaltenango y Solola.






ZONAS DE VIDA	
	Bosque muy humedo montano bajo sub-tropical.
	Bosque humedo montano bajo sub-tropical.
	Zona de vida donde no hay distribucion natural de <u>Pinus pseudostrobus</u>

Figura 2. Zonas de vida donde se distribuye naturalmente la especie *Pinus*

pseudostrobus. Departamentos de Chimaltenango y Sololá.

3.2.5 Región fisiográfica

El área se encuentra en las siguientes regiones fisiográficas:

a) *Tierras Altas Volcánicas*

En Guatemala ha existido actividad volcánica desde el paleozoico, intensificada durante el terciario. En esta región, las erupciones de tipo de grieta lanzaron cantidades de material-principalmente basalto y riocita-que cubrieron las formas de tierra preexistentes, desarrolladas sobre el basamento cristalino sedimentario que se encuentra hacia el norte (15).

La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por tensión local, la cual, quebró y movió el material de la superficie, como por ejemplo, el valle hendido (graben) en que está localizada la ciudad de Guatemala (15).

Varias cuencas de esta región han sido parcialmente llenadas con pómez cuaternario, lo que proporciona un paisaje muy contrastado con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean. Los valles en los que se localizan las ciudades de San Marcos, Sololá, Chimaltenango y la ciudad de Guatemala, son ejemplos característicos (15).

b) *Tierras Altas Cristalinas*

Serpentinas, gneisses y esquistos dominan esta región, apareciendo algunas áreas de material plutónico, principalmente granito, que forman una región distinta tanto de los dos estados sedimentarios del norte, como de las regiones volcánicas del sur (15).

Esta área se ubica entre dos sistemas de fallas que han estado en evolución desde el paleozoico. El patrón de drenaje a través de esta región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Cuilco, Chixoy y Motagua están controlados por las diversas fallas existentes (15).

3.2.6 Hidrografía

El área se encuentra en la parte alta de las cuencas siguientes:

Vertiente del Atlántico, sub-vertiente del Mar de las Antillas: cuenca del río Grande o Motagua.

Vertiente del Pacífico: cuenca del Lago Atitlán, cuenca del río Madre Vieja y cuenca del río Coyolate (13).

3.2.7 Series de suelos

Las series de suelos que incluyen la parte alta de las cuencas anteriormente enumeradas son:

a) *Serie de Suelos Tecpán*

Los suelos Tecpán, son profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica blanca, porosa y de grano relativamente fino, en un clima frío húmedo seco. Ocupan llanuras de casi planas a onduladas a elevaciones medianas en la parte sur central de Guatemala. Están asociados con los suelos Cauqué, Tolimán y Patzicía, pero son más arenosos, tienen suelos superficiales más profundos y ocupan terrenos menos inclinados que éstos y están desarrollados sobre ceniza volcánica o pomácea, mientras que los Patzicía han sido influenciados por materiales de color oscuro. La vegetación natural consiste de Pino y Encino, pero casi todo se ha limpiado y está intensamente cultivado (24).

Se encuentran localizados en los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez. Ocupan la planicie que se extiende desde Chimaltenango hasta Tecpán (24).

b) *Serie de Suelos Tolimán*

Son suelos profundos, bien drenados, desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, en un clima frío y húmedo-seco. Ocupan relieves de ondulados a inclinados, a relativamente gran altitud en la parte sur-central de Guatemala. Están asociados con los suelos Comanchá, Patzité y Atitlán, pero se encuentran a elevaciones más bajas que los dos primeros, son menos arcillosos que los Cauqué y menos pedregosos que los Atitlán. Ocupan posiciones similares a las de los suelos Sinaché, pero no están tan bien desarrollados ni tan arcillosos como éstos. La vegetación natural consiste principalmente de Encino y Pino (24).

Se encuentran en la vecindad del Lago de Atitlán en el departamento de Sololá y en los departamentos de Chimaltenango y Suchitepéquez (24).

c) *Serie de Suelos Totonicapán*

Los suelos Totonicapán son profundos, bien drenados desarrollados sobre ceniza volcánica o roca de color claro en un clima frío, húmedo. Ocupan relieves de inclinados a suavemente ondulados a gran altitud en el sur-oeste de Guatemala. Están asociados con los suelos Comanchá y Patzité, pero se encuentran a mayor altura y tienen suelos superficiales más profundos que éstos. La vegetación natural consiste de Pino, Pinabete, Ciprés, Encino y Pastos (24).

Se encuentran en el sur-oeste de Guatemala, al oeste de Tecpán, en los departamentos de Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez, Suchitepéquez y Sololá (24).

4. OBJETIVOS

4.1 General

Establecer el crecimiento y rendimiento para *Pinus pseudostrabus* Lindley, en bosques naturales ubicados en los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

4.2 Específicos

- 4.2.1 Establecer el patrón de crecimiento en altura, diámetro y volumen de *P. pseudostrabus* en diferentes calidades de sitio.
- 4.2.2 Determinar los valores del incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA), para *P. pseudostrabus*, en altura, diámetro y volumen; para diferentes calidades de sitio.
- 4.2.3 Determinar la edad de rotación de *P. pseudostrabus* en función del ICA e IMA, para diferentes calidades de sitio.
- 4.2.4 Determinar el rendimiento de *P. pseudostrabus* en función de la edad, calidad de sitio y área basal.

5. METODOLOGIA

5.1 Descripción General del Area de Estudio

El estudio se llevó a cabo en bosques naturales ubicados en los departamentos de Chimaltenango y Sololá, en las zonas de vida Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Sub-tropical y Bosque Húmedo Montano Bajo Sub-tropical. Específicamente se realizó en fincas donde estaban efectuando aprovechamientos con licencias extendidas por la Dirección General de Bosques (DIGEBOS), actualmente Instituto Nacional de Bosques (INAB).

5.2 Fase I de Campo: Reconocimiento del Area de Estudio

Se realizó el reconocimiento para ubicar las fincas donde se estaban efectuando aprovechamientos con la debida autorización. Previo a esta actividad, se hicieron los contactos con los propietarios de las fincas para obtener su aval y apoyo a fin de llevar a cabo la presente investigación. Las fincas fueron seleccionadas tomando en consideración aspectos propios de los rodales, como: rodales puros de *P. pseudostrobus*, naturales y poco o no intervenidos. Cada finca se constituyó en un área de muestreo, dentro de la cual se ubicaron sitios temporales de muestreo. En el Cuadro 1 se presentan las fincas en las cuales se recopiló información.

Cuadro 1. Listado de áreas de muestreo, donde se llevó a cabo el estudio de crecimiento y rendimiento de *P. pseudostrobus*.

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	FINCA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD
			LATITUD	LONGITUD	(msnm)
Chimaltenango	San Martín Jilotepeque	Las Carretas	14°49'57"	90°47'00"	1,900
	Tecpán Guatemala	Chirijuyú	14°42'15"	90°58'20"	2,200
	Tecpán Guatemala	La Visión	14°44'50"	90°57'40"	2,300
	Tecpán Guatemala	Vista Bella	14°45'10"	90°57'45"	2,300
	Tecpán Guatemala	El Retiro	14°46'15"	90°59'05"	2,300
	Tecpán Guatemala	Panicanachú	14°45'13"	91°00'12"	2,600
	Tecpán Guatemala	Miramar	14°46'13"	91°02'52"	2,400
	Santa Apolonia	La Vega	14°48'03"	90°57'36"	
Sololá	San Andrés Semetabaj	Panimatzalán	14°44'55"	91°06'23"	2,200
	San Andrés Semetabaj	Santa Victoria	14°45'50"	91°05'10"	2,300
	Santa Lucía Utatlán	Pachipac	14°47'20"	91°15'45"	2,400
	Santa Lucía Utatlán	Chijolom Guacax	14°46'35"	91°18'33"	2,500

Asimismo, en la Figura 3 se muestra la localización de las fincas según el departamento a que pertenecen.

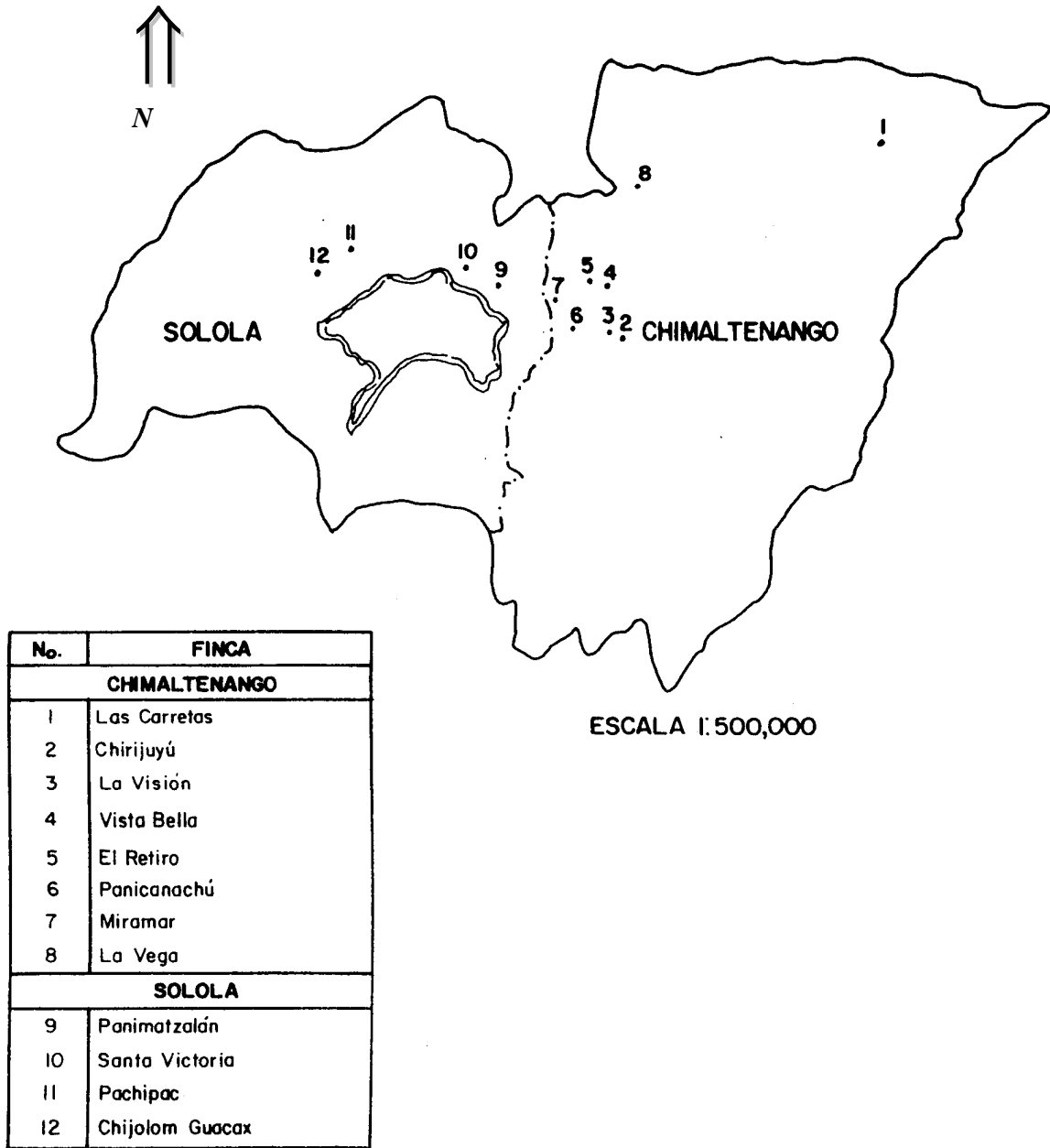


Figura 3. Localización de puntos de muestreo en el area de estudio. Departamento de Chimaltengo y Sololá.

5.3 Fase II de Campo

5.3.1 Método de muestreo y características de los rodales

El rodal es la unidad mínima de bosque geográficamente continua, cubierta con árboles de características homogéneas y que puede ser sujeta al mismo tratamiento silvícola. La rodalización es pues dividir el área de una finca o una extensión de terreno, en rodales que tengan individuos con características casi iguales y a los cuales se les pueda aplicar un mismo tratamiento (25).

Se utilizó el muestreo selectivo, ya que se trabajó exclusivamente con los rodales que por su composición contenían poblaciones puras de *P. pseudostrobus*.

Los criterios para la selección de los rodales fueron los siguientes:

- a- Bosques naturales puros de *P. pseudostrobus*.
- b- Se trató de buscar diferentes condiciones de desarrollo, ya que cada condición refleja la dinámica de desarrollo del bosque. Pero esto no fue posible, especialmente para el estudio de crecimiento, puesto que en todas las fincas los aprovechamientos se realizaron en bosques maduros correspondientes a rodales C4 (Ver Cuadro 2). Sin embargo, esto no afecta significativamente los resultados del estudio de crecimiento, ya que el mismo se basa principalmente en el análisis fustal, el cual proporciona información sobre el desarrollo retrospectivo del árbol, o sea, a través del cual se puede conocer el crecimiento e incremento del árbol durante su vida. Por el contrario, para el estudio de rendimiento si fue posible rodalizar en base a diferentes condiciones de desarrollo (C1, C2, C3 y C4); con lo que se cubrió un amplio rango de densidades y edades.
- c- Poco o no intervenidos

- d- Que presentasen la mayor densidad, que pudiese considerarse completa o normal, es decir, una cobertura de 80 - 100% en parcelas circulares de 500 m².

5.3.2 Procedimiento para la selección de los rodales

Para ubicar los puntos de muestreo en cada finca, se realizó un caminamiento para observar el estado de la masa forestal, y determinar los sitios que cumplieran con los requisitos para obtener la información requerida en cada uno de los estudios (crecimiento y rendimiento).

Los rodales de muestreo se seleccionaron de la siguiente manera:

a. Rodalización del área

En lo posible se trató de rodalizar en base a diferentes condiciones de desarrollo. Para esta investigación se definió utilizar 4 clases de desarrollo, a saber: C1, C2, C3 y C4; mismas que fueron establecidas de acuerdo a sus características (Ver Cuadro 2). Esto se debe a que cada condición refleja la dinámica de desarrollo del bosque, con lo que se pretendió cubrir un amplio rango de densidades y edades. Conviene aclarar que esto fue posible especialmente para el estudio de rendimiento.

Cuadro 2. Características de las condiciones de desarrollo para el estudio de crecimiento y rendimiento de *P. pseudostrobus*, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Clase de Desarrollo	Nombre	Características
C1	Regeneración adecuada	Rodales de densidad aceptable. La altura promedio de las plantitas es mayor a 1 m. Generalmente no se pueden extraer productos comerciales. Pueden haber algunos semilleros (no más de 4 m ² /ha).
C2	Bosques jóvenes	Los bosques jóvenes que están en el período de raleo, es posible extraer productos como tunca (postes) y leña, aunque normalmente no trozas.

C3	Bosques medianos	Los bosques con edad media en el raleo se pueden obtener algunas trozas, también tuncas y leña.
C4	Bosques maduros	Rodales de densidad variada con árboles maduros y de volumen alto. El objetivo del próximo tratamiento es la regeneración del sitio.

Fuente: Turtiainen, M.; Barahona, G. 1995. (25)

b. Determinación de la calidad de sitio

Una vez ubicados los diferentes rodales, se procedió a determinar la calidad de sitio en cada uno de ellos. Para lo cual se emplearon las curvas de índices de sitio para *P. pseudostrobus*, generadas por Escobedo, M. (9). Para ello es necesario conocer la altura dominante promedio y la edad promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea, dichos valores se plotean en el gráfico de curvas de índices de sitio, interceptando las perpendiculares que parten del eje ordenado (altura) y del eje de las abscisas (edad).

La altura dominante promedio se determinó midiendo la altura de los 5 árboles más gruesos de una parcela de 500 m², así mismo, se obtuvo la edad de éstos árboles, para lo cual se les barrenó al DAP (diámetro a 1.30 m. de la superficie del suelo) y se sumaron 2 años a la edad encontrada a esta altura, para determinar la edad total.

Rodalizado y determinado la calidad de sitio, el procedimiento que se siguió tanto para el estudio de crecimiento como para el de rendimiento es como se indica a continuación.

5.3.3 Estudio de crecimiento

A. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra estuvo en función de la cantidad de calidades de sitio que se determinaron. Para el estudio de crecimiento, cada árbol constituyó una unidad de muestreo, en el cual se obtuvo información de variables como: edad, altura, DAP y volumen; a través del análisis fustal. En el cuadro 3 se presenta la cantidad de árboles muestreados por calidad de sitio.

Cuadro 3. Cantidad de árboles muestreados para el estudio de crecimiento de *P. pseudostrobus*, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Calidad de Sitio	Cantidad de Arboles
I	12
II	12
III	12
TOTAL	36

Aunque el tamaño de la muestra parece ser pequeño, la metodología del análisis fustal permite realizar un estudio histórico (restrospectivo) de la vida del árbol, es decir, obtener información de las variables altura, DAP y volumen a diferentes edades del árbol.

B. Información a recabada

a. Medición de variables

En cada árbol se midieron las siguientes variables:

- i. Diámetro a la altura del pecho (DAP): cinta diamétrica
- ii. Altura total: cinta métrica
- iii. Edad: análisis fustal

b. Análisis fustal o troncal

El procedimiento que se siguió para realizar el análisis troncal fue el siguiente:

- i. Cada árbol fue derribado
- ii. Del árbol apeado se tomaron secciones o rodajas transversales. La primera de ellas se tomó a la altura del tocón (0.30 m). Como los árboles se utilizaron para la obtención de madera de aserrío, las siguientes rodajas se ubicaron de acuerdo a las dimensiones de las trozas requeridas para el mencionado producto.
- iii. En cada rodaja se anotó, en el lado inferior, la altura a la cual se hizo el corte; y en el lado superior, que corresponde exactamente a la altura anotada, se realizó el conteo y medición de anillos.
- iv. Para el conteo y medición de anillos de crecimiento, la rodaja se dividió en cuatro radios perpendiculares. La medición de anillos se efectuó en períodos de 5 años.
- v. La edad que se determinó en la sección a la altura del tocón, se le sumó un año, para determinar la edad total del árbol.
- vi. Cada una de las secciones fue cubificada para obtener el volumen total del árbol, y de cada uno de los árboles derrivados, utilizándose las siguientes fórmulas:

Fórmula de Smalian (para secciones intermedias):

$$V = 0.3927x[(D_1)^2 + (D_2)^2]xL$$

Donde:

V: Volumen de la sección (m³)

D₁: Diámetro 1 (cm)

D₂: Diámetro 2 (cm)

L: Longitud de la sección (m)

Fórmula del cono (para la punta):

$$V = \frac{(0.7854xD^2)x(L)}{3}$$

Donde:

V: Volumen (m³)

D: Diámetro de la base del cono (cm)

L: Longitud (m)

Para llevar un registro de la información recabada, se empleó un formato de boleta como el que se presenta en el Anexo 1.

5.3.4 Estudio de Rendimiento

A. Tamaño de la muestra

Para este estudio, la unidad de muestreo estuvo representada por una parcela, la cual fue de forma circular con un área de 500 m² (r=12.62 m). Puesto que se generaron tablas de rendimiento para diferentes calidades de sitio, el número de parcelas a levantar dependió de las calidades de sitio que se determinaron. En el cuadro 4, se presenta el número de parcelas muestreadas, por calidad de sitio y por clase de desarrollo.

Cuadro 4. Cantidad de parcelas levantadas para el estudio de rendimiento de *P. pseudostrobus*, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Calidad de Sitio	Clase de Desarrollo		No. de Parcelas
	Edad (años)	Clase	
I	<3	C1	10
	3 – 12	C2	10
	12 –20	C3	10
	>20	C4	13
II	<3	C1	10
	3 – 12	C2	10
	12 –20	C3	10
	>20	C4	13
TOTAL			86

Independientemente de cuantas calidades de sitio se determinasen, inicialmente se definió levantar 40 parcelas por calidad de sitio, ya que con esta muestra se consideró obtener una buena cantidad de datos de las variables: volumen, edad, índice de sitio y área basal.

B. Información recabada

En cada parcela se recabó la siguiente información:

a. Edad (años)

Para ello se tomaron 3 árboles representativos a los cuales se les determinó su edad. Cada árbol se barrenó a una altura de 1.30 m, y a la edad que se determinó a esta altura se le sumaron 2 años para obtener la edad total.

b) Altura (m) de 5 árboles representativos en cada parcela

c) DAP (cm) de todos los árboles de la parcela

d) Número de árboles por parcela (densidad actual)

La información recopilada se anotó en una boleta como la que se presenta en el Anexo 1.

5.4 Procesamiento y Análisis de la Información

5.4.1 Crecimiento

A. Funciones de crecimiento

Del análisis fustal se obtuvieron datos de las variables edad, altura, diámetros (DAP) y volumen. Con estos datos se procedió a establecer las relaciones entre: edad-altura, edad-diámetro y edad-volumen, por medio de la técnica de análisis de regresión lineal. Se probaron los siguientes modelos:

Modelo de Schumacher:

$$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X^k}$$

Modelo de Backman:

$$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$$

Otros modelos:

$$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$$

$$Y = b_0 + b_1 \ln X$$

$$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$$

$$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$$

$$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$$

$$Y = b_0 X^{b_1}$$

$$Y = b_0 b_1^X$$

Donde:

Y: Variable dependiente, que puede tomar los valores de altura, diámetro y volumen.

X: Variable independiente, que representa la edad en años.

a, b, b_0 , b_1 , b_2 y k: Estimadores de los parámetros de regresión

ln: Logaritmo natural

e: Base del logaritmo natural

La regresión del modelo de Schumacher se desarrolló a través del método de regresión jerárquica, utilizando para ello el sistema de paquetes estadísticos PALMER, PSP (Palmer's Statistical Packarges) del CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), mediante el programa SINDEK (Site index), desarrollado exclusivamente para dicho modelo. Esto, en virtud de que a través de esta regresión se obtiene el coeficiente exponencial "k" que ajusta de una mejor manera el modelo a los datos reales obtenidos en el campo.

Los demás modelos se corrieron en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (2,22).

Para elegir el modelo que proporcione el mejor ajuste entre las variables, se utilizaron los siguientes estimadores:

a- Prueba de F (Análisis de Varianza)

b- Coeficiente de determinación (r^2)

c- Distribución de residuales

Las funciones de crecimiento se obtuvieron para cada una de las calidades de sitio.

B. Incrementos

Una vez elegido el modelo (función de crecimiento), se procedió a obtener el incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA). Para calcular el ICA, se le sacó la primera derivada a la función de crecimiento; y para el IMA, se dividió dicha función entre la edad total del árbol.

C. Declinación del crecimiento

La edad de rotación se determinó en forma gráfica, es decir, la edad de corta o turno estará en el punto en donde las curvas de incremento corriente anual e incremento medio anual se intercepten, o sea, cuando el IMA es máximo.

5.4.2 Rendimiento

A. Función de rendimiento

De la información obtenida en cada una de las parcelas, se obtuvieron variables derivadas como: volumen (m^3/ha), edad (años), índice de sitio, densidad (No. árboles/ha) y área basal (m^2/ha). Con esta información, se procedió a establecer la relación entre el volumen y las variables edad, índice de sitio y área basal. Para ello se probaron modelos de regresión lineal múltiple, tomando como base el modelo generado por Schumacher y otras modificaciones de este modelo, que utilizan la edad, índice de sitio y área basal (función de la densidad); como variables predictoras para la estimación del rendimiento actual. Es decir, la variable dependiente e independientes son:

Variable dependiente: Volumen (m^3/ha)

Variables independientes: Edad (años), índice de sitio (m) y área basal (m^2/ha).

Los modelos que se evaluaron están relacionados con la fórmula básica del modelo de Schumacher, como se indica a continuación:

Fórmula básica del modelo de rendimiento de Schumacher:

$$\ln(V) = B_0 + B_1 \frac{I}{A} + B_2 f(S) + B_3 g(D_s)$$

Donde:

V: Rendimiento por unidad de área (m^3/ha)

A: Edad del rodal (años)

f(S): Función de índice de sitio (metros)

g(D_s): Función de densidad del rodal

B₀, B₁, B₂: Parámetros de regresión

ln: Logaritmo natural

Modelos derivados:

$$\ln(V) = B_0 - B_1 \frac{I}{S} - B_2 \frac{I}{A} + B_3 \ln(G)$$

$$\ln(V) = B_0 + B_1 S - B_2 \frac{I}{A} + B_3 \ln(G)$$

$$\ln(V) = B_0 + B_1 \ln(S) + B_2 \ln(G) - B_3 \frac{I}{A}$$

Donde:

V: Volumen (m³/ha)

A: Edad del rodal (años)

S: Índice de sitio (metros)

G: Area basal (m²/ha)

B₀, B₁, B₂, B₃: Parámetros de regresión

ln: Logaritmo natural

Estos modelos se corrieron en el paquete estadístico SAS.

Para elegir el modelo que proporcionó el mejor ajuste entre las variables, se utilizaron como estimadores:

a- Prueba de F (Análisis de Varianza)

b- Coeficiente de determinación (R²)

c- Distribución de residuales

B. Tablas de rendimiento

Con el modelo que se eligió, se elaboraron tablas de rendimiento para cada una de las calidades de sitio que se determinaron, donde el rendimiento (volumen m³/ha) está en función de la edad, índice de sitio y área basal.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

De acuerdo a lo propuesto en la metodología y para cumplir con los objetivos, en donde se definió estudiar el crecimiento y rendimiento en diferentes calidades de sitio, al efectuar el trabajo de campo se encontraron las calidades de sitio I, II y III; por lo que a continuación se presentan y discuten los resultados para cada una de ellas.

6.1 Estudio de Crecimiento

Entendiendo el crecimiento del árbol como el aumento gradual de las variables que se miden en él (altura, diámetro y volumen) (21), en los temas siguientes se muestra el crecimiento e incrementos en Altura, Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) y Volumen para *P. pseudostrobus*, en condiciones naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

La información se ha dividido de acuerdo a las calidades de sitio encontradas, estudiando dentro y entre cada una de ellas el comportamiento del crecimiento de las variables antes mencionadas.

6.1.1 Calidad de Sitio I

A. Funciones de crecimiento

Del análisis fustal se obtuvieron bases de datos de las variables edad, altura, diámetros (DAP) y volumen. Con estos datos se procedió a establecer las relaciones entre: edad-altura, edad-diámetro y edad-volumen, a través de análisis de regresión, para lo cual se probaron los modelos que se indican en el Cuadro 5; así mismo, en este cuadro se presentan los estimadores estadísticos para cada uno de los modelos evaluados, que permitieron seleccionar los modelos más adecuados para explicar la relación entre la edad y altura, DAP y volumen.

