

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL**



Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca

Por:

ISRAEL HERNÁNDEZ LÓPEZ

TESIS PROFESIONAL

**Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2003

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL**

**Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos
silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca**

Por:

ISRAEL HERNÁNDEZ LÓPEZ

TESIS PROFESIONAL

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

Coordinador de la División de Agronomía

Asesor Principal

M. C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2003

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

**Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos
silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca**

TESIS PROFESIONAL

**Que se somete a consideración del comité de tesis
Como requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO FORESTAL

Por:

ISRAEL HERNÁNDEZ LÓPEZ

APROBADA

Asesor principal

ING. CELESTINO FLORES LÓPEZ

Asesor

Asesor

M. C. SALVADOR VALENCIA MANZO Ph. D. ELADIO H. CORNEJO OVIEDO

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2003**

DEDICATORIA

A los seres queridos que me dieron vida, que de ellos he recibido amor, apoyo incondicional. Porque sobran razones y me faltan palabras para describir su humilde y tan grande esfuerzo por permitirme conquistar otros horizontes, mis padres: Ramón Hernández López y Catalina López Ramírez.

A mis hermanos; Gerardo, Rubén, Jorge y Fabián, porque de ustedes he aprendido a tener voluntad para seguir adelante, perseverancia para lograr mis objetivos.

A mis cuñadas; Manuela y Silvia, por la muestra de afecto y apoyo que he recibido de ustedes.

A mis sobrinos; Gerardo Ivan y Janeth, por su inocencia y alegría.

A mis tíos; que con sus sabios consejos me apoyaron para seguir adelante en mis estudios.

A mi pueblo natal; Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca., por todo lo que me ha dado..... el orgullo de ser Chinanteco.

A todos los profesionales que con su esfuerzo cotidiano luchan por un mundo mejor..... a los campesinos, artesanos, obreros y amas de casa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas para mi formación profesional.

Al Ing. Celestino Flores López, por dirigir el presente trabajo, su interés incondicional en transmitirme sus conocimientos, sobre todo por brindarme su amistad y por ser parte del comité de tesis.

Al M. C. Salvador Valencia Manzo, por brindarme todas las facilidades y asesoría en la realización de la tesis y por ser parte del comité de tesis.

Al Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo, por su invaluable aportación de sugerencias que contribuyeron a mejorar el presente trabajo y por ser parte del comité de tesis.

Al Centro de Educación y Capacitación Forestal "Lázaro Cárdenas del Río". No. 2. Santa María Atzompa, Oaxaca., por ser parte de mi formación.

Al personal de la Unión de Comunidades Zapoteca-Chinanteco (UZACHI), por brindarme su amistad incondicional y sobre todo compartir conmigo sus conocimientos.

Al Comisariado de Bienes Comunales de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca., por su apoyo en la realización de los trabajos de campo para el presente trabajo.

A la Autoridad Municipal de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca., por su apoyo y sugerencia en la realización del presente estudio.

A Bonifacio Hernández López, Juvencio Hernández López, Norberto Hernández López, Ricardo Noé Hernández López, José Antonio Hernández Ruiz, Artemio López Hernández, Gabriel López Hernández, Norberto López Hernández, Rodolfo López López, Serafín López López, Jesús Luna García, Eloy Luna López, Gregorio Santiago y Rodrigo Torres Hernández, por el apoyo que me brindaron en la toma de datos de campo.

Al personal del departamento de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por su asesoría y apoyo para el análisis de suelos del área de estudio, en especial al Ph. D. Edmundo Peña.

Al D. Jose A. Villarreal Quintanilla y M. C. Juan A. Encinas Domínguez, por la identificación de las especies presentes en el área de estudio.

Al Ing. José A. Ramírez Díaz, por facilitarme material y área para el acondicionamiento de las rodajas para su posterior análisis.

Al Ph. D. Alejandro Zárate Lupercio, por darme la oportunidad de tener mis primeras experiencias profesionales.

A la Biol. Eglantina Canales Gutiérrez, por permitirme ejercer mi profesión en PROFAUNA de Saltillo, Coahuila.

A la Ing. Yolanda Lara, por darme la oportunidad de participar en los trabajos de muestreo de suelos como parte del proyecto de ordenamiento territorial de las comunidades de Tamazulapam, Mixe y Santiago Nuevo Zoquiapam, Ixtlán, Oaxaca.

Al Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca., por permitirme laborar en la Coordinación de Desarrollo Rural Municipal.

A todos mis amigos y amigas de la generación XC de ingenieros forestales; en especial a los Ing. Mario Valerio Velasco García, Vicente Ruiz Alonso, Raúl Silva Maldonado, Ignacio Reyes Nicolás y María Del Carmen Zapata Castro.

A los integrantes de la Asociación de Estudiantes Oaxaqueños de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, A. C. por depositar en mi su confianza y amistad, en especial a: Valentín García, Simey Cruz, Maximino Josue Cruz, Jorge Luis Cuevas, Jaime Martínez, Jose Luis Feliciano, Marco Antonio Martínez, Adriana Camarillo, Verónica Santiago, Elena Santiago, Josefina Juárez, Ofelia Celis, Marta Vázquez y Teodora Santos.

A todos mis amigos y amigas de Santiago Comaltepec, con quienes he compartido gratos momentos que serán inolvidables.

A todas aquellas personas que de alguna manera han contribuido en mi formación profesional y que involuntariamente no los menciono, sea éste un pequeño homenaje.

Ve a la hormiga,
mira sus caminos, y sé sabio;
la cual no teniendo capitán,
ni gobernador, ni señor,
prepara en el verano su comida,
y recoge en el tiempo de la siega su
mantenimiento.

Proverbios 6:6-8

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Descripción del área de estudio	7
Descripción de las áreas plantadas	12
Etapa de campo	14
Análisis troncal	14
Modelos de crecimiento	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
Crecimiento representativo de tres especies de pino establecidas bajo el tratamiento silvícola de árboles padres	19
Plantación de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez	19
Plantación de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	24
Plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	31
Plantación de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl y <i>P. ayacahuite</i> Ehr.	36
Crecimiento representativo de tres especies de pino establecidas bajo el tratamiento silvícola de selección en grupo.	41

Plantación de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr.	41
Plantación de <i>P. patula</i> et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	48
Plantación de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.	54
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
LITERATURA CITADA	61
APÉNDICE	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
1 Características geográficas y fisiográficas de las áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.	9
2 Análisis de suelos muestreados en áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.	10
3 Densidad absoluta y relativa, espaciamiento, altura, diámetro y edad de las áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.	12
4 Modelos de crecimiento empleados para estimar el crecimiento de tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1 Mapa de localización de las áreas de estudio	8
2 Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres	19
3 Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres	21
4 Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres	22
5 Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres	23
6 Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	25
7 Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	27
8 Curva de crecimiento representativo en área basal de una Plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	29
9 Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	30
10 Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	32

11	Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	33
12	Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	34
13	Curva de crecimiento representativo en volumen de plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres	35
14	Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres	37
15	Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres	38
16	Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres	40
17	Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres	41
18	Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo	43
19	Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo	44
20	Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo	45
21	Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez, <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. y <i>P. ayacahuite</i> Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo	47

22	Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	48
23	Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	50
24	Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	51
25	Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham var. <i>longipedunculata</i> Martínez y <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	52
26	Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	55
27	Curva de Crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	56
28	Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	57
29	Curva de crecimiento representativo en área volumen de una plantación establecida de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo	58

RESUMEN

En plantaciones de pino establecidas en áreas con dos tratamientos silvícolas en la comunidad de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca, se evaluó el crecimiento del árbol promedio de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehr. Para dicho propósito se utilizó la metodología de análisis troncales. En árboles padres se evaluaron 21.147 hectáreas en edades que oscilan entre 6 y 13 años de edad y en selección en grupos se evaluaron 2.325 hectáreas con edades que oscilan entre 1 y 6 años de edad.

Tanto el área de plantación y el sitio fueron elegidos de forma selectiva, para cada especie presente en la plantación. Se derribó el árbol representativo y se tomaron los datos de diámetro y rodajas a alturas de 0.0 m, 0.30 m, posteriormente rodajas a cada 0.50 m hasta la yema apical; se realizó para cada árbol el análisis troncal determinando la edad para diferentes alturas, el diámetro, el área basal y el volumen, en el cálculo de volumen se utilizaron los tipos dendrométricos, se utilizó el paquete estadístico S.A.S (Statistical Analysis System). Para estimar la tendencia del crecimiento de las variables (altura, diámetro, área basal y volumen) se emplearon 10 modelos de crecimiento no lineales, se estimaron los parámetros de cada modelo utilizando el procedimiento NLIN (Non Linear Regressión) del paquete estadístico SAS, seleccionando como el mejor modelo aquel que presentara menor suma de cuadrados del error o suma de cuadrados residuales (SCE).

De los modelos de crecimiento empleados, todos presentaron buen ajuste en alguno de los parámetros evaluados excepto Chapman-Richards que sólo presentó valor cercano al ajustado en una ocasión. De las especies plantadas *Pinus patula* var. *longipedunculata* presentó mayor crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen, seguido por *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* que registró menor crecimiento. *P. ayacahuite* ocurrió en baja frecuencia y proporción, por lo tanto no se puede inferir como en las dos primeras especies. Debido en que se encuentran en la etapa juvenil presentan un crecimiento ascendente de forma acelerada, en plantaciones en donde se realizó reposición de plántulas en años posteriores, como consecuencia de esto, existe evidencia que afectó disminuyendo el crecimiento en la especie empleada para tal fin.

INTRODUCCIÓN

Con base en el inventario nacional forestal periódico de 1994, la superficie forestal del país es de 141.7 millones de hectáreas de las cuales 22.3 millones presentan diversos grados de perturbación, durante las últimas cuatro décadas este proceso se ha incrementado entre 370,000 y 746,000 ha año⁻¹ para selvas y bosques (INEGI, 1998).

México cuenta con 10.7 millones de hectáreas que tienen las características de clima, suelo y disponibilidad necesaria para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales (SEMARNAT, 2001). A pesar de dicha superficie disponible las plantaciones industriales son incipientes, el país es un importador crónico de materias primas celulósicas para la producción de papel, pero incluso en los últimos años la capacidad industrial instalada para producir celulosa ha disminuido (Sosa, 1992).

En la actualidad el establecimiento de plantaciones forestales es una práctica que cada vez se hace más cotidiana debido a que por una parte la ley forestal para otorgar permisos de aprovechamiento maderable establece dentro de las obligaciones para el solicitante compromisos de forestación o reforestación y por otra parte los diferentes usos que esta actividad representa. Aunque en su mayoría se encuentran encaminadas a la restauración de áreas degradadas, son pocos los intentos que se han realizado en torno al establecimiento de plantaciones comerciales (Prieto y Rubio, 1994; Armendáriz y Chacón, 1997; SEMARNAP, 1998).

Los fracasos en plantaciones forestales establecidas en diferentes partes de México, han sido resultados de la falta de conocimiento técnico que permita realizar una planeación adecuada y que conlleve al éxito en el establecimiento de plantaciones. Existen estudios en crecimiento que revelan la importancia de tener conocimiento técnico adecuado, como es el caso de los incrementos registrados en *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* Martínez establecidos en Huayacocotla, Ver., donde fueron superiores a los alcanzados en bosques naturales (Sosa, 1992; Monroy y Sampieri, 1997; Monroy *et al.*, 1997).

El estado de Oaxaca se considera eminentemente forestal, ya que cuenta con una superficie de 2.3 millones de hectáreas de bosques de coníferas, en donde se encuentran 14 especies del género *Pinus* y otras especies de latifoliadas que se desarrollan en diversas condiciones ecológicas; en cuanto a producción maderable se ubica en los primeros lugares superado por Durango y Chihuahua (INEGI, 1997). Los principales problemas de las plantaciones forestales en el estado son: desconocimiento de la respuesta en crecimiento de las especies y procedencias de alto rendimiento, desconocimiento de aspectos de cultivo y rendimiento de las especies forestales (Castellanos *et al.*, 1994); así mismo, se debe tener presente que el conocimiento del proceso de crecimiento e incremento en las especies arbóreas es importante para una adecuada planeación de manejo forestal (Jiménez y Kramer, 1992).

En Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca, las especies que se utilizan en plantaciones forestales son: *Pinus patula* Schl. *et* Cham *var. longipedunculata* Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehr. Estas plantaciones se realizan en áreas con tratamientos silvícolas y en los últimos años en áreas afectadas por incendios forestales para asegurar la regeneración del bosque. En esta región no se cuenta con información del desarrollo de las plantaciones establecidas, que puedan indicar el éxito obtenido con el propósito de tener experiencia y evitar fracasos en futuras plantaciones. Las investigaciones más cercanas a la región son los referentes a plantaciones forestales comerciales de coníferas en La Sabana, Oaxaca, a cargo de Fábricas de Papel Tuxtepec, S.A. (Ruíz *et al.*, 1996).

El bosque en su desarrollo natural tiene la capacidad de regenerarse por sí solo; sin embargo, esto toma más tiempo comparado con la intervención del hombre mediante técnicas de manejo silvícola, dentro de ella corresponden las cortas de regeneración (Chacón y Sánchez, 1986), éstas son consideradas como las más importantes debido a que su objetivo es mantener la persistencia del bosque; dentro de los métodos para la regeneración del bosque en clima templado se encuentra el método de árboles padres y el método de selección en grupos (Hernández *et al.*, 1999).

El principal objetivo del método de árboles padres es homogeneizar y regularizar los bosques obteniendo montes regulares (Valencia, 1992). Este método se aplica a

bosques maduros o viejos que ya no crecen o que crecen muy poco y se necesita una corta de regeneración, los individuos que quedan en pie se llaman árboles padres que servirán de semilleros (Dirección General para el Desarrollo Forestal, 1982). Para la aplicación de este sistema, todos los árboles deben ser de tamaño comercial independientemente del número de clases de edad que están presentes (Hawley y Smith, 1972).

Chacón *et al.* (1998) aplicaron cortas de regeneración de árboles padres en *Pinus arizonica* Engelm. en Chihuahua a diferentes coberturas y observaron que el crecimiento de los brinzales fue mayor en las coberturas más abiertas.

Por su parte, el método de selección en grupo consiste en remover en grupo árboles mal conformados, dominados, enfermos, maduros y viejos, formando aberturas suficientes para favorecer el establecimiento de la regeneración, este método se aplica para mantener el estado incoetáneo del bosque (Mas, 1990). Aunque las aberturas no deben ser tan grandes para que no pierdan las características de protección que le brindan los árboles circundantes y ésta se pierde a medida que aumente la abertura (Hawley y Smith, 1972; Daniel *et al.*, 1982).

En el caso de *Pinus patula*, las plantaciones deben establecerse en lugares con suelos profundos y fértiles, con precipitación anual de 1000 mm o más, de elevada humedad ambiental y sin fuertes vientos. La especie tiene mejor desarrollo en clima templado húmedo, con precipitación del mes más seco mayor de 40 mm y lluvia invernal menor de 18% del total anual. En lugares con menor precipitación (700 mm) disminuye su crecimiento (Villarreal, 1994).

En un estudio realizado por Mas *et al.* (1993) de plantaciones forestales en el campo experimental forestal Barranca de Cupatitzio, Mich., donde experimentaron con seis especies; cinco del género *Pinus* y una del género *Fraxinus*, así como varios espaciamientos y tamaños iniciales de planta; los autores concluyen que la especie que relativamente respondió mejor a una mayor amplitud de espaciamiento fue *Pinus pseudostrobus* que se caracteriza por ser intolerante en grado medio. En ésta especie el espaciamiento fue de 2 x 2 m y superó al de 1 x 1 m en un 23% en incremento en

diámetro, con relación al valor más alto del experimento. Por otra parte, Monroy y Trinidad (1993) en un estudio realizado en plantaciones comerciales de 10 años de edad de *Pinus patula* en el Noroeste de Veracruz, mencionan que los espaciamientos propuestos son 2.5 x 2.5 m para suelos de alta fertilidad y 2.75 x 2.75 m para suelos de baja fertilidad.

En *Pinus patula* establecido en el estado de Michoacán, los resultados sobresalientes muestran que cuando se emplea el espaciamiento de 1.5 x 1.5 m se obtienen incrementos de 12 a 17 m³ ha⁻¹ dependiendo de la localidad y tratamientos aplicados, cuando se amplía el espaciamiento a 3 x 3 m o más, el valor del incremento medio anual en volumen se reduce considerablemente (García, 1992).

En cuanto a podas, Valenzuela y Trinidad (1992) señalan que para plantaciones de *Pinus patula* en Huayacocotla, Ver., las podas son adecuadas en el periodo de crecimiento de 7 a 10 años debido a que el área basal se incrementa en forma significativa.

Por otra parte se evaluaron intensidades de poda en plantaciones de pinos en Capácuaro, Mich., en donde *Pinus pseudostrobus* mostró los mejores incrementos periódicos en altura y diámetro cuando se empleó el 50% de intensidad de poda mientras que *P. michoacana* obtuvo el mayor incremento periódico en altura con el 33% y el mayor incremento periódico en diámetro con el 50% (García y Toledo, 1992).

Para lograr un buen manejo de los bosques una de las variables de mayor importancia que requiere ser calculada con toda precisión, es la que se refiere a su crecimiento, considerando a ésta como el aumento en las dimensiones (altura, diámetro, área basal y volumen) de un árbol (Madrigal, 1995). En las zonas de clima templado las capas del incremento anual se aprecian claramente, éstas sirven para la estimación del crecimiento e incremento del árbol, debido a que es posible por medio de ellas saber que tan grande era el árbol, cual era su diámetro y cual 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 (Klepac, 1976; Prodan *et al.*, 1997).

El crecimiento de los árboles individuales está influenciado por sus características genéticas y su interrelación con el ambiente (factores climáticos y de suelo y características topográficas, cuya suma representa la calidad de sitio) (Prodan *et al.*, 1997). Las variables dasométricas del árbol que se modifican son: altura, diámetro, área basal y volumen. La altura es la variable que presenta mayor crecimiento en mejores calidades de estación (Hocker, 1984). El mayor crecimiento en diámetro ocurre en mayores espacios y presencia de luz (Klepac, 1976). El área basal está parcialmente controlada por factores genéticos, pero cambia también con la influencia de los componentes bióticos, físicos y químicos del ambiente, a medida que el número de árboles aumenta por hectárea el área basal tiende a aumentar, pero disminuye individualmente (Daniel *et al.*, 1982). El incremento en volumen del árbol éste depende del crecimiento en altura y diámetro, y del grado de conicidad, la variación en el grado de crecimiento de cada lugar provoca que la especie presente variaciones en el volumen, también depende el número de árboles por unidad de área (Klepac, 1976; Spurr y Barnes, 1982; Ramírez y Zepeda, 1994).

Tanto la altura, el diámetro, el área basal y el volumen pueden ser representados a través del tiempo (Prodan *et al.*, 1997). Para esto, los modelos de crecimiento ayudan a predecir el incremento y rendimiento de árboles y masas forestales, predicciones necesarias para la instrumentación de esquemas de regularización (Madrigal y Ramírez, 1995).

Se tienen pocos conocimientos de trabajos realizados en crecimiento y productividad en plantaciones, los existentes en su mayoría han utilizado la altura dominante como una forma de expresar la calidad de sitio en bosque natural, de igual forma en plantaciones. Por ejemplo, Romero y Ramírez (1997) realizaron un trabajo de crecimiento de plantaciones de *Pinus patula* en Huayacocotla, Veracruz, y encontraron que el mayor incremento en altura se registra en edades tempranas.

Otro trabajo que se refiere a productividad de plantaciones, es el de Monroy *et al.* (1997), quienes realizaron una evaluación de crecimiento y productividad de *Pinus patula* en Veracruz, para ello utilizaron datos de edad-altura de 72 análisis troncales de

árboles dominantes provenientes de 24 rodales en dos municipios. Con tales datos se generó un sistema de curvas anamórficas de índice de sitio a una edad base de 40 años.

En un trabajo similar realizado con *Pinus patula* en Colombia, utilizando análisis troncal de árboles de plantaciones de 4 a 14 años de edad, se derivaron las curvas de índice de sitio con edad base de árboles de 15 años de los datos de altura-edad, identificando cuatro clases de índice de sitio: I = mayor de 25 metros. II= 22 a 25 metros, III= 19 a 22 metros y IV= menor de 19 metros (Córdoba, 1985).

Por otra parte, Jiménez y Kramer (1992) evaluaron la dinámica del crecimiento de especies arbóreas en un rodal mixto-incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal en donde seleccionaron tres árboles muestra de *Pinus pseudostrobus* y *Juniperus flaccida* Schltdl., para cada especie se eligieron árboles dominantes en claros bien definidos.

El presente estudio se realizó en la comunidad de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca, con el objetivo de describir el crecimiento del árbol promedio de las plantaciones de *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. pseudostrobus* y *Pinus ayacahuite* bajo los tratamientos silvícolas de árboles padres y selección en grupo, utilizando análisis troncales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El área de estudio se localiza en el paraje denominado Las Cascadas ubicado dentro del predio comunal de Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Sus coordenadas geográficas corresponden aproximadamente a $96^{\circ} 28' 27''$ de longitud Oeste y $17^{\circ} 34' 14''$ de latitud Norte (INEGI, 1984c; 1993) (Figura 1).

La zona forma parte de la Sierra Juárez, constituida por una franja de cordones que sirven de cabeceras a pequeñas y grandes barrancas formando una topografía muy accidentada. Las elevaciones sobre el nivel del mar están comprendidas entre 2400 y 3100 metros, con pendientes que van desde 10 a 70%. Existe dominancia de exposiciones Noreste y Noroeste (Castaños, 1962; INEGI, 1984c). Las plantaciones se encontraron en elevaciones sobre el nivel del mar comprendidas entre 2390 y 2660 m, con exposiciones de NE a NW y pendientes que van desde 20% hasta 44% (Cuadro 1).

En el flanco este del sector sur de la Sierra Madre Oriental que corresponde a la Sierra Juárez, está expuesta una gruesa secuencia de rocas sedimentarias mesozoicas que descansan sobre un basamento metamórfico que aflora principalmente en el flanco occidental de la misma sierra. Este basamento metamórfico, constituido por esquistos, gneises y filitas derivados de rocas sedimentarias, ha sido tradicionalmente atribuido al paleozoico y precámbrico (SARH 1982; INEGI, 1984b y 1997). Los tipos de suelos que existen en esta zona son: litosoles, rendzinas y cambisoles (Cetnal, 1976), son suelos pocos profundos de alta susceptibilidad de erosión y su vegetación es de bosque o selva (FAO-UNESCO, 1990). Los resultados obtenidos en el presente estudio referente a suelos se presentan en el Cuadro 2, de forma general son suelos con más del 34% de arcilla, lo que indica suelo arcilloso de textura fina (FAO-UNESCO, 1990). El contenido de materia orgánica varía de 10.88 a 54%. El pH de estos suelos varía de 4.4 a 6.8, su

Figura 1. Mapa de localización.

Cuadro 1. Características Geográficas y fisiográficas.

Cuadro 2. Resultados de suelos.

clasificación sería de extremadamente ácido a medianamente ácido (Kononova,1982). En cuanto a fertilidad el contenido de nitrógeno presenta valores que oscilan entre de 0.476 hasta 2.750%, fósforo con 51.436 hasta 483.24 mg kg⁻¹ y potasio desde 160 hasta 440 mg kg⁻¹ con estas características se considera que es un suelo fértil para terrenos forestales debido a que los elementos de N P K hacen que varíen desde rico a extremadamente rico (Castaños, 1962; FAO-UNESCO, 1990).

El clima corresponde a un C (m) (w") b (i) g que es templado-húmedo con lluvias en verano, precipitación del mes más seco menor a 40 mm y con lluvia invernal entre el 3 y 10% del total anual, con precipitación total anual de 1544.70 mm (Castaños, 1962; García, 1987; INEGI, 1993).

La vegetación corresponde a un bosque de pino-encino, con especies de pino como *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. pseudostrobus*, *P. ayacahuite* y *P. rudis* Endl. y especies del género *Quercus* como *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. rugosa* Née y *Q. crasifolia* Humb. et Bonpl., (INEGI, 1984b; Negreros y Snook, 1984). El arbolado de menor importancia son: *Arbutus glandulosa* Martens et Galeotti y *Alnus acuminata* Kunth (Pennington y Sarukhán, 1998). Otras especies que se pudieron observar en las plantaciones fueron: *Burcera fagaroides* Engl., *Smilax lanceolata* Linn., *Miconia argentea* Sw., *Pityrogramma calomelanos* Link., *Chusquea bilimekii* Fournier y *Psidium sartorianum* Berg. (Material identificado por personal del herbario de la U.A.A.A.N*).

Descripción de las áreas plantadas

Los tratamientos silvícolas que se aplicaron en el área donde se establecieron las plantaciones son dos: árboles padres y selección en grupo (Cuadros 1 y 3).

En el tratamiento silvícola de árboles padres se encontraron 6 áreas con la presencia de una especie o combinación de especies de *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*, con superficies que van desde 0.158 hasta 6.453 ha, lo que da un total de 21.147 ha en edades que oscilan entre 6 y 13 años, para el análisis de áreas plantadas bajo este sistema silvícola se conjuntaron en 4 grupos de la siguiente manera:

Cuadro 3. Densidad relativa y proporcional.

Grupo I. *Pinus patula* var. *longipedunculata*, esta especie se encontró en el área 1 (Cuadro 1), se obtuvieron dos árboles tipo de dos sitios de muestreo.

Grupo II. *P. patula* var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus*, corresponde al área 7 y sitio 2 del área 6, éste último se consideró bipartido debido a que dentro de él se presentó por una parte combinación de especies de *P. patula* var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* y por otra parte *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* (Cuadro 1), se obtuvieron tres árboles tipo por especie, de dos sitios de muestreo.

Grupo III. *P. pseudostrobus*, corresponde a tres áreas de plantación que son; 8, 9 y 10 (Cuadro 1), se obtuvieron 6 árboles tipo de 6 sitios de muestreo.

Grupo IV. *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*, corresponde al sitio 1 del área 6, se consideró de forma separada debido a que el área presentó por una parte combinación de especies de *P. patula* var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus* y por otra parte *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* (Cuadro 1).