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para las relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio I; en el estudio de crecimiento para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

MODELO		Variable	CMee	F	R ²	CV (%)
1	$\ln Y = a + b \frac{1}{X^k}$	Altura	0.04772	3835.913**	0.9633	7.88
		DAP	0.03683	1845.221**	0.9471	5.97
		Volumen	0.12076	3888.146**	0.9739	-41.67
2	$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$	Altura	0.01833	5110.164**	0.9860	4.88
		DAP	0.03475	981.441**	0.9506	5.80
		Volumen	0.10372	2272.391**	0.9778	-0.3862
3	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$	Altura	11.66720	3155.088**	0.9775	12.33
		DAP	11.88102	956.177**	0.9494	16.97
		Volumen	544760.9	78.512**	0.6039	66.18
4	$Y = b_0 + b_1 \ln X$	Altura	18.47994	985.814**	0.8710	19.22
		DAP	38.41989	617.888**	0.8571	19.66
		Volumen	0.45361	216.602**	0.6756	54.09
5	$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$	Altura	7.89083	1252.827**	0.9453	12.56
		DAP	31.90901	382.991**	0.8825	17.91
		Volumen	0.12437	533.171**	0.9119	28.32
6	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$	Altura	14.50890	5044.873**	0.9719	13.75
		DAP	12.30005	1842.729**	0.9471	17.26
		Volumen	1191145.3	14.920**	0.1255	97.86
7	$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$	Altura	0.14822	1135.919**	0.8861	13.89
		DAP	0.07263	884.837**	0.8957	8.38
		Volumen	0.53654	794.490**	0.8843	-87.84
8	$Y = b_0 X^{b_1}$	Altura	0.09996	1754.941**	0.9232	11.41
		DAP	0.06007	1091.378**	0.9138	7.62
		Volumen	0.19101	2419.804**	0.9588	-52.41
9	$Y = b_0 b_1^X$	Altura	0.58914	176.524**	0.5473	27.70
		DAP	0.23639	200.498**	0.6606	15.13
		Volumen	1.29225	269.052**	0.7212	-136.32

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

Analizando los modelos para cada una de las variables, se puede observar que en todos existe variabilidad debido a la edad; existiendo significancia en la prueba de F.

Respecto al coeficiente de determinación (R^2), para las variables altura y DAP los valores más altos los presentan los modelos 1, 2, 3 y 6, en tanto que para el volumen son los modelos 1, 2 y 8; por lo que éstos son los más adecuados para explicar el comportamiento de las variables.

Otro aspecto que se utilizó para la selección del modelo fue la distribución de los residuales, en este sentido, para altura y DAP el modelo 6 fue el que mostró la mejor distribución, que aunque no tiene el R^2 más alto, si es bastante adecuado para explicar el comportamiento real de dichas variables en función de la edad. Para el volumen, la mejor distribución de residuales la presentó el modelo 2, que también posee el R^2 más alto (0.9778), siendo este el modelo que mejor se ajusta a la dispersión de valores reales.

Los modelos seleccionados para cada variable, son los siguientes:

a. Edad-Altura

$$H = \frac{E}{6.707323 + 0.024988E^2}$$

b. Edad-DAP

$$DAP = \frac{E}{5.617738 + 0.017989E^2}$$

c. Edad-Volumen

$$V = e^{(-10.965802 + 4.733262 \ln E - 0.409710(\ln E)^2)}$$

Donde:

E: Edad (años)

H: Altura (metros)

DAP: Diámetro a la altura del pecho sin corteza (cm)

V: Volumen sin corteza (m³)

ln: Logaritmo natural

e: Base del logaritmo natural

B. Incrementos

Como lo indica Lojan (21), el incremento es lo que crece un árbol en períodos sucesivos de tiempo.

Con los modelos seleccionados anteriormente, se procedió a calcular el valor de cada una de las variables (altura, DAP y volumen) en función de la edad, además, se obtuvieron los incrementos medio anual (IMA) y corriente anual (ICA), cuyos resultados se presentan en el Cuadro 6.

Los incrementos derivados de las funciones de crecimiento, se presentan a continuación:

a. Edad-Altura

$$IMA = \frac{H}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(6.707323 + 0.024988E^2) - E^2(2 \times 0.024988E)}{(6.707323 + 0.024988E^2)^2}$$

b. Edad-DAP

$$IMA = \frac{DAP}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(5.617738 + 0.017989E^2) - E^2(2 \times 0.017989E)}{(5.617738 + 0.017989E^2)^2}$$

Para el volumen, no se presentan las funciones de los incrementos, debido a que esta variable es mejor analizarla con información de rodales y no con árboles individuales, puesto que la misma es afectada por otras variables como la densidad.

Cuadro 6. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio I, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP			VOLUMEN V sc (m³)
	H (m)	IMA	ICA	DAP sc (cm)	IMA	ICA	
1	0.15	0.1485	0.2960	0.18	0.1774	0.3537	0.00002
2	0.59	0.2938	0.5790	0.70	0.3515	0.6941	0.00038
3	1.30	0.4328	0.8374	1.56	0.5191	1.0090	0.00191
4	2.25	0.5628	1.0623	2.71	0.6773	1.2886	0.00556
5	3.41	0.6819	1.2477	4.12	0.8241	1.5260	0.01217
6	4.73	0.7888	1.3910	5.75	0.9576	1.7173	0.02236
7	6.18	0.8825	1.4926	7.54	1.0771	1.8620	0.03664
8	7.70	0.9631	1.5553	9.45	1.1819	1.9617	0.05531
9	9.28	1.0308	1.5836	11.45	1.2721	2.0202	0.07857
10	10.86	1.0862	1.5828	13.48	1.3483	2.0426	0.10653
11	12.43	1.1304	1.5584	15.52	1.4113	2.0343	0.13922
12	13.97	1.1644	1.5157	17.54	1.4620	2.0012	0.17659
13	15.46	1.1894	1.4597	19.52	1.5015	1.9486	0.21856
14	16.89	1.2064	1.3945	21.44	1.5311	1.8814	0.26503
15	18.25	1.2166	1.3236	23.28	1.5519	1.8041	0.31584
16	19.54	1.2210	1.2499	25.04	1.5651	1.7201	0.37085
17	20.75	1.2205	1.1754	26.72	1.5717	1.6325	0.42988
18	21.89	1.2159	1.1019	28.31	1.5726	1.5436	0.49276
19	22.95	1.2080	1.0304	29.81	1.5687	1.4552	0.55930
20	23.95	1.1974	0.9617	31.22	1.5609	1.3687	0.62932
21	24.88	1.1846	0.8965	32.54	1.5497	1.2849	0.70263
22	25.74	1.1701	0.8349	33.79	1.5358	1.2046	0.77905
23	26.55	1.1543	0.7771	34.95	1.5198	1.1283	0.85841
24	27.30	1.1374	0.7231	36.05	1.5019	1.0560	0.94052
25	28.00	1.1198	0.6729	37.07	1.4827	0.9880	1.02522
26	28.65	1.1017	0.6263	38.02	1.4625	0.9242	1.11235
27	29.25	1.0833	0.5831	38.92	1.4414	0.8646	1.20173
28	29.81	1.0647	0.5431	39.75	1.4198	0.8089	1.29323
29	30.34	1.0461	0.5062	40.54	1.3978	0.7570	1.38669
30	30.83	1.0275	0.4721	41.27	1.3757	0.7087	1.48197
31	31.28	1.0091	0.4406	41.96	1.3534	0.6639	1.57893
32	31.71	0.9909	0.4116	42.60	1.3312	0.6222	1.67745
33	32.11	0.9729	0.3848	43.20	1.3091	0.5835	1.77739
34	32.48	0.9552	0.3600	43.77	1.2872	0.5476	1.87865
35	32.83	0.9379	0.3371	44.30	1.2656	0.5142	1.98110
36	33.15	0.9209	0.3160	44.80	1.2443	0.4832	2.08464
37	33.46	0.9043	0.2965	45.26	1.2234	0.4545	2.18917
38	33.75	0.8881	0.2784	45.71	1.2028	0.4277	2.29458
39	34.02	0.8722	0.2617	46.12	1.1826	0.4029	2.40079
40	34.27	0.8567	0.2462	46.51	1.1628	0.3798	2.50770
41	34.51	0.8417	0.2318	46.88	1.1434	0.3583	2.61523
42	34.73	0.8270	0.2184	47.23	1.1245	0.3383	2.72331
43	34.95	0.8127	0.2060	47.56	1.1060	0.3196	2.83185
44	35.15	0.7988	0.1945	47.87	1.0879	0.3022	2.94078
45	35.34	0.7852	0.1838	48.16	1.0703	0.2860	3.05003
46	35.51	0.7720	0.1738	48.44	1.0531	0.2709	3.15955
47	35.68	0.7592	0.1645	48.70	1.0363	0.2567	3.26926
48	35.84	0.7467	0.1558	48.95	1.0199	0.2435	3.37911
49	36.00	0.7346	0.1477	49.19	1.0039	0.2311	3.48904
50	36.14	0.7228	0.1402	49.42	0.9883	0.2195	3.59900

51	36.28	0.7113	0.1331	49.63	0.9732	0.2086	3.70895
52	36.41	0.7001	0.1264	49.83	0.9583	0.1984	3.81883
53	36.53	0.6892	0.1202	50.03	0.9439	0.1889	3.92859
54	36.65	0.6786	0.1144	50.21	0.9299	0.1799	4.03821
55	36.76	0.6683	0.1089	50.39	0.9161	0.1715	4.14763
56	36.86	0.6583	0.1038	50.56	0.9028	0.1635	4.25683
57	36.97	0.6485	0.0990	50.71	0.8897	0.1560	4.36576
58	37.06	0.6390	0.0944	50.87	0.8770	0.1490	4.47439
59	37.15	0.6297	0.0902	51.01	0.8646	0.1424	4.58268
60	37.24	0.6207	0.0861	51.15	0.8525	0.1361	4.69062

C. Declinación del crecimiento

Biológicamente, el punto en donde el incremento medio anual (IMA) es máximo, o sea, donde las curvas del IMA e ICA se interceptan, es la edad donde el crecimiento empieza a declinar, es decir, que más allá de esta edad los incrementos van disminuyendo.

En las Figuras 4, 5 y 6 se puede apreciar el patrón de crecimiento de cada una de las variables bajo estudio (altura, DAP y volumen), de la misma manera, se muestran las curvas del IMA e ICA.

En la Figura 4 se observa que el punto en donde el IMA en altura alcanza su valor máximo es a la edad de 16 años, que es donde las curvas de IMA e ICA se cruzan. Esta situación también se puede visualizar en el Cuadro 6, observando que a la edad de 16 años el IMA alcanza su máximo valor el cual es de 1.2210 m/año, en este punto el árbol tiene una altura de 19.54m.

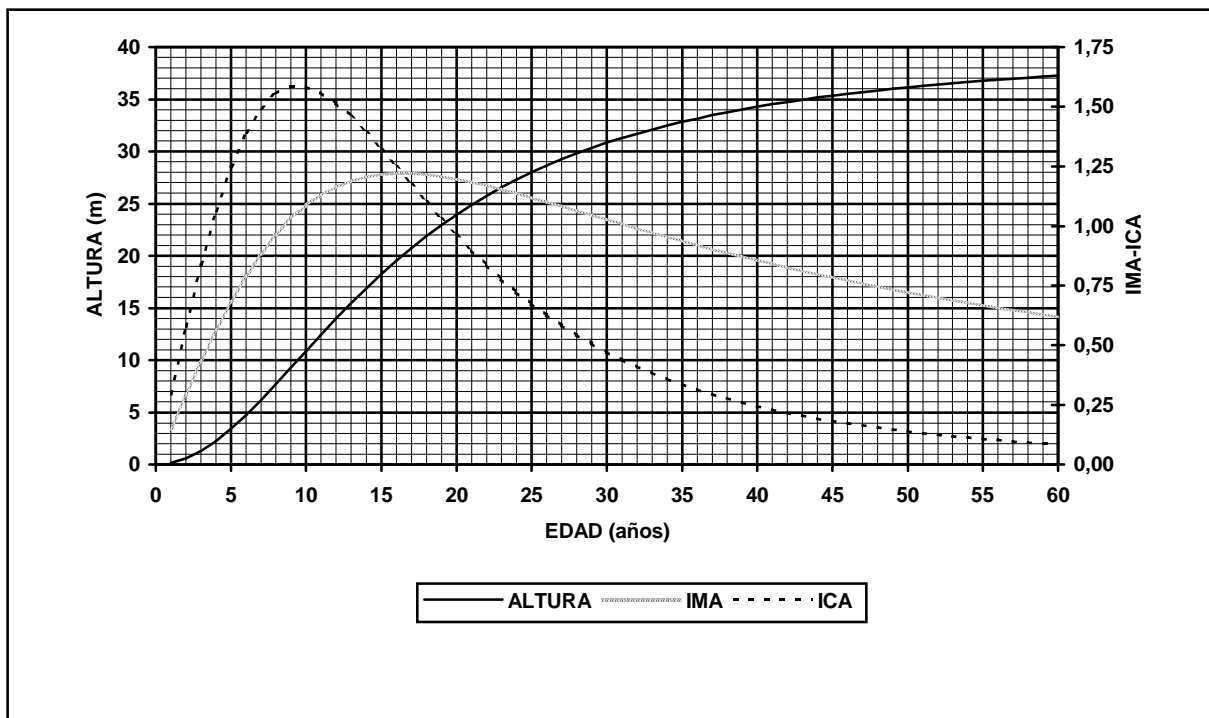


Figura 4. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m) para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio I.

Para la variable DAP (Figura 5), la edad en donde las curvas de IMA e ICA se cruzan es a los 18 años, al observar los valores del Cuadro 6, a esta edad el IMA alcanza su máximo valor (1.5726 cm/año), teniendo un DAP sin corteza de 28.31 cm.

Al comparar la declinación del crecimiento de las variables altura y DAP, se ve que la variable altura llega más rápido, lo cual es normal ya que la misma no está influenciada por la densidad, como si lo está el DAP por lo que requiere de más tiempo para llegar a su máxima expresión.

Determinar la declinación del crecimiento es importante, ya que esto permite proyectar el tiempo en que se obtendrá el producto deseado de acuerdo a los objetivos de la actividad forestal. Por ejemplo, si el objetivo es producir postes, trozas para pulpa u otro tipo de producto que no necesita de grandes dimensiones, se puede estimar a qué edad se va alcanzar la producción sabiendo la edad en la que los incrementos en altura y DAP empiezan a disminuir y ya no son tan significativos.

Los datos a partir de los cuales se generaron las funciones de crecimiento, se obtuvieron en árboles de bosques naturales, en los cuales por lo general no ha existido manejo, por lo que al existir un manejo adecuado se pueden alcanzar mayores valores que los estimados. Por ejemplo, si para la variable DAP, el valor alcanzado a la edad de 18 años es de 28.31 cm, con manejo la dimensión del DAP puede ser mayor. Esta consideración es importante tomarla en cuenta ya que es una de las restricciones de la investigación.

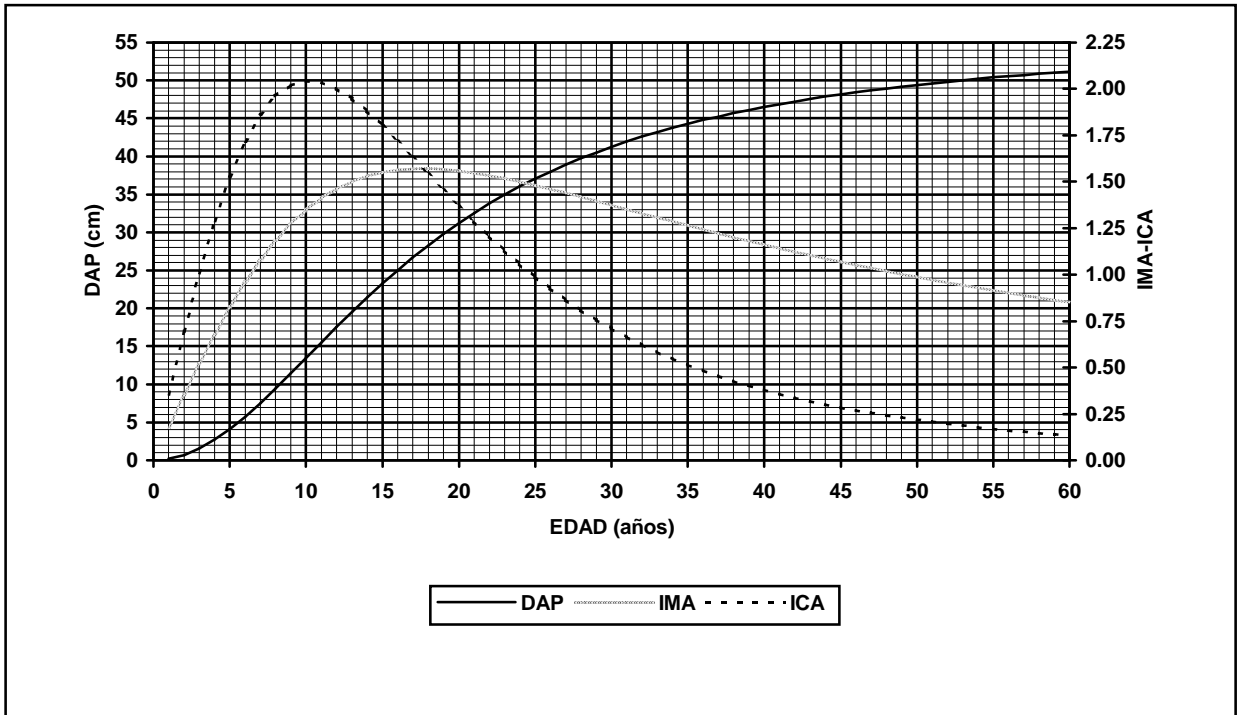


Figura 5. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm) para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio I.

La Figura 6 presenta el patrón de crecimiento en volumen. Para esta variable, no se calcularon ni se graficaron las curvas del IMA e ICA, puesto que la función de crecimiento no decrece, lo cual no permite determinar el punto en donde las curvas de IMA e ICA se cruzan. Esta situación se explica por el hecho de que al analizar los árboles en forma individual, no como rodal, el área basal tiene una contribución considerable para el cálculo del volumen, por lo que con un pequeño incremento en diámetro (a partir del cual se calcula el área basal), el crecimiento en volumen es significativo.

Conviene indicar que cuando el objetivo es la producción de madera para aserrío, donde se necesitan trozas con mayores dimensiones, entonces debe considerarse el crecimiento en volumen por unidad de área, y determinar la edad en donde dicho crecimiento empieza a declinar (edad de rotación o turno).

Puesto que el DAP, es la variable que tiene mayor influencia sobre el volumen y que es influenciado por la densidad, es importante tomar en cuenta la consideración efectuada para dicha variable; es decir, los datos obtenidos corresponden a bosques en condiciones naturales, generalmente sin manejo; por lo que al establecer plantaciones bajo un manejo adecuado las dimensiones de estas variables pueden aumentar, y mejorar la calidad del producto.

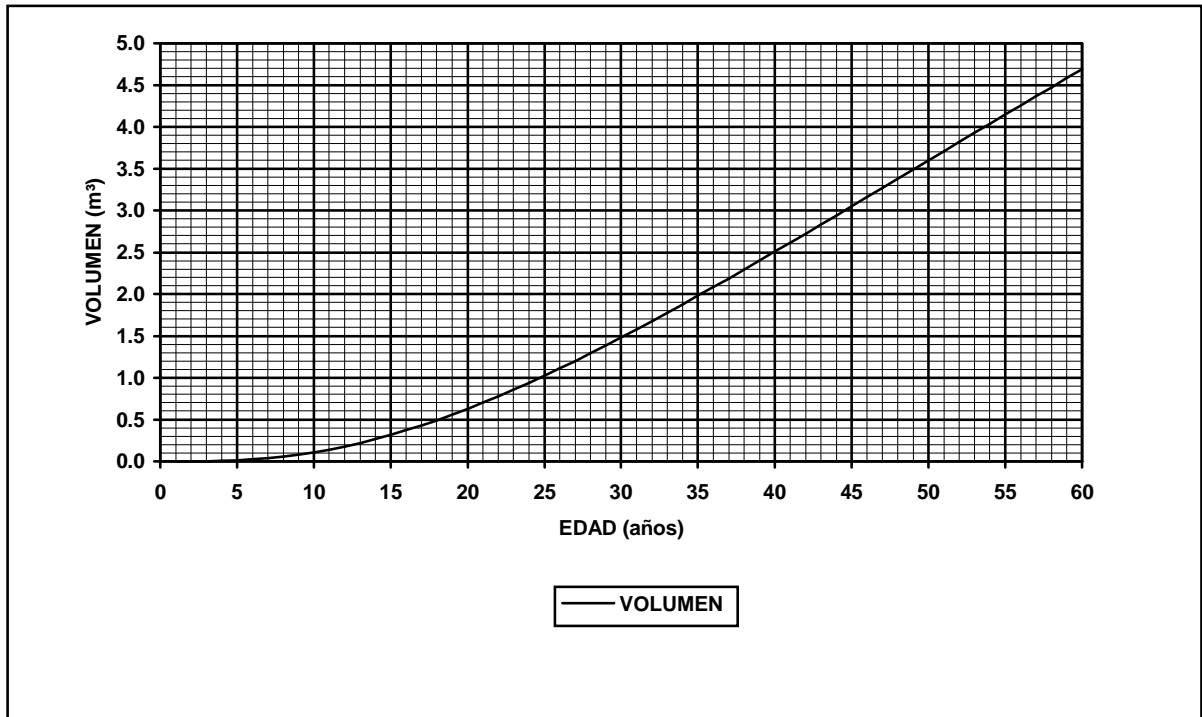


Figura 6. Función de crecimiento de volumen sin corteza (m^3) para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio I.

6.1.2 Calidad de Sitio II

A. Funciones de crecimiento

Así como se indica en la calidad de sitio I, del análisis fustal se obtuvo la base de datos de las variables edad, altura, diámetros (DAP) y volumen. Con estos datos se procedió a establecer las relaciones entre: edad-altura, edad-diámetro y edad-volumen, a través de análisis de regresión, para lo cual se probaron los modelos matemáticos que se indican en el Cuadro 7; además, en este cuadro se presentan los resultados del análisis de varianza para cada uno de los modelos evaluados.

Cuadro 7. Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para las relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio II; en el estudio de crecimiento para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

MODELO		Variable	CMee	Fc	R ²	CV (%)
1	$\ln Y = a + b \frac{1}{X^k}$	Altura	0.02762	10337.721**	0.9834	6.68
		DAP	0.06344	1526.461**	0.9311	8.45
		Volumen	0.27884	2470.780**	0.9555	-34.04
2	$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$	Altura	0.01905	7533.709**	0.9886	5.54
		DAP	0.06100	796.514**	0.9343	8.28
		Volumen	0.25925	1333.436**	0.9590	-32.82
3	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$	Altura	12.88778	5373.505**	0.9841	9.83
		DAP	22.62231	649.792**	0.9207	18.84
		Volumen	20386757.2	48.453**	0.4595	129.86
4	$Y = b_0 + b_1 \ln X$	Altura	14.60156	990.137**	0.8498	21.12
		DAP	43.65332	532.916**	0.8251	24.71
		Volumen	0.34793	162.719**	0.5859	70.46
5	$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$	Altura	3.32817	2468.881**	0.9660	10.08
		DAP	30.46451	406.774**	0.8790	20.65
		Volumen	0.13221	308.416**	0.8440	43.43
6	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$	Altura	18.17632	7568.461**	0.9774	11.67
		DAP	23.41039	1251.065**	0.9172	19.16
		Volumen	32843774.4	15.914**	0.1216	164.83
7	$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$	Altura	0.16583	1575.980**	0.9001	16.36
		DAP	0.12278	734.161**	0.8666	11.75
		Volumen	1.17476	498.698**	0.8126	-69.87
8	$Y = b_0 X^{b_1}$	Altura	0.07087	3922.141**	0.9573	10.69
		DAP	0.08318	1137.388**	0.9096	9.67
		Volumen	0.29812	2303.324**	0.9524	-35.20
9	$Y = b_0 b_1^X$	Altura	0.69751	241.280**	0.5796	33.55
		DAP	0.30295	230.327**	0.6709	18.46
		Volumen	1.71308	305.846**	0.7267	-84.37

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

El análisis de varianza de los modelos, para cada variable, indica que en todos hay significancia en la prueba de F, por lo que existe variabilidad debido a la edad.

Respecto al coeficiente de determinación (R²), los valores más altos los presentan los modelos 1, 2 3 y 6, por lo que éstos son los más adecuados para explicar el comportamiento de las variables.

La mejor distribución de residuales la presenta el modelo 6, que aunque no tiene el R² más alto, si es bastante adecuado para explicar el comportamiento de la altura en función de la edad, por lo que fue el modelo seleccionado

Para la variable DAP se presenta la misma situación anterior, siendo el modelo 6 el que mejor explica el comportamiento del DAP en función de la edad.

Respecto al volumen, en el Cuadro 7 se puede observar que en todos los modelos la prueba de F es altamente significativa, por lo que existe variabilidad en el volumen debido a la edad. Los valores más altos del coeficiente (R^2) de determinación los presentan los modelos 1, 2 y 8. Sin embargo, la mejor distribución de residuales la presenta el modelo 2, que también posee el R^2 más alto (0.9590), siendo este el modelo que mejor se ajusta a la dispersión de valores reales.

B. Incrementos

Con los modelos seleccionados, se procedió a calcular el valor de cada una de las variables (altura, DAP y volumen) en función de la edad, asimismo, se obtuvieron los incrementos medio anual (IMA) y corriente anual (ICA), cuyos resultados se presentan en el Cuadro 8.