En el tratamiento silvícola de selección en grupo se encontraron 5 áreas con la presencia de una especie o combinación de especies de *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*, con superficies que van desde 0.113 hasta 1.063 ha, lo que da un total de 2.325 ha en edades que oscilan entre 1 y 6 años (Cuadro 3), para el análisis de áreas plantadas bajo este sistema silvícola se conjuntaron en 3 grupos de la siguiente manera:

Grupo V. *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*, estas especies pertenecen al área 2 (Cuadro 1), se obtuvo un árbol tipo por especie, de un sitio de muestreo.

Grupo VI. *P. patula* var. *longipedunculata* y *P. pseudostrobus*, estas especies pertenecen al área 3 (Cuadro 1), se obtuvo un árbol tipo por especie, de un sitio de muestreo.

Grupo VII. *P. pseudostrobus*, esta especie corresponde a tres áreas de plantación que son; 4, 5 y 11(Cuadro 1), se obtuvieron 3 árboles tipo, de 3 sitios de muestreo.

Etapa de campo

Con antelación se revisó el programa de manejo de la comunidad de Santiago Comaltepec para reunir toda la información disponible sobre la distribución de plantaciones en áreas de aprovechamiento maderable. El sistema de muestreo que se utilizó para la elección del rodal y del sitio fue selectivo (Padilla, 1987; Villa y Caballero, 1993). Los sitios representaron cada área de plantación, se delimitó un sitio circular de 1000 m² compensando según la pendiente del terreno. Algunos sitios cubrieron toda el área de la plantación esto se presentó con mayor frecuencia en donde se aplicó el sistema silvícola de selección en grupo, mientras que en plantaciones establecidas bajo el tratamiento silvícola de árboles padres en ocasiones se levantaron hasta tres sitios (Cuadros 1 y 3).

Para elegir el árbol representativo del sitio, se midieron todos los diámetros basales y alturas de todos los pino existentes dentro del sitio divididos en 4 cuadrantes, se eligió el árbol que presentó la altura y el diámetro promedio del sitio, libre de daños físicos, bifurcación, plagas y enfermedades.

Para cada especie presente en la plantación se derribó el árbol representativo con la ayuda de una motosierra, posteriormente se tomaron datos de diámetros a la base y rodajas a alturas de 0.0 m, 0.30 m, posterior a esta última medida se obtuvieron rodajas a cada 0.50 metros hasta la yema apical. Las rodajas que se obtuvieron se guardaron en una bolsa con su identificación correspondiente.

Análisis troncal

Para cada árbol representativo se realizó el análisis troncal de acuerdo a la metodología señalada por Klepac (1976). Las rodajas fueron secadas, después con lija gruesa de cuatro pulgadas se lijó la cara señalada en campo para la evaluación,

después con una lija fina se refinó la cara para facilitar la evaluación de los anillos de crecimiento.

El crecimiento en altura para las demás secciones se obtuvieron contando los anillos de crecimiento en cada rodaja y por diferencia entre la edad total y el número de anillos de las secciones anteriores se determinó la edad para cada altura del corte.

Para determinar el crecimiento en diámetro por año se trazó una línea al centro de la rodaja. Con el apoyo de un estereoscopio 10x se identificaron los anillos de crecimiento. Para medir el diámetro incluyendo diámetro con corteza, se empleó un vernier digital.

El área basal se calculó con la siguiente fórmula (Romahn *et al.*, 1994):

$$AB = \frac{\pi}{4} D^2$$

donde:

A B = área basal de la sección (cm²)

π = 3.1416

D² = diámetro al cuadrado tomado en la base (cm)

El volumen se obtuvo por adición de los volúmenes de los tipos dendrométricos que presenta un árbol (Cailliez, 1980), utilizando el neiloide truncado, el paraboloides apolónico truncado y el cono (Romahn *et al.*, 1994).

Para el cálculo de volumen del tocón correspondiente a la altura 0 a 0.30 m se empleó la fórmula del neiloide truncado siendo el que más se asemeja al tocón (Romahn *et al.*, 1994):

$$V = \frac{H}{4} (S_0 + S_1 + \sqrt[3]{S_0 S_1} (\sqrt[3]{S_0} + \sqrt[3]{S_1}))$$

donde:

V = volumen en cm³

S_0 = área menor en cm^2

S_1 = área mayor en cm^2

H = longitud de la troza en cm

A partir de los 30 cm de longitud en adelante exceptuando la última sección (cono), el cálculo del volumen se realizó con la fórmula del paraboloides apolónico (Cailliez, 1980; Romahn *et al.*, 1994):

$$V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{S_0 + S_1}{2} \right) L$$

donde:

V = volumen en cm^3

S_0 = área menor en cm^2

S_1 = área mayor en cm^2

L = longitud de la troza en cm

π = 3.1416

Para el cálculo de la última sección se utilizó la fórmula del cono (Romanh *et al.*, 1994):

$$V = \frac{S_0 h}{3}$$

donde:

V = volumen en cm^3

S_0 = área de la base del cono en cm^2

h = altura total del cono en cm

Para estimar las alturas totales por anillos de crecimiento, basada en la altura de la sección del punto más alto del análisis troncal, se utilizó la ecuación modificada de Carmean (Newberry, 1991), esto dentro del cálculo del volumen de las puntas de cada cono sobrepuesto. A continuación se muestra la fórmula:

$$H_{ij} = h_i + \frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1} - 0.5} + [j-1] \frac{h_{i+1} - h_i}{r_i - r_{i+1} - 0.5}$$

donde:

H_{ij} = altura total estimada para el anillo de crecimiento j basado en la sección i

h_i = altura del punto i -ésimo (sección inmediata inferior)

h_{i+1} = altura total de la sección tope (sección inmediata posterior)

r_i = número de anillos de crecimiento en el punto i -ésimo (sección inmediata inferior)

j = número de anillos de crecimiento (asumiendo la médula en el punto de inicio)

r_{i+1} = número de anillos de crecimiento en la parte terminal

0.5 = constante

Modelos de crecimiento

Se emplearon diez modelos de crecimiento (Cuadro 4) para estimar el crecimiento en coníferas (Zamudio y Ayerde, 1997). Con el apoyo del paquete estadístico SAS utilizando el procedimiento de regresión no lineal (Non Linear Regression o NLIN), se estimaron los parámetros de cada modelo y se obtuvo la suma de cuadrados del error (SCE), el modelo que se seleccionó fue aquel que presentó menor SCE, además de rectificar el diagrama de dispersión con el ajuste del modelo y los valores graficados de los residuales (Alder, 1980; Vanclay, 1994; Mendenhall y Sinchich, 1997).

Cuadro 4. Modelos de crecimiento empleados para estimar el crecimiento de tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.

Modelo	Ecuación
Schumacher	$Y = \beta_0 e^{\beta_1/t \beta_2}$
Chapman-Richards	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t \beta_2})$
Von Bertalanffy	$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 t \beta_2})^3$
Logístico	$Y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_2 e^{-\beta_1 t})}$
Weibull	$Y = \beta_0 [1 - e^{-\beta_1 t \beta_2}]$
Gompertz	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 e^{-\beta_2 t}}$
Levakovic I	$Y = \beta_0 \left[\frac{t^{\beta_3}}{\beta_1 + t^{\beta_3}} \right]^{\beta_2}$
Korf	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 t - \beta_2}$
Sloboda	$Y = \beta_0 e^{-\beta_1 t} e^{-\beta_2 t^{-\beta_3}}$
Monomolecular	$Y = \beta_0 (1 - \beta_2 e^{-\beta_1 t})$

Y= Valores que toman las variables altura, diámetro, área basal y volumen; t = edad; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parámetros del modelo; e = base de los logaritmos naturales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento representativo de tres especies de pino establecidas bajo el tratamiento silvícola de árboles padres

Plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. var. *longipedunculata* Martínez

Para el crecimiento en altura, el modelo que presentó mejor ajuste fue el de Levakovic I con suma de cuadrados del error (SCE) 0.927054, seguido por el modelo logístico con SCE de 0.956898 (Apéndice 1a)(Figura 2). También Sosa (2001) en su estudio de crecimiento en regeneración natural de *P. teocote* Schl. et Cham., destaca que el modelo Levakovic I resultó ser de buen ajuste.

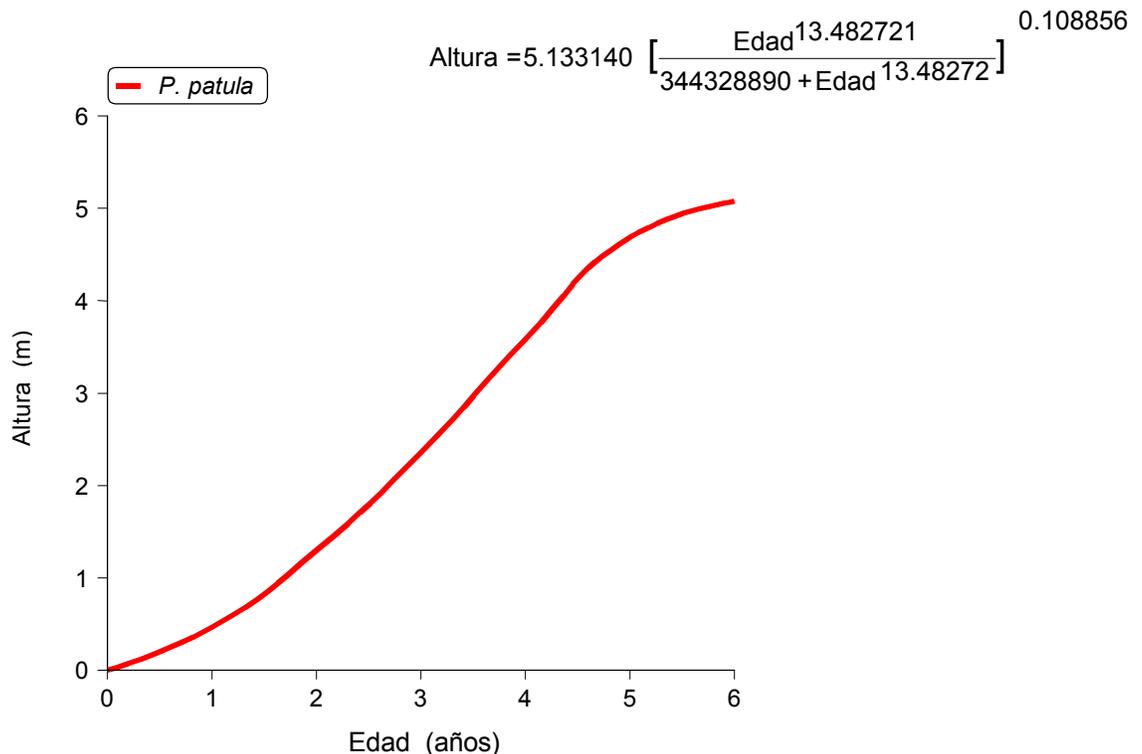


Figura 2. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres.

El crecimiento en altura se asemeja a una curva de forma sigmoideal (Figura 2), mostró en el primer año un crecimiento lento con 0.47 m de altura, a partir de los dos años presentó un crecimiento rápido hasta la edad de 4.7 años con un incremento máximo de 4.6 m de altura, presentó una inflexión a los cinco años que indica una disminución en el crecimiento. El incremento total en altura fue de 5.04 m, con incremento medio anual de 0.84 m.

Valencia y Vargas (1994) evaluaron la variación genética en la velocidad de crecimiento y características de la madera en una plantación joven de *P. patula*, de seis años de edad, establecida en Zacualpan, Ver., con semillas de un huerto sexual de segunda generación de Sudáfrica, pero de procedencia desconocida en México, obtuvieron para el crecimiento en altura un valor promedio por árbol de 7.87 m, con un incremento medio anual de 1.31 m, este incremento es superior por 0.47 m de altura comparado con el resultado que se obtuvo en el presente estudio, aunque éste último no ha sido sometido a un mejoramiento genético, tampoco ha sido sometido a un manejo adecuado como lo es la densidad, la importancia de considerar la densidad como parte de un manejo adecuado se debe a la influencia que ejerce en el crecimiento, como resultó para *Pinus pseudostrobus* en el estudio de García (1989) en Michoacán con edad de 15 años de establecidas donde su incremento medio anual fue de 1.07 m de altura. La especie del presente estudio es una especie con grandes potencialidades de aprovechamiento y de crecimiento (Ortega, 1999).

En el análisis de crecimiento en diámetro el modelo de mejor ajuste fue el logístico con SCE de 11.329966, seguido por el modelo Levakovic I con SCE 11.417958 (Apéndice 4a). Este modelo es recomendado por González (1997) al evaluar el crecimiento de la regeneración natural de *P. rudis* Endl. En la Figura 3 se puede observar la tendencia del crecimiento en diámetro, la curva tiene semejanza de jota. En el primer año mostró un crecimiento lento con 0.53 cm, a partir de los dos años obtuvo un crecimiento ascendente hasta la edad final de seis años, obteniendo un total de 6.32 cm de diámetro, con incremento medio anual en diámetro de 1.05 cm. Este crecimiento es ligeramente inferior comparado con lo que evaluaron Valencia y Vargas (1994) en *P. patula* de 6 años de edad establecida en Zacualpan, Ver., con semilla de huerto sexual de segunda generación de Sudáfrica, pero de procedencia desconocida en México,

encontraron que esta especie presentó un incremento total en diámetro de 10.77 cm, con incremento medio anual de 1.79 cm, los mismos autores concluyen que ésta diferencia puede ser resultado del mejoramiento genético practicado en el material del cual proviene esta población ya que en plantaciones de misma especie, edad y región presentan incrementos inferiores.

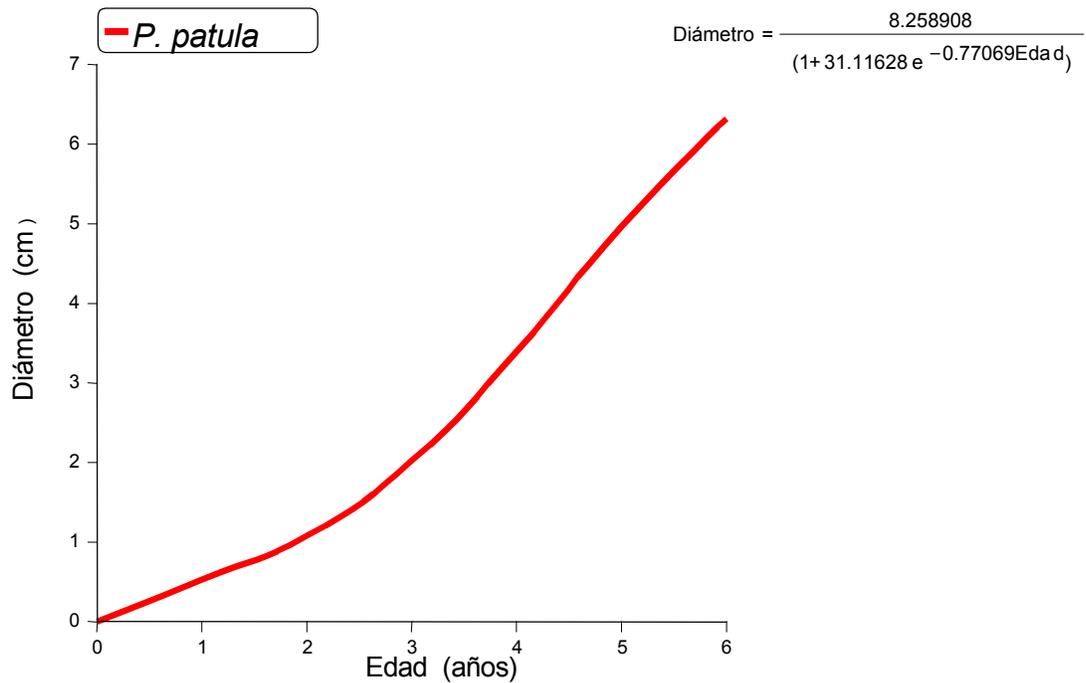


Figura 3. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres.

El crecimiento de la especie del presente estudio es similar a lo que encontraron Monroy y Trinidad (1993) para plantaciones comerciales a turnos cortos de *P. patula* var. *longipedunculata* en el Noroeste de Veracruz, donde a la edad de 9 años tuvieron un incremento medio anual de 1.35 cm en diámetro y consideran excelente aún cuando carecieron de un buen manejo.

Por otra parte el suelo donde se estableció esta plantación es óptimo en el crecimiento de coníferas, en particular *Pinus patula* (Castaños, 1962; Negreros y Snook, 1984) ya que las características que se observaron en los suelos de esta área son: pH de 5.1 de acidez fuerte, extremadamente rico en materia orgánica con 37.8 %, con proporciones de 16.6% arena, 33% limo y 50% arcilla (Cuadro 2), con estas características de acuerdo con FAO-UNESCO (1980) se considera que son suelos de

textura fina, ya que contiene 1.88 % de nitrógeno, 109.33 mg kg¹ de fósforo y 207 mg kg¹ de Potasio, con estas características Kononova (1982) menciona que son suelos ricos en nutrientes.

Con respecto al crecimiento en área basal el modelo que presentó mejor ajuste fue Levakovic I con SCE 11.996801, seguido por el modelo logístico con SCE de 166.964609 (Apéndice 7a). El modelo Levakovic I es recomendado por González (2000) al presentar buen ajuste en el análisis de crecimiento e incremento de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry.

P. patula var. *longipedunculata* (Figura 4) presentó a la edad de un año un crecimiento lento de 0.42 cm², posteriormente el crecimiento fue ascendente ya que se aprecia una pendiente pronunciada, a la edad de seis años el incremento total fue de 5.94 cm², con incremento medio anual de área basal de 0.99 cm².

La curva no tiene ningún punto de inflexión que indique la disminución de crecimiento esto se debe a la etapa juvenil en que se encuentra la plantación (Ramírez y Zepeda, 1994) de manera que el punto de inflexión se presenta más tarde en el crecimiento de diámetro, altura y por consecuencia el volumen.

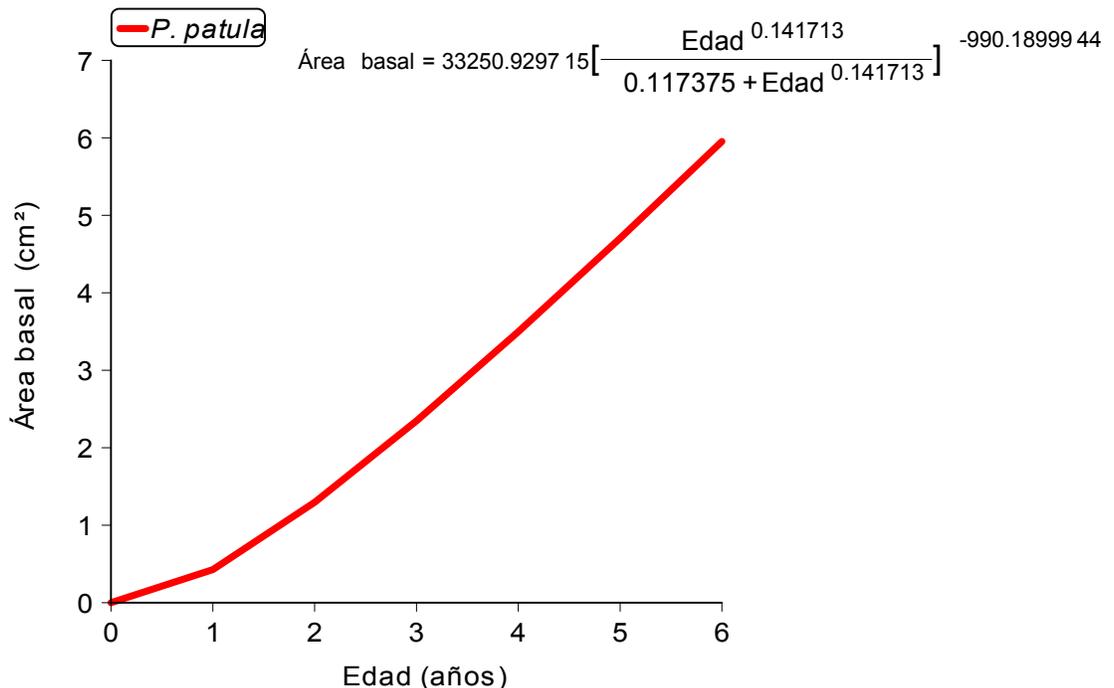


Figura 4. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres.

En volumen, el modelo que presentó mejor ajuste fue el de Schumacher con SCE de 242285, seguido por el modelo Levakovic I, con SCE de 242329 (Apéndice 10 a). Similar al estudio realizado por González (2000) para regeneración de *P. estevezii*, donde el modelo Schumacher resultó con mejor ajuste.

Pinus patula var. *longipedunculata* presenta el crecimiento en volumen en forma de jota (Figura 5), en los dos primeros años el crecimiento fue muy lento con apenas 13.71 cm³, después aumentó a la edad de tres años con 169.01 cm³. A los cuatro años de edad su crecimiento aumentó considerablemente formando una línea ascendente hasta la edad de seis años con un volumen total de 3194.08 cm³, más tarde presentó un incremento total de 3194.796 cm³, con incremento medio anual en volumen de 532.466 cm³, el volumen tuvo un crecimiento ascendente debido a la etapa juvenil de la plantación como resultado del crecimiento en diámetro y altura (Márquez *et al.* , 2000).

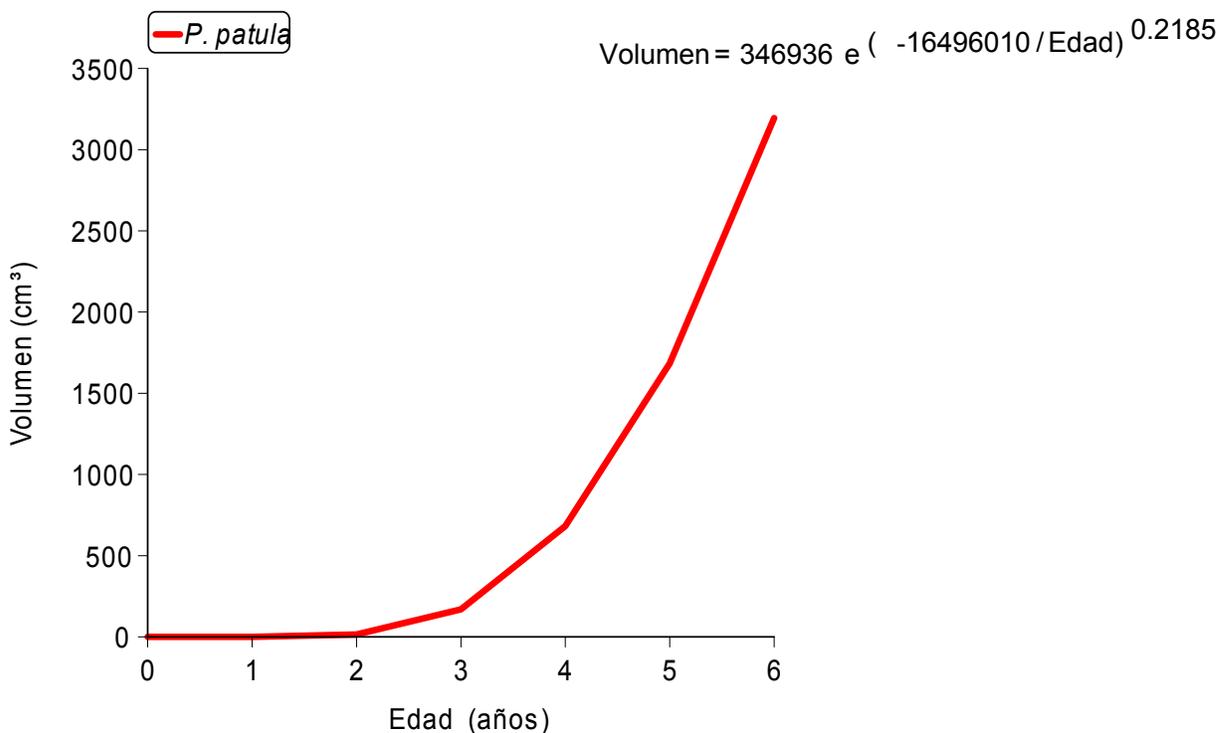


Figura 5. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres.

Mas y Pahuja (1989) mencionan que en el sitio permanente de experimentación silvícola La Nieve de la Sierra de Coalcomán, Mich., la incorporación corriente anual en

volumen obtenida en árboles padres fue un 67% mayor que en las cortas sucesivas, lo que justifica la necesidad de luz del arbolado de pino para su desarrollo. Por lo tanto se debe considerar la tolerancia a la luz en el establecimiento de plantaciones de *Pinus patula* var. *longipedunculata* (Vela, 1980), además de realizar aclareos a edades tempranas para disminuir el efecto de la competencia y evitar el efecto del estancamiento del desarrollo (Ruiz *et al.* , 1996; Monroy y Sampieri, 1997).

Plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Para el crecimiento en altura presentó mejor ajuste el modelo logístico para *Pinus patula* var. *longipedunculata*, con SCE de 11.779120, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 13.175833 (Apéndice 2b). Para *Pinus pseudostrobus* presentó buen ajuste el modelo Levakovic I con SCE de 19.580803, seguido por el modelo Chapman-Richards con SCE de 19.663812 (Apéndice 2a). Los modelos logístico y Levakovic I son recomendados por Sosa (2001) al presentar buenos ajustes en el análisis de crecimiento de la regeneración natural de *P. teocote*.

Ambas especies mostraron la curva de crecimiento de forma sigmoideal (Figura 6). Se detectó en *P. patula* var. *longipedunculata* un crecimiento inferior en altura comparado con *P. pseudostrobus*, desde la edad de un año con 1.44 m, mejoró a los dos años llegando a crecer de manera acelerada ya que formó una línea con una fuerte pendiente hasta la edad de siete años con un incremento máximo de 9.90 m de altura, posteriormente disminuyó ligeramente obteniendo a los 10 años una altura final de 12.40 m, con incremento medio anual de 1.24 m, esta especie es tres años menor, debido a que se sustituyó por la mortalidad de *P. pseudostrobus*. Al hacer la proyección de *P. patula* var. *longipedunculata* a 1986 año en que fue establecida *P. pseudostrobus* la curva de crecimiento en altura presenta superioridad hasta la edad final de 10 años (año de obtención de la muestra 1999).

Sin contar con un manejo técnico adecuado su crecimiento en altura fue similar a *P. patula* de seis años de edad establecida en Zacualpan, Ver., evaluado por Valencia y Vargas (1994), que presentó valores promedio por árbol de 7.87 m, con crecimiento

en altura medio anual de 1.31 m, con respecto al del estudio que presentó 1.24 m, indica inferioridad de 0.07 m. Esto se puede mejorar con prácticas silvícolas combinado con actividades de mejoramiento genético (Zobel y Talbert, 1988).

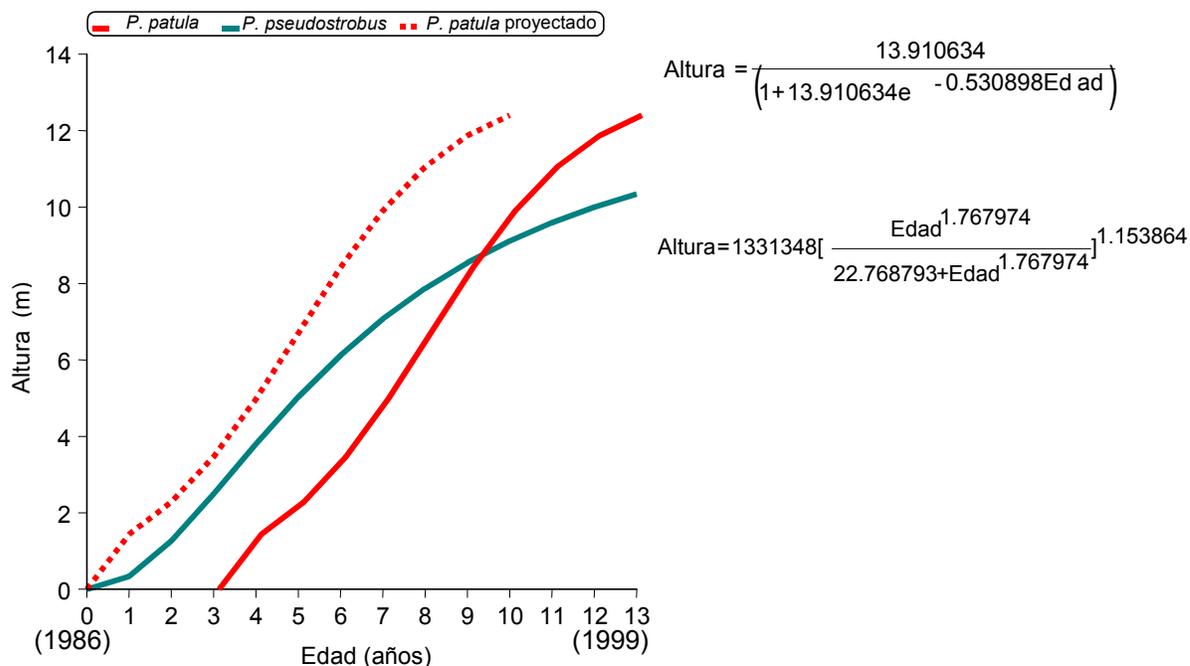


Figura 6. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

La plantación se encontró en espaciamiento entre hilera 3.01 m y espaciamiento entre planta 2.54 m con 590 individuos ha^{-1} y en lo que se refiere a regeneración natural se observaron 470 individuos ha^{-1} , esto ocasionó una distribución espacial heterogénea, con densidad de 1060 plantas ha^{-1} (Cuadro 3). Monroy y Sampieri (1997) evaluaron el crecimiento de *P. patula* en Huayacocotla, Ver., en edades que oscilan entre 6 y 14 años con densidad inicial de 2500 árboles ha^{-1} , los resultados indicaron el incremento medio anual en altura a la edad de 6 años de 0.51 m, en relación con el presente estudio que presentó altura medio anual de 1.24 m resultó ser superior por 0.80 m.

El crecimiento en altura de *P. pseudostrobus* en general fue superior en relación con *P. patula* var. *longipedunculata* hasta los nueve años de edad, a la edad de un año mostró crecimiento de 0.60 m, a partir de los dos años reflejó un crecimiento ascendente obteniendo un máximo desarrollo de 7.07 m a la edad de siete años,

posteriormente disminuyó ligeramente, a los nueve años fue superado por *P. patula* var. *longipedunculata* permaneciendo de esta forma hasta la edad final de 13 años con 10.34 m de altura, lo que indica un incremento medio anual en altura de 0.79 m, inferior a lo que encontró García (1992) en su trabajo que realizó en Michoacán en *Pinus pseudostrobus* con edad de 15 años su crecimiento promedio por año fue de 1.07 m de altura.

El crecimiento en diámetro para *Pinus patula* var. *longipedunculata* presentó mejor ajuste el modelo de Gompertz con SCE 40.412843, el modelo Weibull fue el que presentó el valor aproximado a este con SCE de 42.606196 (Apéndice 6c) y para *P. pseudostrobus* resultó con mejor ajuste el modelo monomolecular mostrando la SCE de 280.978665, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 282.775281 (Apéndice 6b), este último modelo es recomendado por González (1997) en su estudio de calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *P. rudis*.

En *Pinus patula* var. *longipedunculata* se observó una curva sigmoideal y la curva correspondiente a *P. pseudostrobus* en jota (Figura 7). En lo referente a la primera especie, reflejó un crecimiento inferior en diámetro comparado con *P. pseudostrobus* en los primeros seis años alcanzó su máximo incremento de 10.75 cm, posteriormente resultó con una tendencia ligeramente lenta, se observa que a la edad de 9.5 años se interceptó con la línea de crecimiento de *P. pseudostrobus* para después situarse por de bajo de la línea de la especie mencionada, siguió con esta forma hasta la edad final de 10 años con incremento total de 14.9 cm, lo que indicó incremento medio anual de 1.49 cm.

Al hacer la proyección de *P. patula* var. *longipedunculata* a 1986 año en que fue plantado *P. pseudostrobus*, presenta un crecimiento superior hasta la edad de 9.5 años, en lo posterior la curva de crecimiento indica una ligera disminución comportándose de esta forma hasta la edad final (1999). Mas *et al.* (1993) evaluaron el crecimiento en diámetro de plantaciones experimentales establecidas en Barranca de Cupatitzio, Mich., pero en *P. pseudostrobus* observaron que a la edad de 13.7 años obtuvo un incremento total de 18.1 cm en diámetro que corresponden al promedio de las parcelas establecidas con espaciamientos de 2 x 2 m, donde se registró el incremento medio

anual en diámetro de 1.3 cm, comparado con *P. patula* var. *longipedunculata* del presente estudio ambos son similares en crecimiento.

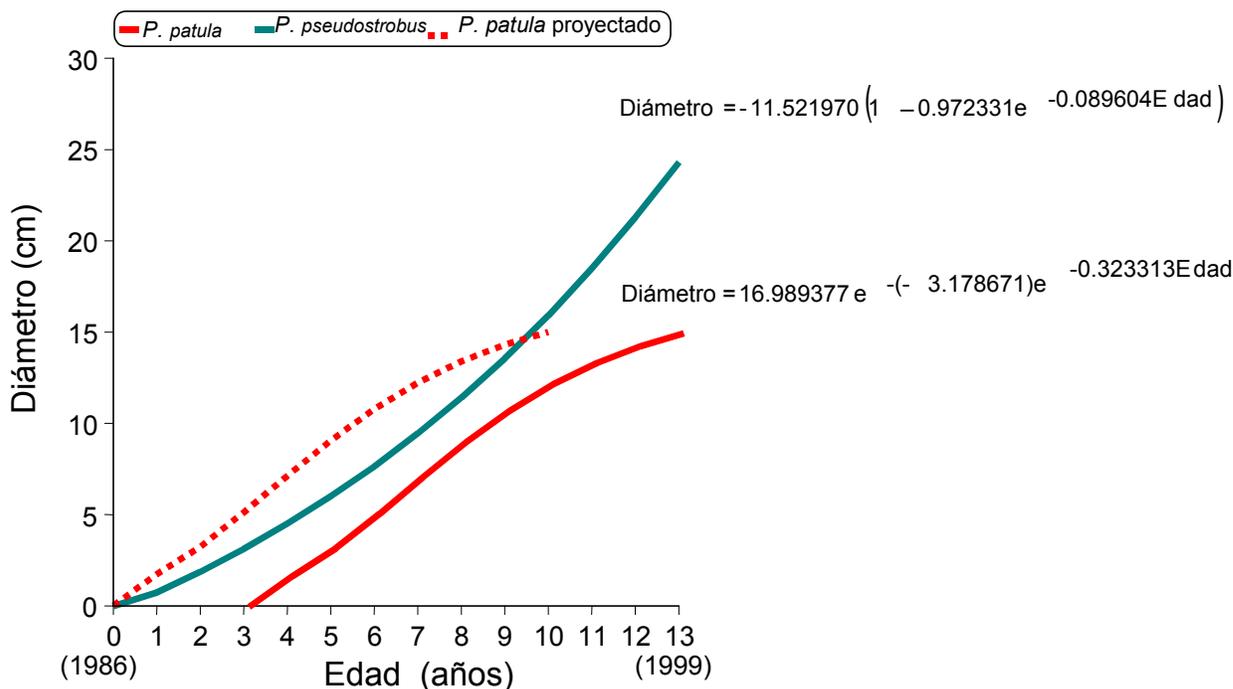


Figura 7. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

En *P. pseudostrobus* se observa el crecimiento en diámetro de forma ascendente y gradual desde la edad inicial, a la edad de un año incrementó 0.73 cm, la curva de crecimiento muestra una pendiente pronunciada que indica el crecimiento acelerado hasta la edad final de 13 años, el incremento total en diámetro fue de 24.60 cm, con incremento medio anual de 1.89 cm. Este crecimiento es ligeramente superior a lo observado por García (1989) en *P. pseudostrobus* a la edad de 5.8 años en donde presentó valores de incremento medio anual que oscilan entre 1.2 y 1.6 cm de diámetro en espaciamientos de 2 x 2 m.

Para el área basal de *P. patula* var. *longipedunculata* el modelo Weibull presentó mejor ajuste con SCE de 15290.990084, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 15322.635200 (Apéndice 9c) y en *P. pseudostrobus* mostró mejor ajuste el modelo logístico con SCE de 104131, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 105469 (Apéndice 9b). González (1997) y González (2001) recomienda emplear el modelo Weibull, de igual forma, Fuente (1998) en su trabajo de crecimiento y predicciones del

rendimiento de rodales coetáneos de *P. rudis* Endl. en Ixtlán, Oaxaca, menciona que los modelos seleccionados para predecir los parámetros, el modelo Weibull fue el de mejor ajuste. Por otra parte, Sosa (2001) menciona que el modelo logístico presentó buen ajuste para el crecimiento en área basal de *P. teocote*.

P. patula var. *longipedunculata* presenta la curva de crecimiento en forma sigmoïdal y *P. pseudostrobus* en forma de jota, en *P. patula* var. *longipedunculata* (Figura 8) ocurre el incremento en área basal de una forma lenta hasta los tres años con apenas 19.16 cm², comenzó a tener un crecimiento rápido a la edad de cuatro años comportándose de esta manera hasta la edad de ocho años con 144.90 cm² a ésta edad reflejó el mayor crecimiento ya que en lo sucesivo disminuyó ligeramente, a los 10 años de edad presentó el incremento total en área basal de 174.08 cm², con incremento medio anual de 17.40 cm². Esta especie tuvo menor crecimiento comparado con *P. pseudostrobus*, esto es debido a la desventaja que presenta en edad ya que fue plantada tres años después como reposición a la mortalidad de *P. pseudostrobus*. Para fines comparativos se realizó la proyección de *P. patula* var. *longipedunculata* a 1986 año en que fue establecida *P. pseudostrobus*, se aprecia una clara superioridad en crecimiento hasta la edad de 8 años, posteriormente disminuyó a tal grado de ubicarse por debajo de la curva de crecimiento que corresponde a *P. pseudostrobus*. A pesar de tener desventaja en edad mostró buen crecimiento. Reyero *et al.* (1999) evaluaron el crecimiento de *P. patula* var. *longipedunculata* establecido bajo diferentes niveles de competencia, y observaron que en los primeros años el crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen no presentaron diferencia significativa entre los diferentes niveles de competencia, por lo que concluyen que esta especie utiliza su habilidad de establecerse cuando la competencia es mínima.

P. pseudostrobus presentó un crecimiento rápido en área basal desde la edad inicial comparado con *P. patula* var. *longipedunculata*. Presentó la tendencia en rápido crecimiento con el paso del tiempo, a la edad final de 13 años su incremento total fue de 372.21 cm², con incremento medio anual en área basal de 31.01 cm², en crecimiento de área basal resultó ser mejor *P. pseudostrobus* al tener ventaja de tres años en edad ante *P. patula* var. *longipedunculata*, debido a que esta última especie fue plantada como reposición en donde *P. pseudostrobus* presentó mortalidad de plántulas.

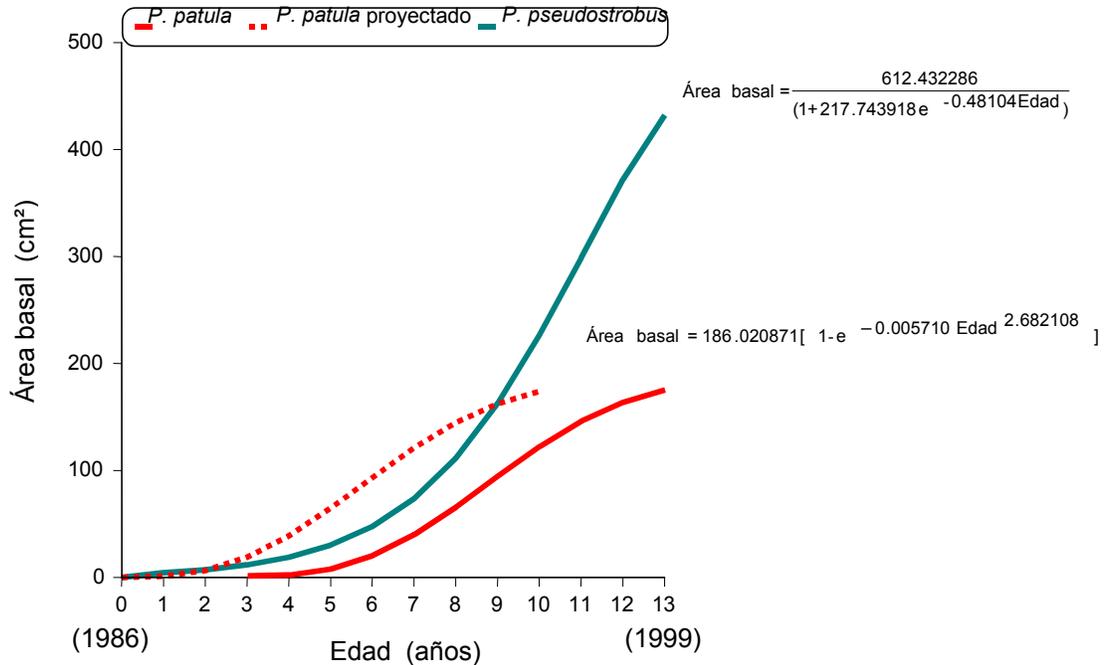


Figura 8. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Para el crecimiento en volumen mostró mejor ajuste para *P. patula* var. *longipedunculata* el modelo Gompertz con SCE de 4597149761, seguido por el modelo Chapman-Richards con SCE de 4598484505 (Apéndice 12c) y en *P. pseudostrobus* indicó mejor ajuste el modelo Levakovic I con SCE de 3178380988, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 3185680546 (Apéndice 12b). Ambas especies presentan tendencia similar respecto a la curva de crecimiento en forma de jota. Sosa (2001) y González (1997) y González (2001) mencionan que para el análisis de crecimiento el modelo Levakovic I y el modelo Gompertz presentan buenos ajustes para los trabajos de análisis de crecimiento en especies de pino.

P. patula var. *longipedunculata* en sus primeros cuatro años indicó un crecimiento lento con 7506.61 cm³ (Figura 9) mejoró considerablemente a partir de los cinco años ya que reflejó una pendiente pronunciada hasta la edad final de 10 años con incremento total de 38833.98 cm³ e incremento medio anual en volumen de 3883.39 cm³, su crecimiento fue inferior a *P. pseudostrobus* debido a que fue establecida tres años después como reposición a la mortalidad de la especie mencionada anteriormente. Para fines comparativos se realizó la proyección de *P. patula* a 1986 año

en que fue establecida *P. pseudostrabus*, allí muestra un crecimiento ligeramente superior hasta la edad de 8 años, posteriormente disminuyó a tal grado de ubicarse por debajo de la curva de crecimiento que corresponde a *P. pseudostrabus* que presentó características de crecimiento inferior a lo observado por Valencia y Vargas (1994) en *P. patula* de seis años de establecida en Zacualpan, Ver., de segunda generación de Sudáfrica, pero de procedencia desconocida en México, que resultó con valores promedios por árbol de volumen 0.0375 m³.

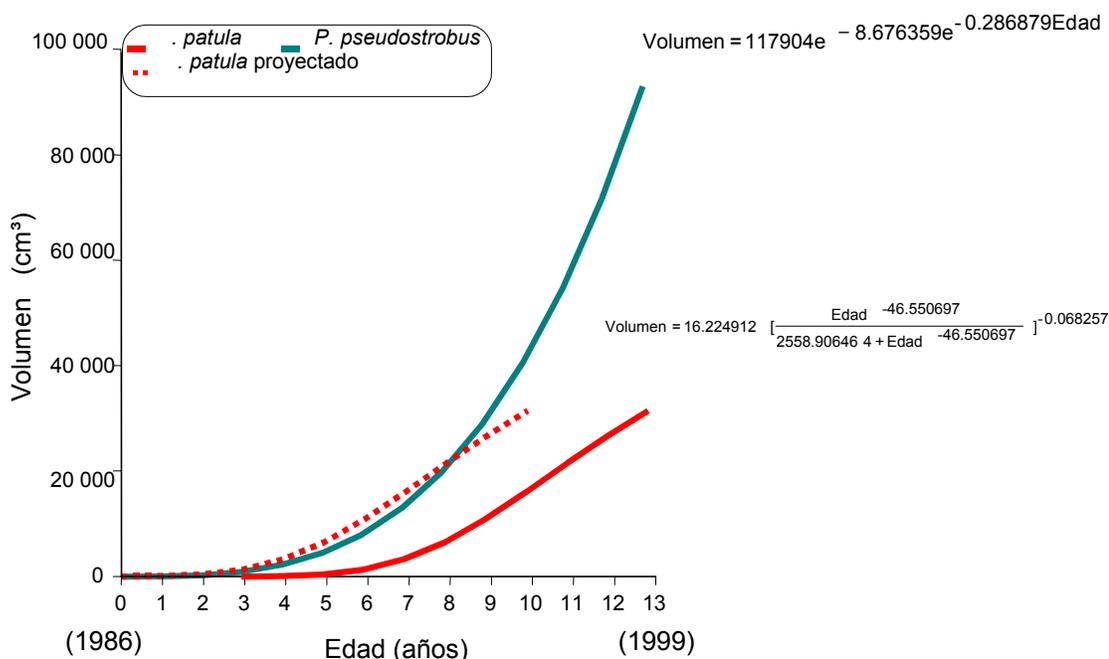


Figura 9. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrabus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

P. pseudostrabus mostró un crecimiento ligeramente lento hasta la edad de seis años, el mayor crecimiento se presentó a partir de los siete años manteniendo esta tendencia hasta la edad final; de manera que el incremento total en volumen fue de 95997.89 cm³, con incremento medio anual 7384.45 cm³. El crecimiento en volumen depende directamente del crecimiento en diámetro y altura, en la etapa de crecimiento juvenil de un rodal la curva de crecimiento en volumen tiene muy poca modificación (Klepac, 1976; Monroy y Sampieri, 1997).

Plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Para el crecimiento en altura mostró mejor ajuste el modelo Gompertz con SCE de 24.670917, cabe señalar que también presentó un valor muy cercano a éste el modelo Levakovic I con SCE de 24.731905 (Apéndice 2c). Con respecto al primer modelo, Sosa (2001) y González (2001) lo recomiendan por presentar buen ajuste en crecimiento de la regeneración natural de *Pinus teocote* y *P. rudis*, respectivamente.

Pinus pseudostrobus (Figura 10) refleja su curva de crecimiento en forma sigmoideal. A la edad de un año presentó un crecimiento lento con 0.51 cm, mejoró significativamente a partir de los dos años, presentó esta tendencia hasta los nueve años de edad, en lo sucesivo su ritmo de crecimiento disminuyó ligeramente sin llegar a mostrar una inflexión hasta la edad de 11 años; la especie mostró el incremento total de 8.13 m de altura, con incremento medio anual de 0.73 m de altura. Así mismo resultó con menor crecimiento en altura en relación con lo que encontró Mas *et al.* (1993) en *P. pseudostrobus* de 18.8 años de establecidos, ya que presentó el incremento total de 19.71 m, con incremento medio anual de 1.05 m de altura, si este resultado se compara con el presente estudio es superior con 0.32 m de altura. Para el establecimiento de plantaciones forestales es necesario contar con el conocimiento técnico del manejo adecuado que se le debe dar, uno de los factores que se debe considerar es la densidad de la plantación ya que influye en el crecimiento de las especies (Monroy y Sampieri, 1997; Cruz *et al.*, 1999). Un ejemplo es el trabajo de García (1989) con diferentes densidades en *P. pseudostrobus*, en lo que se refiere al espaciamiento de 2 x 2 m la altura fue mayor con 5.84 m y éste disminuyó conforme aumentaron los espaciamientos, por ejemplo el de 3.5 x 3.5 m donde se registró un crecimiento de 4.70 m y para el espaciamiento de 4 x 4 m el crecimiento en altura fue de 4.52 m.

Armendáriz y Chacón (1997) evaluaron una plantación de *P. arizonica* Engelm. de 16 años de establecida, con una densidad de 2200 plantas ha⁻¹, presentaron mayor crecimiento en altura a partir de los siete años ya que alcanzaron hasta un metro de incremento medio anual, en esta especie el crecimiento es mayor, comparado con *P. pseudostrobus* del presente estudio ya que éste sólo alcanzó 0.73 m de incremento medio anual en altura.

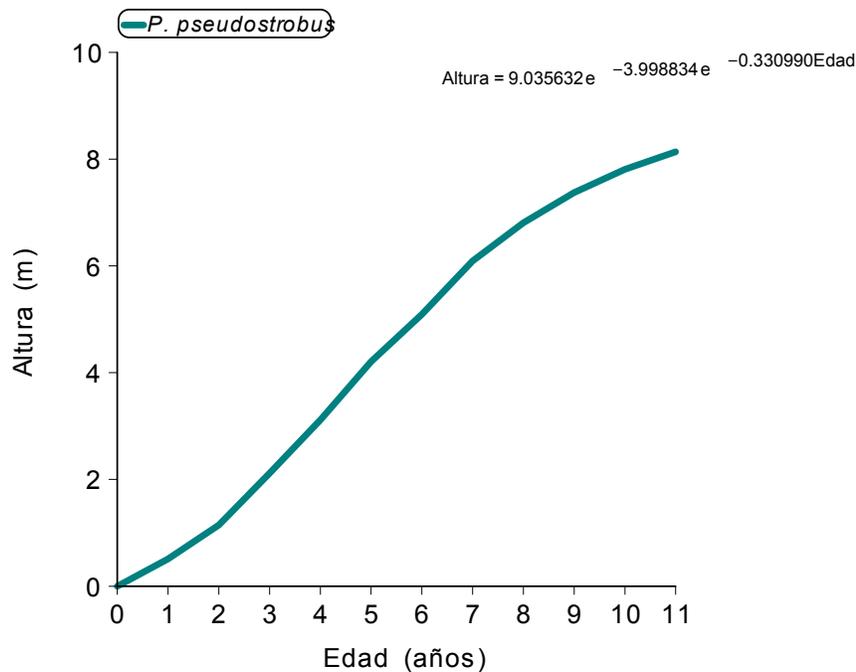


Figura 10. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Para el crecimiento en diámetro el modelo que mostró mejor ajuste fue el logístico con SCE de 275.468112, el segundo modelo que más se acercó a éste valor fue el Gompertz con SCE de 287.390197 (Apéndice 6d). Dicho modelo es recomendado por González (1997) y González (2001) al presentar buen ajuste en el análisis de crecimiento en *P. rudis*.

En *P. pseudostrobus* la curva de crecimiento en diámetro tiene una tendencia en forma sigmoïdal (Figura 11). Reflejó a los tres años el incremento de 3.89 cm, a partir de los cuatro años muestra la curva de crecimiento en forma de una línea con una pendiente muy pronunciada hasta la edad de nueve años en donde logró su máximo desarrollo resultando con 13.40 cm, en lo sucesivo disminuyó ligeramente sin llegar a mostrar una declinación hasta la edad final de 11 años con el incremento total de 14.10 cm, presentó un incremento medio anual de 1.28 cm de diámetro. Este resultado es debido a la etapa juvenil de la plantación en donde su crecimiento es constante y se encuentra en condiciones favorables para esta especie (Ramírez y Zepeda, 1994). Esta tendencia de la curva de crecimiento es similar a la curva de crecimiento en altura con la diferencia de que la curva de crecimiento en diámetro es más plana y toma la forma

de línea recta en su origen (Klepac, 1976). Una de las formas de mejorar el crecimiento en diámetro es el manejo de la densidad con cortas a diferentes intensidades (Hernández *et al.*, 1995). Merlín (1994) aplicó en *P. cooperi* Engelm. intensidades de corta de 0, 20, 50, 70, y 100%, donde una de las variables que evaluó fue el diámetro a la altura de la base, éste presentó una tendencia de aumento conforme se intensificó el porcentaje de corta, debido a que la competencia fue menor y por lo tanto existieron mejores condiciones de desarrollo.