A continuación se presentan las funciones de crecimiento y los incrementos derivados de ellas:

a. Edad-Altura

$$H = \frac{E}{9.612541 + 0.030237E^2}$$

$$IMA = \frac{H}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(9.612541 + 0.030237E^2) - E^2(2 \times 0.030237E)}{(9.612541 + 0.030237E^2)^2}$$

b. Edad-Dap

$$DAP = \frac{E}{10.114146 + 0.017628E^2}$$

$$IMA = \frac{DAP}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(10.114146 + 0.017628E^2) - E^2(2 \times 0.017628E)}{(10.114146 + 0.017628E^2)^2}$$

c. Edad-Volumen

$$V = e^{(-12.046440 + 4.385073 \ln E - 0.264838 (\ln E)^2)}$$

Donde:

E: Edad (años)

H: Altura (metros)

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho sin corteza (cm)

V: Volumen sin corteza (m³)

ln: Logaritmo natural

e: Base del logaritmo natural

Cuadro 8. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio II, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP			VOLUMEN
	H (m)	IMA	ICA	DAP SC (cm)	IMA	ICA	V SC (m ³)
1	0.10	0.1037	0.2068	0.10	0.0987	0.1971	0.00001
2	0.41	0.2055	0.4058	0.39	0.1964	0.3900	0.00011

3	0.91	0.3035	0.5903	0.88	0.2920	0.5750	0.00053
4	1.58	0.3962	0.7544	1.54	0.3848	0.7486	0.00154
5	2.41	0.4822	0.8941	2.37	0.4737	0.9079	0.00343
6	3.36	0.5607	1.0073	3.35	0.5582	1.0505	0.00648
7	4.42	0.6310	1.0934	4.46	0.6376	1.1749	0.01093
8	5.54	0.6928	1.1534	5.69	0.7116	1.2804	0.01702
9	6.72	0.7462	1.1893	7.02	0.7798	1.3666	0.02497
10	7.91	0.7914	1.2040	8.42	0.8420	1.4340	0.03496
11	9.12	0.8289	1.2007	9.88	0.8982	1.4835	0.04716
12	10.31	0.8592	1.1827	11.38	0.9484	1.5163	0.06171
13	11.48	0.8830	1.1530	12.91	0.9929	1.5339	0.07876
14	12.61	0.9010	1.1147	14.44	1.0317	1.5381	0.09842
15	13.71	0.9138	1.0701	15.98	1.0653	1.5304	0.12080
16	14.75	0.9220	1.0215	17.50	1.0939	1.5128	0.14598
17	15.75	0.9264	0.9705	19.00	1.1178	1.4867	0.17404
18	16.69	0.9274	0.9186	20.47	1.1374	1.4538	0.20506
19	17.59	0.9256	0.8668	21.91	1.1531	1.4155	0.23909
20	18.43	0.9213	0.8160	23.30	1.1651	1.3730	0.27618
21	19.22	0.9151	0.7667	24.65	1.1740	1.3275	0.31638
22	19.96	0.9073	0.7194	25.96	1.1799	1.2800	0.35973
23	20.66	0.8982	0.6743	27.21	1.1832	1.2312	0.40625
24	21.31	0.8879	0.6316	28.42	1.1841	1.1818	0.45598
25	21.92	0.8769	0.5913	29.58	1.1831	1.1325	0.50892
26	22.49	0.8651	0.5534	30.68	1.1802	1.0836	0.56510
27	23.03	0.8529	0.5180	31.74	1.1757	1.0356	0.62452
28	23.53	0.8404	0.4849	32.76	1.1699	0.9887	0.68720
29	24.00	0.8276	0.4540	33.72	1.1628	0.9432	0.75313
30	24.44	0.8146	0.4253	34.64	1.1548	0.8991	0.82232
31	24.85	0.8016	0.3985	35.52	1.1458	0.8567	0.89476
32	25.24	0.7887	0.3737	36.36	1.1362	0.8160	0.97045
33	25.60	0.7757	0.3506	37.15	1.1259	0.7770	1.04939
34	25.94	0.7629	0.3291	37.91	1.1150	0.7397	1.13155
35	26.26	0.7502	0.3092	38.63	1.1038	0.7042	1.21694
36	26.56	0.7377	0.2906	39.32	1.0922	0.6703	1.30553
37	26.84	0.7254	0.2734	39.97	1.0804	0.6381	1.39731
38	27.10	0.7133	0.2574	40.60	1.0683	0.6076	1.49227
39	27.35	0.7014	0.2425	41.19	1.0562	0.5786	1.59038
40	27.59	0.6898	0.2287	41.75	1.0439	0.5511	1.69163
41	27.81	0.6783	0.2158	42.29	1.0315	0.5250	1.79601
42	28.02	0.6672	0.2038	42.81	1.0192	0.5003	1.90347
43	28.22	0.6563	0.1926	43.29	1.0068	0.4769	2.01402
44	28.41	0.6456	0.1821	43.76	0.9945	0.4547	2.12762
45	28.58	0.6352	0.1724	44.20	0.9823	0.4337	2.24425
46	28.75	0.6251	0.1633	44.63	0.9702	0.4139	2.36388
47	28.91	0.6151	0.1548	45.03	0.9581	0.3951	2.48650
48	29.06	0.6055	0.1468	45.42	0.9462	0.3773	2.61207
49	29.21	0.5960	0.1394	45.79	0.9344	0.3605	2.74058
50	29.34	0.5868	0.1324	46.14	0.9228	0.3445	2.87199
51	29.47	0.5778	0.1259	46.48	0.9113	0.3294	3.00628
52	29.59	0.5691	0.1197	46.80	0.9000	0.3151	3.14343
53	29.71	0.5606	0.1140	47.11	0.8888	0.3015	3.28340
54	29.82	0.5522	0.1086	47.40	0.8778	0.2886	3.42618
55	29.93	0.5441	0.1035	47.68	0.8670	0.2764	3.57173
56	30.03	0.5362	0.0987	47.95	0.8563	0.2649	3.72002
57	30.12	0.5285	0.0942	48.21	0.8459	0.2539	3.87104
58	30.22	0.5210	0.0900	48.46	0.8356	0.2435	4.02475
59	30.30	0.5136	0.0860	48.70	0.8254	0.2336	4.18112
60	30.39	0.5065	0.0822	48.93	0.8155	0.2242	4.34014

C. Declinación del crecimiento

En las Figuras 7, 8 y 9 se puede apreciar el patrón de crecimiento de cada de las variables altura, DAP y volumen, de la misma manera, se muestran las curvas del IMA e ICA.

En la Figura 7, se observa que el punto en donde el IMA en altura alcanza su valor máximo es a la edad de 18 años, que es donde las curvas de IMA e ICA se cruzan. Esto también se visualiza en el Cuadro 8, en donde a la edad de 18 años el IMA el máximo, teniendo un valor de 0.9274 m/año y una altura de 16.69m.

Al comparar los resultados, para la variable altura, de las calidades I y II, en la calidad de sitio I el punto en donde el IMA es máximo se alcanza a una edad más temprana (16 años) mientras que en la calidad de sitio II se extiende a los 18 años. Además, los incrementos en la calidad de sitio I son mayores que en la II, así, a la edad donde declina el crecimiento para la calidad de sitio I el IMA tiene un valor de 1.221 m/año, en tanto que para la calidad de sitio II el valor es de 0.9274 m/año, el crecimiento en altura en este punto para las dos calidades de sitio es de 19.54 m y 16.69 m respectivamente.

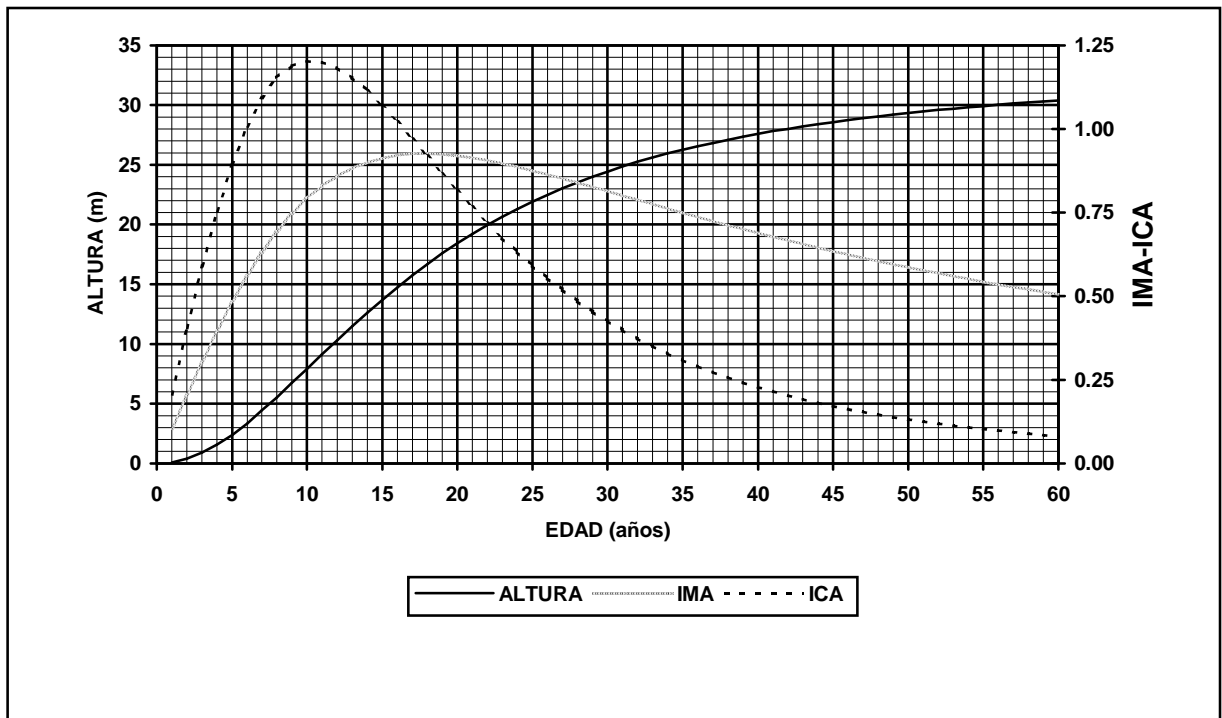


Figura 7. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio II.

En la Figura 8 se observa que la edad en donde las curvas de IMA e ICA se interceptan es a los 24 años, al observar los valores del Cuadro 8, a esta edad es cuando el IMA alcanza su valor más alto (1.1841 cm/año), correspondiéndole un DAP sin corteza de 28.42 cm.

Al comparar las edades de declinación de crecimiento para las variables altura y DAP, se presenta la misma situación que en la calidad de sitio I, ya que la variable altura llega más rápido a su punto máximo (18 años) en tanto que para el DAP es más tardado (24 años).

Asimismo, es importante efectuar una comparación de los valores del DAP entre las calidades de sitio I y II. Para la calidad de sitio I, los incrementos en DAP son mayores, además, el punto en donde el IMA tiene su valor más alto se alcanza a una menor edad (18 años), mientras que para la calidad de sitio II para alcanzar ese punto máximo se tiene que esperar 6 años más (24 años); en la calidad de sitio I el IMA es de 1.5726 cm/año con un DAP sin corteza de 28.31, en tanto que para la calidad de sitio II el IMA máximo es de 1.1841 cm/año y el DAP es de 28.42. Aunque no hay diferencias entre los valores del DAP para ambas calidades de sitio, la diferencia significativa es que dichos valores se alcanzan a diferentes edades.

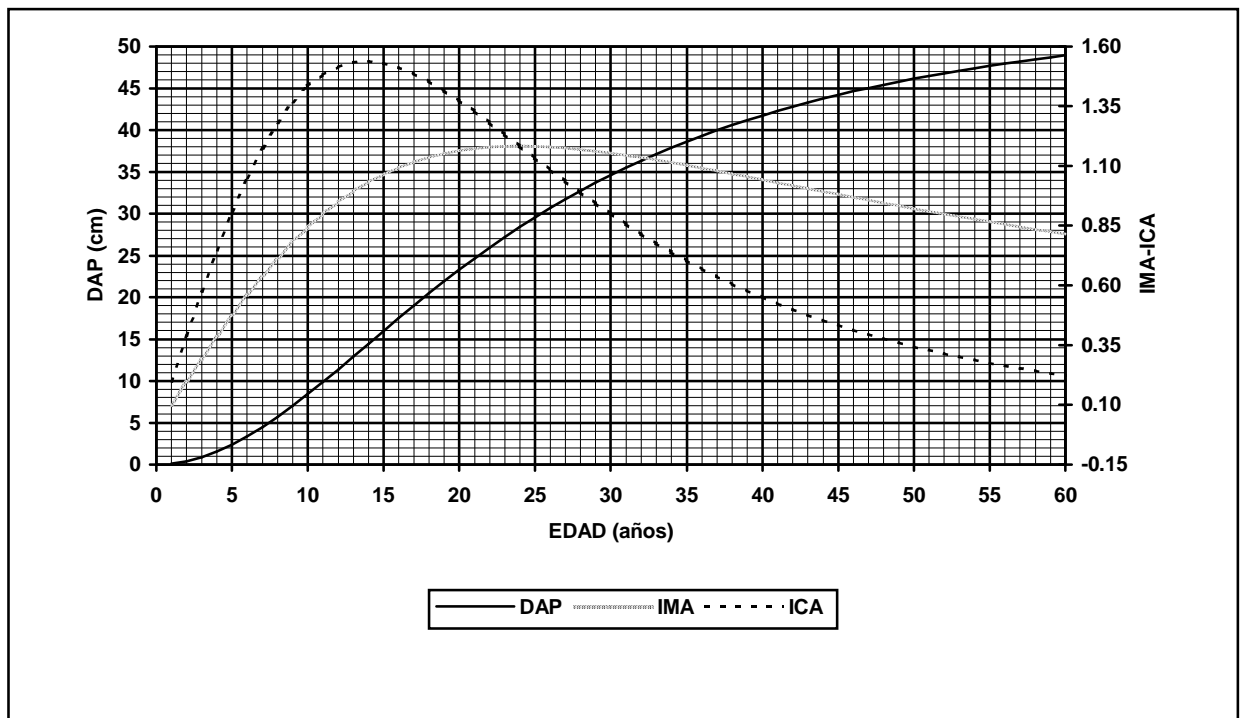


Figura 8. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio II.

La Figura 9 muestra el patrón de crecimiento en volumen. Como se explica en la calidad de sitio I, para esta variable, no se calcularon ni graficaron las curvas del IMA e ICA, puesto que la función de crecimiento no decrece, lo cual no permite determinar el punto en donde las curvas de IMA e ICA se cruzan, o sea, la edad de declinación del crecimiento.

En el Cuadro 8, se presentan los valores de volumen obtenidos a través del modelo matemático seleccionado.

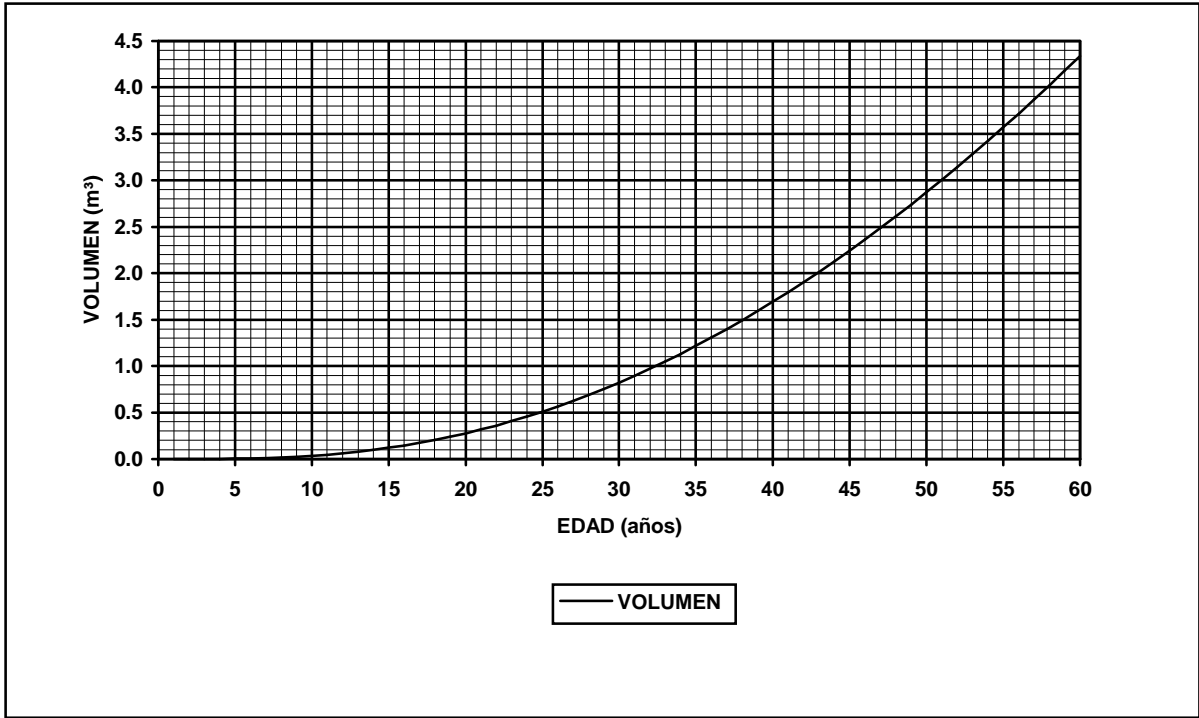


Figura 9. Función de crecimiento de Volumen sin corteza (m³), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio II.

6.1.3 Calidad de Sitio III

A. Funciones de crecimiento

En el Cuadro 9 se presentan los resultados del análisis de varianza de los modelos evaluados, para establecer las relaciones entre: edad-altura, edad-diámetro y edad-volumen.

Cuadro 9. Resumen del análisis de varianza de los modelos evaluados para las relaciones edad-altura, edad-DAP y edad-volumen, calidad de sitio III; en el estudio de crecimiento para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

MODELO	Variable	CMee	F	R ²	CV (%)	
1	ln Y = a + b $\frac{1}{X^k}$	Altura	0.08105	2714.088**	0.9566	11.87
		DAP	0.04395	2435.777**	0.9486	7.05

		Volumen	0.29430	3095.893**	0.9579	-32.44
2	$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$	Altura	0.01092	10471.415**	0.9942	4.36
		DAP	0.04088	1314.803**	0.9525	6.80
		Volumen	0.29616	1538.291**	0.9580	-32.54
3	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$	Altura	18.83458	5623.217**	0.9893	8.07
		DAP	35.99966	907.048**	0.9327	14.88
		Volumen	106597295.8	50.686**	0.4289	151.61
4	$Y = b_0 + b_1 \ln X$	Altura	15.74698	640.648**	0.8389	22.89
		DAP	32.53097	781.814**	0.8556	21.89
		Volumen	0.30971	189.231**	0.5818	69.29
5	$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$ $Y = b_0 X^2$	Altura	2.15632	2727.345**	0.9781	8.47
		DAP	17.19230	799.052**	0.9242	15.91
		Volumen	0.03737	4940.636**	0.9730	24.07
6	$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$	Altura	35.32201	5938.931**	0.9797	11.05
		DAP	40.49350	1597.235**	0.9237	15.78
		Volumen	159245227.9	22.225**	0.1405	185.30
7	$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$	Altura	0.18947	1090.639**	0.8987	18.15
		DAP	0.13676	693.234**	0.8400	12.44
		Volumen	1.88023	369.867**	0.7312	-82.00
8	$Y = b_0 X^{b_1}$	Altura	0.04500	4987.283**	0.9759	8.85
		DAP	0.05339	1981.710**	0.9376	7.77
		Volumen	0.29752	3060.959**	0.9575	-32.62
9	$Y = b_0 b_1^X$	Altura	0.74042	187.564**	0.6039	35.88
		DAP	0.22709	364.985**	0.7344	16.03
		Volumen	1.64078	443.692**	0.7654	-76.60

** : Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

El análisis de varianza de los modelos para las tres variables, indica que existe significancia en la prueba de F, por lo que hay variabilidad en altura, DAP y volumen debido a la edad.

Respecto al coeficiente de determinación (R^2), para la variable altura, los valores más altos los presentan los modelos 2, 3, 5, 6 y 8. Al graficar la distribución de residuales, se pudo establecer que el modelo 6 presenta la mejor dispersión, que aunque no tiene el R^2 más alto (0.9797), es el modelo que mejor se ajusta a la dispersión de valores reales, en consecuencia es el modelo seleccionado.

Para el DAP, los modelos 1, 2, 3, 5, 6 y 8 son los que presentan los coeficientes de determinación más altos, siendo el modelo 6 el que mejor explica el comportamiento del DAP en función de la edad, es decir, que al igual que para la variable altura, es el modelo seleccionado.

Respecto al volumen, los valores más altos del coeficiente de determinación (R^2) los presentan los modelos 1, 2, 5 y 8. Sin embargo, la mejor distribución de residuales y el que mejor se ajusta a la dispersión de los valores reales es el modelo 5, el cual es una modificación del modelo cuadrático ya que se ha eliminado el intercepto y efecto lineal; además, dicho modelo posee el R^2 más alto (0.9730), siendo éste el modelo seleccionado.

B. Incrementos

Con los modelos seleccionados, se calculó el valor de las variables altura, DAP y volumen en función de la edad, asimismo, se obtuvieron los incrementos medio anual (IMA) y corriente anual (ICA), cuyos resultados se presentan en el Cuadro 10.

A continuación se presentan las funciones de crecimiento y los incrementos derivados de ellas:

a. Edad-Altura

$$H = \frac{E}{13.608091 + 0.031158E^2}$$

$$IMA = \frac{H}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(13.608091 + 0.031158E^2) - E^2(2 \times 0.031158E)}{(13.608091 + 0.031158E^2)^2}$$

b. Edad-DAP

$$DAP = \frac{E}{16.898717 + 0.017628E^2}$$

$$IMA = \frac{DAP}{E}$$

$$ICA = \frac{2E(16.898717 + 0.017628E^2) - E^2(2 \times 0.017628E)}{(16.898717 + 0.017628E^2)^2}$$

c. Edad-Volumen

$$V = 0.000644E^2$$

Donde:

E: Edad (años)

H: Altura (metros)

DAP: Diámetro a la Altura del Pecho sin corteza (cm)

V: Volumen sin corteza (m³)

Cuadro 10. Crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), en altura (H), diámetro a la altura del pecho (DAP) y crecimiento en volumen (V); calidad de sitio III, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololá.

EDAD (años)	ALTURA			DAP		VOLUMEN	
	H (m)	IMA	ICA	DAP SC (cm)	IMA	ICA	V SC (m ³)
1	0.07	0.0733	0.1463	0.06	0.0591	0.1181	0.00064
2	0.29	0.1456	0.2886	0.24	0.1179	0.2347	0.00258
3	0.65	0.2160	0.4233	0.53	0.1759	0.3485	0.00580
4	1.13	0.2836	0.5471	0.93	0.2328	0.4580	0.01030
5	1.74	0.3475	0.6574	1.44	0.2884	0.5621	0.01610
6	2.44	0.4073	0.7526	2.05	0.3422	0.6596	0.02318
7	3.24	0.4625	0.8317	2.76	0.3941	0.7498	0.03156

8	4.10	0.5127	0.8944	3.55	0.4438	0.8320	0.04122
9	5.02	0.5579	0.9412	4.42	0.4911	0.9057	0.05216
10	5.98	0.5979	0.9731	5.36	0.5359	0.9705	0.06440
11	6.96	0.6330	0.9913	6.36	0.5780	1.0264	0.07792
12	7.96	0.6632	0.9975	7.41	0.6174	1.0735	0.09274
13	8.95	0.6888	0.9932	8.50	0.6540	1.1120	0.10884
14	9.94	0.7101	0.9803	9.63	0.6878	1.1421	0.12622
15	10.91	0.7275	0.9603	10.78	0.7189	1.1645	0.14490
16	11.86	0.7413	0.9347	11.96	0.7473	1.1795	0.16486
17	12.78	0.7518	0.9048	13.14	0.7730	1.1878	0.18612
18	13.67	0.7594	0.8719	14.33	0.7961	1.1900	0.20866
19	14.52	0.7644	0.8370	15.52	0.8168	1.1867	0.23248
20	15.34	0.7671	0.8008	16.70	0.8351	1.1784	0.25760
* 21	16.13	0.7679	0.7641	17.87	0.8511	1.1659	0.28400
22	16.87	0.7669	0.7275	19.03	0.8651	1.1497	0.31170
23	17.58	0.7644	0.6913	20.17	0.8771	1.1304	0.34068
24	18.25	0.7606	0.6560	21.29	0.8872	1.1084	0.37094
25	18.89	0.7557	0.6217	22.39	0.8955	1.0842	0.40250
26	19.50	0.7499	0.5887	23.46	0.9023	1.0583	0.43534
27	20.07	0.7433	0.5570	24.50	0.9076	1.0311	0.46948
28	20.61	0.7361	0.5267	25.52	0.9115	1.0028	0.50490
29	21.12	0.7284	0.4980	26.51	0.9141	0.9739	0.54160
30	21.61	0.7203	0.4707	27.47	0.9156	0.9445	0.57960
** 31	22.07	0.7118	0.4448	28.40	0.9161	0.9150	0.61888
32	22.50	0.7031	0.4204	29.30	0.9156	0.8854	0.65946
33	22.91	0.6942	0.3974	30.17	0.9142	0.8560	0.70132
34	23.29	0.6851	0.3757	31.01	0.9121	0.8270	0.74446
35	23.66	0.6760	0.3553	31.82	0.9093	0.7983	0.78890
36	24.00	0.6668	0.3361	32.61	0.9058	0.7702	0.83462
37	24.33	0.6576	0.3181	33.36	0.9017	0.7428	0.88164
38	24.64	0.6485	0.3012	34.09	0.8972	0.7160	0.92994
39	24.93	0.6394	0.2853	34.80	0.8922	0.6899	0.97952
40	25.21	0.6303	0.2703	35.47	0.8868	0.6645	1.03040
41	25.48	0.6214	0.2563	36.13	0.8811	0.6400	1.08256
42	25.73	0.6125	0.2431	36.75	0.8751	0.6162	1.13602
43	25.96	0.6038	0.2307	37.36	0.8688	0.5933	1.19076
44	26.19	0.5952	0.2191	37.94	0.8623	0.5711	1.24678
45	26.40	0.5867	0.2082	38.50	0.8556	0.5498	1.30410
46	26.60	0.5783	0.1979	39.04	0.8487	0.5292	1.36270
47	26.80	0.5701	0.1882	39.56	0.8417	0.5095	1.42260
48	26.98	0.5621	0.1791	40.06	0.8346	0.4904	1.48378
49	27.15	0.5542	0.1706	40.54	0.8274	0.4722	1.54624
50	27.32	0.5464	0.1625	41.00	0.8201	0.4546	1.61000
51	27.48	0.5388	0.1549	41.45	0.8128	0.4378	1.67504
52	27.63	0.5314	0.1478	41.88	0.8054	0.4216	1.74138
53	27.78	0.5241	0.1410	42.29	0.7980	0.4061	1.80900
54	27.91	0.5169	0.1347	42.69	0.7906	0.3912	1.87790
55	28.05	0.5099	0.1287	43.08	0.7832	0.3769	1.94810
56	28.17	0.5031	0.1230	43.45	0.7758	0.3633	2.01958
57	28.29	0.4963	0.1176	43.80	0.7685	0.3502	2.09236
58	28.41	0.4898	0.1126	44.15	0.7612	0.3376	2.16642
59	28.52	0.4833	0.1078	44.48	0.7539	0.3256	2.24176
60	28.62	0.4770	0.1032	44.80	0.7466	0.3140	2.31840

C. Declinación del crecimiento

Las Figuras 10, 11 y 12 muestran el patrón de crecimiento de cada una de las variables en estudio, de la misma manera, se presentan las curvas del IMA e ICA.

En la Figura 10, se observa que el punto en donde el IMA en altura alcanza su valor máximo es a la edad de 21 años (declinación), que es donde las curvas de IMA e ICA se cruzan. Esto también se ve en el Cuadro 10, en donde a la edad de 21 años el IMA tiene un valor de 0.7679 m/año y una altura de 16.13 m.

Al comparar los resultados, para la variable altura, de las calidades I, II y III; en la calidad de sitio I el punto en donde el IMA es máximo se alcanza a una edad más temprana (16 años), en la calidad de sitio II es a los 18 años y para la III se extiende hasta los 21 años. Además, en la calidad de sitio I se tienen los mayores incrementos y los más bajos en la calidad de sitio III. Así, a la edad donde declina el crecimiento para la calidad de sitio I el IMA tiene un valor de 1.221 m/año, para la calidad de sitio II el valor es de 0.9274 m/año y para la III es de 0.7679 m/año, el crecimiento en altura en este punto para las tres calidades de sitio es de 19.54 m, 16.69 m y 16.13 m respectivamente.