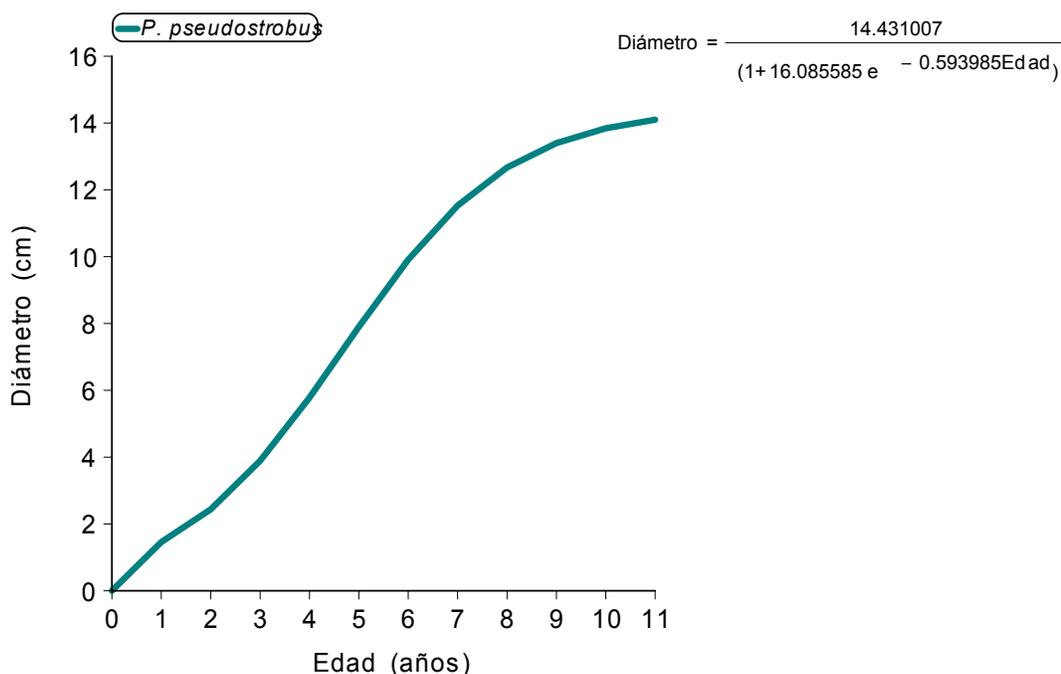


Figura 11. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Para el área basal el modelo Weibull presentó mayor ajuste con SCE de 91451.045882, el modelo logístico también presentó valores cercanos con SCE de 91607.569666 (Apéndice 9d). El modelo Weibull es recomendado por Fuente (1998) ya que presentó buen ajuste en crecimiento y predicciones del rendimiento de *P. rudis* en la Sierra Norte de Oaxaca.

En *P. pseudostrobus* la curva de crecimiento en área basal muestra también forma sigmoide (Figura 12), ésta indica que en los primeros tres años de edad un crecimiento lento con 6.95 cm² de área basal, a partir de los cuatro años presentó una

línea con tendencia ascendente hasta la edad de nueve años en donde obtuvo un crecimiento máximo de 139.43 cm², luego registró un crecimiento relativamente lento en edades que oscilan entre 9 y 11 años, mismo que causa una declinación en crecimiento; así se presentó el incremento total en área basal de 154.07 cm², con incremento medio anual de 14.00 cm² de área basal.

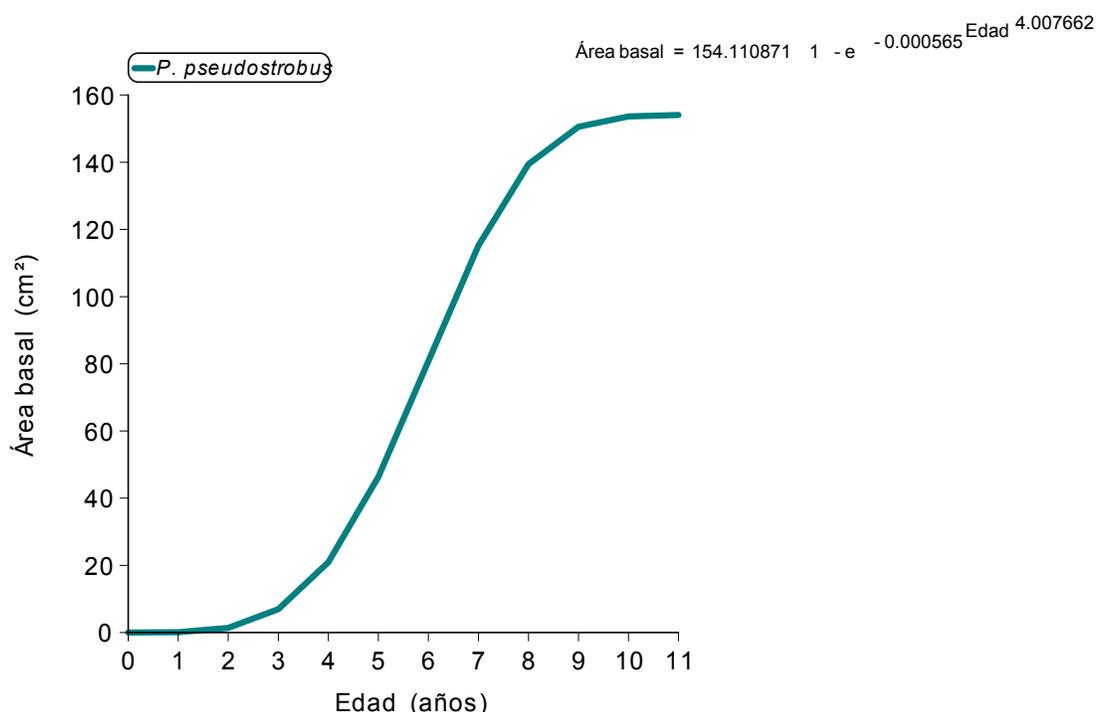


Figura 12. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

En volumen, el modelo que indicó mayor ajuste fue el logístico al mostrar la SCE de 506051587, seguido por el modelo Von Bertalanffy con SCE de 7506050322 (Apéndice 12d). El modelo logístico es recomendado por Sosa (2001) y González (1997) en sus trabajos que realizaron referente al crecimiento e incremento en *P. teocote* y *P. rudis*, respectivamente.

La curva de crecimiento en volumen de *P. pseudostrobus* tiene una tendencia sigmoide (Figura 13). Registró un crecimiento lento hasta los tres años, mejoró considerablemente entre los cuatro y seis años, posteriormente aceleró su crecimiento hasta la edad de nueve años con un máximo de 35649.22 cm³ en los dos años restantes mantuvo esta tendencia, acumuló finalmente 39078.97 cm³, con un

incremento medio anual de 3552.63 cm³ en volumen. Cabe mencionar la importancia de considerar la densidad como un factor determinante en el incremento en volumen de una plantación. Patiño (1995) observó que en *Pinus pseudostrobus* con espaciamientos menores produjo mayor volumen aprovechable para celulosa o energéticos.

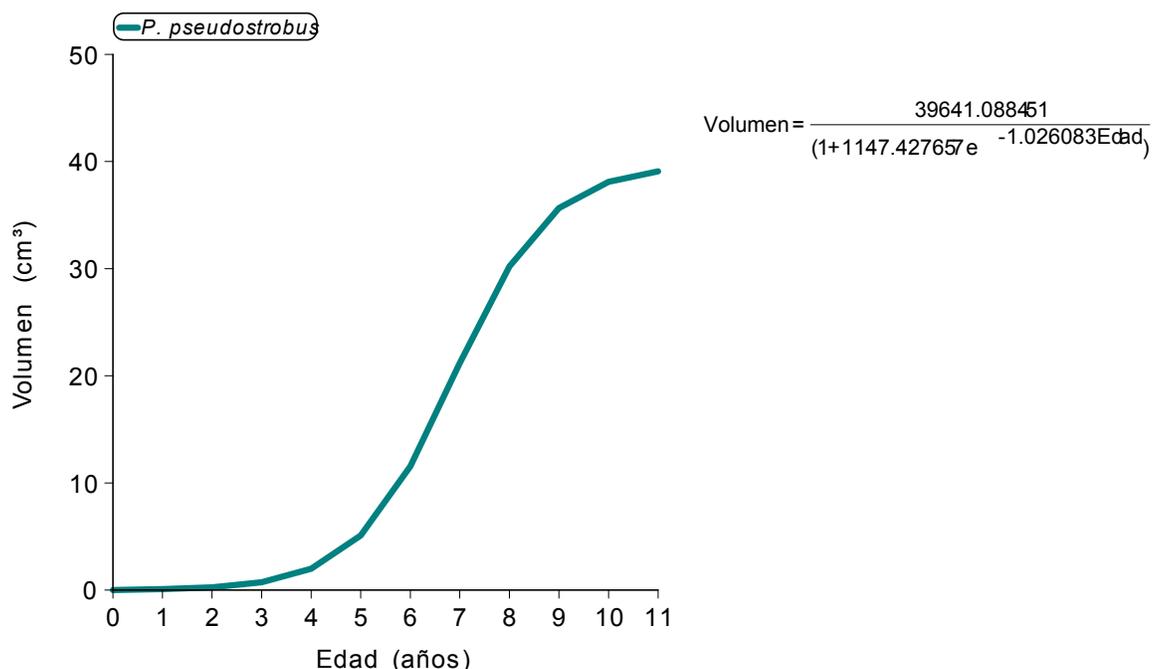


Figura 13. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Uno de los factores que ayudan a explicar el crecimiento de las plantaciones es el edáfico (Flores y Armendáriz, 1999). En estos rodales se presentan pH que varían de 4.4 a 6.7 e indican ser de fuerte a medianamente ácidos (Cuadro 2), se presenta contenido de materia orgánica extremadamente rico, con textura arcillosa. Con las características en nutrientes de N, P y K, Kononova (1982) lo clasifica como un suelo altamente rico en nutrientes, lo que se puede considerar como un lugar óptimo para el crecimiento de especies de coníferas (Castaños, 1962). Con estas características en cantidades de nutrientes resulta similar a lo que analizaron Chávez y Gómez (1985) en el Cerro de la Cruz, Mich., en donde se presentó mayor cantidad de nutrientes aumentó el crecimiento en altura, seguido del crecimiento en diámetro y posteriormente se reflejó en el incremento en volumen aunque resultó difícil determinar la cantidad en que se pueda considerar óptima o deficiente para las plantas, debido a que existen otros factores a considerar como son: pendiente, exposición, altitud sobre el nivel del mar,

clima, pero sobre todo la densidad del arbolado que requieren de más tiempo para determinar.

Plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehr.

Para el crecimiento en altura de *P. pseudostrobus* presentó mejor ajuste el modelo logístico con SCE de 0.118102, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 0.198763 (Apéndice 3c), mientras que en *P. ayacahuite* indicó buen ajuste el modelo Gompertz con SCE de 0.355781, seguido por el modelo Weibull con SCE de 0.395730 (Apéndice 3d), los modelos logístico y Gompertz son recomendados por González (2000) y Sosa (2001) debido a que presentaron buenos ajustes en el análisis de crecimiento de *Pinus estevezii* y *P. teocote*, respectivamente.

La tendencia de la curva de crecimiento de *P. pseudostrobus* es de forma sigmoideal y *P. ayacahuite* presenta su curva de crecimiento casi a una recta (Figura 14). Aclarando que se detectaron dos edades diferentes de cinco y diez años debido a que en la etapa de reposición de plantas se realizaron con *P. pseudostrobus* a los cinco años después de haber plantado *P. ayacahuite*.

El crecimiento de *P. pseudostrobus* fue inferior comparado con *P. ayacahuite* ya que mantuvo su crecimiento por debajo de la curva que le corresponde a esta última especie. El mayor crecimiento se registró a edades que oscilan entre 1 y 4 años; en el último año cesó su crecimiento al mostrar una inflexión, finalmente obtuvo un incremento total en altura de 3.54 m, con incremento medio anual 0.70 m de altura. Al realizar la proyección a 1989 que corresponde al año en que se estableció la plantación de *P. ayacahuite* se muestra una clara ventaja en crecimiento hasta la edad de 4 años, en el último año se ubicó por debajo de la curva de crecimiento de la especie antes mencionada.

P. ayacahuite es la especie que presentó mayor crecimiento en altura hasta la edad de 4.8 años comparado con *P. pseudostrobus* (Figura 14), Desde la edad de un año presentó la tendencia de crecimiento continuó siguiendo de esta manera hasta la

edad final de 10 años. Presentó el incremento total de 7.66 m, con incremento medio anual de 0.76 m de altura.

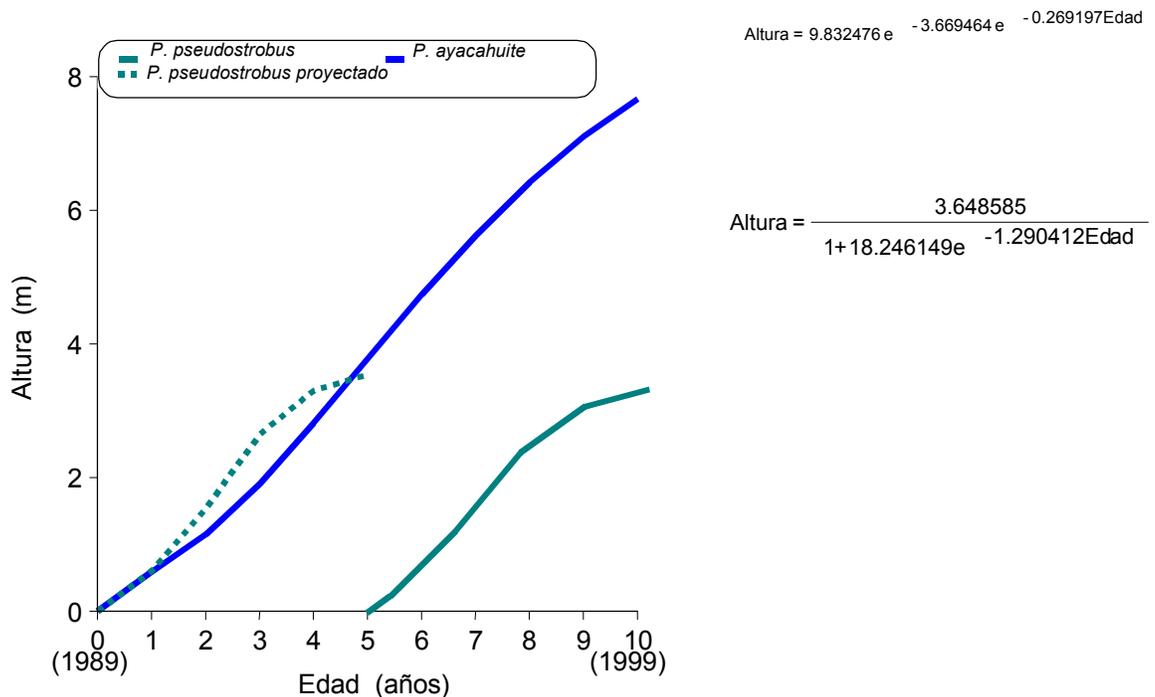


Figura 14. Curva de crecimiento representativo en altura de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Hernández *et al.* (1999) evaluaron una regeneración natural de *P. cooperi* en la región de Pueblo Nuevo, Dgo., con la aplicación de la corta de regeneración de árboles padre, detectaron que la altura medio anual fue entre 0.74 a 1.58 m a edades que oscilan entre 3.7 y 6.0 años, superior en crecimiento comparado con *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* del presente estudio

En diámetro, *P. pseudostrobus* presentó buen ajuste con el modelo Levakovic I con SCE de 0.204012, seguido por el modelo Sloboda con SCE de 0.206616 (Apéndice 5d), mientras que para *P. ayacahuite* el modelo Gompertz con SCE de 1.834881, seguido del modelo logístico con SCE de 1.897445 (Apéndice 6a).

P. pseudostrobus con relación a *P. ayacahuite* (Figura 15) mostró inferioridad en crecimiento diamétrico desde la edad inicial hasta la edad final, aunque su crecimiento fue progresivo de forma gradual, a la edad de cinco años presentó un incremento total de 5.47 cm, con incremento medio anual de 1.09 cm de diámetro.

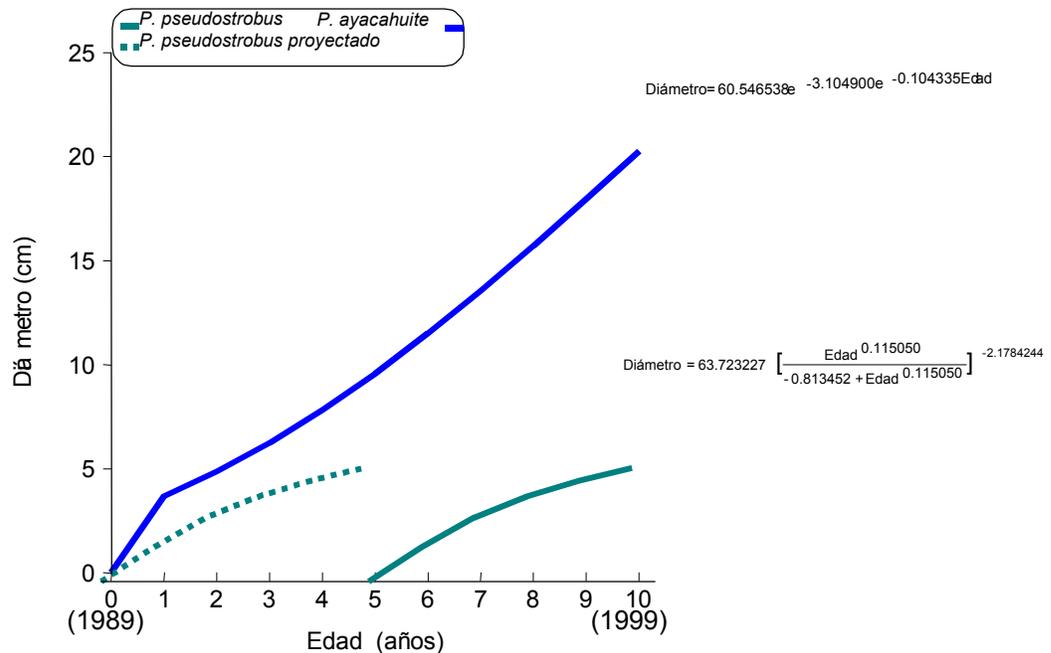


Figura 15. Curva de crecimiento representativo en diámetro de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres.

En *P. ayacahuite*, la curva de crecimiento mostró una pendiente pronunciada a la edad de un año, mismo que ocasionó una inflexión, seguido de un crecimiento ascendente de forma progresiva y gradual conforme transcurrieron los años para finalmente registrar un incremento total de 20.28 cm, con incremento medio anual de 2.02 cm en diámetro.

P. pseudostrobus tuvo un crecimiento inferior a lo que mostró *P. ayacahuite*, los mayores crecimientos se registraron en los primeros años ya que después disminuyeron ligeramente con tendencia a una declinación, esto se debe principalmente a la edad ya que es menor por cinco años como resultado de la reposición a la mortalidad que presentó *P. ayacahuite*, para fines comparativos se realizó una proyección al año en que fue establecido *P. ayacahuite* que corresponde a 1989 y se aprecia una clara desventaja en crecimiento desde la edad inicial, siguiendo de esta manera hasta la edad final.

Este incremento medio anual de *P. pseudostrobus* resultó ligeramente inferior comparado con el trabajo realizado por García (1992) en análisis de crecimiento de una

plantación de *P. pseudostrabus* con edades de 15.2 años, tuvo un incremento en diámetro de 1.37 cm.

En área basal para *P. pseudostrabus* se seleccionó el modelo Sloboda con SCE 0.206613, seguido por el modelo monomolecular con SCE de 0.230351 (Apéndice 8d), en lo referente a *P. ayacahuite* presentó buen ajuste el modelo monomolecular con SCE 1.766310, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 1.834881 (Apéndice 9a).

El crecimiento en área basal de *P. pseudostrabus* fue inferior comparado con *P. ayacahuite* (Figura 16), esto como consecuencia de la inferioridad en edad que presenta ante esta última especie, al ser empleado como reposición cinco años después. Los mayores incrementos se registraron en los primeros tres años, posteriormente disminuyeron ligeramente con tendencia a una declinación. A la edad final acumuló 5.43 cm², con incremento medio anual de 1.09 cm² de área basal. Para fines comparativos para *P. pseudostrabus* se realizó una proyección a 1989 año en que fue plantada *P. ayacahuite*, y se aprecia una clara inferioridad en crecimiento desde la edad inicial, se presentó esta tendencia hasta la edad final de cinco años.

En *P. ayacahuite* se observó que a la edad de un año registró un crecimiento muy alto en relación con lo subsecuente al presentar 3.48 cm² indicando una superioridad con respecto a *P. pseudostrabus*, después resultó tener un crecimiento ascendente de forma continua y gradual; manteniéndose de esta forma hasta la edad de 10 años con incremento total de 20.37 cm² e incremento medio anual de 2.03 cm² de área basal.

Para el crecimiento en volumen mostró mayor ajuste el modelo logístico en ambas especies, para *P. pseudostrabus* con SCE de 8354.557359, seguido por el modelo Weibull con SCE de 8354.884591 (Apéndice 11d) y para *P. ayacahuite* la SCE fue de 9331155, seguido por el modelo Weibull con SCE de 11858666 (Apéndice 12a). El modelo logístico es recomendado por González (1997) y González (2000).

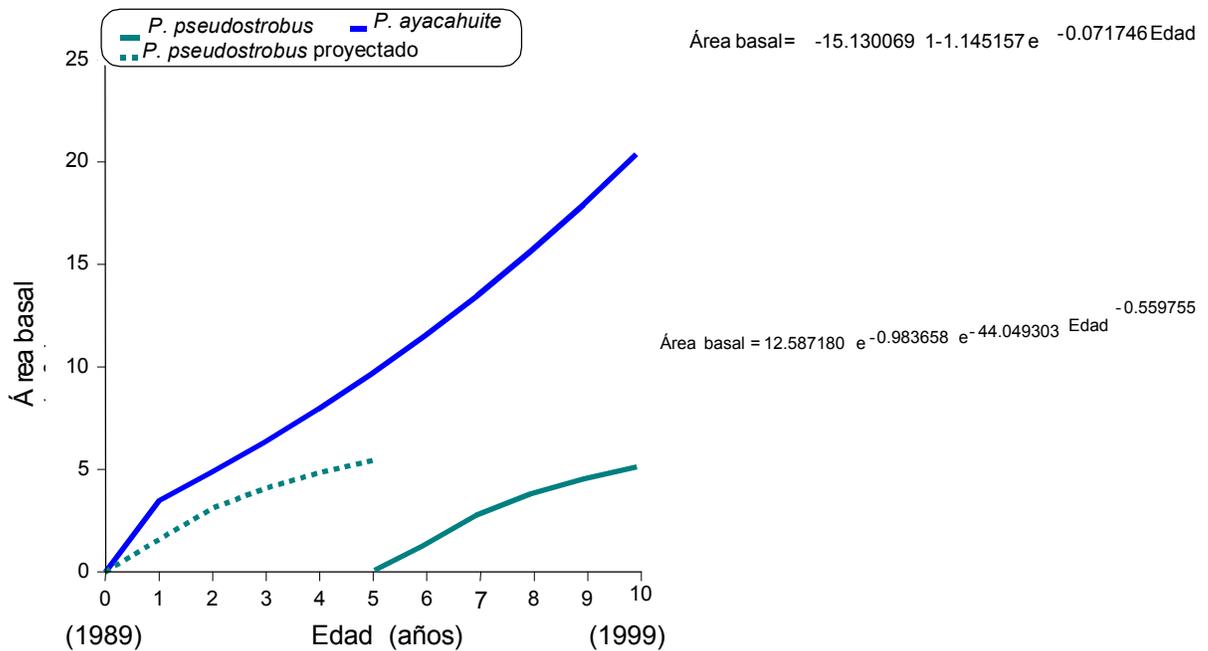


Figura 16. Curva de crecimiento representativo en área basal de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres.

En *P. pseudostrobus* ocurrió un crecimiento mínimo en volumen hasta la edad de 3.3 años (Figura 17), seguido con un ligero crecimiento, posteriormente muestra una tendencia de declinación, a la edad final de cinco años presentó el incremento total en volumen de 2118.92 cm³, con incremento medio anual de 423.784 cm³ en volumen. Esta especie se plantó cinco años después ya que se utilizó como reposición a la mortalidad de *P. ayacahuite*. Al realizar la proyección al año 1989 en que fue plantada *P. ayacahuite* se puede apreciar una clara inferioridad en crecimiento; a medida que avanzó en edad la diferencia fue más evidente, confirmando lo mencionado por Hocker (1984) en el sentido que el volumen de un árbol depende del crecimiento en altura, diámetro y del grado de conicidad.

P. ayacahuite hasta la edad de cinco años registró un crecimiento bajo, a los seis años de establecido ocurrió un crecimiento acelerado y sigue esta tendencia hasta la edad final de 10 años en donde arrojó un incremento total de medio anual de 38833.9 cm³ en volumen, con incremento medio anual en volumen de 3883.39 cm³.

Esta plantación se encontró en espaciamiento promedio de 3.10 m entre hileras y 3.30 m entre plantas, se contaron 380 plantas ha⁻¹ y en lo que corresponde a

regeneración natural 410 plantas ha⁻¹ lo que presenta una densidad total de 790 plantas ha⁻¹ (Cuadro 3), lo anterior ocasiona una distribución heterogénea. Ambas especies se pueden mejorar controlando la densidad (Hocker, 1984), uno de los trabajos referente a esto, es el de Mas *et al.* (1993) en donde recomiendan que para especies de rápido crecimiento, inicialmente se deben plantar en espaciamientos de 2.5 x 2.5 m para tener inicialmente 1600 plantas ha⁻¹ y reducirlas gradualmente con aclareos hasta dejar un 40% del número original, durante los primeros 15 años de vida de la plantación, con el fin de hacer después el aprovechamiento principal para material celulósico al final del turno de 20 años.

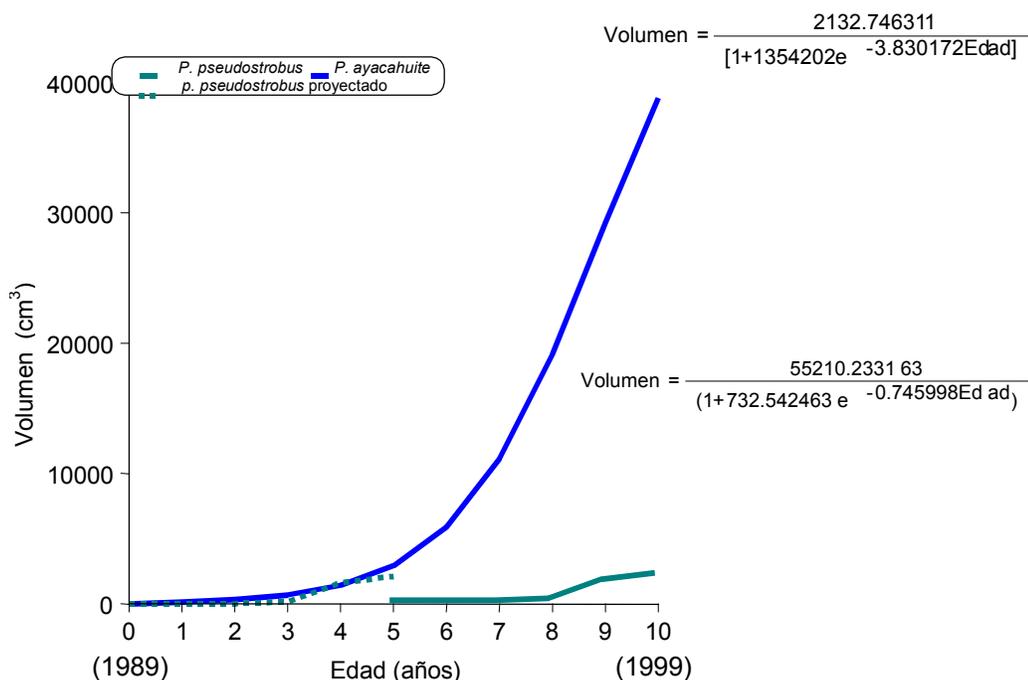


Figura 17. Curva de crecimiento representativo en volumen de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres.

Crecimiento representativo de tres especies de pino establecidas bajo el tratamiento silvícola de selección en grupo

Plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehr.

Para el crecimiento en altura presentó mejor ajuste en las tres especies el modelo Schumacher, para *P. patula* var. *longipedunculata* con SCE 0.129165, seguido por el modelo Weibull con SCE de 0.129783 (Apéndice 1c), para *P. pseudostrobus* con

SCE de 0.037408, seguido por el modelo Levakovic I con SCE de 0.062670 (Apéndice 1b) y para *P. ayacahuite* con SCE de 0.000133, seguido por el modelo Levakovic I con SCE de 0.000184 (Apéndice 1d). González (1997), González (2000) y González (2001) realizaron trabajos relacionados en crecimientos de pinos empleando modelos de ajuste y mencionan que el modelo Schumacher como uno de los que presentaron buen ajuste.

P. patula var. *longipedunculata* a la edad de un año presentó una pendiente muy pronunciada formando una inflexión (Figura 18), debido a que fue la etapa en que presentó un crecimiento acelerado, que en lo sucesivo indicó una misma tendencia pero de forma gradual hasta los seis años, registró un incremento total de 3.69 m de altura, con incremento medio anual de 0.61 m. Este crecimiento es inferior a lo que encontró Vela (1980) en plantaciones de *P. patula* var. *longipedunculata* a los siete años de establecida en Cofre de Perote, Ver., en donde los suelos son profundos, con humedad suficiente y con atenciones de manejo adecuado, el incremento medio anual en altura fue de 1 m.

P. pseudostrobus y *P. ayacahuite* registraron crecimiento lento a la edad de un año en relación con lo posterior, ambas mejoraron considerablemente entre 2 y 4 años. *P. pseudostrobus* muestra una línea ligeramente descendente que indica la disminución de crecimiento, a los seis años obtuvo el incremento total de 2.45 m, con incremento medio anual en altura de 0.40 m y *P. ayacahuite* refleja una curva ascendente de forma gradual y constante hasta los seis, obtuvo el incremento total de 2.76 m, con incremento medio anual de 0.46 m de altura.

Cabe señalar que la plantación se encontró en espaciamiento promedio de 2.37 m entre hilera y 2.34 m entre planta, se encontró 1700 individuos ha^{-1} y en lo que corresponde a regeneración natural se observaron 1607 individuos ha^{-1} con densidad total de 1860 plantas ha^{-1} (Cuadro 3), con heterogeneidad de espaciamiento. Una de las formas de incrementar la productividad del bosque es considerar el control de la densidad (Mas y Pahuá, 1989), con este objetivo García (1989) realizó un estudio del efecto del espaciamiento en el desarrollo de una plantación de pinos de 5.8 años de edad con espaciamientos de 4 x 4 m, en *P. pseudostrobus* registró alturas de 4.52 m con incremento medio anual de 0.56 m en altura, que es ligeramente superior

comparado con *P. pseudostrobus* del presente estudio. Otro aspecto complementario de manejo que se debe considerar son las podas y aclareos, sobre todo en especies de turnos cortos (Monroy y Trinidad, 1993). Ruíz *et al.* (1996) aplicaron cuatro intensidades de aclareo por lo bajo de 20, 40, 60 y 80% respecto al número de árboles, con un testigo y en dos diferentes edades de 8 y 11 años, la respuesta más rápida se mostró a la edad de ocho años comparado con la aplicación de once años que presentó el efecto de estancamiento debido a la fuerte competencia que ya existía en el rodal.

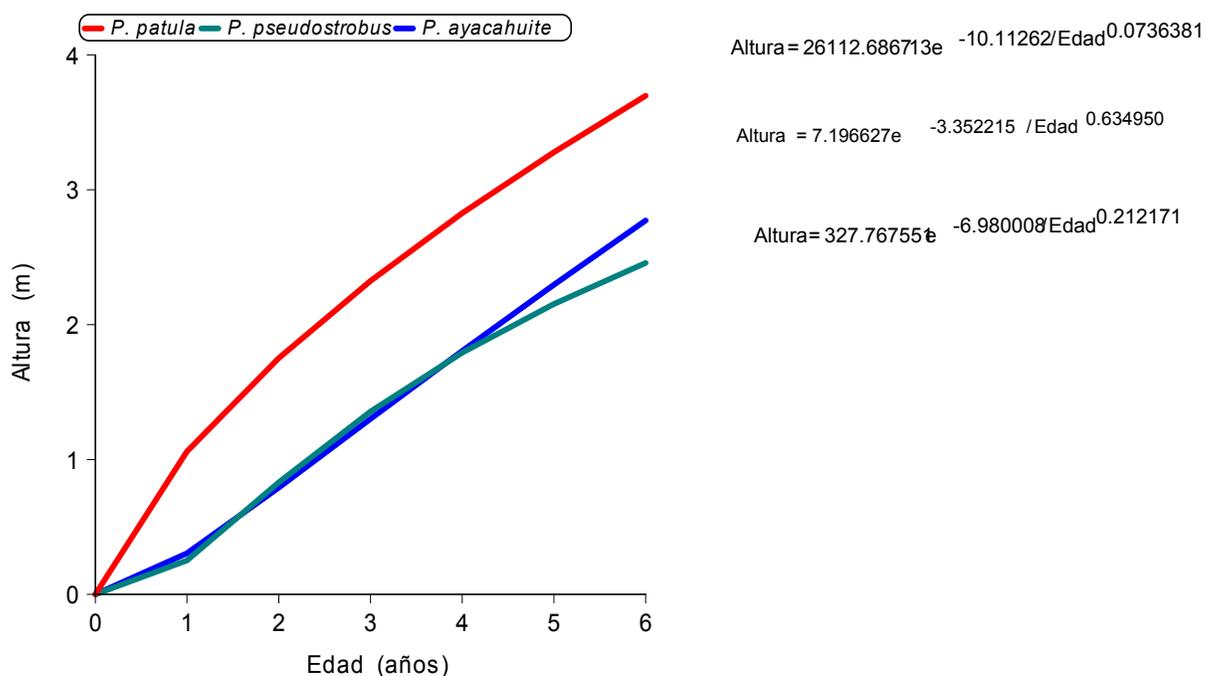


Figura 18. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Para el crecimiento en diámetro el modelo de mejor ajuste para las tres especies fue el monomolecular, para *P. patula* var. *longipedunculata* la SCE fue de 0.936305 seguido por el modelo Levakovic I con SCE de 0.936526 (Apéndice 4c), para *P. pseudostrobus* con SCE de 0.729329, seguido por el modelo Sloboda con SCE de 0.734990 (Apéndice 4b) y para *P. ayacahuite* con SCE de 0.216538, seguido por los modelos Schumacher y Sloboda que presentaron valores iguales de SCE 0.221961 (Apéndice 4d).

P. patula var. *longipedunculata* registró una curva ascendente desde la edad inicial (Figura 19), continuó con esta forma hasta los cuatro años y en los dos años consecutivos disminuyó ligeramente, indicando un crecimiento de manera continuo y gradual conforme transcurrieron los años. Registró un incremento total en diámetro de 8.76 cm, con incremento medio anual de 1.16 cm de diámetro.

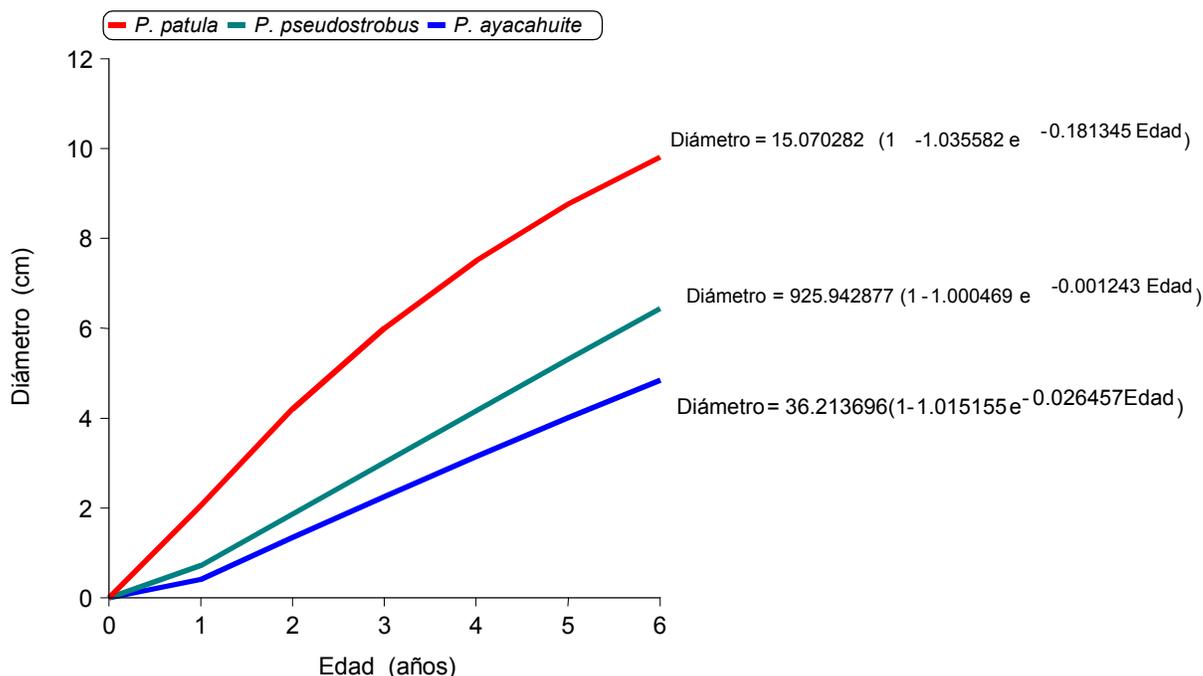


Figura 19. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

P. pseudostrobus y *P. ayacahuite* muestran la misma tendencia en crecimiento, siendo ligeramente mayor en *P. pseudostrobus* desde la edad inicial de un año con 0.72 cm de diámetro, en lo sucesivo mejoró considerablemente de manera gradual y constante hasta la edad final con 6.4 cm, con crecimiento medio anual en diámetro de 1.07 cm y *P. ayacahuite* resultó con la misma tendencia pero con menor crecimiento al presentar el incremento total de 5.30 m, con incremento medio anual de 0.89 cm.

Con base a estos resultados se observó que el crecimiento en diámetro de *P. patula* var. *longipedunculata* fue mejor, superó a *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*, existe evidencia que en diferentes y mismas especies interactúa la competencia debido a que con la presencia de más de una, influye en el crecimiento de las demás (Ramírez y Zepeda, 1994).

Para el área basal el modelo que presentó mejor ajuste fue Korf en las tres especies (Figura 20), para *P. patula* var. *longipedunculata* con SCE 3.739792, seguido por el modelo Weibull con SCE de 14.267579 (Apéndice 7c), para *P. pseudostrobus* con SCE de 1.7771239, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 21.394188 (Apéndice 7b) y para *P. ayacahuite* con SCE de 0.9871121, seguido por el modelo Weibull con SCE de 3.975799 (Apéndice 7d). El modelo Korf es recomendado por González (1997) y Sosa (2001).

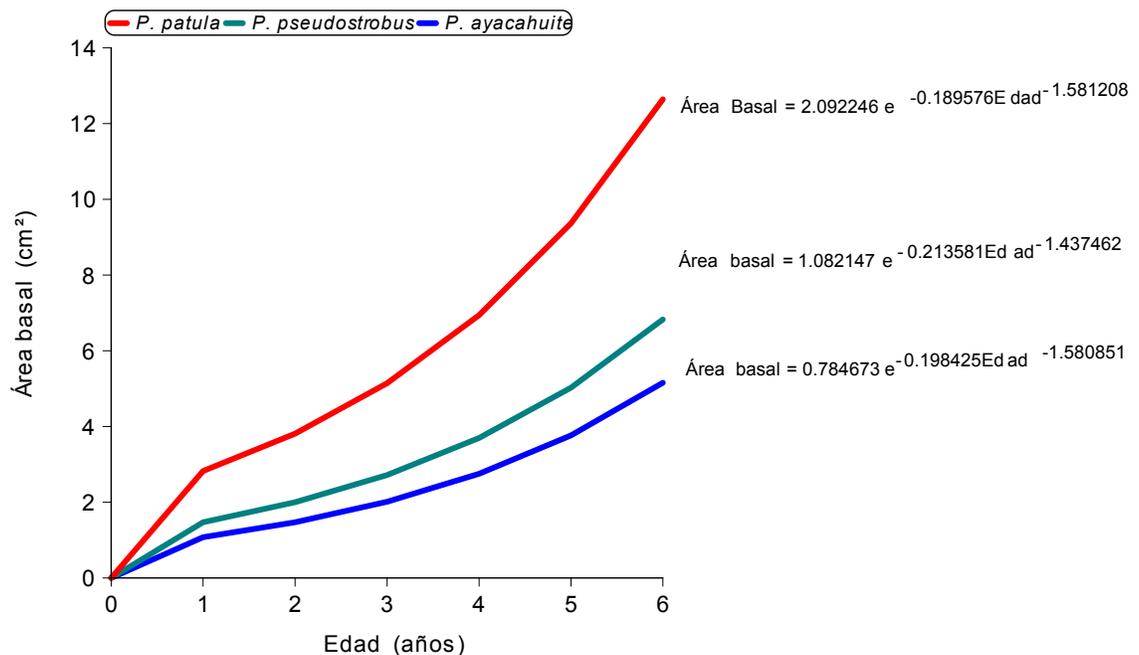


Figura 20. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

P. patula var. *longipedunculata* desde las edades iniciales de uno y dos años, presentó un crecimiento muy acelerado comparado con las otras dos especies, posteriormente mostró una tendencia ascendente de forma gradual y continua, con pendiente considerable al presentar un crecimiento alto hasta la edad de seis años con 12.63 cm² de incremento total de área basal, lo cual indica un incremento medio anual de 2.10 cm² situándose como la especie que mostró mayor crecimiento de área basal.

P. pseudostrobus es la segunda especie que sigue en velocidad de crecimiento ya que es inferior a *P. patula* y superior a *P. ayacahuite*, las edades que muestran mayor incremento oscilan entre uno y dos años, después resultó con una tendencia

ascendente de forma gradual conforme avanzó en edad, a los seis años presentó el incremento total de 6.82 cm² de área basal, con incremento medio anual de 1.13 cm².

En lo que respecta a *P. ayacahuite* es la especie que registró menor crecimiento comparado con *P. patula* y *P. pseudostrobus*, a los dos años indicó 1.46 cm² de área basal en lo sucesivo mostró un incremento ascendente hasta los seis años con incremento total 5.15 cm² e incremento medio anual de 0.85 cm².

Para el volumen de *P. patula* var. *longipedunculata* el mejor ajuste lo presentó el modelo monomolecular con SCE de 672.322856, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 1730.293538 (Apéndice 10d), el modelo logístico para *P. pseudostrobus* con SCE de 37278.712091, seguido por el modelo Weibull con SCE de 39340.565466 (Apéndice 10b) y en *P. ayacahuite* el modelo Weibull con SCE de 103327, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 103330 (Apéndice 10c). Con respecto a los modelos ajustados González (1997) menciona que los modelos monomolecular, logístico y Weibull presentaron buenos ajustes en el análisis de crecimiento de *Pinus rudis*.

La tendencia de las curvas de crecimiento en volumen en las tres especies es en forma de jota (Figura 21). *P. patula* var. *longipedunculata* mostró a los dos primeros años bajo crecimiento, posteriormente mejoró al indicar una pendiente pronunciada y conforme avanzó en edad resultó con mayor crecimiento hasta la edad final de seis años con 6376.17 cm³, con incremento medio anual en volumen de 1062 cm³, para situarse por encima de *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*.

P. pseudostrobus a los dos primeros años tuvo un crecimiento similar a *P. ayacahuite*, en lo sucesivo aumentó significativamente conforme transcurrieron los años, para situarse por debajo de la línea de crecimiento de *P. patula* var. *longipedunculata* y por arriba de *P. ayacahuite* con incremento total de 2444.17cm³, con incremento medio anual de 407.36 cm³ de volumen.

La especie que registró menor crecimiento es *P. ayacahuite* aunque en los dos primeros años tuvo el mismo crecimiento que *P. pseudostrobus*, pero posteriormente disminuyó a tal grado de ubicarse por de bajo de las especies mencionadas, al reportar

1564.53 cm³, indicó el crecimiento medio anual en volumen de 260.75 cm³, en las tres especies se aprecia que a edades de seis años el crecimiento en volumen es mínimo. Klepac (1976) menciona que el volumen de una masa en su juventud es muy pequeño, incrementa lentamente y a una edad determinada incrementa con rapidez, después este incremento en volumen de la masa disminuye y no cesa hasta que ésta comienza a declinar.

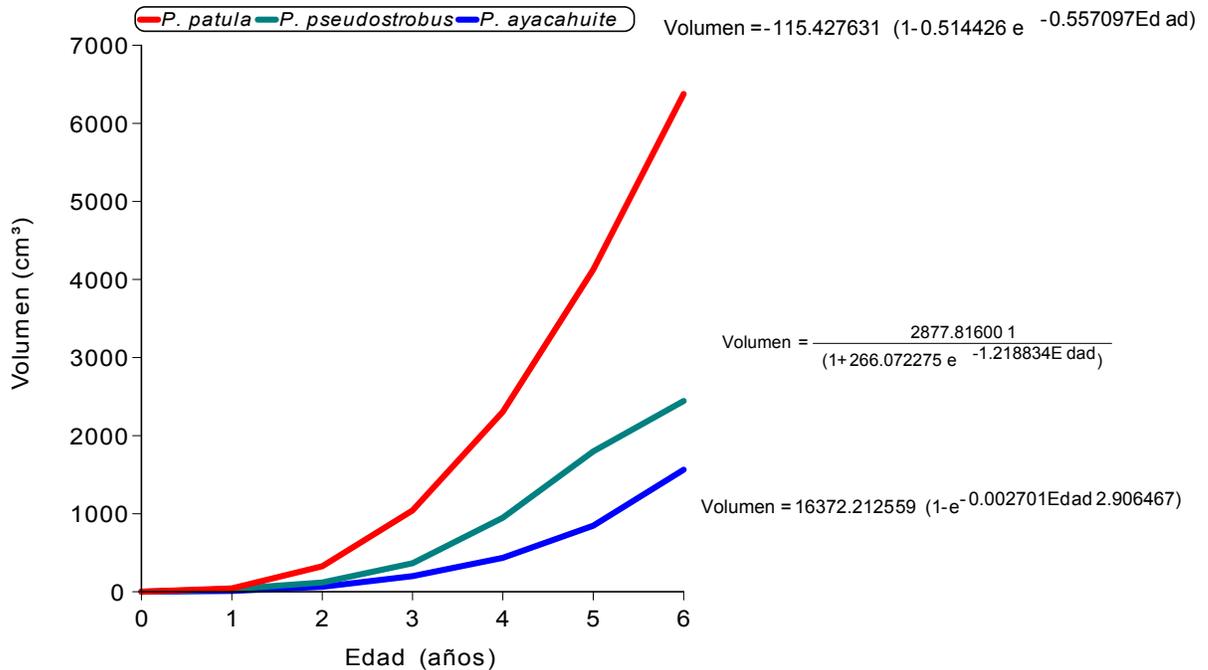


Figura 21. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

En las variables analizadas la especie que presentó mayor crecimiento fue *P. patula* var. *longipedunculata*, seguida por *P. pseudostrobus* y por último *P. ayacahuite*. Cabe mencionar que esta plantación se localizó en área descubierta en donde relativamente recibió mayor radiación solar, de esta forma se ve más beneficiado *P. patula* var. *longipedunculata* que requiere mayor cantidad de luz con relación a *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite*. En esta última especie, Nájera y Bermejo (1999) ensayaron cuatro diferentes intensidades de luz, las cuales fueron; 100, 36, 15 y 5% aproximadamente de luz solar directa. Ellos encontraron que los mayores crecimientos en alturas fueron los que se sometieron a menores cantidades de luz. En cambio *P. patula* tiene mucho requerimiento de luz por ser una planta heliófita (Vela, 1980).

Plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Para el crecimiento en altura presentó mejor ajuste el modelo logístico para ambas especies, para *P. patula* var. *longipedunculata* con SCE de 0.012092, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 0.018341 (Apéndice 3a) y para *P. pseudostrobus* con SCE de 0.075184, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 0.095707 (Apéndice 2d) (Figura 22). El modelo logístico es recomendado por Sosa (2001) al presentar buen ajuste en el análisis de crecimiento de *P. teocote*.

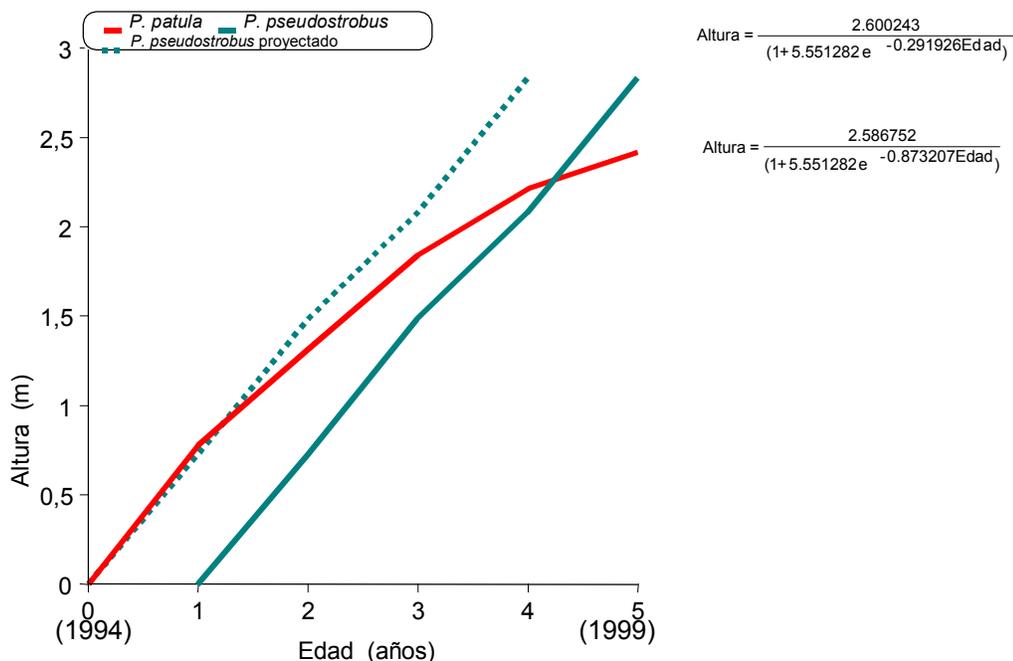


Figura 22. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

El crecimiento en *P. pseudostrobus* presenta una pendiente muy pronunciada al tener un mayor crecimiento ascendente desde su etapa inicial, posteriormente entre dos y tres años presentó inflexiones apenas notorias. En el cuarto año presentó un crecimiento muy alto, incluso a ésta misma edad logró situarse por arriba de la curva de crecimiento que corresponde a *P. patula* con un incremento total de 2.83 m de altura e incremento medio anual de 0.70 m. Cabe señalar que *P. pseudostrobus* es un año menor en edad comparado con *P. patula*, por lo que fue necesario realizar la proyección

a 1994 año en que fue plantada *P. patula* var. *longipedunculata*; en este caso se aprecia que presentó la misma tendencia de crecimiento hasta la edad de un año, en lo sucesivo mejoró significativamente y continuó con esta tendencia hasta la edad final de cuatro años.

P. patula var. *longipedunculata* indicó un crecimiento ascendente hasta la edad de tres años, posteriormente disminuyó su ritmo de crecimiento de forma gradual ocasionando una ligera desventaja ante *P. pseudostrobus*, mismo que es reflejado al situarse por debajo del crecimiento de la especie mencionada anteriormente. A la edad final de cinco años presentó un incremento total de 2.41 m, con incremento medio anual de 0.48 m, este crecimiento es similar a lo que observaron Monroy y Sampieri (1997) en *P. patula* establecida en la región de Huayacocotla, Ver., con edad de 6 años resultó con incremento medio anual de 0.51 m.

Ambas especies difieren ligeramente en la forma de crecimiento, ya que cada curva de crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen, son específicas para una especie y sitio determinado (Ramírez y Zepeda, 1994).