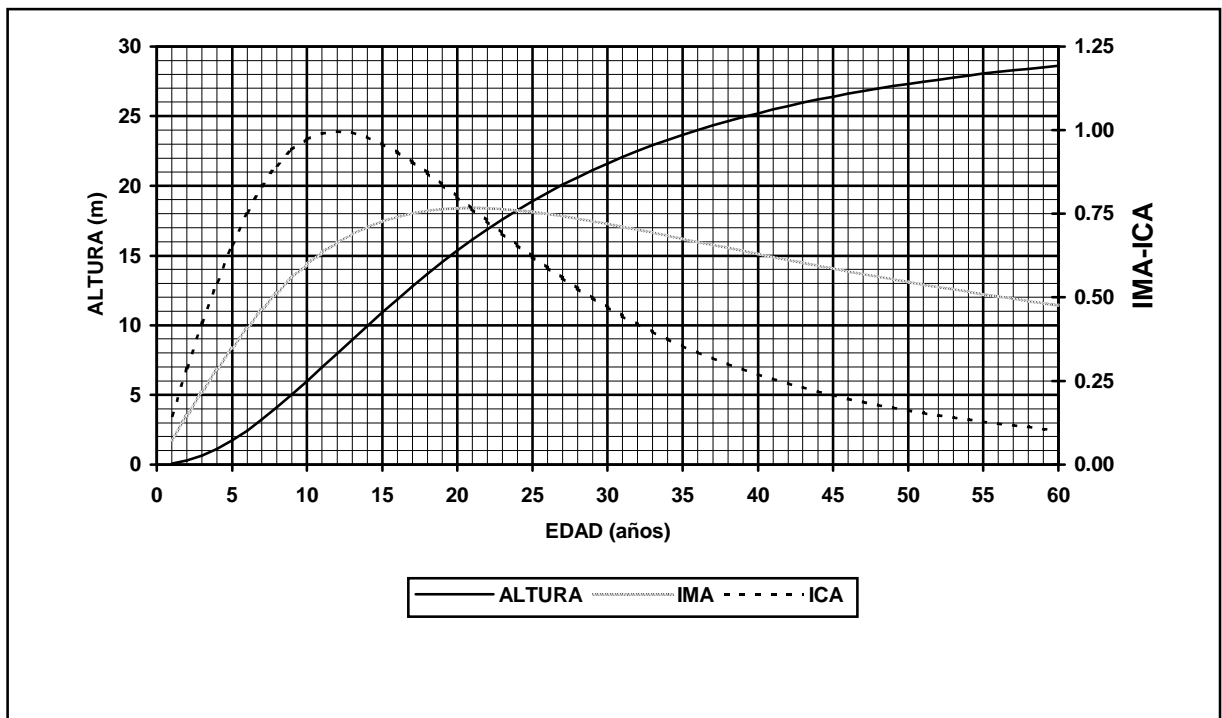


Figura 10. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en altura (m), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio III.

En la Figura 11 se presentan las curvas de crecimiento, IMA e ICA para el DAP, observándose que la edad en donde las curvas de IMA e ICA se interceptan es a los 31 años; a esta edad es cuando el IMA alcanza su valor más alto (0.9161 cm/año), correspondiéndole un DAP sin corteza de 28.40 cm (Ver Cuadro 10).

Al comparar la edad de declinación del crecimiento de las variables altura y DAP, se presenta la misma situación que en las calidades de sitio I y II, ya que la variable altura llega más rápido a su punto máximo (21 años) en tanto que para el DAP es más tardado (31 años).

Al mismo tiempo, es importante efectuar una comparación de los valores del DAP entre las calidades de sitio I II y III. En la calidad de sitio I los incrementos en DAP son mayores, además, el punto en donde el IMA tiene su valor más alto se alcanza a una menor edad (18 años), en la calidad de sitio II ese punto máximo se alcanza a los 24 años) y en III hasta los 31 años. A la edad donde declina el crecimiento, en la calidad de sitio I el IMA es de 1.5726 cm/año con un DAP sin corteza de 28.31, para la calidad de sitio II el IMA máximo es de 1.1841 cm/año y el DAP sin corteza es de 28.42 y para la calidad de sitio III el valor más alto de IMA es de 0.9161 cm/año con un DAP sin corteza de 28.40 cm. Aunque no hay diferencias entre los valores del DAP a la edad de declinación para las tres calidades de sitio, la diferencia significativa es que dichos valores se alcanzan a diferentes edades, a intervalos de 6 y 7 años.

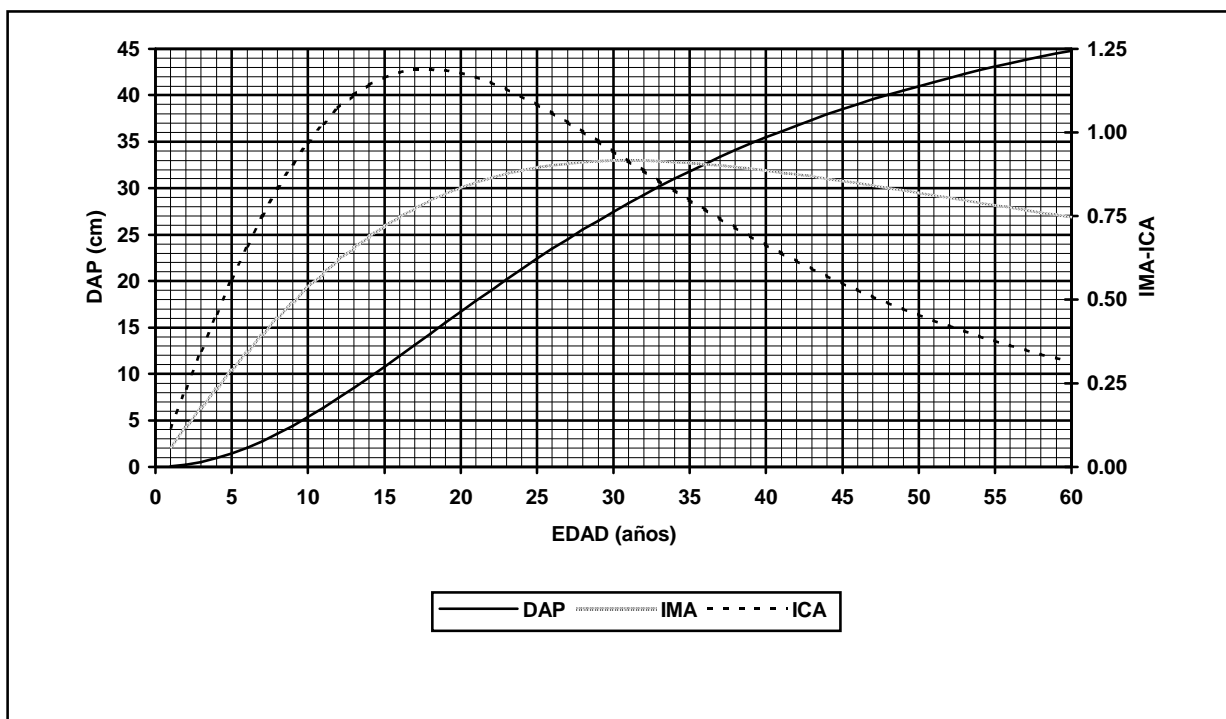


Figura 11. Función de crecimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en DAP sin corteza (cm), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio III.

La Figura 12 muestra el patrón de crecimiento en volumen. Como se explica en las calidades de sitio I y II, para esta variable, no se calcularon ni graficaron las curvas del IMA e ICA, puesto que la función de crecimiento no decrece, lo cual no permite determinar el punto en donde las curvas de IMA e ICA se cruzan, o sea, la edad donde empieza a declinar el crecimiento en volumen. Esto se debe, a que los árboles se trataron

en forma individual y no en conjunto (como un rodal), ya que la variable volumen es mejor considerarla en rendimiento (m^3/ha), donde si es posible establecer la **edad de rotación**. Asimismo, en el Cuadro 10, se presentan los valores de volumen obtenidos a través del modelo matemático seleccionado.

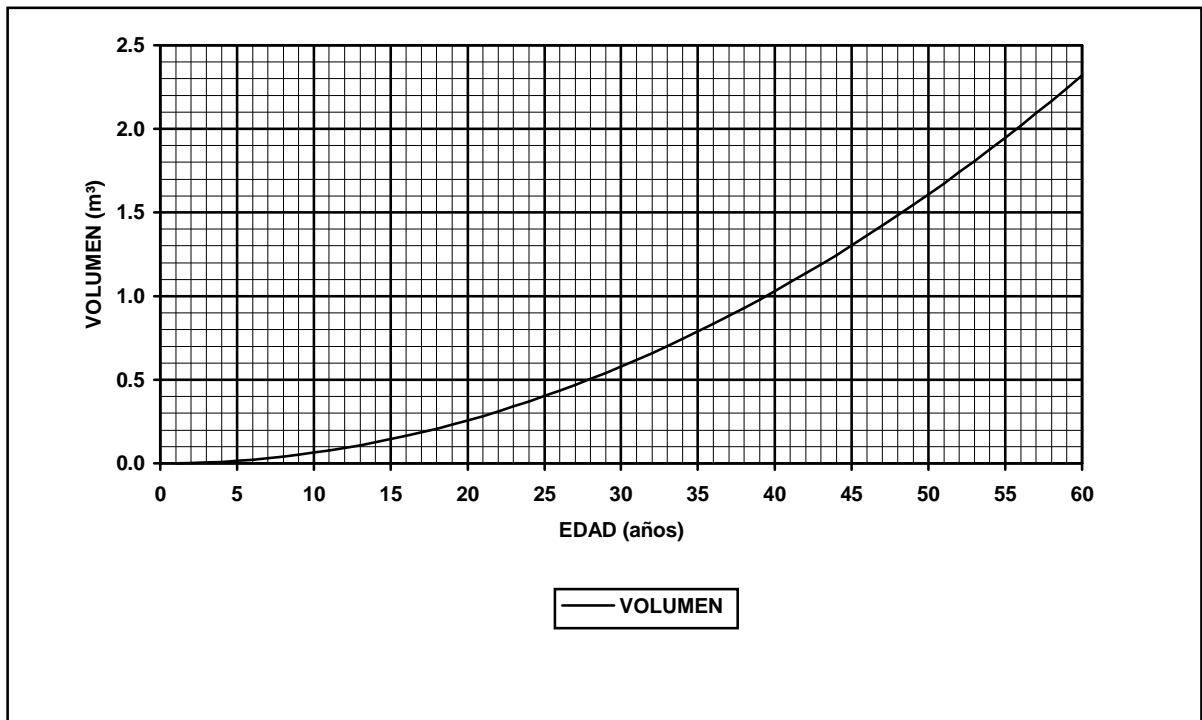


Figura 12. Función de crecimiento de Volumen sin corteza (m^3), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio III.

6.2 Estudio de Rendimiento

Rendimiento es el volumen de los árboles de una cosecha por unidad de superficie (19). Al procesar la información obtenida por medio del levantamiento de parcelas, se generó una base de datos con las siguientes variables: Edad (años), Índice de Sitio (m), Área Basal (m^2/ha) y Volumen (m^3/ha) (Ver Anexo 2). Es importante aclarar que para este estudio, se tiene información solamente para las calidades de sitio I y II, ya que en las fincas (áreas de muestreo) donde se recabó la información básica no se encontraron rodales de otras calidades de sitio con las características deseadas, según los criterios establecidos (Ver página 24).

6.2.1 Calidad de Sitio I

Puesto que el objetivo de este estudio es determinar el rendimiento (volumen/ha) en función de la edad, calidad de sitio (índice de sitio) y área basal (como función de la densidad); primeramente se hará un análisis del rendimiento en función de la edad.

A. Función de rendimiento (Volumen-Edad)

Como se mencionó anteriormente, se obtuvo una base de datos para la relación Edad-Volumen, diferenciándose de la obtenida por medio del análisis fustal (estudio de crecimiento), en que el volumen es en m³/ha. Con esta base, se probaron varios modelos matemáticos para establecer el que mejor se ajusta a la dispersión de valores reales. En el Cuadro 11, se presenta los resultados del análisis de varianza de cada uno de los modelos evaluados.

Cuadro 11. Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la relación Edad-Volumen, calidad de sitio I; para *P. pseudostrobus*, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

MODELO	CMee	F	R ²	CV (%)
$\ln Y = a + b \frac{1}{X^k}$	0.11686	644.128**	0.9402	6.71
$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$	0.08317	461.332**	0.9584	5.66
$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$	0.07137	83.728**	0.8072	24.02
$Y = b_0 + b_1 \ln X$	6910.068	388.305**	0.9045	26.28
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$	5031.633	274.787**	0.9322	22.43
$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$	0.10109	105.459**	0.7201	28.59
$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$	0.11140	677.739**	0.9430	6.55
$Y = b_0 X^{b_1}$	0.14744	502.020**	0.9245	7.54
$Y = b_0 b_1^X$	0.49728	120.008**	0.7454	13.84

** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

Como se puede observar en el cuadro anterior, en todos los modelos hay variabilidad en volumen debido a la edad, puesto que la Prueba de F es altamente significativa. Respecto al coeficiente de determinación (R²), los valores más altos los presentan los modelos 1, 2 y 3 (0.9584). Al observar la

distribución de residuales, el modelo 2 es el que presenta una mejor distribución; además, tiene el R^2 más alto (0.9584) siendo éste el que mejor explica la relación entre las variables y el que más se ajusta a la distribución de valores reales, razón por la cual fue seleccionado.

El modelo seleccionado es el siguiente:

$$V = e^{(-2.169082 + 4.351353 \ln E - 0.536267 \ln^2 E)}$$

Donde:

E: Edad (años)

V: Volumen (m^3/ha)

ln: Logaritmo natural

e: Base del logaritmo natural

Con este modelo se procedió a calcular el volumen por hectárea y los incrementos (IMA e ICA) en volumen (Ver Cuadro 12). Las funciones de los incrementos son las siguientes:

$$IMA = \frac{V}{E}$$

$$ICA = e^{(-2.169082 + 4.351353 \ln E - 0.536267 \ln^2 E)} \times \frac{4.351353 + 2(-0.536267) \ln E}{E}$$

Cuadro 12. Volumen (m^3/ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio I, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololà

EDAD (años)	VOUMEN(m^3/ha)	IMA	ICA
1	0.11	0.11	

2	1.80	0.90	3.25
3	7.13	2.38	7.54
4	16.99	4.25	12.17
5	31.35	6.27	16.46
6	49.69	8.28	20.12
7	71.35	10.19	23.08
8	95.63	11.95	25.35
9	121.85	13.54	27.01
10	149.46	14.95	28.13
11	177.95	16.18	28.79
12	206.91	17.24	29.07
13	236.00	18.15	29.05
14	264.94	18.92	28.78
15	293.50	19.57	28.31
16	321.50	20.09	27.68
17	348.82	20.52	26.93
18	375.34	20.85	26.09
19	400.99	21.10	25.18
20	425.70	21.28	24.23
21	449.43	21.40	23.24
22	472.17	21.46	22.24
23	493.91	21.47	21.23
24	514.63	21.44	20.22
25	534.34	21.37	19.21
26	553.06	21.27	18.23
27	570.80	21.14	17.26
28	587.59	20.99	16.32
29	603.44	20.81	15.39
30	618.39	20.61	14.50
31	632.45	20.40	13.63
32	645.67	20.18	12.80
33	658.06	19.94	11.99
34	669.65	19.70	11.21
35	680.49	19.44	10.46
36	690.59	19.18	9.74
37	699.98	18.92	9.05
38	708.70	18.65	8.39
39	716.77	18.38	7.76
40	724.23	18.11	7.15

Asimismo, en la Figura 13 se muestra el patrón de rendimiento en volumen y las curvas de los incrementos. En esta Figura se puede apreciar que el punto en donde las curvas de IMA e ICA se interceptan es a la edad de 23 años, siendo ésta la **edad de turno o edad de rotación**; en este punto el IMA alcanza su máximo valor el cual es de 21.47 m³/ha/año, con un rendimiento de 493.91 m³/ha. Haciendo una comparación con las edades donde declina el crecimiento de la altura y DAP, la variable volumen necesita de más tiempo para llegar a su punto máximo, ya que la misma está influenciada por ambas variables, especialmente por el diámetro.

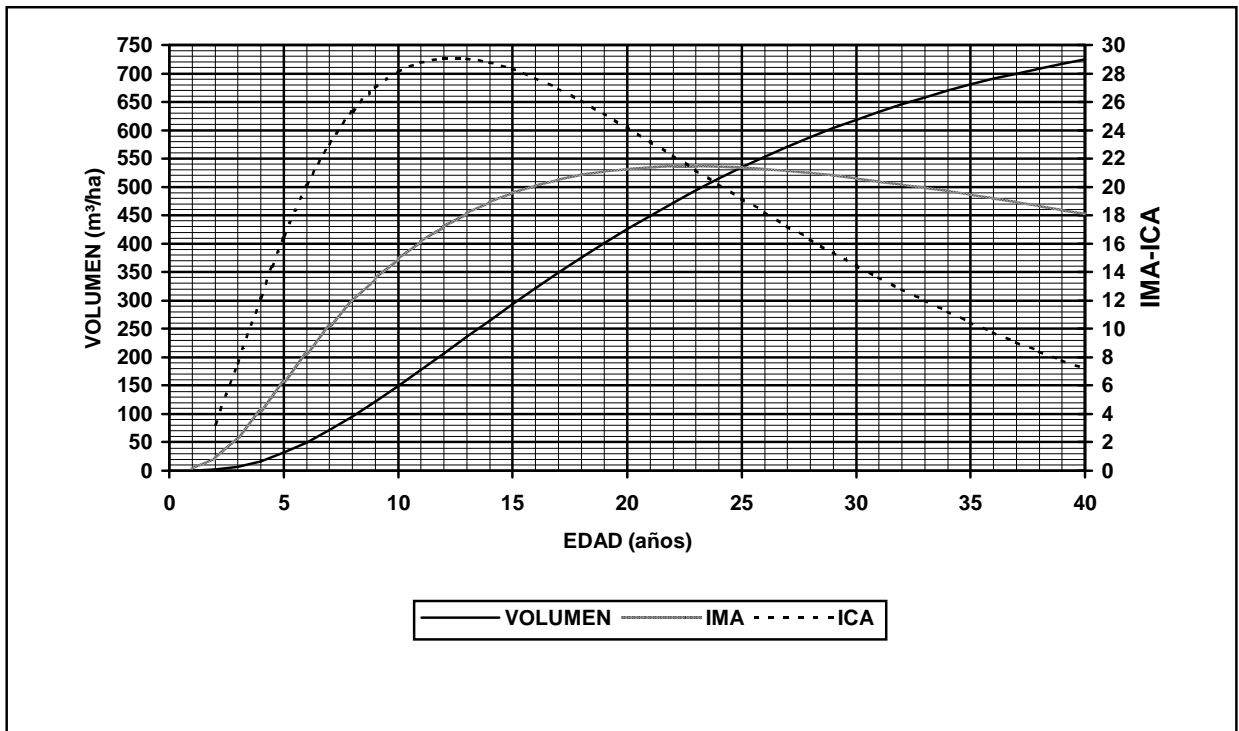


Figura 13. Función de rendimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en Volumen (m^3/ha), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio I.

B. Función de rendimiento (Volumen-Edad-Indice de Sitio-Area Basal)

Después de efectuar el análisis del rendimiento en función de la edad, ahora se introducirán las variables índice de sitio y área basal, por lo que el volumen (m^3/ha) estará en función a estas tres variables; generando una tabla para la predicción del rendimiento actual de bosques no manejados.

Primeramente, se procedió a seleccionar el modelo, para lo cual en el Cuadro 13 se presenta los resultados del análisis de varianza de cada uno de los modelos sometidos a evaluación.

Cuadro 13. Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la tabla de rendimiento de *P. pseudostrobus*, calidad de sitio I, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

	MODELO	CMee	F	R²	CV (%)
1	$\ln(V) = b_0 - b_1 \frac{1}{S} - b_2 \frac{1}{A} + b_3 \ln(G)$	0.01583	1673.43**	0.9923	2.47
2	$\ln(V) = b_0 + b_1 S - b_2 \frac{1}{A} + b_3 \ln(G)$	0.01088	2439.00**	0.9947	2.05
3	$\ln(V) = b_0 + b_1 \ln(S) + b_2 \ln(G) - b_3 \frac{1}{A}$	0.00855	3017.59**	0.9958	1.81

** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

Como se observa, la Prueba de F es altamente significativa, por lo que en los tres modelos existe variabilidad en el volumen debido a la edad, índice de sitio y área basal. Los valores del coeficiente de determinación (R²) son bastante similares para los tres modelos, existiendo una diferencia leve en el modelo 3. Al efectuar el análisis de residuales, se determinó que el modelo 3 es el que tiene una mejor distribución de residuales, siendo éste el más adecuado para explicar la relación entre las variables, el cual fue seleccionado.

El modelo seleccionado es:

$$\ln(V) = -0.364523 + 0.555541 \ln(S) + 1.280962 \ln(G) - 0.909053 \frac{1}{A}$$

Donde:

V: Volumen (m³/ha)

A: Edad (años)

S: Índice de Sitio (metros)

G: Área Basal (m²/ha)

ln: logaritmo natural

Con este modelo se procedió a elaborar la tabla de rendimiento que se presenta en el Cuadro 14, en donde las variables edad, índice de sitio y área basal son predictoras del volumen. Es importante indicar, que esta tabla es aplicable para predecir el rendimiento actual en bosques naturales, poco o no intervenidos, con densidad que pudiese considerarse completa o normal, es decir, una cobertura de 80 - 100%.

Cuadro 14. Tabla de rendimiento para *P. pseudostrabus*, calidad de sitio I, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Edad (años)	Area Basal (m ²)																	
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54
2	2.65	9.45	19.90	33.76														
4	3.32	11.86	24.98	42.37	63.84													
6	3.58	12.80	26.95	45.71	68.86													
8					71.52	99.96	1732.67	169.54	210.48	255.42								
10					73.16	102.26	135.72	173.44	215.32	261.29								
12								176.09	218.61	265.28								
14								178.00	220.99	268.16	319.46	374.82	434.17	497.47				
16								179.45	222.79	270.35	322.07	377.87	437.71	501.52				
18										272.06	324.11	380.26	440.48	504.70	572.88	644.96		
20										273.44	325.75	382.19	442.71	507.25	575.78	648.23		
22												383.77	444.54	509.36	578.16	650.91	727.57	
24												385.10	446.08	511.11	580.15	653.16	730.08	
26														512.60	581.85	655.06	732.21	
28														513.89	583.30	656.70	734.04	
30														515.00	584.57	658.13	735.63	817.05
32														515.97	585.67	659.37	737.03	818.60
34														516.84	586.65	660.48	738.26	819.97
36														517.61	587.53	661.46	739.36	821.19
38														518.29	588.31	662.34	740.34	822.28
40														518.91	589.01	663.13	741.23	823.27
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
	Indice de Sitio (m)																	

Modelo:
$$\ln(V) = -0.364523 + 0.555541\ln(S) + 1.280962\ln(G) - 0.909053\frac{1}{A}$$

6.2.2 Calidad de Sitio II

Tal como se efectuó en la calidad de sitio I, inicialmente se realizará un análisis del rendimiento tomando como única variable predictora la edad.

A. Función de rendimiento (Edad-Volumen)

En el Cuadro 15, se presenta los resultados del análisis de varianza de cada uno de los modelos evaluados, para establecer la relación entre el volumen y la edad.

Cuadro 15. Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la relación Edad-Volumen, Calidad de Sitio II; para *P. pseudostrobus*, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

MODELO	CMee	F	R ²	CV (%)
$\ln Y = a + b \frac{1}{X^k}$	0.15407	548.912**	0.9321	8.14
$Y = e^{(b_0 + b_1 \ln X + b_2 \ln^2 X)}$	0.10681	405.255**	0.9541	6.78
$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X + b_2 X^2}$	0.09569	165.151**	0.8944	21.35
$Y = b_0 + b_1 \ln X$	6683.754	307.553**	0.8849	30.80
$Y = b_0 + b_1 X + b_2 X^2$	3770.949	288.508**	0.9367	23.14
$Y = \frac{X^2}{b_0 + b_1 X^2}$	0.14733	199.877**	0.8332	26.49
$\ln Y = b_0 + b_1 \frac{1}{X}$	0.23483	346.391**	0.8965	10.05
$Y = b_0 X^{b_1}$	0.16649	504.981**	0.9266	8.47
$Y = b_0 b_1^X$	0.68886	91.719**	0.6963	17.22

** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

De acuerdo a estos resultados y al análisis de residuales, se llegó a establecer que el modelo 2 es el que más se ajusta a la dispersión de datos reales y que mejor explica la relación entre las variables.

El modelo seleccionado es el siguiente:

$$V = e^{(-1.350732 + 3.496563 \ln E - 0.372421 \ln^2 E)}$$

Donde:

E: Edad (años)

V: Volumen (m³/ha)

ln: Logaritmo natural

e: Base del logaritmo natural

Con este modelo se procedió a calcular el volumen por hectárea y los incrementos (IMA e ICA) en volumen (Ver Cuadro 16). Las funciones de los incrementos son las siguientes:

$$IMA = \frac{V}{E}$$

$$ICA = e^{(-1.350732 + 3.496563 \ln E - 0.372421 \ln^2 E)} \times \frac{3.496563 + 2(-0.372421) \ln E}{E}$$

Al observar los valores del Cuadro 16, se puede notar que el IMA máximo es de 17 m³/ha/año el cual se alcanza a la edad de 28 años, con un rendimiento de 475.95 m³/ha. Al comparar estos datos con los obtenidos en la calidad de sitio I, se encuentran las siguientes diferencias: en la calidad de sitio I el IMA máximo es 4.47 m³/ha/año más alto que el de la calidad de sitio II, el rendimiento a la edad de rotación es casi similar en ambas, con la diferencia de que en la primera calidad se alcanza a los 23 años y en la segunda a los 28 años, es decir, una diferencia de 5 años.

Asimismo, en la Figura 14 se muestra el patrón de rendimiento en volumen y las curvas de los incrementos. En esta Figura se puede apreciar que el punto en donde las curvas de IMA e ICA se interceptan esta entre las edades de 28 y 29 años, con más proximidad a los 28 años.

Como se explica en la calidad de sitio I, al diferenciar las edades de declinación del crecimiento de la altura y DAP, la variable volumen necesita de más tiempo para llegar a su punto máximo, ya que la misma esta influenciada por ambas variables, especialmente por el diámetro que a su vez se ve afectado por la densidad.

Cuadro 16. Volumen (m³/ha), incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA), calidad de sitio II, para *P. pseudostrobus* en bosques naturales de Chimaltenango y Sololà

EDAD (años)	VOLUMEN (m ³ /ha)	IMA	ICA
1	0.26	0.26	
2	2.44	1.22	3.64
3	7.70	2.57	6.87
4	16.13	4.03	9.94
5	27.44	5.49	12.61
6	41.21	6.87	14.85
7	57.00	8.14	16.67
8	74.42	9.30	18.12
9	93.13	10.35	19.25
10	112.83	11.28	20.10
11	133.26	12.11	20.72
12	154.21	12.85	21.15
13	175.50	13.50	21.41
14	196.98	14.07	21.54
15	218.54	14.57	21.56
16	240.06	15.00	21.48
17	261.47	15.38	21.32
18	282.69	15.70	21.10
19	303.66	15.98	20.83
20	324.33	16.22	20.52
21	344.68	16.41	20.17
22	364.67	16.58	19.80
23	384.26	16.71	19.40
24	403.46	16.81	18.99
25	422.23	16.89	18.56
26	440.58	16.95	18.13
27	458.49	16.98	17.69
28	475.95	17.00	17.25
29	492.98	17.00	16.80
30	509.56	16.99	16.36
31	525.70	16.96	15.92
32	541.40	16.92	15.48
33	556.67	16.87	15.05
34	571.50	16.81	14.62
35	585.92	16.74	14.20
36	599.91	16.66	13.79
37	613.50	16.58	13.38
38	626.68	16.49	12.98
39	639.46	16.40	12.59
40	651.86	16.30	12.20

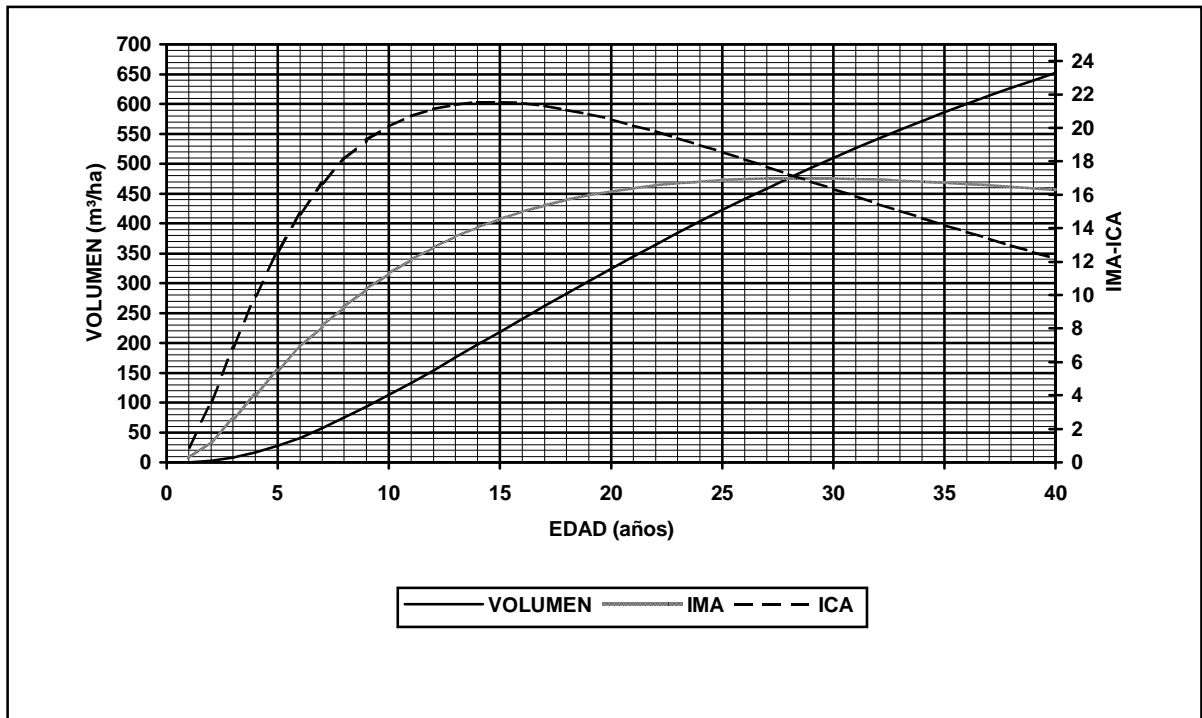


Figura 14. Función de rendimiento, incremento medio anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) en volumen (m^3/ha), para *P. pseudostrobus*; calidad de sitio II.

B. Función de rendimiento (Volumen-Edad-Índice de Sitio-Área Basal)

De la misma manera que en la calidad de sitio I, después de efectuar el análisis del rendimiento en función de la edad, ahora se introducirán las variables índice de sitio y área basal; con lo que se generará una tabla para la predicción del rendimiento actual de bosques no manejados.

Inicialmente, se efectuará la selección del modelo, para lo cual en el Cuadro 17 se presenta los resultados del análisis de varianza de cada uno de los modelos sometidos a evaluación.

Cuadro 17. Indicadores estadísticos de los modelos evaluados para la tabla de rendimiento de *Pseudotsuga*, calidad de sitio II, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

	MODELO	CMee	F	R ²	CV (%)
1	$\ln(V) = bo - b_1 \frac{1}{S} - b_2 \frac{1}{A} + b_3 \ln(G)$	0.01347	2250.60	0.9943	2.40
2	$\ln(V) = bo + b_1 S - b_2 \frac{1}{A} + b_3 \ln(G)$	0.00902	3368.21	0.9962	1.96
3	$\ln(V) = bo + b_1 \ln(S) + b_2 \ln(G) - b_3 \frac{1}{A}$	0.00822	3698.82	0.9965	1.87

** Diferencias altamente significativas ($\alpha=0.01$)

La Prueba de F indica que en los tres modelos existe variabilidad en el volumen debido a la edad, índice de sitio y área basal. Los coeficientes de determinación (R²) son bastante similares para los tres modelos, existiendo una diferencia leve en el modelo 3 (0.9965). El análisis de residuales permitió determinar que el modelo 3 es el más adecuado para explicar la relación entre las variables.

El modelo seleccionado es:

$$\ln(V) = -0.057725 + 0.552798 \ln(S) + 1.185625 \ln(G) - 0.219837 \frac{1}{A}$$

Donde:

V: Volumen (m³/ha)

A: Edad (años)

S: Índice de Sitio (metros)

G: Área Basal (m²/ha)

ln: logaritmo natural

Con este modelo se elaboró la tabla de rendimiento que se presenta en el Cuadro 18, en donde las variables edad, índice de sitio y área basal son predictoras del volumen. Es importante señalar, que esta tabla es aplicable para predecir el rendimiento actual en bosques naturales, poco o no intervenidos, con densidad que pudiese considerarse completa o normal, es decir, una cobertura de 80 - 100%.

Cuadro 18. Tabla de rendimiento para *P. pseudostrobus*, calidad de sitio II, en bosques naturales de los departamentos de Chimaltenango y Sololá.

Edad (años)	Area Basal (m ²)																										
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
2	1.9	6.4	13.0	21.4																							
4	2.0	6.8	13.7	22.6	33.3																						
6	2.1	6.9	14.0	23.0	34.0																						
8					34.3	47.1	61.5	77.6	95.2	114.4																	
10					34.5	47.3	61.9	78.0	95.8	115.0																	
12								78.3	96.1	115.4																	
14								78.5	96.4	115.7	136.6	158.9	182.6	207.7	234.2	262.0	291.1	321.5	353.2	386.2	420.3	455.7					
16								78.7	96.5	116.0	136.9	159.2	183.0	208.1	234.6	262.5	291.7	322.2	353.9	386.9	421.2	456.6					
18														208.4	235.0	262.9	292.1	322.6	354.4	387.5	421.8	457.3					
20														208.7	235.3	263.2	292.5	323.0	354.9	388.0	422.3	457.9	494.7	532.7	571.8	612.2	653.7
22														208.9	235.5	263.5	292.8	323.4	355.2	388.4	422.7	458.4	495.2	533.2	572.4	612.8	654.4
24														209.1	235.7	263.7	293.0	323.6	355.5	388.7	423.1	458.7	495.6	533.6	572.9	613.3	654.9
26														209.2	235.9	263.9	293.2	323.9	355.8	389.0	423.4	459.1	495.9	534.0	573.3	613.7	655.4
28																							496.2	534.3	573.6	614.1	655.8
30																							496.5	534.6	573.9	614.4	656.1
32																							496.7	534.9	574.2	614.7	656.4
34																							496.9	535.1	574.4	615.0	656.7
36																							497.1	535.3	574.6	615.2	656.9
38																							497.3	535.4	574.8	615.4	657.1
40																							497.4	535.6	575.0	615.6	657.3
42																							497.5	535.7	575.1	615.7	657.5
44																							497.7	535.9	575.3	615.9	657.6
46																							497.8	536.0	575.4	616.0	657.8
48																							497.9	536.1	575.5	616.1	657.9
50																							498.0	536.2	575.6	616.2	658.0
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	Indice de Sitio (m)																										

Modelo: $\ln(V) = -0.057725 + 0.552798 \ln(S) + 1.185625 \ln(G) - 0.219837 \frac{1}{A}$

7. CONCLUSIONES

1. Los modelos matemáticos que mejor explican el patrón de crecimiento en altura, DAP y volumen de *P. psuedostrobus*, calidad de sitio I, son los siguientes:

$$H = \frac{E}{6.707323 + 0.024988E^2}$$

$$DAP = \frac{E}{5.617738 + 0.017989E^2}$$

$$V = e^{(-10.965802 + 4.733262 \ln E - 0.409710(\ln E)^2)}$$

2. Las edades donde declina el crecimiento en altura y DAP, para calidad de sitio I, es a los 16 y 18 años respectivamente.
3. Los modelos matemáticos que mejor explican el patrón de crecimiento en altura, DAP y volumen de *P. pseudoostrobus*, calidad de sitio II, son los siguientes:

$$H = \frac{E}{9.612541 + 0.030237E^2}$$

$$DAP = \frac{E}{10.114146 + 0.017628E^2}$$

$$V = e^{(-12.046440 + 4.385073 \ln E - 0.264838(\ln E)^2)}$$

4. Las edades donde declina el crecimiento en altura y DAP, para calidad de sitio II, es a los 18 y 24 años respectivamente.
5. Los modelos matemáticos que mejor explican el patrón de crecimiento en altura, DAP y volumen de *P. psuedostrobus*, calidad de sitio III, son los siguientes:

$$H = \frac{E}{13.608091 + 0.031158E^2}$$

$$DAP = \frac{E}{16.898717 + 0.017628E^2}$$

$$V = 0.000644E^2$$

6. Las edades donde declina el crecimiento en altura y DAP, para calidad de sitio III, es a los 21 y 31 años respectivamente.
7. El modelo matemático que mejor se ajusta al patrón de rendimiento, cuando la edad es la única variable predictora del volumen (m³/ha), para calidad de sitio I, es el siguiente:

$$V = e^{(-2.169082+4.351353\ln E-0.536267\ln^2 E)}$$

8. El modelo matemático que mejor se ajusta al patrón de rendimiento, cuando el volumen (m³/ha) depende de las variables edad, índice de sitio y área basal, para calidad de sitio I, es el siguiente:

$$\ln(V) = -0.364523 + 0.555541\ln(S) + 1.280962\ln(G) - 0.909053\frac{1}{A}$$

9. El modelo matemático que mejor se ajusta al patrón de rendimiento, cuando el volumen (m³/ha) depende únicamente de la variable edad, para calidad de sitio II, es el siguiente:

$$V = e^{(-1.350732+3.496563\ln E-0.372421\ln^2 E)}$$

10. El modelo matemático que mejor se ajusta al patrón de rendimiento, cuando el volumen (m³/ha) depende de las variables edad, índice de sitio y área basal, para calidad de sitio II, es el siguiente:

$$\ln(V) = -0.057725 + 0.552798\ln(S) + 1.185625\ln(G) - 0.219837\frac{1}{A}$$

11. Las edades de rotación para las calidades de sitio I y II, es a los 23 y 28 años respectivamente, que es donde el volumen alcanza su máximo rendimiento.

8. RECOMENDACIONES

1. Los resultados de esta investigación, tienen ciertas restricciones como las siguientes:
 - Se han generado de datos obtenidos en bosques en condiciones naturales, poco o no intervenidos.
 - La densidad de los rodales es completa o normal, 80-100% de cobertura.
2. Los resultados no deben tomarse como una receta, sino como indicadores de la situación de un bosque sin manejo y como podría ser la de un bosque con manejo.
3. Los productos obtenidos son aplicables en el área de influencia del estudio, por lo que la aplicación de éstas herramientas en otras áreas, debe ser objeto de validación.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Roma, Italia, FAO. v. 2, 198 p. (Estudio FAO: Montes 22/2).
2. Barrientos, M. 1994. Manual introductorio de SAS para microcomputadoras. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Centro de Estadística y Cálculo. 42 p.
3. Cabrera, C. 1996. La deforestación en Guatemala. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. Cuadernos Chac no. 3, 26 p.
4. Castillo, D. 1993. Tablas de producción preliminares para Cupressus lusitánica Miller., estudio de caso en finca Florencia, Santa Lucía Milpas Altas, Sacatepéquez y finca Santa Isabel, Fraijanes, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 80 p.
5. Chapman, H.; Meyer, W. 1949. Forest mensuration. US, McGraw-Hill. 522 p.
6. Clutter, JL et al. 1983. Timber management: a quantitative approach. New York, Wiley. p. 98-134
7. Cruz, JR de la. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
8. Daniels, T.; Helms, U.; Baker, F. 1982. Principios de silvicultura. México, McGraw-Hill. 452 p.
9. Escobedo, M. 1995. Indices de sitio para Pinus pseudostrobus Lindl., en los departamentos de Chimaltenango y Sololá. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 81 p.
10. Garzón, J; Flores, L. 1977. Tabla normal de producción para Pinus hartwegii Lindl., en la estación experimental forestal de Zoquiapan, estado de México. México. Chapingo (Nueva Epoca) no. 3. 15 p.
11. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). s.f. Mapa de formas de la tierra. Guatemala. Esc. 1:1,000,000. Color.

12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1973. Mapa de cuencas de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
13. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1973. Mapa geológico de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:500,000. Color.
14. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1975. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1000000. Color.
15. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Atlas nacional de la república de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:1000000. Color.
16. INAFOR (Instituto Nacional Forestal). 1983. Mapa de zonas de vida de la república de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala. Esc. 1:600,000.
17. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). 1988. Atlas climatológico de la república de Guatemala. Guatemala. 22 p.
18. Heikkeinen, E. 1994. Evaluación de las investigaciones sobre volumen y crecimiento en Centro América. Siguatepeque, Honduras, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal. 9 p.
19. Itzep, A. 1995. Indices de sitio y desarrollo de un modelo preliminar de rendimiento para Pinus ocarpa Schiede, en las fincas Santa Rosalía, Gualán, Zacapa y Salamá I, Salamá, Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 99 p.
20. Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2 ed. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 365 p.
21. Lojan, L. 1967. Curso de dasometría parte II. Turrialba, Costa Rica, CATIE/IICA. 106 p.
22. Martínez, A. 1983. Introducción al SAS. Chapingo, México, Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Postgraduados. 67 p.

23. Petters, R. 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 162 p.
24. Simmons, CH.; Tarano, JM.; Pinto, JH. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
25. Turtiainen, M.; Barahona, G. 1995. Manual de formulación de planes de manejo de bosques pinares, mixtos y plantaciones. Siguatepeque, Honduras, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal. 46 p.
26. Zepeda, E.; Rivero, D. 1990. Principios de regulación forestal. México, Chapingo, Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. p. 161-171. (Serie de Apoyo Económico no. 42).

10. A N E X O S

ANEXO 1
Formato para la toma de datos, para el estudio de crecimiento de P. pseudostrobus

I. INFORMACION GENERAL

Calidad de sitio: _____ Condición de desarrollo: _____

No. de árbol: _____ Fecha de corte: _____ Fecha de lectura: _____

Altura: _____ m DAP: _____ cm Grosor de corteza: _____ cm

Anotador: _____

II. LECTURA DE ANILLOS

Sección o No. de disco	Altura de corte(m)	No. de a anillos	Diferencia de edad	Edad (años)											Dcc	Dsc
				60	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5		
				Radios Medios (cm)												

ANEXO 2

BASES DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE CRECIMIENTO RELACION EDAD-ALTURA

Calidad de Sitio I

ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA
PATZA2	1	0.30	VISIA10	1	0.30	VISIA101	3	2.76
PATZA2	3	3.07	VISIA10	4	3.98	VISIA101	8	10.42
PATZA2	5	5.84	VISIA10	7	8.28	VISIA101	13	18.40
PATZA2	7	8.61	VISIA10	9	12.40	VISIA101	18	26.07
PATZA2	9	11.20	VISIA10	12	16.70	VISIA101	23	31.36
PATZA2	12	15.10	VISIA10	14	20.24	VISIA101	28	34.23
PATZA2	15	16.92	VISIA10	17	24.54	VISIA101	33	36.36
PATZA2	18	19.69	VISIA10	19	27.61	VISIA101	38	37.92
PATZA2	20	21.71	VISIA10	22	30.69	VISIA101	43	39.24
PATZA2	23	25.74	VISIA10	25	32.71	VISIA101	48	40.36
PATZA2	27	27.76	VISIA10	29	34.74	VISIA101	53	41.30
PATZA2	31	29.79	VISIA10	34	36.76	VISIA111	2	1.07
PATZA2	33	30.06	VISIA10	41	38.79	VISIA111	7	5.22
PATZA10	1	0.30	VISIA10	50	40.81	VISIA111	12	12.78
PATZA10	3	2.15	VISIA10	53	41.30	VISIA111	17	17.07
PATZA10	6	5.65	VISIA11	1	0.30	VISIA111	22	21.07
PATZA10	10	9.52	VISIA11	5	3.37	VISIA111	27	25.93
PATZA10	13	13.21	VISIA11	9	7.06	VISIA111	32	30.83
PATZA10	17	16.89	VISIA11	11	11.35	VISIA111	37	34.21
PATZA10	22	20.57	VISIA11	14	15.65	VISIA111	42	36.55
PATZA10	24	22.73	VISIA11	17	17.07	VISIA111	47	37.25
PATZA10	26	24.28	VISIA11	21	20.15	VISIA111	52	37.80
PATZA10	29	26.14	VISIA11	24	22.92	VISIA111	57	38.20
PATZA10	31	26.77	VISIA11	26	25.38	MIRAA11	4	4.35
PATZA10	33	27.71	VISIA11	28	26.47	MIRAA11	9	11.09
PATZA10	35	28.65	VISIA11	31	30.16	MIRAA11	14	17.48
PATZA10	36	29.50	VISIA11	34	32.18	MIRAA11	19	22.73
VISIA4	1	0.30	VISIA11	37	34.21	MIRAA11	24	25.48
VISIA4	5	3.98	VISIA11	40	36.23	MIRAA11	29	27.00
VISIA4	8	8.28	VISIA11	44	36.86			
VISIA4	10	11.40	VISIA11	48	37.38			
VISIA4	14	16.26	VISIA11	53	37.91			
VISIA4	20	20.55	VISIA11	57	38.20			
VISIA4	25	24.23	MIRAA1	1	0.30			
VISIA4	34	27.31	MIRAA1	6	7.04			
VISIA4	40	29.33	MIRAA1	11	13.55			
VISIA4	46	31.36	MIRAA1	14	17.48			
VISIA4	47	31.88	MIRAA1	21	24.83			
VISIA4	49	32.41	MIRAA1	24	25.48			
VISIA4	53	33.43	MIRAA1	26	26.12			
VISIA4	54	34.00	MIRAA1	28	26.61			
VISIA7	1	0.30	MIRAA1	29	27.00			
VISIA7	3	3.07	PATZA101	6	5.84			
VISIA7	5	6.75	PATZA101	11	11.00			
VISIA7	7	10.35	PATZA101	16	16.30			
VISIA7	9	13.40	PATZA101	21	19.84			
VISIA7	12	18.00	PATZA101	26	24.28			
VISIA7	16	20.73	PATZA101	31	26.77			
VISIA7	20	25.02	PATZA101	36	29.50			
VISIA7	22	26.45	VISIA41	4	3.06			
VISIA7	26	30.13	VISIA41	9	10.12			
VISIA7	31	33.20	VISIA41	14	16.26			
VISIA7	36	35.63	VISIA41	19	19.83			
VISIA7	41	37.15	VISIA41	24	23.50			
VISIA7	44	38.18	VISIA41	29	25.60			
VISIA7	48	38.70	VISIA41	34	27.31			
VISIA7	52	39.23	VISIA41	39	28.99			
VISIA7	53	39.47	VISIA41	44	30.68			
VISIA7	54	39.70	VISIA41	49	32.41			
			VISIA41	54	34.00			

Calidad de Sitio II

ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA
PATZA14	1	0.30	VEGAA4	1	0.30	NOVA3	1	0.30
PATZA14	4	2.80	VEGAA4	5	3.98	NOVA3	5	2.76
PATZA14	8	5.84	VEGAA4	10	8.89	NOVA3	8	6.00
PATZA14	11	9.52	VEGAA4	15	13.79	NOVA3	11	8.40
PATZA14	15	13.21	VEGAA4	20	18.80	NOVA3	14	10.98
PATZA14	18	16.28	VEGAA4	23	20.85	NOVA3	17	13.55
PATZA14	22	19.70	VEGAA4	27	23.01	NOVA3	20	16.50
PATZA14	24	21.51	VEGAA4	30	25.17	NOVA3	24	19.50
PATZA14	28	23.67	VEGAA4	32	26.20	NOVA3	26	21.00
PATZA14	31	25.53	VEGAA4	33	27.07	NOVA3	28	23.00
PATZA14	36	27.69	VEGAA4	35	27.85	NOVA3	30	24.50
PATZA14	39	29.85	VEGAA4	38	28.40	NOVA3	34	27.62
PATZA14	40	30.18	VEGAA5	1	0.50	NOVA3	36	28.10
PATZA14	41	30.30	VEGAA5	6	3.27	NOVA3	37	28.45
VISIA1	1	0.30	VEGAA5	10	7.56	NOVA4	1	0.30
VISIA1	6	3.98	VEGAA5	16	12.47	NOVA4	6	2.76
VISIA1	11	8.00	VEGAA5	20	16.15	NOVA4	11	7.30
VISIA1	17	12.57	VEGAA5	23	18.92	NOVA4	15	10.00
VISIA1	21	16.87	VEGAA5	25	21.08	NOVA4	19	13.00
VISIA1	25	19.63	VEGAA5	29	23.85	NOVA4	22	15.50
VISIA1	29	22.40	VEGAA5	32	25.70	NOVA4	24	17.53
VISIA1	35	24.43	VEGAA5	36	27.86	NOVA4	26	19.50
VISIA1	43	26.45	VEGAA5	39	28.80	NOVA4	30	22.30
VISIA1	45	27.48	MIRAA2	1	0.30	NOVA4	33	24.50
VISIA1	51	28.51	MIRAA2	5	3.98	NOVA4	36	26.80
VISIA1	56	29.53	MIRAA2	7	6.40	NOVA4	42	30.76
VISIA1	60	30.56	MIRAA2	10	9.30	NOVA4	44	31.25
VISIA1	61	31.00	MIRAA2	14	13.21	VICTOA5	1	0.30
VEGAA1	1	0.30	MIRAA2	17	16.25	VICTOA5	8	5.81
VEGAA1	9	5.20	MIRAA2	22	21.40	VICTOA5	13	11.94
VEGAA1	15	9.80	MIRAA2	28	23.34	VICTOA5	18	16.84
VEGAA1	19	12.57	MIRAA2	29	24.00	VICTOA5	27	21.74
VEGAA1	24	16.26	MIRAA4	1	0.30	VICTOA5	37	25.43
VEGAA1	28	18.41	MIRAA4	3	2.95	VICTOA5	43	27.28
VEGAA1	31	20.57	MIRAA4	6	6.03	VICTOA5	53	30.36
VEGAA1	35	22.43	MIRAA4	10	10.50	VICTOA5	58	30.99
VEGAA1	38	24.28	MIRAA4	14	14.87	VICTOA5	63	31.63
VEGAA1	39	24.61	MIRAA4	20	21.50	VICTOA5	68	32.20
VEGAA1	41	25.71	MIRAA4	27	24.16	VICTOA8	1	0.30
VEGAA1	43	26.95	MIRAA4	34	27.19	VICTOA8	8	5.20
VEGAA2	1	0.20	MIRAA4	41	29.61	VICTOA8	13	11.00
VEGAA2	5	4.79	MIRAA4	47	31.79	VICTOA8	19	16.84
VEGAA2	10	10.10	MIRAA4	48	32.16	VICTOA8	25	20.52
VEGAA2	14	14.30	MIRAA4	49	32.54	VICTOA8	30	24.51
VEGAA2	18	18.70	MIRAA5	1	0.30	VICTOA8	32	25.15
VEGAA2	23	20.44	MIRAA5	6	4.75	VICTOA8	37	25.78
VEGAA2	28	22.60	MIRAA5	11	9.79	VICTOA8	42	26.42
VEGAA2	32	24.46	MIRAA5	15	14.82	PATZA9	1	0.30
VEGAA2	36	26.62	MIRAA5	18	18.06	PATZA9	7	3.37
VEGAA2	38	27.25	MIRAA5	30	22.89	PATZA9	18	11.00
VEGAA3	1	0.30	MIRAA5	39	25.14	PATZA9	23	14.50
VEGAA3	5	3.98	MIRAA5	46	27.33	PATZA9	25	17.00
VEGAA3	9	7.67	MIRAA5	49	28.30	PATZA9	32	20.00
VEGAA3	14	12.57	MIRAA5	50	28.73	PATZA9	37	22.00
VEGAA3	18	16.87				PATZA9	41	23.34
VEGAA3	23	19.63				PATZA9	45	25.50
VEGAA3	26	21.79				PATZA9	48	27.36
VEGAA3	29	23.95				PATZA9	53	30.13
VEGAA3	32	25.20				PATZA9	54	31.07
VEGAA3	35	26.44				PATZA9	55	31.59
VEGAA3	37	27.38				PATZA9	56	32.30
VEGAA3	39	28.10						