Para el crecimiento en diámetro para *P. patula* var. *longipedunculata* se seleccionó el modelo Levakovic I con SCE de 0.83372, seguido por el modelo Sloboda con SCE de 0.085010 (Apéndice 5b) y en *P. pseudostrobus* el modelo Von Bertalanffy con SCE de 0.017626, seguido por el modelo Korf con SCE de 0.090450 (Apéndice 5a).

La curva de crecimiento de *P. patula* var. *longipedunculata* tiene la semejanza de jota y para *P. pseudostrobus* a una recta (Figura 23). En lo que corresponde a *P. patula* var. *longipedunculata* a la edad de un año presentó crecimiento bajo con relación a lo que presentó en lo sucesivo, ya que posteriormente su crecimiento fue acelerado con tendencia a mayor edad mayor crecimiento tal como lo indica su línea correspondiente, ya que refleja una pendiente alta hasta la edad de cinco años, finalmente presentó el incremento total de 3.61 cm, con un incremento medio anual en diámetro de 0.72 cm.

P. pseudostrobus fue ligeramente inferior a *P. patula* var. *longipedunculata* a pesar de tener un crecimiento alto desde la edad inicial, esta tendencia la presentó

hasta su edad final de cuatro años, el incremento total fue de 2.77 cm, con incremento medio anual en diámetro de 0.69 cm. Esto se debió principalmente a la desventaja en edad al ser utilizada como reposición a la mortalidad de *P. patula* var. *longipedunculata*. Para fines comparativos se realizó la proyección a 1994 año en que fue establecida *P. patula* var. *longipedunculata*, en esta forma se presenta prácticamente un crecimiento semejante.

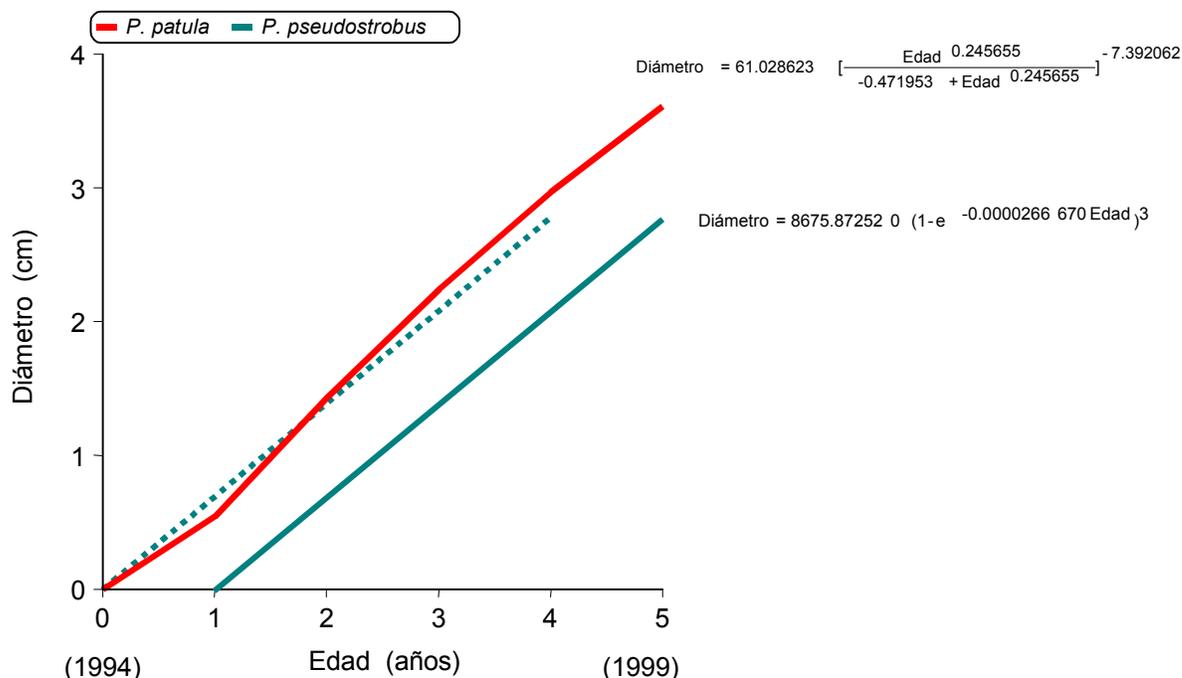


Figura 23. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *P. pseudostrabus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Para el área basal, en *P. patula* var. *longipedunculata* el modelo que presentó mejor ajuste fue Levakovic I con SCE de 0.003080, seguido por el modelo monomolecular con SCE de 0.004639 (Apéndice 8b) y en *P. pseudostrabus* el modelo monomolecular con SCE de 0.023797, seguido por el modelo Weibull con SCE de 0.048256 (Apéndice 8a).

P. patula var. *longipedunculata* a la edad de un año tuvo un crecimiento bajo con relación a lo obtenido en años consecuentes (Figura 24), siguió con la tendencia ascendente de forma continua, y así hasta los cinco años; el incremento total fue de 6.05 cm², con incremento medio anual en área basal de 1.21 cm².

P. pseudostrobus fue inferior en crecimiento comparado con *P. patula* var. *longipedunculata*, desde la edad de un año mostró un crecimiento ascendente, después de los dos años su ritmo de crecimiento fue menor ya que su curva correspondiente refleja una cierta estabilidad sin llegar a una declinación, resultó con incremento total de 2.42 cm² de área basal, con incremento medio anual en área basal de 0.60 cm², esta especie es un año inferior en edad que *P. patula* var. *longipedunculata*, debido a que se utilizó como reposición a la mortalidad de *P. patula* var. *longipedunculata*. Para fines comparativos se realizó la proyección a 1994 que corresponde al año en que fue plantada la especie mencionada anteriormente, presenta un desarrollo inferior desde la edad inicial, a la edad final se ubica por debajo de la línea que corresponde a *P. patula* var. *longipedunculata*. *P. pseudostrobus* presenta características similares a lo observado por González (2000) en edades iniciales de *P. estevezii*, en la que a los tres años su crecimiento en área basal fue prácticamente insignificante y la curva a partir de los nueve años tomó un crecimiento con mayor velocidad, mostró mayor pendiente hasta los 18 años, posteriormente la curva casi se estabilizó sin incremento perceptible.

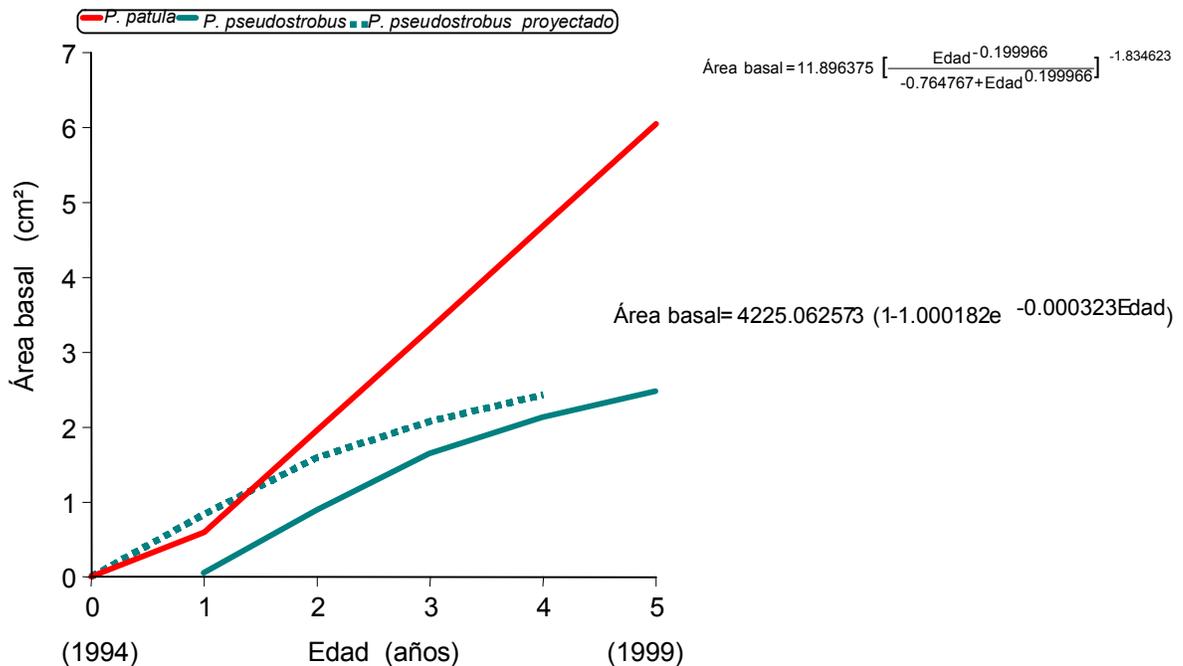


Figura 24. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

En volumen, para *P. patula* presentó mejor ajuste el modelo monomolecular con SCE de 4.446790, seguido por los modelos Von Bertalanffy y logístico que presentaron valores iguales de SCE 72.561005 (Apéndice 11b) y en *P. pseudostrobus* el modelo Levakovic I con SCE de 0.071855, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 5.078155 (Apéndice 11a). Los modelos monomolecular y Levakovic I son recomendados por González (1997) y Sosa (2001).

Ambas curvas de crecimiento tienen una tendencia similar en forma de jota (Figura 25). Siendo *P. patula* var. *longipedunculata* el que presenta su línea de crecimiento más pronunciada, a la edad de un año fue relativamente insignificante, mejoró considerablemente a los dos años seguido de un crecimiento rápido en cada año por lo que originó inflexiones, presentó esta tendencia hasta la edad final, presentó el incremento total de 548.44 cm³, con incremento medio anual en volumen de 109.68 cm³.

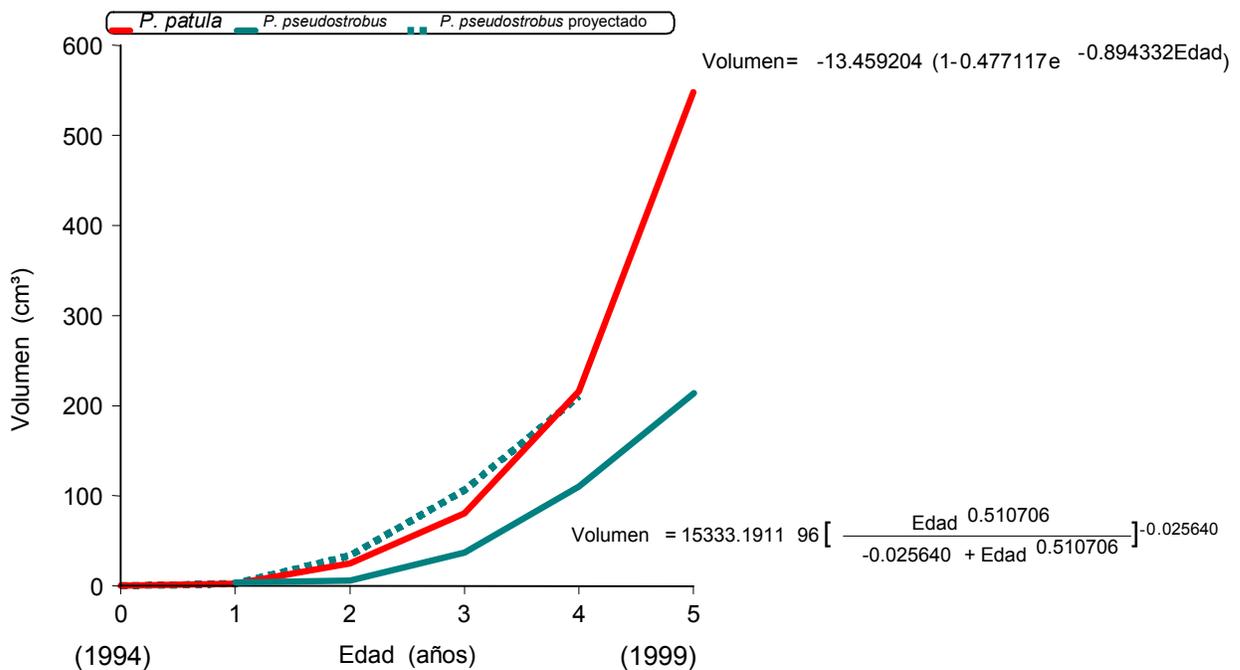


Figura 25. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *P. pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

P. pseudostrobus mostró un crecimiento inferior comparado con *P. patula* var. *longipedunculata*, esto se observa claramente en la curva de crecimiento que le corresponde, a un año de su establecimiento prácticamente no incrementó, a partir del

segundo año presentó una tendencia de aumento y en lo sucesivo éste fue incrementando hasta su edad final, resultó con el incremento total de 210.52 cm³ e incremento medio anual en volumen de 52.63 cm³, la inferioridad en crecimiento se le atribuye principalmente a la desventaja en edad ante *P. patula* var. *longipedunculata*, esto como consecuencia a la reposición a la mortalidad de la especie mencionada anteriormente. Al hacer la proyección de *P. pseudostrobus* a 1994 que corresponde al año en que fue plantada *P. patula* var. *longipedunculata*, su crecimiento fue semejante.

Comparando las dos especies, *P. patula* var. *longipedunculata* presentó mejores características de crecimiento, excepto el crecimiento en altura, en tanto *P. pseudostrobus* se mostró ligeramente bajo en desarrollo aunado a la inferioridad de un año. Para mejorar el crecimiento de estas especies es necesario considerar diversos factores que intervienen en este proceso, una de ellas es la densidad con la que se realizan las plantaciones (Klepac, 1976; Ramírez y Zepeda, 1994; Monroy y Sampieri, 1997).

La plantación se encuentra en espaciamiento promedio entre hilera de 2.20 m x 2.44 m entre planta, se observaron 1120 individuos plantados y 1340 en regeneración natural lo que da una densidad de 2460 individuos ha⁻¹ (Cuadro 3). En muchas ocasiones el control de la densidad se debe considerar antes de que se presente la competencia entre los árboles si se desea que los rendimientos comerciables se incrementen (Daniel *et al.* , 1982). Uno de los trabajos al respecto es el de Hernández *et al.* (1995) en *P. patula*, quienes establecieron dos rodales de tratamientos de aclareo a tres niveles de intensidad con un testigo de 100% de área basal residual, aplicando 85, 75 y 60% de área basal residual, en los tratamientos que se aplicaron aclareos se observó mayor anchura de los anillos de crecimiento con relación al testigo, siendo más notorio en 85 y 75%.

Otros de los factores que se deben considerar en el crecimiento de las plantas son los componentes físicos y químicos del suelo (Hocker, 1984; Stalings, 1969). Estos tienen una importante influencia en la composición y crecimiento de la vegetación, por lo que representan una parte fundamental para el diseño de los planes de manejo forestal (Crespo *et al.* , 1999). En este resultado las principales características del suelo

de este rodal son: pH 5.3 de acidez fuerte, contenido de materia orgánica extremadamente rico con 72%. La proporción de 13.8% de arena, 22.6% limo y 63.6 arcilla, la clase estructural es fina, contenido de N 1.81%, P 64.5 mg kg⁻¹ y K 320 mg kg⁻¹, este tipo de suelo es rico en nutrientes por lo que se puede considerar óptimo para las coníferas, con especial referencia *P. patula* (Castaños, 1962).

Plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Para el crecimiento en altura se escogió el modelo Schumacher por presentar el mejor ajuste con SCE de 0.502267, seguido por el modelo Von Bertalanffy con SCE de 0.523023 (Apéndice 3b). Aguirre (1991) realizó un trabajo de calidad de estación de *P. rudis* en San Miguel Aloapam, Ixtlán, Oaxaca, para obtener las curvas guías empleó el modelo Schumacher. También Quiñones *et al.* (1995) llevaron a cabo la determinación de calidad de sitio de *P. cooperi* en Durango, donde emplearon los modelos Schumacher, Chapman-Richards y Weibull. El modelo Schumacher presentó mejor ajuste con menor SCE de 1881.7178. De igual forma González (2000) afirma que el modelo Schumacher presentó mejor ajuste de crecimiento en altura para *P. rudis*.

La curva de crecimiento que exhibe es de tendencia casi rectilínea (Figura 26). Con curvas apenas apreciables al reportar un desarrollo acelerado desde la edad de un año, siguió con esta tendencia hasta la edad final de cuatro años. El incremento total en altura fue de 2.03 m, con un incremento medio anual de 0.50 m.

P. pseudostrobus es inferior en crecimiento comparado a lo que evaluaron Mas *et al.* (1993) al obtener un incremento medio anual en altura de 1.30 m en *P. pseudostrobus* de 18.8 años de edad con espaciamientos de 2 x 2 m pero con un manejo más adecuado con relación al presente estudio. Aunque el crecimiento de una plantación bajo dosel puede tener efectos y esto es característico en el método de selección de grupos (Mas, 1990; McDonald y Abbott, 1994), en el presente estudio no se conoce la magnitud de la competencia que ejerce la vegetación existente alrededor de la plantación por lo que es imposible considerarlo con precisión.

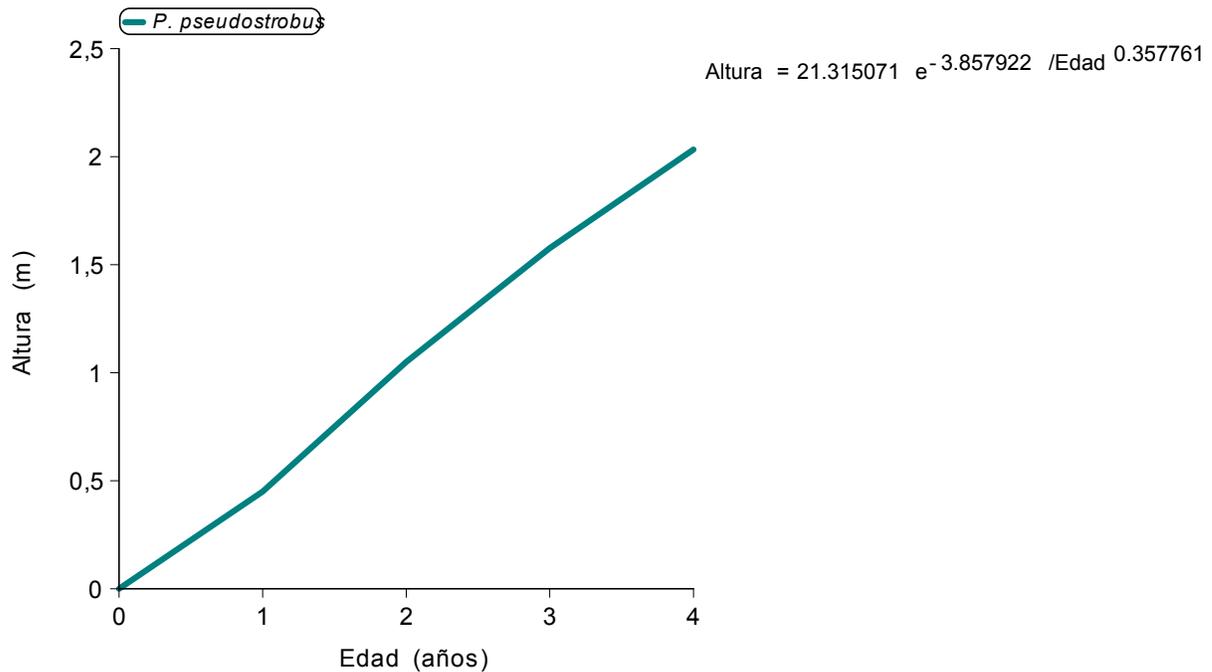


Figura 26. Curva de crecimiento representativo en altura de una plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

En el análisis de crecimiento del diámetro presentó buen ajuste el modelo logístico con SCE 9.089393, seguido por el modelo monomolecular con SCE de 9.094777 (Apéndice 5c). El modelo logístico es recomendado por González (2000) y Sosa (2001).

P. pseudostrobus muestra un crecimiento alto desde la edad inicial (Figura 27), a la edad de una año presenta la pendiente más alta comparado con lo consecuente, a partir de los dos años disminuyó ligeramente, continuó con ésta tendencia sin mostrar una declinación hasta la edad final de cuatro años. Su incremento total fue de 3.22 cm, con incremento medio anual en diámetro de 0.80 cm. Uno de los factores que se debe considerar en el manejo de las plantaciones es la densidad (Daniel, *et al.*, 1982). Al respecto, Mas *et al.* (1993) evaluaron la influencia de la densidad en el crecimiento en diámetro de *P. pseudostrobus* y encontraron que a mayor densidad presentó mayor crecimiento en diámetro. Maldonado *et al.* (2000) destacan la importancia de considerar la densidad en el crecimiento de las plantaciones ya que observaron en *P. durangensis* de 20 años de edad, presentó menor crecimiento en diámetro en áreas con mayor densidad.

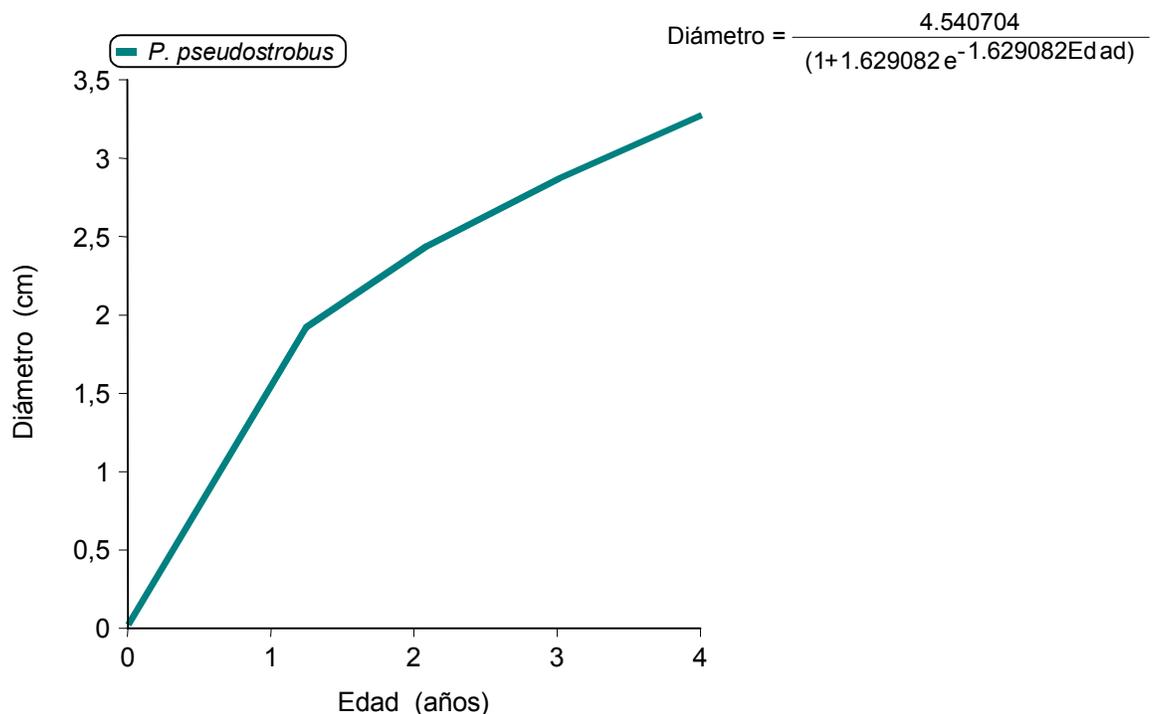


Figura 27. Curva de crecimiento representativo en diámetro de una plantación establecida de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Para el crecimiento en área basal se seleccionó el modelo Korf con SCE de 162.230043, seguido por el modelo monomolecular con SCE de 162.510978 (Apéndice 8c). El modelo Korf es recomendado por Sosa (2001) para área basal en regeneración de *P. teocote*.

P. pseudostrabus a la edad de un año tuvo un crecimiento acelerado hasta un máximo ocasionando una inflexión (Figura 28), seguido de una línea ascendente de forma constante y estable, mostró esta tendencia hasta la edad final de cuatro años, y resultó con 3.78 cm² de incremento total, con un incremento medio anual de 1.94 cm² de área basal.

Para el crecimiento en volumen presentó mejor ajuste el modelo logístico con SCE de 141523, seguido por el modelo Gompertz con SCE de 142511 (Apéndice 11c). Este modelo es recomendado por González (2000) y Sosa (2001).

La tendencia de la curva del volumen presenta la forma sigmoideal (Figura 29). Muestra a la edad de un año un crecimiento relativamente bajo, seguido de un crecimiento acelerado a edades que oscilan entre dos y tres años, en el último año

disminuyó ligeramente. En general su incremento cesa en un periodo para luego continuar con un ritmo alto originando inflexiones muy notables, al final presentó el incremento total de 447.91 cm³, con un incremento medio anual en volumen de 111.97 cm³.

La forma de la curva de crecimiento en volumen de *P. pseudostrobus* es mencionada por Klepac (1976), como aquella que aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta la muerte y que la curva de crecimiento es en forma de “S”, pero el punto de inflexión de esta curva ocurre aún más tarde que en la curva de incremento en altura y diámetro. Es importante señalar que para explicar mejor el crecimiento resultante de las diferentes especies es necesario conocer el efecto de la densidad y el efecto del dosel (Mathews, 1991) y en éste último, se ha observado tener efecto en *P. arizonica* donde a menor abertura la regeneración tuvo mayor incremento en altura, diámetro, área basal y volumen (Chacón *et al.*, 1998). Aunque esta respuesta se espera en especie tolerante de nivel medio y tolerante (Palik *et al.*, 1997).

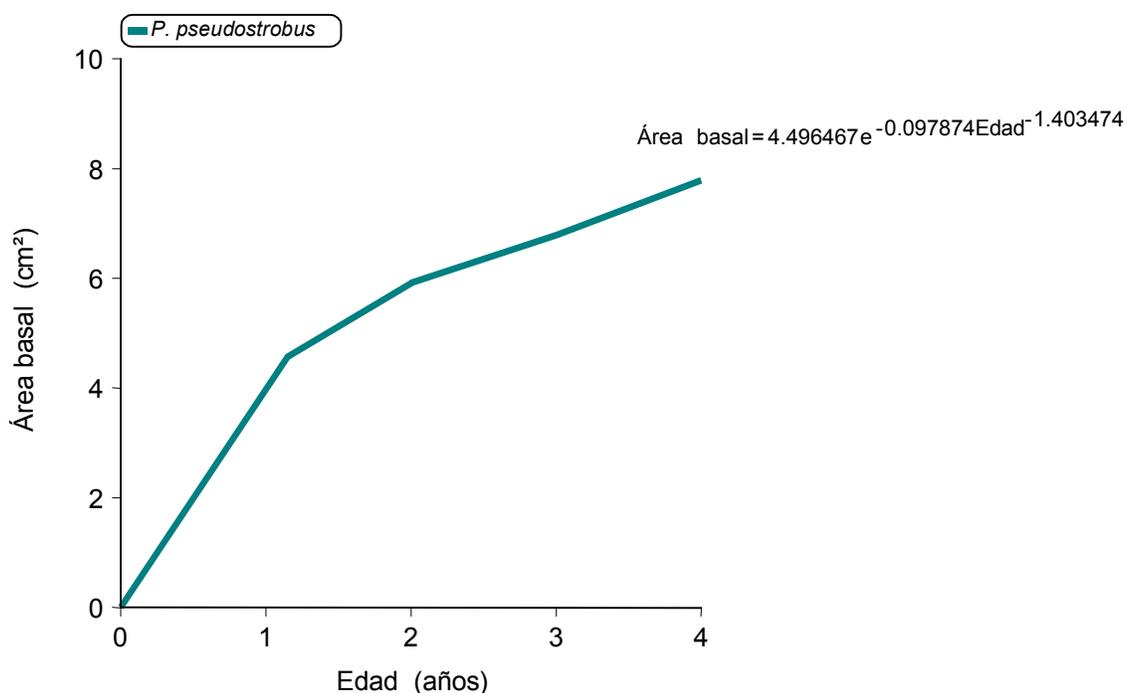
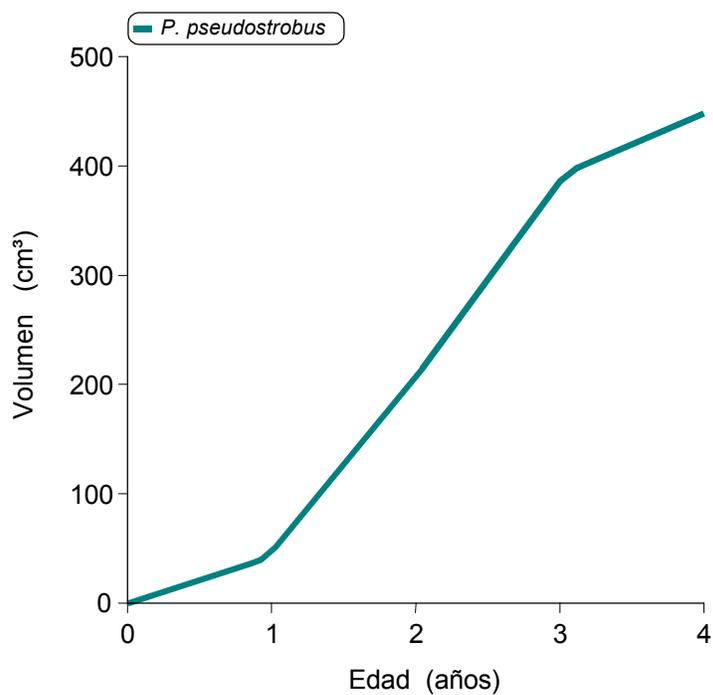


Figura 28. Curva de crecimiento representativo en área basal de una plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.



$$\text{Volumen} = \frac{448.654514}{(1 + 645.991233 e^{-3.218190 \text{Edad}})}$$

Figura 29. Curva de crecimiento representativo en volumen de una plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.

CONCLUSIONES

1. De los 10 modelos de crecimiento empleados en este trabajo todos presentaron buen ajuste en alguna de las variables evaluadas, excepto el modelo Chapman-Richards que sólo presentó valores cercanos al ajustado en una ocasión. Los modelos ajustados con mayor frecuencia fueron: logístico, Levakovic I, monomolecular, Gompertz y Schumacher. En cambio, los modelos Korf, Weibull, Sloboda y Von Bertalanffy presentaron ajustes con menor frecuencia.
2. La especie que registró mayor crecimiento en los dos tratamientos silvícolas es *Pinus patula* var. *longipedunculata* seguido por *P. pseudostrobus*. Mientras que en lo referente a *P. ayacahuite* fue la especie que registró menor crecimiento, pero por la poca frecuencia y proporción en las plantaciones la comparación es limitada.
3. En áreas donde registraron edades diferentes entre especies debido a la reposición, existe evidencia de menor crecimiento en la especie empleada como reposición.
4. En las tres especies no se tienen efectos de crecimientos definidos, debido a tratamiento silvícola, densidad y propiedades de los suelos, por lo que en el presente estudio no se pueden realizar referencias específicas en los aspectos mencionados.
5. En las tres especies estudiadas presentaron crecimientos ascendentes de forma acelerada, siendo la altura la más evidente, debido principalmente a la etapa juvenil en que se encuentran.

RECOMENDACIONES

1. Para determinar el crecimiento en altura, diámetro, área basal y volumen del género *Pinus* se sugiere considerar los modelos de crecimiento utilizados en el presente estudio.
2. Utilizar el análisis troncal como un procedimiento que facilita explicar el historial de crecimiento en plantaciones establecidas de coníferas que tienen crecimientos fijos.
3. Para precisar el efecto de la densidad de los tratamientos silvícolas en las plantaciones es necesario conocer las densidades residuales, además de tener una homogeneidad de éstas para la comparación de la competencia entre los árboles adultos con la plantación.
4. Aunque el origen de las semillas es de la región, es necesario seleccionar el germoplasma para obtener una mayor productividad en las plantaciones.
5. Realizar en esta región estudios referentes al manejo de plantaciones para conocer su dinámica de desarrollo y producción.

LITERATURA CITADA

- Aguirre D., H. 1991. Calidad de estación de *Pinus rudis* Endl. en San Miguel Aloápam, Oaxaca. SARH-INIFAP. Folleto Técnico No. 1. Oaxaca. Oax. 36 p.
- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. Estudio FAO. Montes 22/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 118 p.
- Armendáriz O., R. y J. M. Chacón S. 1997. Caracterización epidométrica de una plantación de *Pinus arizonica* Engelm. en el Municipio de Bocoyna, Chihuahua. *In: Resúmenes de ponencias III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales.* SOMEREF, A. C. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares, Nuevo León. México pp. 50.
- Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Estudio FAO. Montes 22/1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 92 p.
- Castaños M., L. J. 1962. Evaluación de la calidad de estación de *Pinus patula* en el norte de Oaxaca. Boletín Técnico. No.2. INIF. México. 32 p.
- Castellanos B., J. F., F. Becerra L., M. Gómez C. y M. Ruíz M. 1994. Problemática prioritaria de investigación forestal en el Estado de Oaxaca. *In: Memoria Simposio y II Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de Recursos Forestales.* Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. pp. 52-53.
- Cetenal. 1976. Carta Edafológica. E14-D28. San Juan Quiotepec. Esc. 1:50,000, México.
- Chacón S., J. M. y J. Sánchez C. 1986. Dinámica de establecimiento de la regeneración de *Pinus arizonica* Engelm. En Madera, Chihuahua. *Ciencia Forestal.* 59 (11): 15-42.
- Chacón S., J. M., A. Velázquez M. y M. A. Musálem. 1998. Comportamiento de la repoblación natural de *Pinus arizonica* Engelm. bajo diferentes coberturas. *Maderas y Bosques* 2 (4): 39-44.
- Chávez H., M. y A. F. Gómez T. 1985. Principales interacciones entre los suelos forestales y las coníferas del Cerro de la Cruz, Michoacán. Boletín Técnico No. 140. SARH-CIFO-INIF-SF. México. 32 p.
- Córdoba S., A. 1985. Predicción del crecimiento y rendimiento para plantaciones, de *Pinus patula* en Colombia. Informe de Investigación No. 101. Smurfit Cartón de Colombia. Investigación Forestal. Cali, Colombia. 16 p.

- Crespo R., M., A. Gallegos R., A. Rodríguez R. y D. Falk. 1999. Distribución de la vegetación en función de parámetros de fertilidad y de humedad del suelo. *In*: Resúmenes IV Congreso Mexicano sobre Recursos forestales. SOMEREF, A. C. UJED. Durango, México. pp. 9-10.
- Cruz C., F., J. Castañeda A. y F. J. Hernández. 1999. Guía de densidad para *Pinus cooperi* var. *blancoi* del Ejido La Victoria Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. *In*: Resúmenes IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. SOMEREF, A. C. UJED. Durango, México. pp. 69.
- Daniel, T. W., Helms, J. A. y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw Hill. México. 492 p.
- Dirección General Para el Desarrollo Forestal. 1982. Como trabajar el bosque. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Ed. Árbol. México. 144 p.
- FAO-UNESCO. 1990. Mapa mundial de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 60. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 142 p.
- Flores N., R. y R. Armendáriz O. 1999. Relación del suelo y clima con la calidad de sitio de las plantaciones forestales del municipio de Madera, Chihuahua. *In*: Memorias del IV Congreso Mexicano sobre de Recursos Forestales. SOMEREF, A. C. UJED. Durango, México. pp. 72.
- Fuente E., A. de la. 1989. Crecimiento y predicciones del rendimiento de rodales coetáneos de *Pinus rudis* Endl. de pueblos Mancomunados, Ixtlán, Oaxaca. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco. México. 179 p.
- García., E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- García M., J. J. 1989. Efecto de espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuáro, Michoacán. *Ciencia Forestal* 14 (65): 19-51.
- García M., J. J. 1992. Crecimiento de dos especies de pino establecidas sobre dos arenas volcánicas. *In*: Memorias del Simposio sobre Reforestación Comercial. INIFAP. Chihuahua. Chih. México. pp. 130-134.
- García M., J. J. y R. Toledo B. 1992. Intensidades de poda en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus michoacana*. *In*: Memorias del Simposio sobre Reforestación Comercial. INIFAP. Chihuahua. Chih. México. pp. 164-172.
- Garza L., M. P. de la. 1994. Análisis físico de semillas en laboratorio. *In*: Semillas forestales. Publicación especial No 2. INIFAP. Coyoacán, D. F. México. pp. 103-109.

- González L., H. D. 1997. Calidad de sitio, crecimiento e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. De la región de San José de la Joya, Galeana, Nuevo León. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 121 p.
- González L., H. D. 2001. Calidad de sitio mediante análisis troncal y crecimiento entre verticilos en regeneración de *Pinus rudis* Endl. Tesis Maestría en Ciencias. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, México. 117 p.
- González Z., M. 2000. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 98 p.
- Hawley, C. R. y D. M. Smith. 1972. Silvicultura práctica. Traducción al español Por J. Terradas. Omega. Barcelona, España. 544 p.
- Hernández J., F., Cruz C. y E. González M. 1999. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus cooperi* en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *In*: Memorias del IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. SOMERFO, A C. UJED. Durango México. pp. 14-15.
- Hernández M., H. 1995. Programa Nacional de Reforestación: Estrategias de corto y mediano plazo (1995-2000). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco. México. 252 p.
- Hernández L., A., Martínez R., J. J. Vargas H., A. Velázquez M. y G. Ángeles P. 1995. Influencia de aclareos sobre la relación temprana-madera tardía a diferentes alturas del fuste en *Pinus patula*. *In*: Resumen del Simposio y Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo. Texcoco, México. pp. 36.
- Hocker, Jr., H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. Traducción al español. Ed. A.G.T. Editor. México. 446 p.
- INEGI. 1997. La explotación forestal en el estado de Oaxaca. Monografías sobre los aspectos agropecuarios. VII Censo agropecuario. Aguascalientes, Ags. México. 62 p.
- INEGI. 1984. Carta de uso de suelo y vegetación. E 14-9. San Juan Quiotepec. Esc. 1: 250, 000. Oaxaca, Oax. México.
- INEGI. 1984b. Carta geológica. E14-9. San Juan Quiotepec. Esc. 1: 250,000. México.
- INEGI. 1984c. Carta topográfica. E14-D28 San Juan Quiotepec. Esc. 1: 50,000. México.
- INEGI. 1993. Anuario estadístico de Oaxaca. INEGI Oaxaca. 485 p.

- INEGI. 1998. Estadísticas del medio ambiente. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1995-1996. INEGI México. 76 p.
- Jiménez, J. y H. Kramer. 1992. Dinámica del crecimiento de especies arbóreas en un rodal mixto-incoetáneo mediante la metodología de análisis troncal. Facultad de Ciencias Forestales. U.A.N.L. Reporte científico No. 31. Linares, Nuevo León, México. 57p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Kononova, M. M. 1982. Materia orgánica del suelo. Ed. Oikostau. España. 365 p.
- Madrigal H., S. 1995. Análisis de variabilidad de las características dendroepidométricas del Campo Experimental Forestal Barranca de Cupatitzio. Ciencia Forestal 20 (77): 129-149.
- Madrigal H., S. y H. Ramírez M. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación de índice de sitio en Michoacán. Ciencia Forestal 20 (78): 35-57.
- Maldonado A., D., S. Solís G. y J. Návar C. 2000. Evaluación de plantaciones forestales en el Estado de Durango. *In*: Resúmenes del I Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAP-PRONARE. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 76-77.
- Mas P., J. 1978. Características del crecimiento de seis especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. *In*: Memoria I Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SARH-DGICF. Coyoacán, D. F. México. pp. 27-72.
- Mas P., J. 1990. El sistema silvícola de selección (SISISE) para bosques de coníferas de la región central de México. Publicación especial No. 1. SARH-INIFAP-CIFAP Morelia, Michoacán. México. 62 p.
- Mas P., J., J. García M. y A. Prado O. 1993. Ensayos de plantaciones forestales en el Campo Experimental Forestal Barranca de Cupatitzio. Boletín Técnico. No.108. SARH-INIFAP. Coyoacán, D. F. México. 51 p.
- Mas P., J. y A. Pahuá G. 1989. El sitio permanente de experimentación silvícola La Nieve a 27 años de su establecimiento. Ciencia Forestal 14 (66): 44-96.
- Matthews., J. D. 1991. Silvicultural systems. Oxford Science Publications. USDA. Clarendon Press-Oxford. University of Aberdeen. U.S.A. 284 p.

- Márquez R., J., J. Alba L., A. Aparicio R. y V. Rebolledo C. 2000. Comparación del crecimiento de *Pinus maximinoi* Moore en dos ensayos con diferente exposición en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Foresta Veracruzana* 2 (1): 5-10.
- Mcdonald., P. M. and Abbott., C. S. 1994. Seedfall, regeneration and seedling development in group selection openings. USDA-FS. Research paper. PSW-RP.12 p.
- Mendenhall., W. y T. Sinchich. 1997. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Cuarta edición. Traducido al español por Escalona. Prentice-Hall hispanoamericano, S. A. México. 1182 p.
- Merlín B., E. 1994. Situación actual de una masa incoetánea de *Pinus cooperi* sometida a diferentes intensidades de corta. *In: Resumen del Simposio y Reunión Nacional de Silvicultura y Manejo de Recursos Forestales*. Colegio de Postgraduados, Montecillo. Texcoco. México. pp. 4.
- Monroy R., C. R., O. A. Aguirre C., J. Pérez J. y E. Garza T. 1997. Evaluación en crecimiento y productividad de *Pinus patula* Schl. et. Cham., en la región de Huayacocotla, Veracruz. *In: Memoria III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. SOMEREF, A. C. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares Nuevo León. México. pp. 7.
- Monroy R., C. R. y M. R. Sampieri Z. 1997. *Pinus patula*, catorce años de crecimiento en plantaciones comerciales de la región de Huayacocotla, Veracruz. *In: Memoria III Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. SOMEREF, A. C. Facultad de Ciencias Forestales, UANL. Linares Nuevo León. México. pp. 6.
- Monroy R., C. R. y A. Trinidad H. 1993. Plantaciones comerciales a turnos cortos de *Pinus patula* en el Noroeste de Veracruz. Folleto No. 22. SARH-INIFAP-CIRGC. México. 24 p.
- Nájera C., F. y B. Bermejo V. 1999. Efecto de la intensidad de luz sobre el crecimiento en altura y producción de materia seca en plántulas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. *Foresta Veracruzana* 1 (2): 25-30.
- Negreros C., P. y L. Snook. 1984. Análisis del efecto de la intensidad de corta sobre la regeneración natural de pinos en un bosque de pino-encino. *Ciencia Forestal* 9 (47): 48-61.
- Newberry, D. 1991. A note on Carmean's estimate of height from stem. *Forest Science*. 37 (1): 368-369.
- Ortega E., F. 1999. Variación de la densidad relativa y la longitud de traqueidas de la madera en cinco familias de *Pinus patula* *In: Memorias del IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales*. SOMEREF, A. C. UJED. Durango México. pp. 121.

- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. LIMUSA. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 273 p.
- Palik, B. J., R. J. Mitchell., G. Houseal And N. Pederson. 1997. Effects of canopy structure on resource availability and seedling response in a longleaf pine ecosystem. *Can. J. For. Res.* 27: 1468-1464.
- Patiño V., F. 1995. El Espaciamiento en plantaciones forestales. *Ciencia Forestal* 20 (77):67-98.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Segunda edición. Fondo de Cultura Económica de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 521 p.
- Prieto R., J. A y F. Rubio C. 1994. Efecto de cinco profundidades de siembra en la emergencia de *Pinus engelmanni* Martínez en almácigo. *Ciencia Forestal* 19 (76): 18-51.
- Printchett, W, L. 1986. Suelos Forestales. Limusa. México. 634 p.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- Quiñones C., A., H. Ramírez M. y F. J. Zamudio S. 1995. Evaluación de la calidad de sitio para *Pinus cooperi* en Cielito Azul San Miguel de Cruces Durango. *In: Memorias del II Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 18.*
- Ramírez M., H. y M. Zepeda B. 1994. Rendimientos maderables de especies forestales, actualidades de México. *In: Memorias de la IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SFFS-INIFAP. México. pp. 15-21.*
- Reyero H., V., A. Velázquez M., J. Vargas H. y A. R. Román J. 1999. Efecto de la vegetación competidora en regeneración natural de *Pinus patula* Schl. et Cham. *In: Memorias del IV Congreso Mexicano sobre Recursos Forestales. SOMERFO, A C. UJED. Durango, México. pp. 11.*
- Romahn de la Vega., C. F., H. Ramírez M. y J. L. Treviño G. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México. 354 p.
- Romero G., Y. E. y H. Ramírez M. 1997. Análisis de crecimiento de *Pinus patula* Sch. et Cham., en plantaciones en Huayacocotla, Veracruz. *Revista Chapingo.* 2 (3): 145-148.
- Ruíz M., M., F. González A. y H. Ramírez M. 1996. Efecto inicial del aclareo en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. y Golf. en La Sabana Oaxaca. *Ciencia Forestal* 21 (80): 25-38.

- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1982. Plan de desarrollo agropecuario y forestal, Oaxaca, México. Tomo I. México. 229 p.
- Secretaría de Medio Ambiente Recursos y Naturales. 1998. Ley forestal y su reglamento. Tlalpan, D. F. México. 168 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2001. Recursos forestales y desarrollo sustentable en México 1995-2000. Tlalpan, D. F. México. 110 p.
- Sosa C., V. 1992. Política nacional de fomento a las plantaciones forestales industriales. *In: Memoria de Simposio sobre Reforestación Comercial. Publicación especial. No. 65. INIFAP. Coyoacán, D. F, México. pp. 11-53.*
- Sosa A., M. A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en rodales localizados al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León. Tesis profesional U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coahuila. México. 64 p.
- Stallings, J. H. 1969. El Suelo. Tercera edición. Traducción al español por C. Sevillano M. Ed. Continental. México. 480 p.
- Spurr, S. H. y B. U. Barnes. 1982. Ecología Forestal. AGT Editor. México. 690 p.
- Valencia M., S. y J. J. Vargas H. 1994. Variación genética en la velocidad de crecimiento y características de la madera en una plantación joven de *P. patula*. *In: Memorias de la IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SFFS-INIFAP. México. pp. 64.*
- Valencia V., J. 1992. Análisis de la regeneración después del tratamiento de árboles padre en Atenquique, Jalisco. *Ciencia Forestal* 17 (71): 63-85.
- Valenzuela R., R. y A. Trinidad H. 1992. Plantaciones forestales comerciales investigación en Veracruz. *In: Memoria de Simposio sobre Reforestación comercial. Publicación especial No. 65. INIFAP. México. pp. 153-156.*
- Vanclay., J. K. 1994. Modelling forest growth and yield, application to mixed tropical forest. CAB International. Wallingford, UK. 312 p.
- Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Publicación especial No. 19. SARH-SFF. INIF. Coyoacán, D. F. México. 109 p.
- Villa S., A. B. y M. Caballero D. 1993. Técnicas de muestreo usadas en México en inventarios forestales. Recopilación de notas sobre técnicas de muestreo usadas en inventarios forestales. Publicación especial No. 64. INIFAP. Coyoacán, D. F. México. pp. 21-48.

- Villarreal C., R. 1992. La importancia de un banco de germoplasma en las plantaciones forestales comerciales. *In*: Memoria del Simposio sobre Reforestación comercial. INIFAP. Coyoacán, D. F. México. pp. 81-94.
- Villarreal C., R. 1994. Establecimiento y manejo de plantaciones. Guía tecnológica para el establecimiento de plantaciones de pino patula (*Pinus patula*) en México. *In*: Guía tecnológica No. 4. SARH, INIFAP, CENID-COMEF. México, D. F. pp. 41-46.
- Zamudio S., F. J. y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. Revista Chapingo. 3 (1): 79-87.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México. 545 p.

APÉNDICE

Apéndice 1a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	101.152507	-5.3800122	0.335441		1.248203
Chapman-Richards	8.702670	0.244397	1.934961		1.174809
Von Bertalanffy	-7.670044	-0.029784			1.628159
Logístico	5.541625	0.935068	22.644802		0.956898
Weibull	6.607622	0.068702	1.736507		1.128556
Gompertz	6.679104	4.135243	0.467612		1.055191
Levakovic I *	5.133140	3443288890	0.108856	13.482721	0.927054
Korf	0.748604	0.429270	0.795079		3.910586
Sloboda	37.059012	0.870108	10.788639	-0.462058	1.272075
Monomolecular	623.926539	0.001516	1.000597		1.355799

Apéndice 1b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher *	7.196627	-3.352215	0.634950		0.037408
Chapman-Richards	6.125000	0.091540	1.061000		0.088187
Von Bertalanffy	16.292854	0.009290			0.090251
Logístico	7.690000	0.0200000	0.980000		0.980000
Weibull	13.331956	0.037990	0.936253		0.112150
Gompertz	18.265367	3.922834	0.117481		0.266284
Levakovic I	0.025686	221.967327	221.967327	0.253644	0.062670
Korf	0.174578	1.526707	1.526704		0.400202
Sloboda	7.194451	0.878769	9.358957	-0.635018	0.087408
Monomolecular	600.822631	0.001505	1.125497		0.841562

Apéndice 1c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher *	26112.68671 3	-10.112624	0.073638		0.129165
Chapman-Richards	6.961624	0.097384	0.794765		0.130636
Von Bertalanffy	4.528237	0.083153			0.146594
Logístico	3.765997	0.688614	4.901101		0.148814
Weibull	20.367015	0.053346	0.743067		0.129783
Gompertz	4.244032	2.079623	0.414033		0.138967
Levakovic I	760.625843	0.014776	448.066752	0.116828	0.129978
Korf	0.977408	0.195776	1.289336		0.327950
Sloboda	211.744585	0.964795	46.556155	-0.149006	0.130348
Monomolecular	6.133450	0.143386	0.954353		0.131470

Apéndice 1d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher *	327.767551	-6.980008	0.212171		0.000133
Chapman-Richards	6.591837	0.133177	1.462370		0.000447
Von Bertalanffy	483.637218	0.000308			0.036889
Logístico	2.728892	0.867055	15.199456		0.011873
Weibull	5.018685	0.064631	1.395971		0.000571
Gompertz	3.407188	3.614646	0.440320		0.003739
Levakovic I	336.125433	0.017384	406.369445	0.212673	0.000184
Korf	0.383517	0.240723	1.525227		0.114690
Sloboda	327.764931	0.437422	2.349923	-0.212171	0.000133
Monomolecular	120.527431	0.002834	0.997371		0.268844

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 2a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	21.727213	0.232586	2.206272		19.940320
Chapman-Richards	11.453923	0.232586	2.206272		19.663812
Von Bertalanffy	-67.079978	-0.004351			27.433499
Logístico	9.572222	0.573330	17.350983		21.974609
Weibull	10.559905	0.043515	1.664914		19.830999
Gompertz	10.428076	4.075099	0.340559		19.923459
Levakovic I *	13.313486	22.768793	1.153864	1.767974	19.580803
Korf	2.047442	0.223626	0.668682		61.198717
Sloboda	21.419881	0.959777	38.45122	-0.753177	19.943405
Monomolecular	17.336927	0.082300	1.074164		21.165662

Apéndice 2b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	459.561041	-6.161403	0.236505		16.977664
Chapman-Richards	20.312670	0.129865	1.465033		15.752025
Von Bertalanffy	-2203.636445	-0.000199			18.301384
Logístico *	13.910634	0.530898	13.910634		11.779120
Weibull	16.545461	0.054671	1.422493		15.282432
Gompertz	15.312027	3.368579	0.285353		13.175833
Levakovic I	13.574934	7948.614707	0.317583	4.341346	14.442829
Korf	2.503680	0.261117	0.657061		54.144688
Sloboda	19.940254	0.969312	58.374932	-1.125847	27.497468
Monomolecular	41.655028	0.038220	1.012305		17.094108

Apéndice 2c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	30.551994	-4.840461	0.556698		25.737328
Chapman-Richards	10.349225	0.209213	2.064105		25.018096
Von Bertalanffy	-179.513810	-0.001488			30.4568221
Logístico	8.043697	0.590048	18.194615		25.579527
Weibull	9.068648	0.042029	1.677937		24.847094
Gompertz *	9.035632	0.056049	0.330990		24.670917
Levakovic I	9.454843	831.579923	0.467167	3.221395	24.731905
Korf	1.464655	0.254784	0.698949		63.256848
Sloboda	22.456841	0.936679	27.449817	-0.783945	30.233182
Monomolecular	19.910391	0.056049	0.044806		26.763982