Calidad de Sitio III

ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA	ARBOL	EDAD	ALTURA
PATZA4	1	0.30	VICTOA3	1	0.30	VICTOA11	1	0.30
PATZA4	5	3.07	VICTOA3	7	3.38	VICTOA11	9	5.20
PATZA4	9	5.60	VICTOA3	22	14.24	VICTOA11	16	11.33
PATZA4	13	8.30	VICTOA3	29	19.90	VICTOA11	22	16.84
PATZA4	17	11.20	VICTOA3	36	23.46	VICTOA11	31	21.74
PATZA4	21	14.20	VICTOA3	46	28.98	VICTOA11	47	27.26
PATZA4	26	17.00	VICTOA3	56	29.63	VICTOA11	52	28.20
PATZA4	31	18.80	VICTOA3	61	29.97	VICTOA11	57	28.50
PATZA4	35	20.30	VICTOA3	66	30.10	VICTOA13	1	0.30
PATZA4	36	20.40	VICTOA4	1	0.30	VICTOA13	9	6.80
PATZA17	1	0.30	VICTOA4	11	6.42	VICTOA13	16	13.20
PATZA17	6	3.37	VICTOA4	17	11.40	VICTOA13	20	17.20
PATZA17	11	6.45	VICTOA4	25	17.63	VICTOA13	28	21.17
PATZA17	16	10.00	VICTOA4	31	21.32	VICTOA13	33	24.26
PATZA17	20	13.00	VICTOA4	41	26.83	VICTOA13	48	26.58
PATZA17	25	16.50	VICTOA4	51	28.07	VICTOA13	58	28.44
PATZA17	30	18.50	VICTOA4	56	28.71	VICTOA13	68	30.00
PATZA17	35	20.30	VICTOA4	61	29.04			
PATZA17	40	22.00	VICTOA4	66	29.31			
PATZA17	46	24.50	VICTOA6	1	0.30			
PATZA17	48	24.80	VICTOA6	14	6.42			
VISIA3	1	0.30	VICTOA6	23	13.30			
VISIA3	5	3.00	VICTOA6	29	18.67			
VISIA3	10	6.50	VICTOA6	37	23.40			
VISIA3	16	11.00	VICTOA6	52	29.70			
VISIA3	22	15.60	VICTOA6	57	30.03			
VISIA3	27	17.81	VICTOA6	62	30.36			
VISIA3	35	20.57	VICTOA7	1	0.30			
VISIA3	42	22.60	VICTOA7	8	4.80			
VISIA3	47	24.63	VICTOA7	14	10.30			
VISIA3	50	25.65	VICTOA7	20	16.00			
VISIA3	57	27.68	VICTOA7	26	21.13			
VISIA3	62	28.00	VICTOA7	30	23.29			
VICTOA1	1	0.30	VICTOA7	35	24.54			
VICTOA1	8	3.53	VICTOA7	40	25.17			
VICTOA1	11	6.75	VICTOA7	45	25.50			
VICTOA1	16	10.59	VICTOA9	1	0.30			
VICTOA1	21	14.43	VICTOA9	9	5.20			
VICTOA1	26	18.40	VICTOA9	16	10.80			
VICTOA1	31	21.70	VICTOA9	24	16.84			
VICTOA1	37	24.93	VICTOA9	33	21.74			
VICTOA1	43	28.16	VICTOA9	39	24.82			
VICTOA1	52	30.32	VICTOA9	41	25.45			
VICTOA1	62	31.56	VICTOA9	45	25.78			
VICTOA1	67	31.89	VICTOA9	46	25.90			
VICTOA1	72	32.22	VICTOA10	1	0.30			
VICTOA2	1	0.30	VICTOA10	9	5.20			
VICTOA2	9	5.20	VICTOA10	18	11.00			
VICTOA2	17	11.33	VICTOA10	28	17.50			
VICTOA2	24	17.00	VICTOA10	33	20.30			
VICTOA2	30	20.50	VICTOA10	38	22.60			
VICTOA2	44	23.60	VICTOA10	43	24.20			
VICTOA2	55	25.76	VICTOA10	48	24.50			
VICTOA2	60	26.70						
VICTOA2	65	27.30						

RELACION EDAD-DAP

Calidad de Sitio I

ARBOL	EDAD	DAP	ARBOL	EDAD	DAP
PATZA2	3	3.4	PATZA13	3	2.4
PATZA2	8	14.3	PATZA13	8	12.2
PATZA2	13	26.8	PATZA13	13	22.1
PATZA2	18	40.0	PATZA13	18	32.2
PATZA2	23	48.6	PATZA13	23	38.5
PATZA2	28	54.3	PATZA13	28	43.5
PATZA2	33	59.5	PATZA13	33	48.8
PATZA10	6	4.9	PATZA13	38	54.2
PATZA10	11	11.3	MIRAA1	4	5.0
PATZA10	16	18.5	MIRAA1	9	12.5
PATZA10	21	27.2	MIRAA1	14	21.3
PATZA10	26	33.0	MIRAA1	19	30.4
PATZA10	31	37.2	MIRAA1	24	35.5
PATZA10	36	41.4	MIRAA1	29	40.0
VISIA4	4	3.5	PATZA101	6	5.0
VISIA4	9	11.0	PATZA101	11	12.0
VISIA4	14	19.0	PATZA101	16	19.7
VISIA4	19	27.7	PATZA101	21	26.5
VISIA4	24	34.0	PATZA101	26	33.5
VISIA4	29	40.3	PATZA101	31	37.2
VISIA4	34	44.2	PATZA101	36	41.4
VISIA4	39	49.3	PATZA21	3	3.0
VISIA4	44	53.3	PATZA21	8	13.2
VISIA4	49	56.4	PATZA21	13	24.0
VISIA4	54	59.3	PATZA21	18	35.1
VISIA7	4	4.9	PATZA21	23	45.6
VISIA7	9	12.9	PATZA21	28	52.3
VISIA7	14	21.0	PATZA21	33	55.4
VISIA7	19	29.5	PATZA131	3	2.8
VISIA7	24	33.6	PATZA131	8	12.5
VISIA7	29	36.5	PATZA131	13	22.3
VISIA7	34	39.5	PATZA131	18	32.3
VISIA7	39	41.6	PATZA131	23	39.0
VISIA7	44	45.7	PATZA131	28	44.0
VISIA7	49	49.0	PATZA131	33	48.6
VISIA7	54	53.1	PATZA131	38	53.0
VISIA10	3	2.4	VISIA41	4	2.9
VISIA10	8	10.3	VISIA41	9	11.1
VISIA10	13	18.3	VISIA41	14	19.5
VISIA10	18	26.5	VISIA41	19	28.0
VISIA10	23	30.5	VISIA41	24	34.5
VISIA10	28	33.6	VISIA41	29	40.3
VISIA10	33	35.7	VISIA41	34	44.2
VISIA10	38	38.5	VISIA41	39	48.0
VISIA10	43	41.8	VISIA41	44	52.5
VISIA10	48	46.7	VISIA41	49	56.1
VISIA10	53	51.6	VISIA41	54	59.5
VISIA11	7	5.9			
VISIA11	12	12.8			
VISIA11	17	20.0			
VISIA11	22	27.3			
VISIA11	27	31.2			
VISIA11	32	33.6			
VISIA11	37	36.0			
VISIA11	42	38.1			
VISIA11	47	41.0			
VISIA11	52	43.4			
VISIA11	57	46.6			

Calidad de Sitio II

ARBOL	EDAD	DAP	ARBOL	EDAD	DAP
PATZA14	6	4.3	MIRAA2	4	1.7
PATZA14	11	11.4	MIRAA2	9	9.0
PATZA14	16	18.6	MIRAA2	14	16.5
PATZA14	21	27.4	MIRAA2	19	24.5
PATZA14	26	36.3	MIRAA2	24	30.4
PATZA14	31	42.8	MIRAA2	29	36.0
PATZA14	36	47.9	MIRAA5	5	6.5
PATZA14	41	52.0	MIRAA5	10	16.5
VISIA1	6	3.0	MIRAA5	15	27.3
VISIA1	11	7.9	MIRAA5	20	39.5
VISIA1	16	13.0	MIRAA5	25	45.2
VISIA1	21	18.2	MIRAA5	30	48.8
VISIA1	26	24.0	MIRAA5	35	51.4
VISIA1	31	29.5	MIRAA5	40	53.3
VISIA1	36	34.7	MIRAA5	45	54.8
VISIA1	41	38.9	MIRAA5	50	56.2
VISIA1	46	42.9	NOVA3	7	4.0
VISIA1	51	45.7	NOVA3	12	8.0
VISIA1	56	48.4	NOVA3	17	12.9
VISIA1	61	50.3	NOVA3	22	18.7
VEGAA1	3	0.9	NOVA3	27	22.2
VEGAA1	8	5.2	NOVA3	32	26.2
VEGAA1	13	11.0	NOVA3	37	30.5
VEGAA1	18	17.0	NOVA4	4	2.0
VEGAA1	23	23.1	NOVA4	9	6.5
VEGAA1	28	27.8	NOVA4	14	13.3
VEGAA1	33	32.3	NOVA4	19	20.5
VEGAA1	38	35.6	NOVA4	24	27.8
VEGAA1	43	38.7	NOVA4	29	35.3
VEGAA2	3	2.9	NOVA4	34	42.0
VEGAA2	8	10.3	NOVA4	39	49.0
VEGAA2	13	18.0	NOVA4	44	56.0
VEGAA2	18	25.9	VICTOA5	3	1.0
VEGAA2	23	30.0	VICTOA5	8	5.9
VEGAA2	28	32.4	VICTOA5	13	11.3
VEGAA2	33	34.8	VICTOA5	18	17.0
VEGAA2	38	37.4	VICTOA5	23	22.8
VEGAA3	4	3.0	VICTOA5	28	25.3
VEGAA3	9	11.3	VICTOA5	33	27.9
VEGAA3	14	20.0	VICTOA5	38	30.5
VEGAA3	19	24.9	VICTOA5	43	34.8
VEGAA3	24	30.3	VICTOA5	48	37.9
VEGAA3	29	33.9	VICTOA5	53	42.3
VEGAA3	34	37.8	VICTOA5	58	46.3
VEGAA3	39	42.6	VICTOA5	63	50.0
VEGAA4	3	1.5	VICTOA5	68	54.0
VEGAA4	8	8.2	VICTOA8	7	2.7
VEGAA4	13	14.0	VICTOA8	12	8.6
VEGAA4	18	20.0	VICTOA8	17	15.5
VEGAA4	23	27.0	VICTOA8	22	24.1
VEGAA4	28	33.6	VICTOA8	27	31.8
VEGAA4	33	38.6	VICTOA8	32	38.9
VEGAA4	38	43.8	VICTOA8	37	45.0
VEGAA5	4	2.2	VICTOA8	42	50.6
VEGAA5	9	7.6			
VEGAA5	14	13.3			
VEGAA5	19	19.8			
VEGAA5	24	26.5			
VEGAA5	29	33.9			
VEGAA5	34	39.3			
VEGAA5	39	44.1			

Calidad de Sitio III

ARBOL	EDAD	DAP	ARBOL	EDAD	DAP	ARBOL	EDAD	DAP
PATZA4	6	7.0	VICTOA3	6	3.0	VICTOA11	7	3.5
PATZA4	11	13.0	VICTOA3	11	8.0	VICTOA11	12	7.5
PATZA4	16	19.2	VICTOA3	16	13.0	VICTOA11	17	11.7
PATZA4	21	26.8	VICTOA3	21	17.8	VICTOA11	22	15.9
PATZA4	26	33.6	VICTOA3	26	22.5	VICTOA11	27	20.0
PATZA4	31	39.1	VICTOA3	31	27.4	VICTOA11	32	25.2
PATZA4	36	43.8	VICTOA3	36	34.4	VICTOA11	37	29.0
PATZA17	3	1.0	VICTOA3	41	39.1	VICTOA11	42	32.6
PATZA17	8	5.7	VICTOA3	46	43.0	VICTOA11	47	36.4
PATZA17	13	10.6	VICTOA3	51	46.9	VICTOA11	52	40.1
PATZA17	18	15.6	VICTOA3	56	50.5	VICTOA11	57	43.8
PATZA17	23	20.7	VICTOA3	61	54.0	VICTOA13	3	1.3
PATZA17	28	26.0	VICTOA3	66	56.0	VICTOA13	8	5.1
PATZA17	33	31.5	VICTOA6	7	3.0	VICTOA13	13	8.9
PATZA17	38	36.0	VICTOA6	12	5.4	VICTOA13	18	12.8
PATZA17	43	40.2	VICTOA6	17	8.0	VICTOA13	23	16.5
PATZA17	48	45.0	VICTOA6	22	12.7	VICTOA13	28	20.4
VISIA3	7	4.7	VICTOA6	27	17.6	VICTOA13	33	25.3
VISIA3	12	9.5	VICTOA6	32	23.0	VICTOA13	38	29.0
VISIA3	17	14.7	VICTOA6	37	26.4	VICTOA13	43	32.6
VISIA3	22	20.1	VICTOA6	42	29.6	VICTOA13	48	36.2
VISIA3	27	26.7	VICTOA6	47	32.7	VICTOA13	53	39.6
VISIA3	32	32.7	VICTOA6	52	36.0	VICTOA13	58	42.6
VISIA3	37	37.9	VICTOA6	57	39.4	VICTOA13	63	45.6
VISIA3	42	41.3	VICTOA6	62	42.4	VICTOA13	68	49.0
VISIA3	47	44.2	VICTOA7	5	1.9			
VISIA3	52	47.5	VICTOA7	10	6.4			
VISIA3	57	50.5	VICTOA7	15	14.0			
VISIA3	62	52.3	VICTOA7	20	22.0			
VICTOA1	7	2.0	VICTOA7	25	27.8			
VICTOA1	12	5.6	VICTOA7	30	32.8			
VICTOA1	17	10.2	VICTOA7	35	37.2			
VICTOA1	22	15.0	VICTOA7	40	41.4			
VICTOA1	27	20.0	VICTOA7	45	44.9			
VICTOA1	32	23.6	VICTOA9	6	2.0			
VICTOA1	37	27.0	VICTOA9	11	6.0			
VICTOA1	42	30.2	VICTOA9	16	12.0			
VICTOA1	47	33.4	VICTOA9	21	18.5			
VICTOA1	52	36.6	VICTOA9	26	25.2			
VICTOA1	57	39.5	VICTOA9	31	29.5			
VICTOA1	62	42.4	VICTOA9	36	33.8			
VICTOA1	67	45.0	VICTOA9	41	38.0			
VICTOA1	72	47.5	VICTOA9	46	42.0			
VICTOA2	5	2.3	VICTOA10	3	0.9			
VICTOA2	10	6.0	VICTOA10	8	4.1			
VICTOA2	15	10.3	VICTOA10	13	8.5			
VICTOA2	20	14.5	VICTOA10	18	12.9			
VICTOA2	25	19.3	VICTOA10	23	17.4			
VICTOA2	30	24.5	VICTOA10	28	22.0			
VICTOA2	35	29.7	VICTOA10	33	27.6			
VICTOA2	40	33.6	VICTOA10	38	31.7			
VICTOA2	45	37.4	VICTOA10	43	35.4			
VICTOA2	50	40.8	VICTOA10	48	39.0			
VICTOA2	55	43.9						
VICTOA2	60	47.0						
VICTOA2	65	50.0						

EDAD-VOLUMEN*Calidad de Sitio I*

ARBOL	EDAD	VOLUMEN(m³)	ARBOL	EDAD	VOLUMEN(m³)
PATZA2	3	0.0027	PATZA13	3	0.0019
PATZA2	8	0.0872	PATZA13	8	0.0654
PATZA2	13	0.3690	PATZA13	13	0.2754
PATZA2	18	0.8585	PATZA13	18	0.6247
PATZA2	23	1.4891	PATZA13	23	1.1523
PATZA2	28	2.2532	PATZA13	28	1.6045
PATZA2	33	2.8272	PATZA13	33	2.2684
			PATZA13	38	2.8758
PATZA10	6	0.0111	MIRAA1	4	0.0046
PATZA10	11	0.0654	MIRAA1	9	0.0946
PATZA10	16	0.2132	MIRAA1	14	0.2710
PATZA10	21	0.4958	MIRAA1	19	0.5692
PATZA10	26	0.9521	MIRAA1	24	0.9563
PATZA10	31	1.3221	MIRAA1	29	1.4796
PATZA10	36	1.6523	PATZA21	3	0.0027
VISIA4	4	0.0035	PATZA21	8	0.0872
VISIA4	9	0.0701	PATZA21	13	0.3690
VISIA4	14	0.2219	PATZA21	18	0.8752
VISIA4	19	0.5135	PATZA21	23	1.4950
VISIA4	24	0.9221	PATZA21	28	2.2332
VISIA4	29	1.4556	PATZA21	33	2.8571
VISIA4	34	1.9298	VISIA41	4	0.0033
VISIA4	39	2.5279	VISIA41	9	0.0612
VISIA4	44	3.0777	VISIA41	14	0.2432
VISIA4	49	3.6034	VISIA41	19	0.4935
VISIA4	54	4.1925	VISIA41	24	0.9321
VISIA7	4	0.0060	VISIA41	29	1.4700
VISIA7	9	0.1054	VISIA41	34	1.9098
VISIA7	14	0.3200	VISIA41	39	2.5086
VISIA7	19	0.5743	VISIA41	44	3.1015
VISIA7	24	0.8740	VISIA41	49	3.7016
VISIA7	29	1.2235	VISIA41	54	4.0959
VISIA7	34	1.6052	PATZA101	6	0.0159
VISIA7	39	2.1537	PATZA101	11	0.0715
VISIA7	44	2.6594	PATZA101	16	0.2425
VISIA7	49	3.2057	PATZA101	21	0.4836
VISIA7	54	3.8444	PATZA101	26	0.9012
VISIA10	3	0.0021	PATZA101	31	1.3062
VISIA10	8	0.0568	PATZA101	36	1.6159
VISIA10	13	0.2546	PATZA131	3	0.0021
VISIA10	18	0.6250	PATZA131	8	0.0693
VISIA10	23	0.9725	PATZA131	13	0.2869
VISIA10	28	1.4451	PATZA131	18	0.5986
VISIA10	33	1.7489	PATZA131	23	1.1769
VISIA10	38	2.2424	PATZA131	28	1.6233
VISIA10	43	2.6845	PATZA131	33	2.1569
VISIA10	48	3.3435	PATZA131	38	2.9056
VISIA10	53	4.1786			
VISIA11	2	0.0006			
VISIA11	7	0.0132			
VISIA11	12	0.0938			
VISIA11	17	0.3069			
VISIA11	22	0.5697			
VISIA11	27	0.8811			
VISIA11	32	1.2113			
VISIA11	37	1.5326			
VISIA11	42	1.8178			
VISIA11	47	2.2450			
VISIA11	52	2.7848			
VISIA11	57	3.1566			

Calidad de Sitio II

ARBOL	EDAD	VOLUMEN (m ³)	ARBOL	EDAD	VOLUMEN (m ³)
PATZA14	6	0.0047	MIRAA2	4	0.0009
PATZA14	11	0.0402	MIRAA2	9	0.0338
PATZA14	16	0.1436	MIRAA2	14	0.1598
PATZA14	21	0.4000	MIRAA2	19	0.3731
PATZA14	26	0.8219	MIRAA2	24	0.6821
PATZA14	31	1.3337	MIRAA2	29	1.0905
PATZA14	36	1.8769	MIRAA5	5	0.0099
PATZA14	41	2.4551	MIRAA5	10	0.1053
VISIA1	6	0.0023	MIRAA5	15	0.3039
VISIA1	11	0.0255	MIRAA5	20	0.6659
VISIA1	16	0.0852	MIRAA5	25	1.1143
VISIA1	21	0.2196	MIRAA5	30	1.6546
VISIA1	26	0.4503	MIRAA5	35	2.0563
VISIA1	31	0.8075	MIRAA5	40	2.6023
VISIA1	36	1.1677	MIRAA5	45	3.0529
VISIA1	41	1.5550	MIRAA5	50	3.4893
VISIA1	46	1.9459	NOVA3	2	0.0002
VISIA1	51	2.2746	NOVA3	7	0.0050
VISIA1	56	2.6319	NOVA3	12	0.0397
VISIA1	61	2.9847	NOVA3	17	0.0959
VEGAA1	3	0.0003	NOVA3	22	0.2556
VEGAA1	8	0.0063	NOVA3	27	0.6075
VEGAA1	13	0.0459	NOVA3	32	0.9956
VEGAA1	18	0.1440	NOVA3	37	1.3166
VEGAA1	23	0.2657	NOVA4	4	0.0010
VEGAA1	28	0.4787	NOVA4	9	0.0123
VEGAA1	33	0.7633	NOVA4	14	0.0823
VEGAA1	38	1.1184	NOVA4	19	0.2176
VEGAA1	43	1.4514	NOVA4	24	0.4479
VEGAA2	3	0.0015	NOVA4	29	0.8551
VEGAA2	8	0.0390	NOVA4	34	1.5513
VEGAA2	13	0.1555	NOVA4	39	2.4013
VEGAA2	18	0.3378	NOVA4	44	3.1945
VEGAA2	23	0.6352	VICTOA5	3	0.0004
VEGAA2	28	0.9732	VICTOA5	8	0.0087
VEGAA2	33	1.3285	VICTOA5	13	0.0606
VEGAA2	38	1.5822	VICTOA5	18	0.1764
VEGAA3	4	0.0021	VICTOA5	23	0.3272
VEGAA3	9	0.0496	VICTOA5	28	0.4485
VEGAA3	14	0.1731	VICTOA5	33	0.6122
VEGAA3	19	0.3430	VICTOA5	38	0.8304
VEGAA3	24	0.6279	VICTOA5	43	1.1675
VEGAA3	29	0.9117	VICTOA5	48	1.4768
VEGAA3	34	1.2993	VICTOA5	53	1.9102
VEGAA3	39	1.8405	VICTOA5	58	2.4249
VEGAA4	3	0.0007	VICTOA5	63	2.8559
VEGAA4	8	0.0208	VICTOA5	68	3.3224
VEGAA4	13	0.1036	VICTOA8	2	0.0002
VEGAA4	18	0.2506	VICTOA8	7	0.0012
VEGAA4	23	0.5759	VICTOA8	12	0.0282
VEGAA4	28	1.0215	VICTOA8	17	0.1487
VEGAA4	33	1.5537	VICTOA8	22	0.3621
VEGAA4	38	2.1886	VICTOA8	27	0.7047
VEGAA5	4	0.0015	VICTOA8	32	1.2024
VEGAA5	9	0.0172	VICTOA8	37	1.7610
VEGAA5	14	0.0706	VICTOA8	42	2.2399
VEGAA5	19	0.1930			
VEGAA5	24	0.4607			
VEGAA5	29	0.8614			
VEGAA5	34	1.3421			
VEGAA5	39	1.9376			

Calidad de Sitio III

ARBOL	EDAD	VOLUMEN (m³)	ARBOL	EDAD	VOLUMEN (m³)	ARBOL	EDAD	VOLUMEN (m³)
PATZA4	6	0.0127	VICTOA3	6	0.0019	VICTOA11	2	0.0001
PATZA4	11	0.0574	VICTOA3	11	0.0203	VICTOA11	7	0.0023
PATZA4	16	0.1455	VICTOA3	16	0.0705	VICTOA11	12	0.0264
PATZA4	21	0.3356	VICTOA3	21	0.1212	VICTOA11	17	0.0643
PATZA4	26	0.6126	VICTOA3	26	0.2522	VICTOA11	22	0.1656
PATZA4	31	0.9356	VICTOA3	31	0.5038	VICTOA11	27	0.3019
PATZA4	36	1.3175	VICTOA3	36	0.9003	VICTOA11	32	0.5174
PATZA17	3	0.0007	VICTOA3	41	1.3649	VICTOA11	37	0.7250
PATZA17	8	0.0095	VICTOA3	46	1.6777	VICTOA11	42	0.9582
PATZA17	13	0.0374	VICTOA3	51	1.9444	VICTOA11	47	1.2670
PATZA17	18	0.0984	VICTOA3	56	2.2282	VICTOA11	52	1.6629
PATZA17	23	0.2276	VICTOA3	61	2.4899	VICTOA11	57	2.0096
PATZA17	28	0.4111	VICTOA3	66	2.7077	VICTOA13	3	0.0006
PATZA17	33	0.6557	VICTOA6	2	0.0002	VICTOA13	8	0.0094
PATZA17	38	0.9247	VICTOA6	7	0.0006	VICTOA13	13	0.0473
PATZA17	43	1.2981	VICTOA6	12	0.0036	VICTOA13	18	0.1144
PATZA17	48	1.6932	VICTOA6	17	0.0174	VICTOA13	23	0.2004
VISIA3	2	0.0001	VICTOA6	22	0.0424	VICTOA13	28	0.3109
VISIA3	7	0.0066	VICTOA6	27	0.1368	VICTOA13	33	0.4824
VISIA3	12	0.0401	VICTOA6	32	0.2792	VICTOA13	38	0.7580
VISIA3	17	0.0997	VICTOA6	37	0.4980	VICTOA13	43	1.1485
VISIA3	22	0.2272	VICTOA6	42	0.7416	VICTOA13	48	1.5358
VISIA3	27	0.4484	VICTOA6	47	1.0047	VICTOA13	53	1.9663
VISIA3	32	0.7266	VICTOA6	52	1.3763	VICTOA13	58	2.3996
VISIA3	37	1.0705	VICTOA6	57	1.8048	VICTOA13	63	2.7782
VISIA3	42	1.3581	VICTOA6	62	2.2560	VICTOA13	68	3.3529
VISIA3	47	1.6859	VICTOA7	5	0.0003			
VISIA3	52	2.0679	VICTOA7	10	0.0137			
VISIA3	57	2.3045	VICTOA7	15	0.0956			
VISIA3	62	2.5589	VICTOA7	20	0.2666			
VICTOA1	2	0.0001	VICTOA7	25	0.5022			
VICTOA1	7	0.0009	VICTOA7	30	0.7860			
VICTOA1	12	0.0108	VICTOA7	35	1.1477			
VICTOA1	17	0.0465	VICTOA7	40	1.5906			
VICTOA1	22	0.1406	VICTOA7	45	2.0664			
VICTOA1	27	0.2460	VICTOA9	6	0.0007			
VICTOA1	32	0.4088	VICTOA9	11	0.0101			
VICTOA1	37	0.6947	VICTOA9	16	0.0651			
VICTOA1	42	0.9979	VICTOA9	21	0.1954			
VICTOA1	47	1.3579	VICTOA9	26	0.3715			
VICTOA1	52	1.6317	VICTOA9	31	0.6303			
VICTOA1	57	1.9692	VICTOA9	36	1.0070			
VICTOA1	62	2.3471	VICTOA9	41	1.3648			
VICTOA1	67	2.5953	VICTOA9	46	1.8128			
VICTOA1	72	3.0044	VICTOA10	3	0.0002			
VICTOA2	5	0.0013	VICTOA10	8	0.0039			
VICTOA2	10	0.0129	VICTOA10	13	0.0277			
VICTOA2	15	0.0354	VICTOA10	18	0.0762			
VICTOA2	20	0.0925	VICTOA10	23	0.1761			
VICTOA2	25	0.1948	VICTOA10	28	0.2648			
VICTOA2	30	0.4105	VICTOA10	33	0.4986			
VICTOA2	35	0.6790	VICTOA10	38	0.8086			
VICTOA2	40	1.0793	VICTOA10	43	1.1319			
VICTOA2	45	1.3484	VICTOA10	48	1.4570			
VICTOA2	50	1.5984						
VICTOA2	55	2.0011						
VICTOA2	60	2.3069						
VICTOA2	65	2.6318						

BASES DE DATOS PARA EL ESTUDIO DE RENDIMIENTO

Calidad de Sitio I

PARCELA	EDAD (años)	INDICE DE SITIO (m)	AREA BASAL (m ² /ha)	VOLUMEN (m ³ /ha)
C11	5	5.50	9.00	21.57
C12	5	5.30	9.55	23.70
C13	4	4.50	6.30	12.99
C14	5	5.50	10.39	28.71
C15	4	4.00	5.09	10.05
C16	4	4.50	10.42	28.22
C17	4	4.00	10.85	25.99
C18	5	5.50	15.00	46.32
C19	4	4.80	7.94	18.89
C110	5	4.90	14.73	46.80
C21	7	8.00	18.38	82.64
C22	6	7.00	17.82	73.55
C23	5	5.50	10.31	34.56
C24	9	9.60	17.02	75.55
C25	8	8.40	18.21	85.10
C26	7	7.80	14.66	57.06
C27	10	11.50	18.32	97.19
C28	9	10.00	15.21	69.28
C29	7	8.50	17.42	67.41
C210	12	13.40	23.16	139.79
C31	19	20.37	46.13	511.87
C32	18	19.00	39.14	419.64
C33	18	20.10	41.02	453.13
C34	18	19.71	46.45	500.77
C35	17	18.50	37.21	380.11
C36	19	21.00	44.19	510.42
C37	16	22.00	24.74	264.27
C38	18	19.60	48.15	470.19
C39	19	20.13	46.72	508.59
C310	19	22.50	46.40	495.63
C41	36	31.50	43.53	592.06
C42	40	35.00	48.84	692.67
C43	40	33.80	50.21	647.99
C44	37	32.25	55.17	693.75
C45	36	34.88	51.68	689.07
C46	36	30.40	39.98	527.55
C47	35	33.75	59.85	603.29
C48	25	26.25	38.56	490.12
C49	24	26.50	34.49	466.84
C410	31	27.92	56.26	653.15
C411	22	25.67	54.41	612.83
C412	22	24.00	54.55	600.98
C413	37	31.00	38.67	500.09

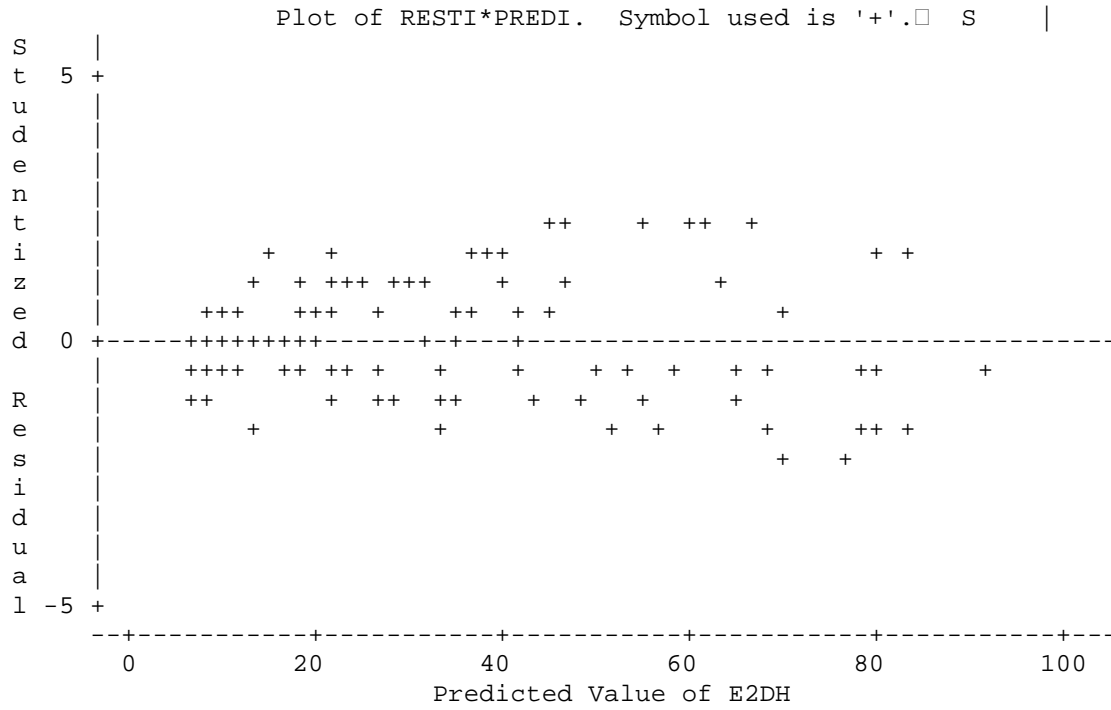
Calidad de Sitio II

PARCELA	EDAD (años)	INDICE DE SITIO (m)	AREA BASAL (m ² /ha)	VOLUMEN (m ³ /ha)
C11	3	3.00	5.27	13.83
C12	5	4.50	6.38	20.26
C13	4	3.46	4.71	12.93
C14	4	3.96	5.96	15.39
C15	4	4.00	10.03	29.82
C16	3	3.50	4.62	9.20
C17	5	4.75	5.73	15.73
C18	5	5.00	6.60	18.96
C19	3	3.00	4.62	9.54
C110	4	4.00	7.96	24.04
C21	9	9.50	13.21	84.22
C22	6	6.00	9.71	38.90
C23	7	7.50	15.49	63.46
C24	7	7.00	9.68	33.48
C25	7	7.00	12.05	53.35
C26	8	7.50	9.83	40.17
C27	11	11.00	19.01	116.90
C28	12	12.50	19.68	126.52
C29	10	10.00	16.82	99.15
C210	6	5.50	7.54	21.17
C31	19	19.09	38.43	392.21
C32	18	18.00	31.93	338.35
C33	18	18.42	43.10	371.85
C34	15	15.00	25.97	200.20
C35	16	15.50	39.49	330.71
C36	20	18.50	50.44	485.71
C37	13	13.50	23.97	165.88
C38	20	19.50	44.53	420.34
C39	17	17.50	39.69	332.07
C310	19	18.75	44.79	420.90
C41	29	24.50	57.81	650.32
C42	36	28.17	48.14	548.00
C43	28	24.50	54.44	600.29
C44	43	28.33	50.14	620.34
C45	43	28.33	47.77	597.12
C46	49	29.67	49.41	601.55
C47	49	29.50	45.61	583.99
C48	41	27.00	47.43	573.18
C49	40	26.42	37.52	440.33
C410	27	23.33	28.13	496.57
C411	35	27.17	46.71	521.33
C412	22	20.50	48.19	510.18
C413	24	22.00	54.34	595.00

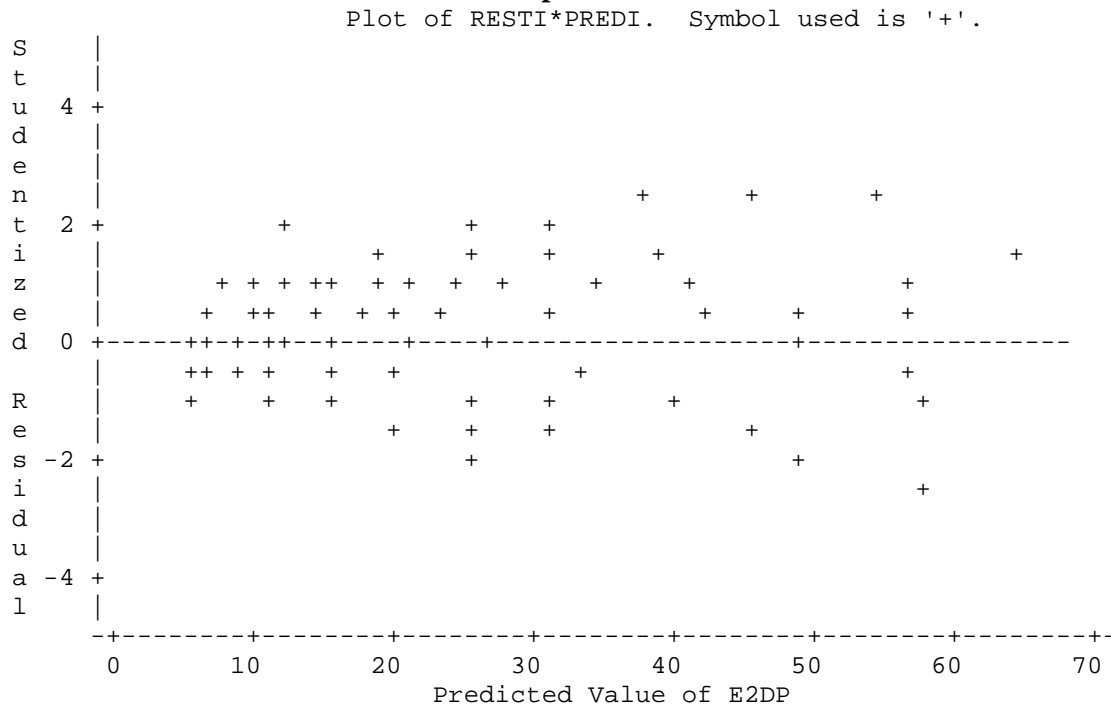
ANEXO 3

DISTRIBUCION DE RESIDUALES EN EL ESTUDIO DE CRECIMIENTO

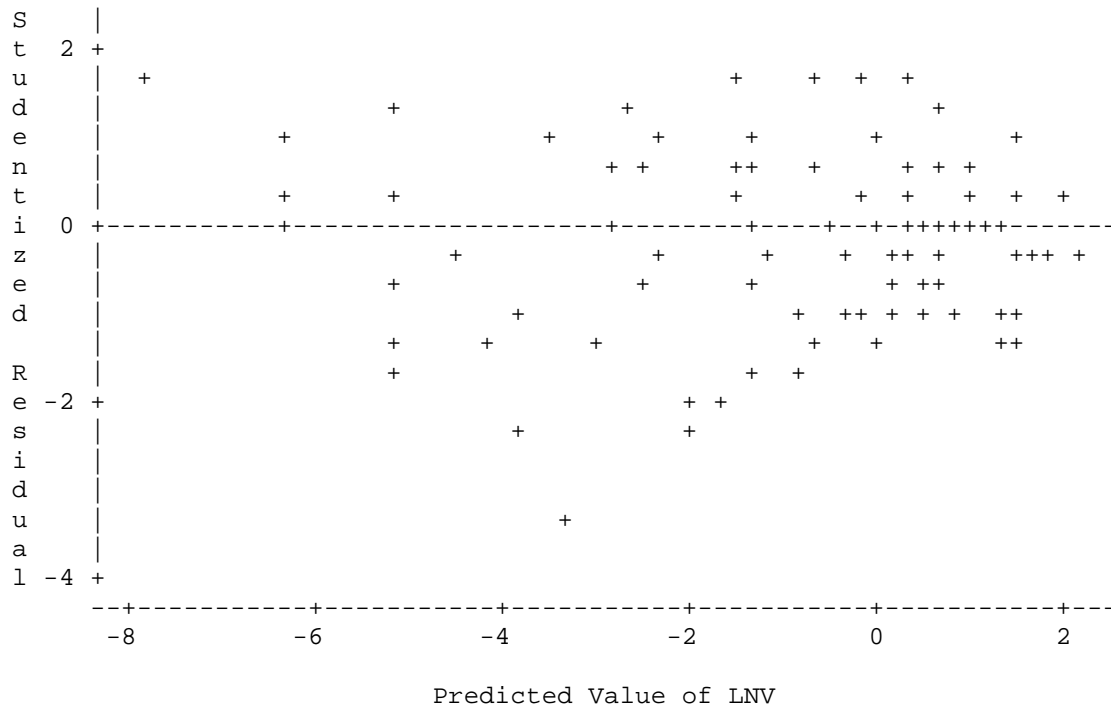
Calidad de Sitio I Modelo para la relación edad-altura



Modelo para la relación edad-DAP



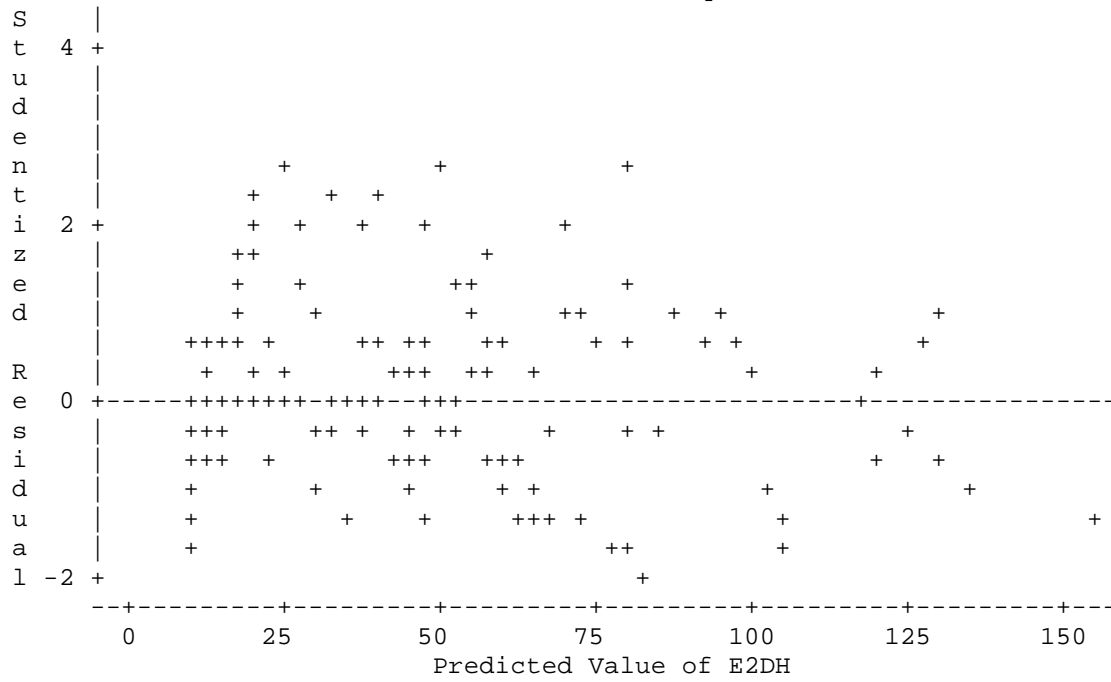
Modelo para la relación edad-volumen



Calidad de Sitio II

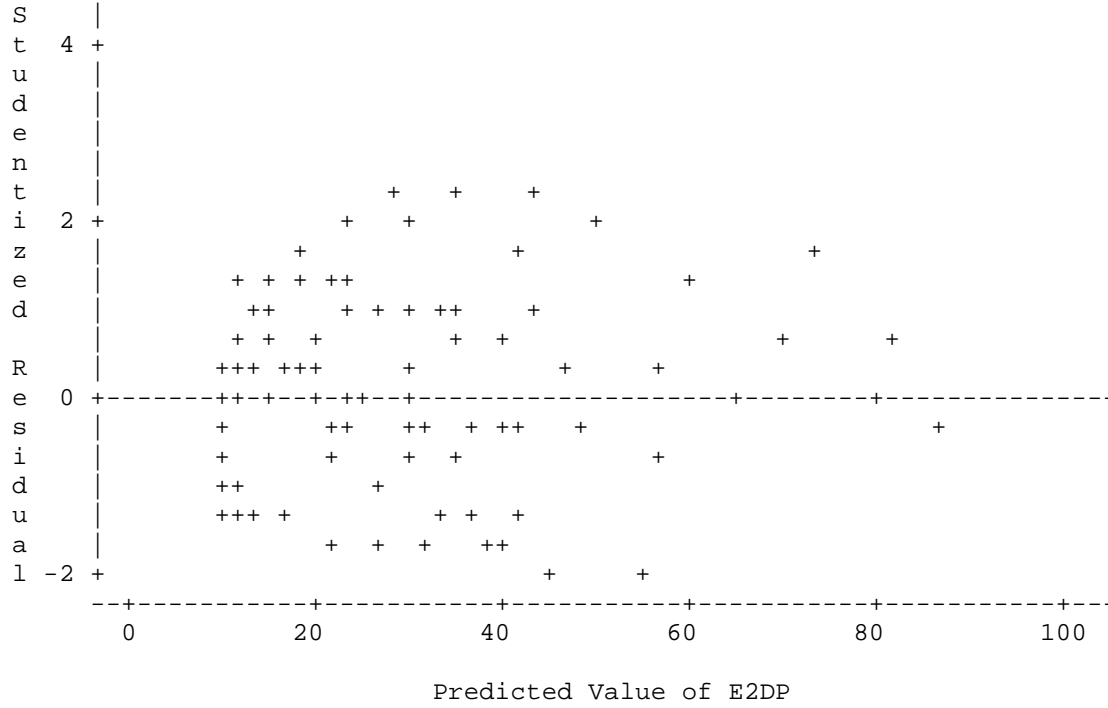
Modelo para la relación edad-altura

Plot of RESTI*PREDI. Symbol used is '+'.



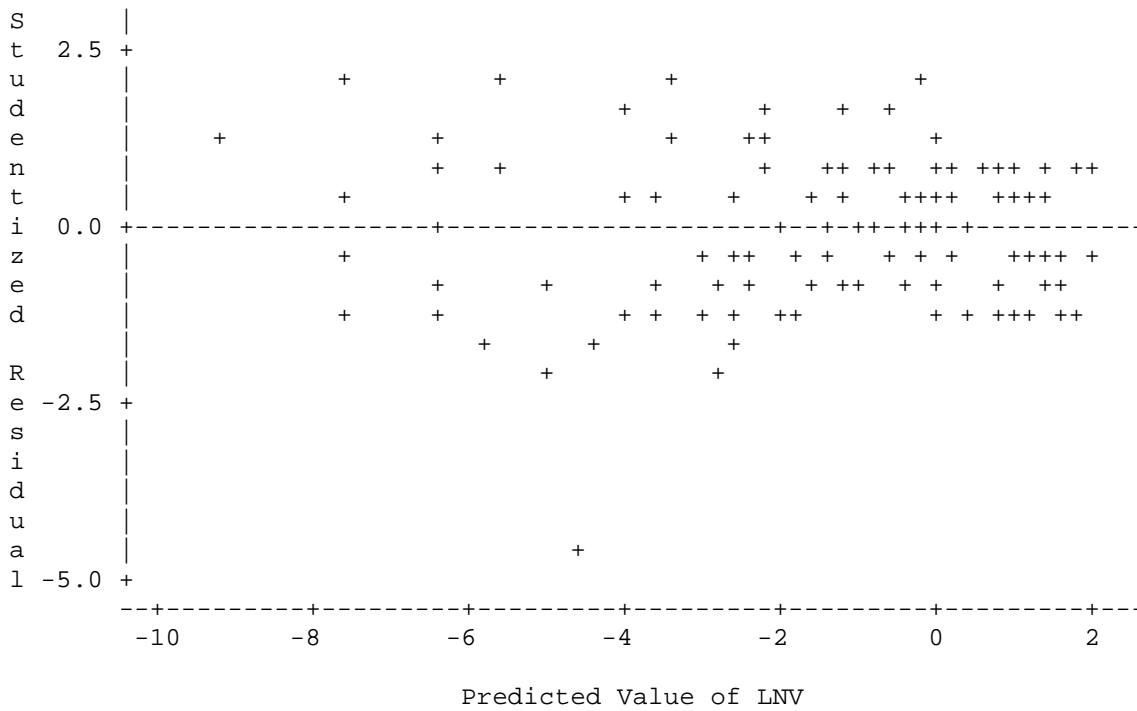
Modelo para la relación edad-DAP

Plot of RESTI*PREDI. Symbol used is '+'.



Modelo para la relación edad-volumen

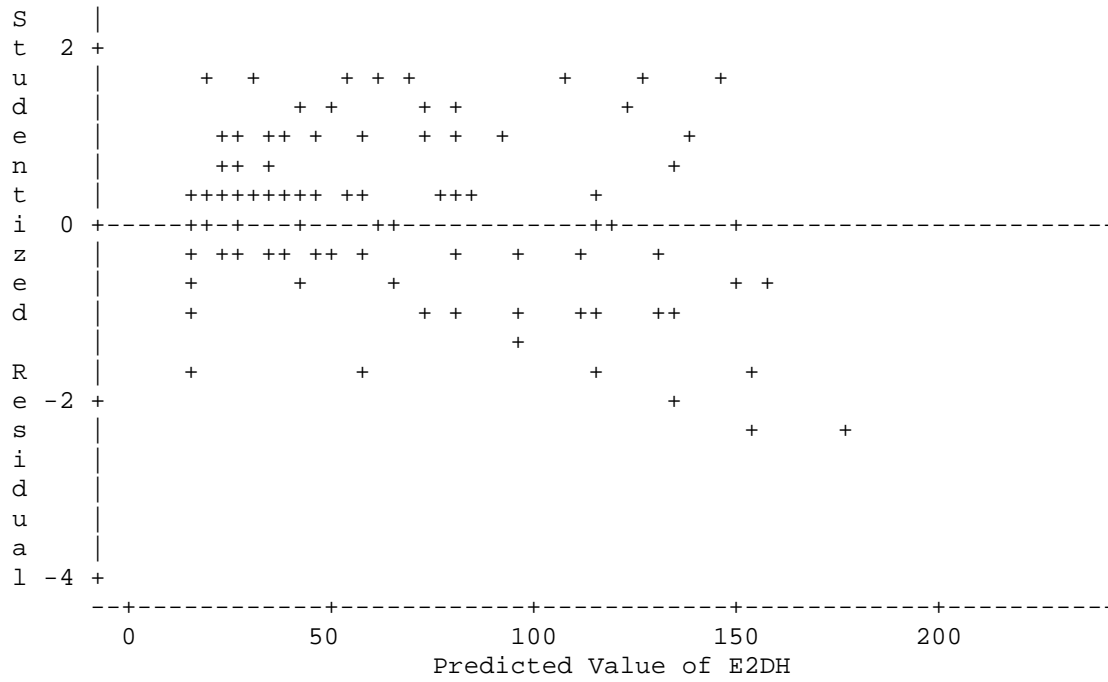
Plot of RESTB*PREDB. Symbol used is '+'.



Calidad de Sitio III

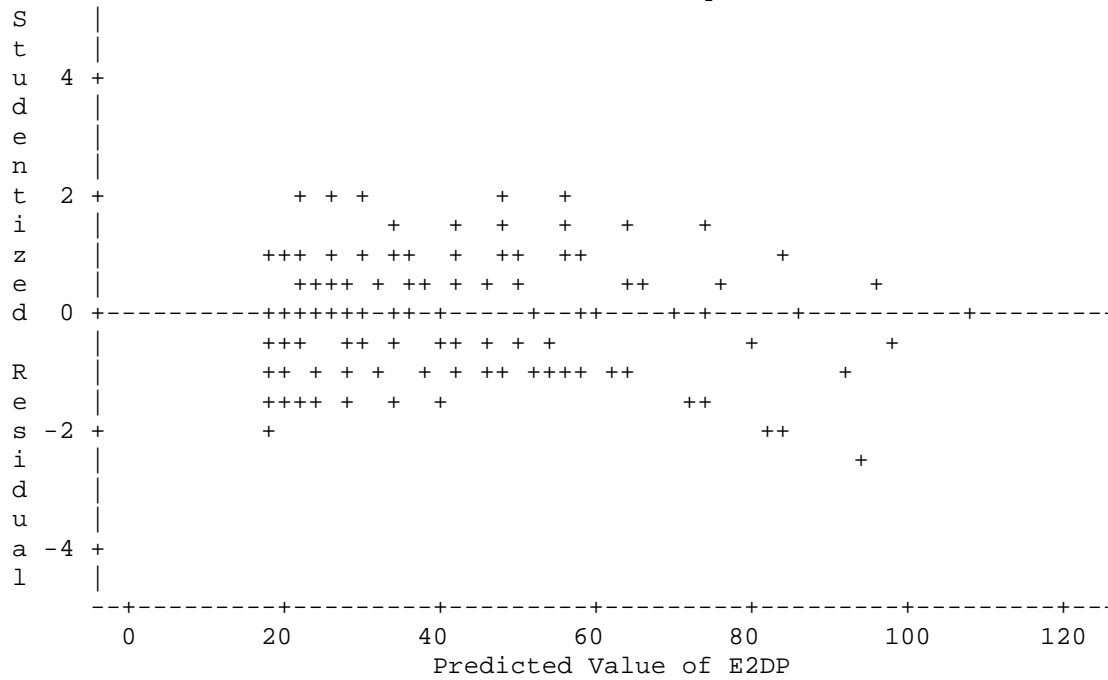
Modelo para la relación edad-altura

Plot of RESTI*PREDI. Symbol used is '+'.



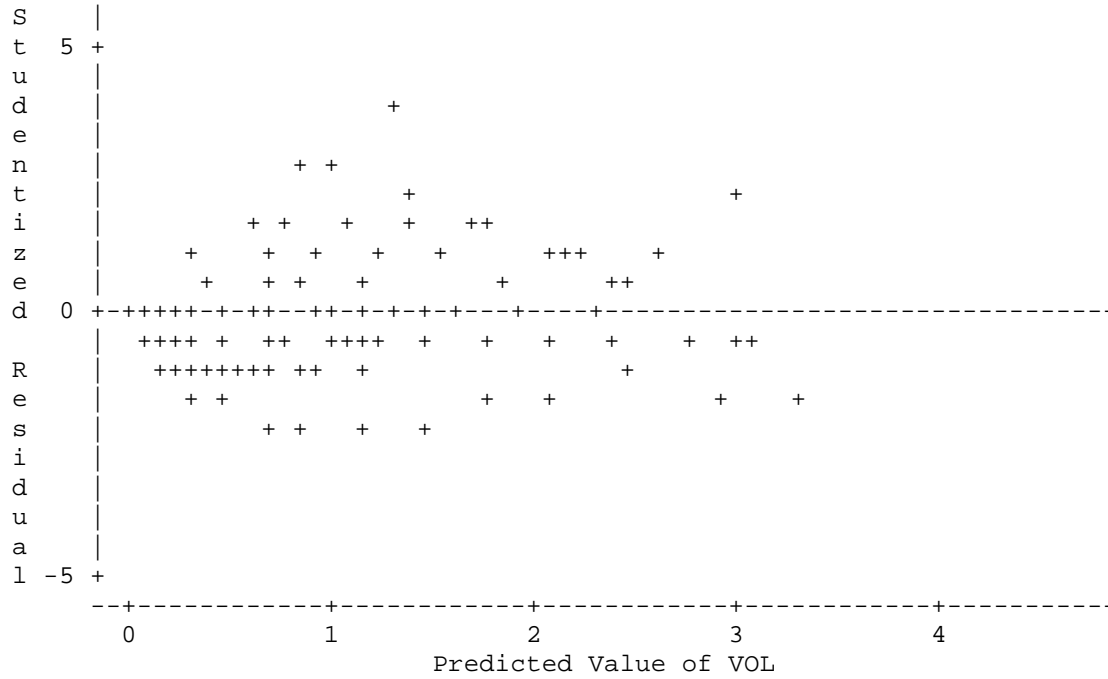
Modelo para la relación edad-DAP

Plot of RESTI*PREDI. Symbol used is '+'.



Modelo para la relación edad-volumen

Plot of RESTG*PREDG. Symbol used is '+'.

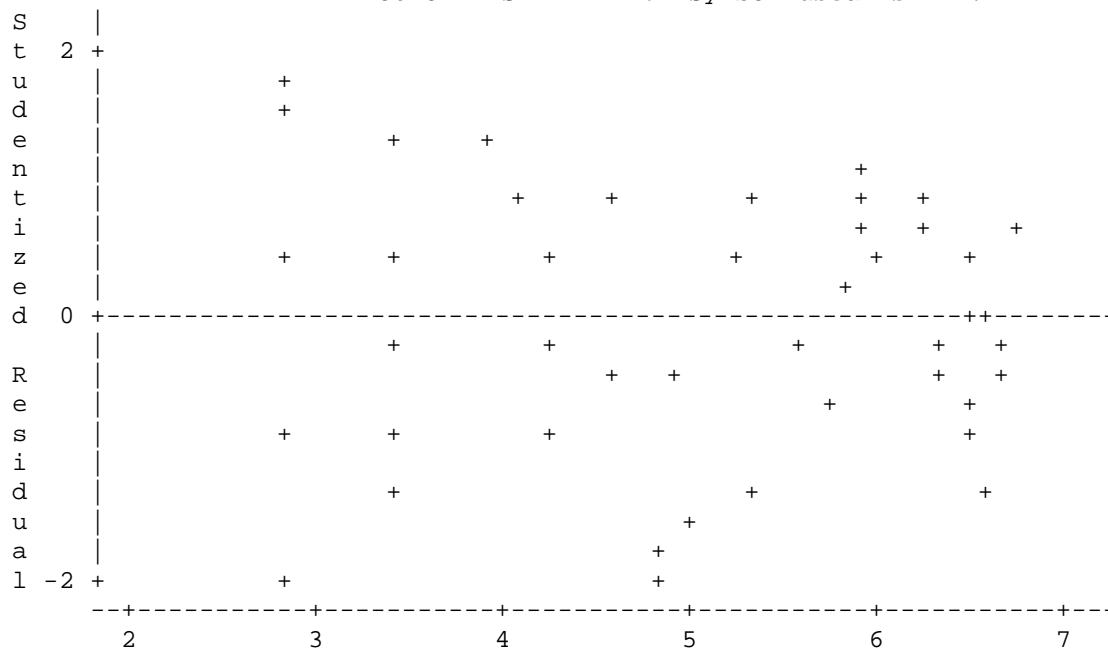


DISTRIBUCION DE RESIDUALES EN EL ESTUDIO DE RENDIMIENTO

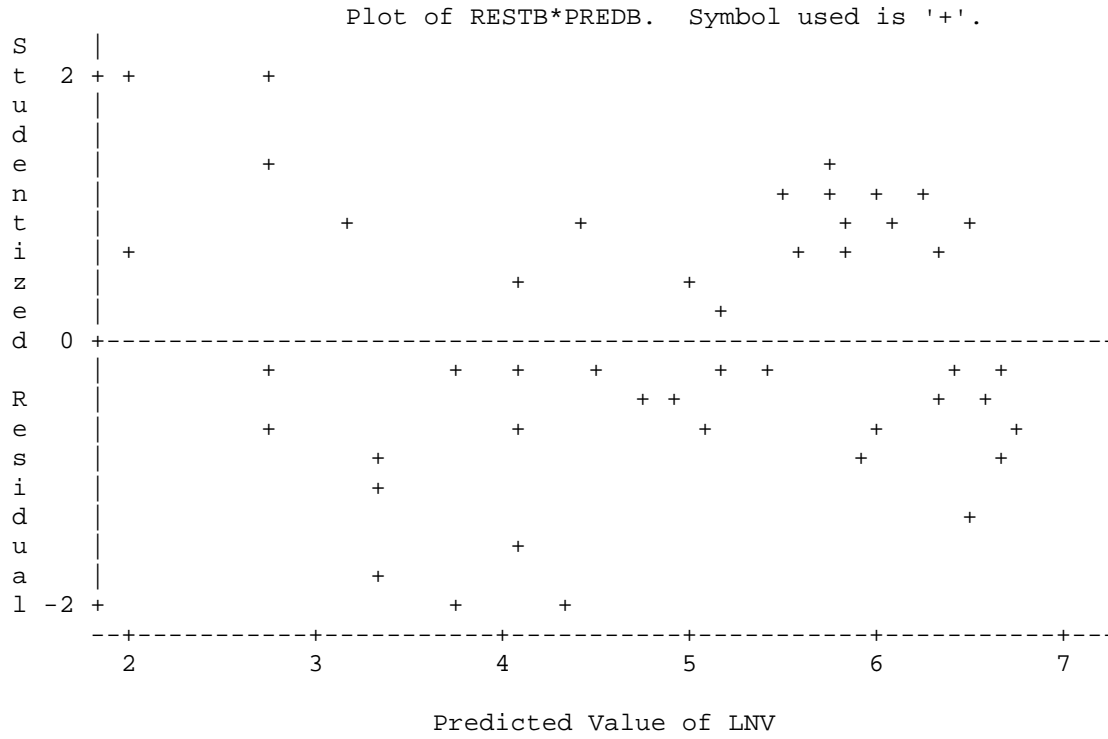
Volumen en función de la edad

Calidad de Sitio I

Plot of RESTB*PREDB. Symbol used is '+'.

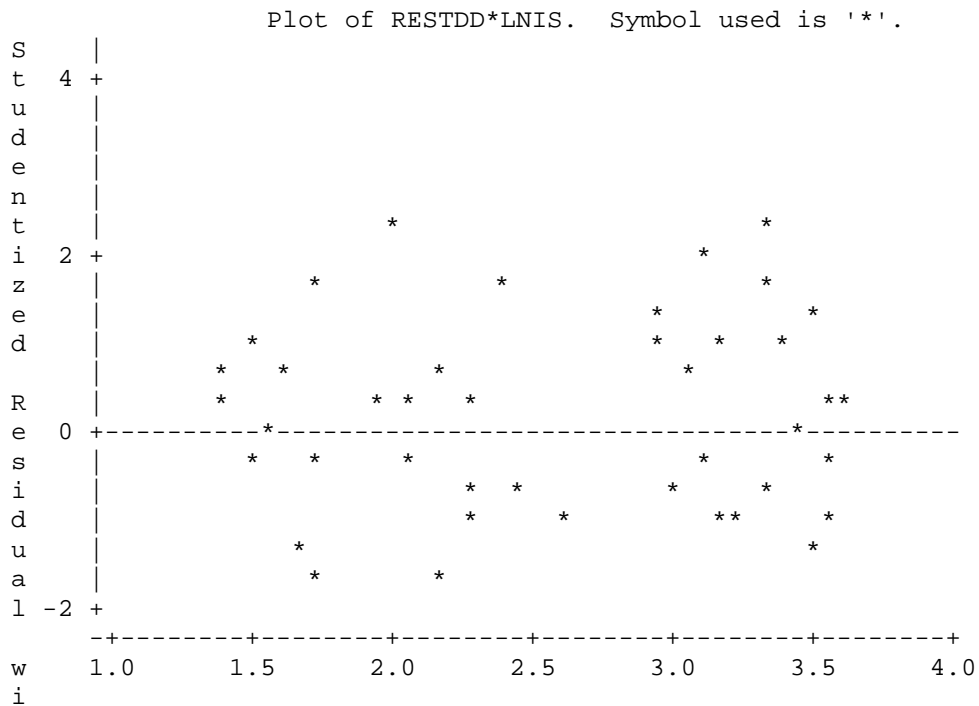


Predicted Value of LNV
Calidad de Sitio II



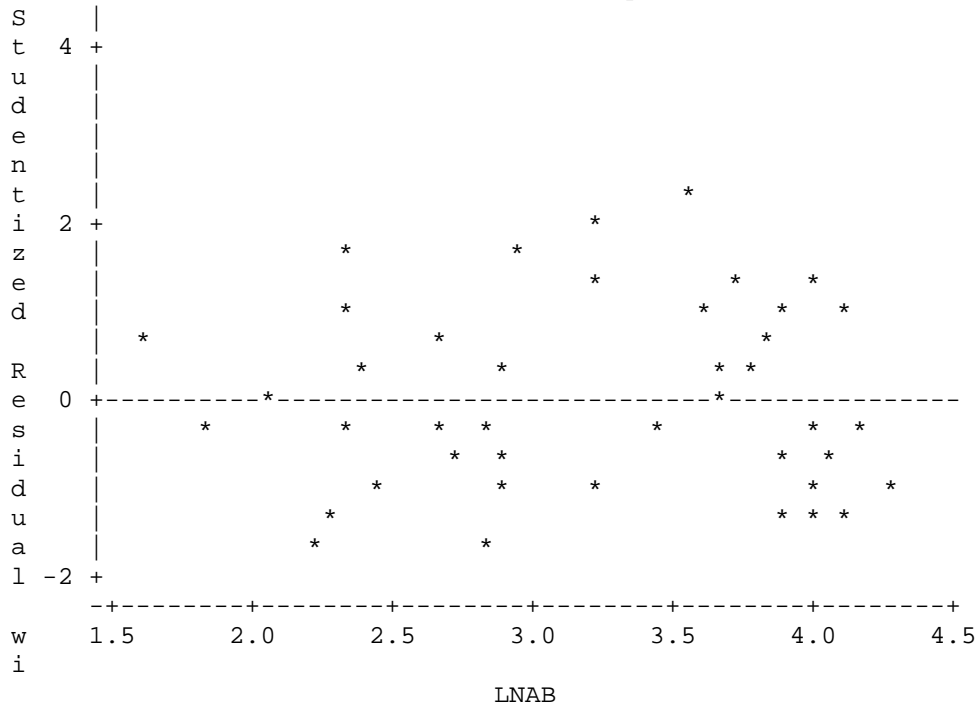
Volumen en función de edad, índice de sitio y área basal

Calidad de Sitio I

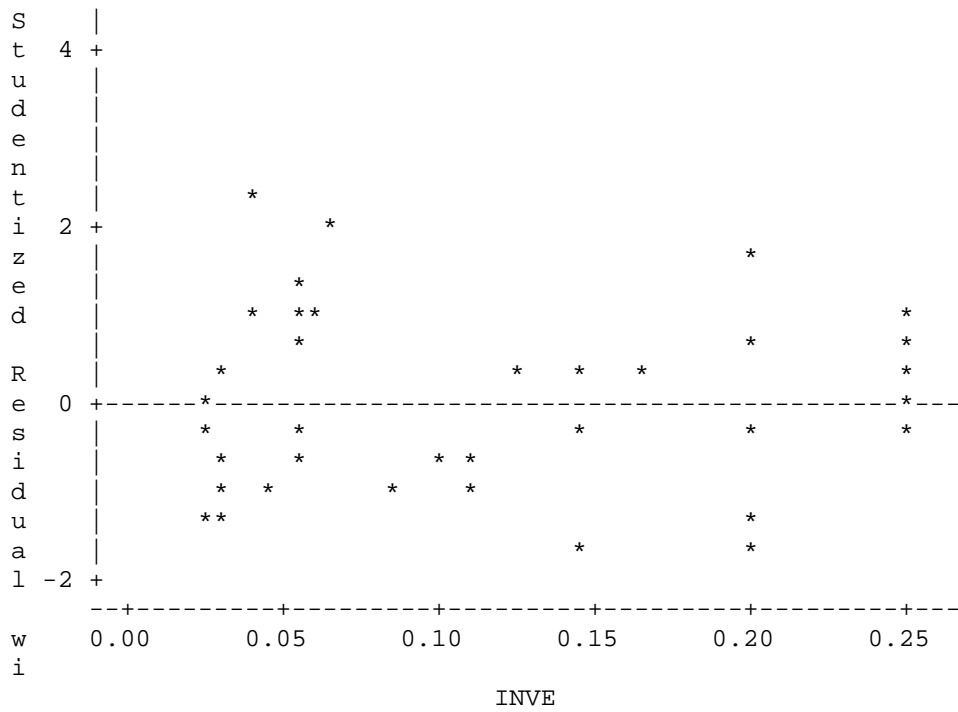


LNIS

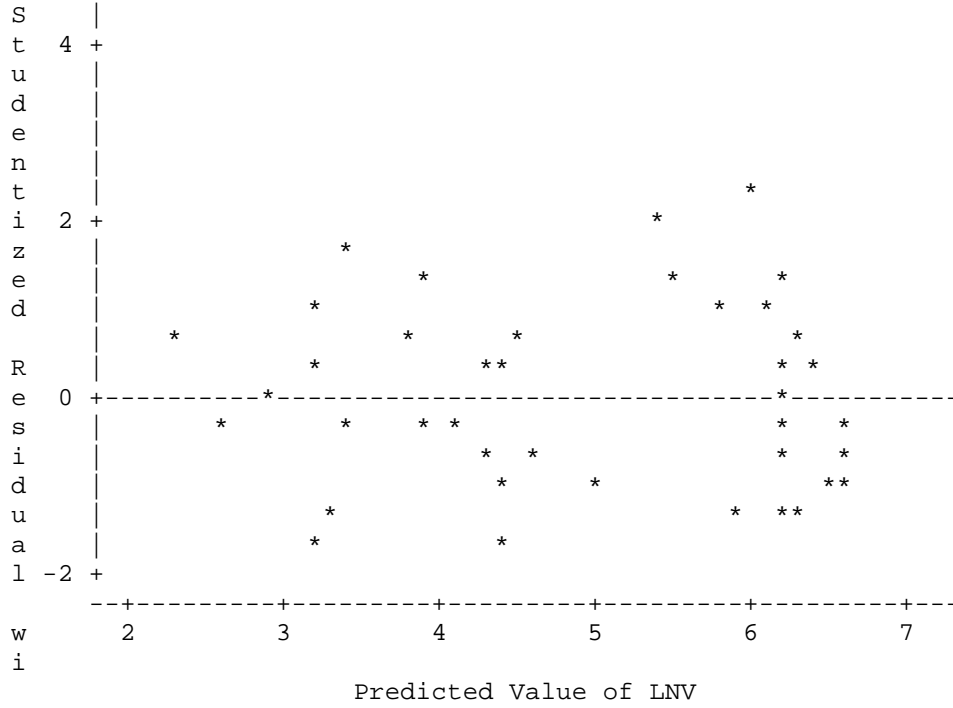
Plot of RESTDD*LNAB. Symbol used is '*'.



Plot of RESTDD*INVE. Symbol used is '*'.

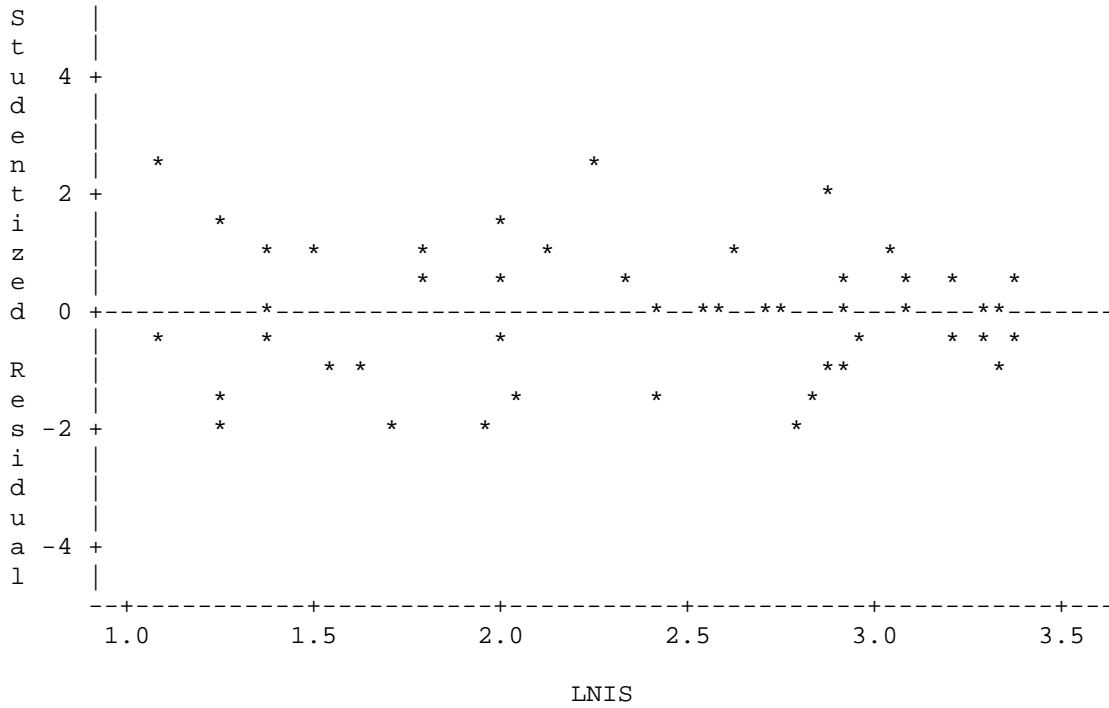


Plot of RESTDD*PREDD. Symbol used is '*'.

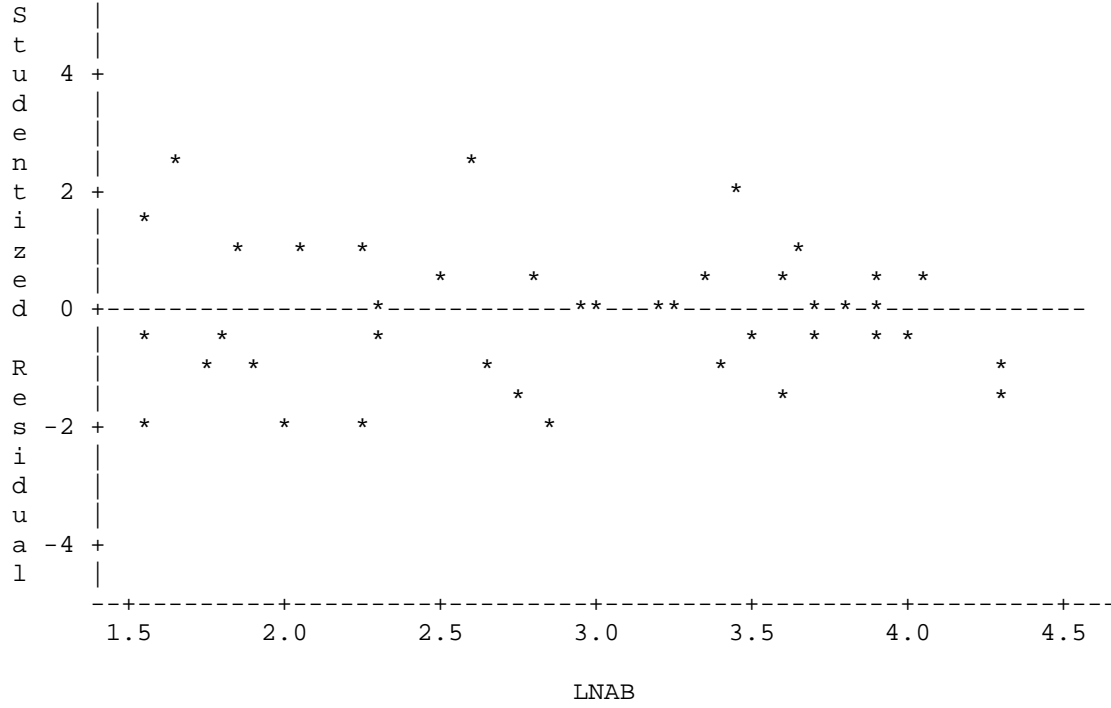


Calidad de Sitio II

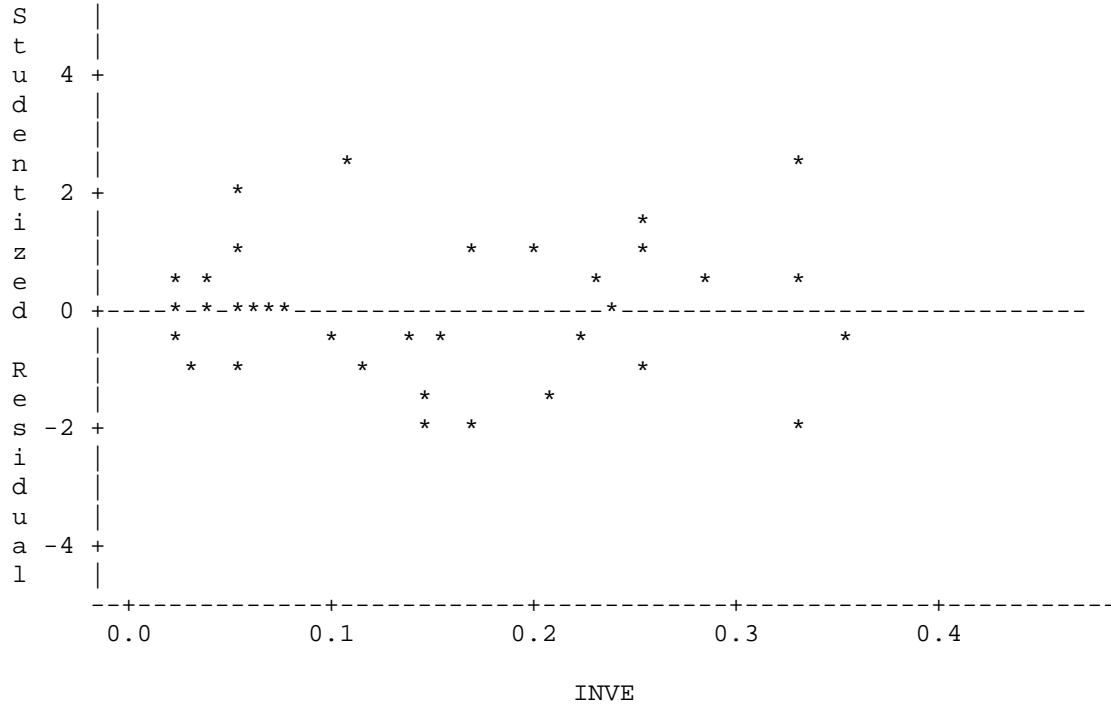
Plot of RESTD*LNIS. Symbol used is '*'.



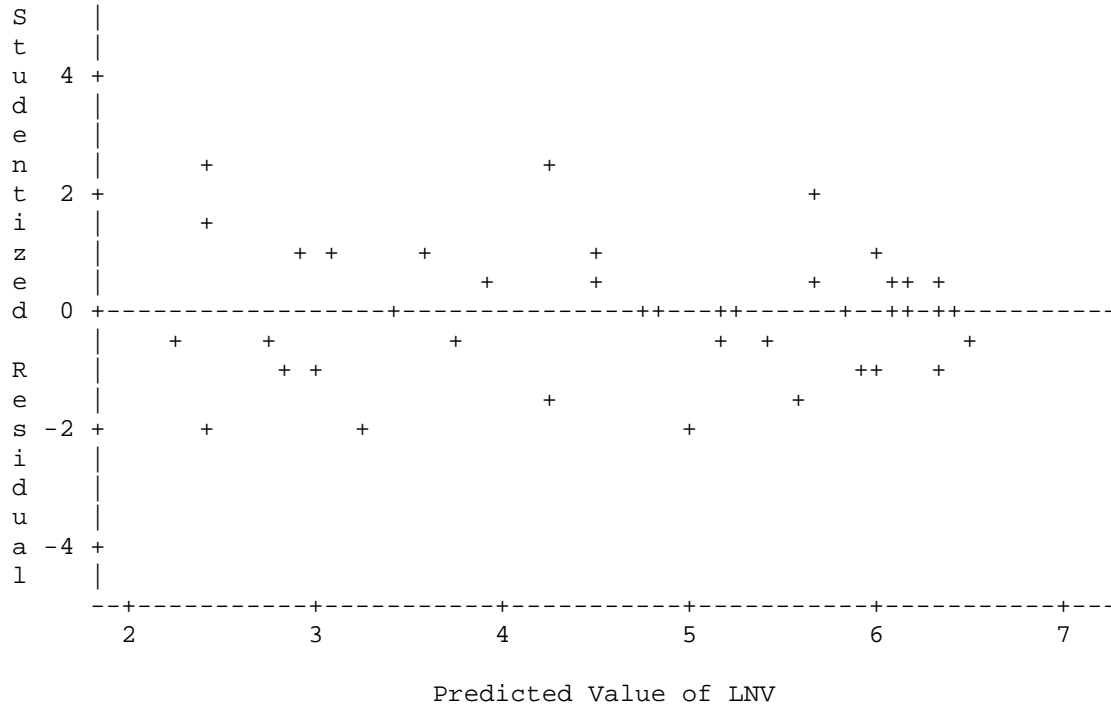
Plot of RESTD*LNAB. Symbol used is '*'.



Plot of RESTD*INVE. Symbol used is '*'.



Plot of RESTD*PREDD. Symbol used is '+'.



ANEXO 4

Programa de SAS para Modelos de Crecimiento

```

OPTIONS LS=75 PS=80 NODATE;
DATA PINO;
INFILE 'C:\TESIS\PROCES\BASDAT\EDADALT1.TXT';
INPUT X Y;
LNH=LOG(Y); 1/EK=1/(X**0.597844); LNE=LOG(X); LNE2=LNE*LNE;
E2=X*X; E22/H=E2/Y; 1/E=1/(X);
PROC PRINT;
VAR X Y LNH 1/EK LNE LNE2 E2 E22/Y 1/E;
PROC REG;
TITLE "MODELOS PARA LA RELACION EDAD-ALTURA,DAP, VOLUMEN";
MODEL LNH= 1/EK;
MODEL LNH= LNE LNE2;
MODEL E22/H= E E2;
MODEL Y= LNE;
MODEL Y= E E2;
MODEL E22/H= E2;
MODEL LNH= 1/E;
MODEL LNH= LNE;
RUN;

```

Donde:

X= Edad
Y= Altura, DAP o Volumen

Programa de SAS para Modelos de Rendimiento

Volumen en Función de la Edad

```

OPTIONS LS=75 PS=80 NODATE;
DATA PINO;
INFILE 'C:\TESIS\PROCES\BASDAT\EDADALT1.TXT';
INPUT X Y;
LNH=LOG(Y); 1/EK=1/(X**0.597844); LNE=LOG(X); LNE2=LNE*LNE;
E2=X*X; E22/H=E2/Y; 1/E=1/(X);
PROC PRINT;
VAR X Y LNH 1/EK LNE LNE2 E2 E22/Y 1/E;
PROC REG;
TITLE "MODELOS PARA LA RELACION EDAD-ALTURA,DAP, VOLUMEN";
MODEL LNH= 1/EK;
MODEL LNH= LNE LNE2;
MODEL E22/H= E E2;
MODEL Y= LNE;
MODEL Y= E E2;
MODEL E22/H= E2;
MODEL LNH= 1/E;
MODEL LNH= LNE;
RUN;

```

Donde:

X= Edad
Y= Volumen

Volumen en Función de la Edad, Índice de Sitio y Area Basal

```
OPTIONS LS=75 PS=80 NODATE;
DATA PINO;
INFILE 'C:\TESIS\PROCES\BASDAT\EDADALT1.TXT';
INPUT X Y Z W;
LNY=LOG(Y); 1/S= 1/Z; 1/E= 1/X; LNS= LOG(Z); LNG= LOG(W);
PROC PRINT;
VAR X Y Z W LNY 1/S 1/E LNG;
PROC REG;
TITLE"MODELOS PARA LA RELACION EDAD-VOLUMEN-INDICE DE SITIO-AREA BASAL";
MODEL LNY= 1/S 1/E LNG;
MODEL LNY= Z 1/E LNG;
MODEL LNY= LNS LNG 1/E
RUN;
```

Donde:

X=	Edad
Y=	Volumen
Z=	Índice de Sitio
W=	Area Basal