Apéndice 2d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	7.868228	-2.361688	0.510718		0.120110
Chapman-Richards	3.064621	0.498344	1.546395		0.109395
Von Bertalanffy	4.534639	0.065576			0.122793
Logístico *	2.600243	1.226065	9.032075		0.075184
Weibull	2.767235	0.291926	1.428859		0.104902
Gompertz	2.827744	2.857646	0.744619		0.095707
Levakovic I	73.069379	0.014465	309.724669	0.195465	0.134831
Korf	0.736192	0.240775	1.289336		0.272269
Sloboda	91.615813	0.964810	43.032717	-0.182535	0.136162
Monomolecular	3.453387	0.331541	1.095375		0.115761

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

*Modelo seleccionado

Apéndice 3a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	10.974451	-2.660960	0.356205		0.031574
Chapman-Richards	3.186184	0.299665	1.062601		0.026680
Von Bertalanffy	3.335733	0.087725			0.027005
Logístico *	2.586752	0.873207	5.551282		0.012092
Weibull	3.091437	0.279167	1.063358		0.026416
Gompertz	2.778501	2.249749	0.563038		0.018341
Levakovic I	10.896941	0.010222	260.955346	0.358868	0.031563
Korf	0.832709	0.285250	0.790065		0.187461
Sloboda	32.046394	0.964863	35.560760	-0.227189	0.033240
Monomolecular	3.324330	0.265261	1.001636		0.027001

Apéndice 3b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher *	21.315071	-3.857922	0.357761		0.502267
Chapman-Richards	3.135374	0.348397	1.586566		0.502867
Von Bertalanffy	399.489721	0.000432			0.523023
Logístico	1.894275	1.384182	12.810907		0.502867
Weibull	2.644290	0.186571	1.439336		0.502867
Gompertz	2.293881	3.394739	0.734412		0.502867
Levakovic I	20.913744	0.015273	253.273663	0.362192	0.502867
Korf	0.289421	0.534691	1.067248		0.561224
Sloboda	21.304164	0.963493	36.299781	0.357799	0.502867
Monomolecular	5.359091	0.130362	1.043579		0.502867

Apéndice 3c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	682.974887	-6.422784	0.123043		0.586765
Chapman-Richards	4.195199	0.553487	2.313438		0.247027
Von Bertalanffy	9.699910	0.032080			0.384098
Logístico *	3.648585	1.290412	18.246149		0.118102
Weibull	6.480044	0.166544	0.978298		0.442084
Gompertz	3.975232	3.914352	0.735971		0.198763
Levakovic I	184.603751	0.015646	338.033155	0.180023	0.437616
Korf	0.929197	0.220950	1.289336		0.973636
Sloboda	47.167500	0.966560	40.454704	-0.269060	0.388907
Monomolecular	5.342777	0.253907	1.129665		0.305685

Apéndice 3d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	2848.70976	-8.682186	0.168413		0.463150
Chapman-Richards	15.324800	0.102006	1.514553		0.406984
Von Bertalanffy	236.954513	0.001104			0.932735
Logístico	8.183872	0.523947	16.665105		0.552503
Weibull	12.316675	0.037476	1.424077		0.395730
Gompertz *	9.832476	3.669464	0.269197		0.355781
Levakovic I	2427.53838	0.77750	113.691885	0.177051	0.463922
Korf	1.095213	0.172126	1.206829		5.467332
Sloboda	172.415103	0.970328	60.227914	-0.297087	0.472669
Monomolecular	89.068451	0.009662	1.004421		0.522561

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 4a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus patula* en la aplicación del tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	293984	-13.489308	0.125550		11.833600
Chapman-Richards	1178.009886	0.004487	1.445796		11.791162
Von Bertalanffy	6432.070861	0.000047			14.827866
Logístico*	8.258908	0.770469	31.116284		11.329966
Weibull	43.802968	0.009718	1.543444		11.710356
Gompertz	14.515092	4.529395	0.284790		11.518030
Levakovic I	19440.993991	-0.127022	-78.803426	0.147958	11.417958
Korf	0.757899	0.242150	1.449755		13.363073
Sloboda	4904.285535	0.966863	67.432709	-0.209965	11.750744
Monomolecular	241.757594	0.004418	1.002501		12.994701

Apéndice 4b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	4.142000	-3268.979946	303.373733		15.047580
Chapman-Richards	3.580000	45546.690606	301198		23.930000
Von Bertalanffy	2837.495660	0.000123			0.964305
Logístico	7.757345	0.685721	13.315073		1.042200
Weibull	20.127230	0.039581	1.272438		0.749468
Gompertz	3.580000	0.039581	1.272438		0.749468
Levakovic I	415.558184	-740867	-4.815384	0.135839	0.767398
Korf	0.756103	0.213581	1.740522		2.505536
Sloboda	290.925461	0.897727	16.710732	-0.258730	0.734990
Monomolecular*	925.942877	0.001243	1.00469		0.729329

Apéndice 4c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	65.436392	-3.463459	0.338440		0.936827
Chapman-Richards	13.537431	0.240819	1.220450		0.939908
Von Bertalanffy	3625.013750	0.000157			3.167683
Logístico	9.520210	0.886340	8.273729		1.075112
Weibull	12.817797	0.175714	1.167171		0.940611
Gompertz	10.586905	2.749635	0.529376		0.980783
Levakovic I	186.916986	-0.593601	-5.013179	0.162957	0.936526
Korf	2.094758	0.21868386	1.371388		3.739763
Sloboda	66.179736	0.947850	23.251042	-0.336879	0.936833
Monomolecular*	15.070282	0.181345	1.035582		0.936305

Apéndice 4d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	78.979097	-5.202256	0.346660		0.221961
Chapman-Richards	10.317879	0.163291	1.612435		0.239401
Von Bertalanffy	6125.632257	0.000042			0.441837
Logístico	5.571610	0.750056	15.204395		0.431222
Weibull	9.267651	0.057136	1.428699		0.246510
Gompertz	6.557438	3.754309	0.412746		0.302431
Levakovic I	443.496753	-0.716572	-5.526631	0.138848	0.138848
Korf	0.784537	0.228802	1.371168		0.987113
Sloboda	78.895285	0.946862	30.198663	-0.346762	0.221961
Monomolecular*	36.213696	0.026457	1.015155		0.216538

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* modelo seleccionado

Apéndice 5a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	2.04000	-3268.979946	275.518784		0.672400
Chapman-Richards	3.201795	0.386333	1.196968		1.098426
Von Bertalanffy *	8675.872520	0.000026			0.017626
Logístico	20.937995	0.486980	39.926707		8.372701
Weibull	3.062994	0.311581	1.145412		1.615852
Gompertz	4.121698	2.446635	0.415554		3.081487
Levakovic I	1.235104	-0.019066	-21.1424	5.905543	0.649082
Korf	17.355061	0.560128	40.156011		0.090450
Sloboda	3.212311	0.858719	2.011979	-1.002215	3.683010
Monomolecular	3.664194	0.280134	1.027168		6.370113

Apéndice 5b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	327.767551	-6.980008	0.212171		0.235689
Chapman-Richards	0.972219	45546.69060	301198		
Von Bertalanffy	623.442096	0.000098			0.659131
Logístico	1.095139	1.009537	34.875729		0.091863
Weibull	1.109198	0.025815	2.578025		0.089239
Gompertz	0.972217	45349.50804	3748.568429		0.199956
Levakovic I *	61.028623	- . 471953	-7.392062	0.245655	0.083372
Korf	0.734094	0.236447	1.367484		2.505536
Sloboda	16.736933	0.853232	7.870843	0.507245	0.085010
Monomolecular	925.942877	0.001243	1.000469		0.729329

Apéndice 5c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en altura para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	13638986	-15.692925	0.019147		9.135471
Chapman-Richards	33.611774	0.001871	0.465102		9.480444
Von Bertalanffy	6775.889149	0.000050			13.893013
Logístico *	4.540704	0.346801	1.629082		9.089393
Weibull	271.622149	0.007711	0.298579		9.133775
Gompertz	17.575760	2.241513	0.068297		9.107746
Levakovic I	12546158	-0.450112	-26.103450	0.014198	9.136128
Korf	1.857430	0.098088	1.449755		9.104435
Sloboda	46679583	0.966800	83.875585	-0.021778	9.194301
Monomolecular	-1262.906849	-0.000296	1.001381		9.094777

Apéndice 5d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	730869	-12.908300	0.056786		0.312424
Chapman-Richards	6.894143	0.335558	1.141435		0.241451
Von Bertalanffy	7451.982946	0.000054			1.376766
Logístico	5.799934	0.860058	5.444364		0.384719
Weibull	6.919007	0.274542	1.076010		0.306475
Gompertz	6.075270	2.352042	0.601434		0.306475
Levakovic I *	63.723227	-0.813452	-2.178424	0.115050	0.204012
Korf	1.805011	0.277836	0.840169		1.090638
Sloboda	12.601427	0.983252	43.258720	-0.559191	0.206616
Monomolecular	6.829232	0.329583	1.065082		0.230351

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 6a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	16785225	-15.918835	0.066231		6.398563
Chapman-Richards	6083.156530	0.000238	0.944613		5.304631
Von Bertalanffy	2881.596564	0.000223			5.700396
Logístico	31.819768	0.281748	9.624022		1.897445
Weibull	4177.096520	0.000531	0.946401		5.315340
Gompertz *	60.546538	3.104900	0.104335		1.834881
Levakovic I	10102287563	-0.311407	-59.790477	0.038346	6.189114
Korf	4.008140	0.103137	1.612898		5.861328
Sloboda	923118895	0.966887	88.224079	-0.041295	13.033539
Monomolecular	-217.508827	-0.005965	1.018666		25.906851

Apéndice 6b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	70626139455	-29.548959	0.041650		317.697169
Chapman-Richards	40915.744946	0.000951	1.679906		295.306235
Von Bertalanffy	5176.929732	0.000097			355.987565
Logístico	32.611140	0.319296	24.012064		286.051805
Weibull	1567.966362	0.000368	1.449123		282.886882
Gompertz	58.945800	4.225896	0.118674		282.775281
Levakovic I	11165257714	-0.308824	-67.923113	0.035897	360.691100
Korf	2.350467	0.102500	1.819307		319.920356
Sloboda	3216173383	0.966887	92.265590	-0.067808	289.533772
Monomolecular *	-11.521970	-0.089604	0.972331		280.978665

Apéndice 6c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	143842483	-18.090013	0.052586		49.120595
Chapman-Richards	19.670934	0.185934	1.543327		43.263695
Von Bertalanffy	6155.676772	0.000089			56.984782
Logístico	15.412682	0.549911	11.235165		49.577342
Weibull	17.567535	0.074533	1.415947		42.606196
Gompertz	16.989377	3.178671	0.323313		40.412843
Levakovic I	85560312954	-0.305181	-67.864912	0.035935	54.266397
Korf	3.688021	0.053100	2.849486		104.785331
Sloboda	693576385	0.966887	87.878626	-0.038041	65.553746
Monomolecular *	-5329.275064	-0.000290	1.000122		53.734653

Apéndice 6d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	2133778	-14.174301	0.076954		313.836518
Chapman-Richards	17.133166	0.244609	2.134055		293.090919
Von Bertalanffy	2999.984583	0.000169			319.157860
Logístico *	14.431007	0.593985	16.085585		275.468112
Weibull	14.867094	0.044253	1.792669		287.390197
Gompertz	15.904811	3.773269	0.342786		284.503755
Levakovic I	17129565782	-0.283436	-69.403146	0.038137	315.146955
Korf	3.202751	0.053307	2.983411		439.480096
Sloboda	222858123	0.966887	86.641998	-0.047549	329.514664
Monomolecular	-4996.018627	-0.000291	1.000064		321.096435

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 7a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	14421518	-18.201799	0.185461		190.475687
Chapman-Richards	37673.463096	0.001094	1.457917		305.838071
Von Bertalanffy	19858.643975	0.0000584143			458.951822
Logístico	33.122522	1.421396	635.331519		166.964609
Weibull	641.410212	0.0000489	2.576935		192.467840
Gompertz	49.589053	13.084643	0.542897		180.059225
Levakovic I *	33250.929715	-0.117375	-90.189994	0.141713	11.996801
Korf	1.085967	0.441907	1.403474		479.644014
Sloboda	690396	0.966757	78.786538	-0.196501	205.182304
Monomolecular	12205.893	0.000468	1.000743		285.707691

Apéndice 7b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	274280104	-20.343384	0.136539		24.695109
Chapman-Richards	40401.590480	-20.343384	0.136539		74.541226
Von Bertalanffy	22030.009602	0.000069			173.769770
Logístico	230.633210	0.575222	180.086105		22.641067
Weibull	6471.802810	0.000056	2.534663		25.812356
Gompertz	2103.342563	7.914338	0.108628		21.394188
Levakovic I	32784958	-0.188912	-83.890292	0.120564	32.855878
Korf *	1.082147	0.213581	1.437462		1.771239
Sloboda	4574377811	0.889850	26.503932	-0.088276	44.499582
Monomolecular	65867.748346	0.000982	1.000143		70.667675

Apéndice 7c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	146742	-10.227697	0.166913		29.66597
Chapman-Richards	60762.375337	0.001715	1.453900		30.428798
Von Bertalanffy	26114.947040	0.000137			235.078593
Logístico	70.588263	1.081786	40.463292		16.946576
Weibull	96.525051	0.037735	2.022055		14.267579
Gompertz	96.701217	5.144000	0.476389		14.341254
Levakovic I	13359383	-0.176206	-75.997223	0.101358	27.635898
Korf *	2.092246	0.189576	1.581208		3.739792
Sloboda	4392.397765	0.888107	16.572064	-0.317700	15.869234
Monomolecular	64197.204976	0.000220	1.000185		15.869234

Apéndice 7d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	631838	-13.712779	0.147239		13.297662
Chapman-Richards	1356639	0.001498	2.369608		4.090082
Von Bertalanffy	9861.910335	0.000081			53.057207
Logístico	55.880443	0.650019	94.373810		4.809868
Weibull	6803.580676	0.000046	2.278889		3.975799
Gompertz	318.764886	6.899627	0.149418		4.120387
Levakovic I	7735808765	-0.163531	-129.464155	0.076423	11.253259
Korf *	0.784673	0.198425	1.580851		0.9871121
Sloboda	38563010	0.884766	23.747311	-0.126988	6.542281
Monomolecular	23794.550239	0.000155	1.000230		18.480952

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

*Modelo seleccionado

Apéndice 8a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	161891	-12.111088	0.104493		0.146921
Chapman-Richards	59496.616958	0.000184	1.308461		0.093693
Von Bertalanffy	1666.567733	0.000222			0.417327
Logístico	5.433346	1.200716	21.433165		0.126796
Weibull	6.980438	0.096456	1.752143		0.048256
Gompertz	6.439178	4.430602	0.648191		0.065040
Levakovic I	2775086	-16.261451	0.158188	0.181453	4.291599
Korf	0.809720	0.180957	1.579974		0.132001
Sloboda	8.536029	0.945634	14.823151	-0.434774	0.066270
Monomolecular *	4225.062573	0.000323	1.000182		0.023797

Apéndice 8b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	31.985753	-4.008713	0.526633		0.028309
Chapman-Richards	59957.351019	0.000183	1.308481		0.093691
Von Bertalanffy	1395.893831	0.000265			0.417672
Logístico	5.433329	1.200727	21.433598		0.126796
Weibull	6.980523	0.096456	1.752130		0.048256
Gompertz	6.439169	4.430612	0.648193		0.065040
Levakovic I *	11.896375	-0.764767	-1.834623	0.199966	0.003080
Korf	0.806151	0.199111	1.442340		0.131974
Sloboda	7.857558	0.946869	14.573753	-0.461413	0.005571
Monomolecular	3.038916	0.423079	1.109960		0.004639

Apéndice 8c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de corta de selección en grupo

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	79894942	-18.065840	0.084042		229.092228
Chapman-Richards	37673.463096	0.001094	336.421878		464.981209
Von Bertalanffy	15490.056802	0.000052			192.207112
Logístico	33.122522	1.421396	635.331519		246.004262
Weibull	952.228922	0.000331	2.570584		277.920348
Gompertz	554.047451	4.978286	0.043020		163.372899
Levakovic I	456759	-0.360477	-25.853498	0.031823	166.213955
Korf *	4.496467	0.097874	1.403474		162.230043
Sloboda	20780314	0.966757	84.784693	-0.139955	259.969
Monomolecular	20699.095225	0.0000397598	0.999790		162.510978

Apéndice 8d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	521282	-12.670712	0.064130		0.375265
Chapman-Richards	6.894202	0.335546	1.141406		0.241451
Von Bertalanffy	7451.974217	0.000054			1.376766
Logístico	5.799929	0.860061	5.444387		0.384719
Weibull	6.918866	0.274545	1.076033		0.243860
Gompertz	6.074901	2.352131	0.601512		0.306475
Levakovic I	263.195289	-0.968000	-1.550743	0.034175	0.378412
Korf	1.805025	0.277836	0.840162		1.090638
Sloboda *	12.587180	0.983658	44.049303	-0.559755	0.206613
Monomolecular	6.829236	0.329582	1.065082		0.230351

B₀, B₁, B₂, B₃= parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 9a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus ayacahuite* en la aplicación del tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	642508	-12.417095	0.075093		9.240625
Chapman-Richards	199042	0.000596	1.768394		71.345009
Von Bertalanffy	8384.57262	0.000079			5.704245
Logístico	31.819398	0.281751	9.623984		1.897445
Weibull	66.31.0569	0.000332	0.949676		5.306563
Gompertz	60.547033	3.104906	0.104334		1.834881
Levakovic I	172633013	-0.290741	-73.192235	0.034268	5.861326
Korf	4.008628	0.103139	1.612719		5.861326
Sloboda	108715243	0.966887	92.130811	-0.042953	6.568109
Monomolecular *	-15.130069	-0.071746	1.145157		1.766310

Apéndice 9b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	11425099211	-24.529809	0.140555		107852
Chapman-Richards	17243849	0.001785	2.795064		106080
Von Bertalanffy	235553	0.000026			230264
Logístico *	612.432286	0.485104	217.743918		104131
Weibull	944.808604	0.000162	3.223210		105672
Gompertz	1851.049749	8.012047	0.132938		105469
Levakovic I	60722119	-0.277131	-55.287368	0.136192	127085
Korf	10.724390	0.270853	1.079039		113942
Sloboda	738881200	0.966757	89.368966	-0.135909	121041
Monomolecular	629884	0.000048	1.000014		169919

Apéndice 9c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	383.808923	-11.420024	1.171682		15591.336405
Chapman-Richards	222.595972	0.309501	5.047376		15403.824191
Von Bertalanffy	214328	0.000025			25201.814660
Logístico	182.891801	0.690980	61.683789		15369.198976
Weibull *	186.020871	0.005710	2.682108		15290.990084
Gompertz	211.712769	7.329446	0.367026		15322.635200
Levakovic I	103025438	-0.363565	-39.464315	0.107453	18569.970945
Korf	19.337710	0.215400	1.079039		25077.725099
Sloboda	2896.793944	0.972419	73.835773	-0.457307	16259.875368
Monomolecular	438006	0.000048	1.000078		17595.615455

Apéndice 9d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en área basal para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	190.161658	-123.898835	2.818437		95681.937207
Chapman-Richards	168.024322	0.566324	20.140329		94109.308173
Von Bertalanffy	197401	0.000024			121930
Logístico	158.512248	0.941533	271.932615		91607.569666
Weibull *	154.110871	0.000565	4.007662		91451.045882
Gompertz	168.484576	20.992644	0.568956		93931.179375
Levakovic I	178324	-0.999955	-2.905312	0.041009	102417
Korf	18.209511	0.221731	1.016522		127449
Sloboda	182.916490	0.971605	177.738501	-3.016764	95718.323831
Monomolecular	400575	0.000049	1.000089		106280

B₀, B₁, B₂, B₃= Parámetros del modelo, SCE= Suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 10a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	Bo	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher *	346936	-16.496	0.702		242285
Chapman-Richards	24118.134	24118.134	0.234		2444997
Von Bertalanffy	2526667	0.000038			4782560
Logístico	5154.104	1.218	915.057		274161
Weibull	2962.229	0.000216	4.440		251009
Gompertz	13973.442	12.842	0.360		548748
Levakovic I	485915	-0.006	-2568.562	0.658	242329
Korf	29.714	0.673	1.165		401786
Sloboda	7821962051	1.093	-35.153	-0.246	250883
Monomolecular	-226.082	-0.655	0.302		298317

Apéndice 10b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en la aplicación del tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	Bo	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	14554.913792	-10.820625	1.008935		51687.522084
Chapman-Richards	4691.103919	0.405957	7.041449		48021.731954
Von Bertalanffy	2796250	0.0000377690			1165226
Logístico *	2877.816001	1.218834	266.072275		37278.712091
Weibull	2838.852300	0.002147	3.809388		39340.565466
Gompertz	947.183333	-1493984	181055		4913062
Levakovic I	468168	-0.261885	-40.043518	0.429243	95548.208836
Korf	10.724390	0.270853	1.079.39		113942
Sloboda	1135.912000	0.024315	24.177269	-247.987979	3844520
Monomolecular	947.183333	79.980229	57.385850		4913062

Apéndice 10c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus ayacahuite* en la aplicación del tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	Bo	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	402915476	-16.278701	0.216091		115690
Chapman-Richards	103861	0.088453	3.142817		110940
Von Bertalanffy	5882137	0.0000448144			7265236
Logístico	9266.003396	0.967525	151.789678		71552.855537
Weibull *	16372.212559	0.002701	2.906467		103330
Gompertz	2384.880000	-1493984	181055		103327
Levakovic I	-1040.260497	-0.403023	-82.565972	0.288197	121504
Korf	-1083.2017	-69.673189	1.299534		64318123
Sloboda	108991509	0.995550	608.808546	-0.244779	116923
Monomolecular	2384.880000	79.980229	57.385856		30192207

Apéndice 10d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	Bo	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	651210758996 5	-28.363243	0.137774		2825.645528
Chapman-Richards	1464648398	0.002002	3.107954		2061.676127
Von Bertalanffy	1649769	0.0000357148			558502
Logístico	3615.883518	0.881850	261.577982		3278.485505
Weibull	716929	0.0000076540	3.151505		1861.846506
Gompertz	34908.310689	8.842808	0.174256		1730.293538
Levakovic I	450501336554 0	-0.076621	-351.656398	0.135681	2884.117508
Korf	28.764772	0.234308	2.850043		9405.946104
Sloboda	8752.58797970 8	0.995552	752.768155	-0.136362	2799.488730
Monomolecular *	-115.427631	-0.557097	0.514426		672.322851

Bo, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= Suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 11a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	382123077168	-27.278083	0.103931		27.034077
Chapman-Richards	1430108428	0.000502	2.531314		43.559725
Von Bertalanffy	479415	0.0000285158			6298.879410
Logístico	278.720506	1.600166	195.457748		29.160502
Weibull	996675	0.0000063750	2.529483		43.660891
Gompertz	521.834765	8.478726	0.558473		5.078155
Levakovic I *	15333.191196	-0.025640	-337.341883	0.510706	0.071855
Korf	7.425458	0.294933	2.849533		468.591650
Sloboda	220005431395	0.995552	726.324021	-0.148799	499.284586
Monomolecular	-56.289532	-0.519657	0.594747		38.937177

Apéndice 11b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de selección de grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	454246	-16.472515	0.556912		914.585983
Chapman-Richards	357240477960	0.001221	3.978828		314.940275
Von Bertalanffy	2303.273391	1.099699	781.797889		72.561005
Logístico	2303.273391	1.099699	781.797889		72.261005
Weibull	1648342	0.0000005575	3.968784		313.325400
Gompertz	2833688	14.291562	0.102741		47.355479
Levakovic I	0.605821	3761.561027	-0.050664	-78.327577	313.146017
Korf	4.575112	0.232859	4.113227		165.315431
Sloboda	9076613939	1.087019	-38.129548	-0.230160	517.945020
Monomolecular *	-13.459204	-0.894332	0.477117		4.446790

Apéndice 11c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de selección en grupo.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	450.693944	-34532.493464	15.477838		142880
Chapman-Richards	3210432331	0.0000007747	1.234443		179870
Von Bertalanffy	1129008	0.0000348251			185426
Logístico *	448.654514	3.218190	645.991233		141523
Weibull	7348245	0.0000125178	0.133100		179870
Gompertz	440.492092	772327	6.932005		142511
Levakovic I	71.280627	12825.074302	-0.026740	-46.181791	179870
Korf	78.831685	0.161390	2.901736		213130
Sloboda	559.748736	0.800599	5.503379	-2.097701	153094
Monomolecular	-34761.825782	-0.004753	0.996179		174358

Apéndice 11d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	2243.925738	-11651.190808	7.591668		8950.834576
Chapman-Richards	31501710762	0.000606	2.836375		372981
Von Bertalanffy	2409302	0.0000447120			1466675
Logístico *	2132.746311	3.830172	1354202		8354.557359
Weibull	5353376	0.0000044112	1354202		8354.883591
Gompertz	2121.319924	328798470	5.242461		28285.737076
Levakovic I	18.862707	241.370399	-0.041145	-68.832869	373109
Korf	60.072253	0.150337	4.829215		510652
Sloboda	2243.925936	0.357747	9.108758	-7.59668	8950.834576
Monomolecular	-612.230764	-0.446408	0.499388		393774

B₀, B₁, B₂, B₃= Parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Apéndice 12a. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus ayacahuite* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	5008009	-20.468455	0.625668		14359696
Chapman-Richards	195288	0.161220	7.214060		13556420
Von Bertalanffy	37038741	0.0000220858			593588843
Logístico *	55210.233163	0.745998	732.542463		9331155
Weibull	57365.548131	0.0000300594	4.577561		11858660
Gompertz	142767	11.832760	0.221499		12612564
Levakovic I	11.420300	78.467214	-0.054256	-63.394858	16122022
Korf	553.857176	0.095928	4.480587		33077651
Sloboda	5807370	0.643290	6.827437		33077651
Monomolecular	-2402.980967	-0.368016	0.446849		23723844

Apéndice 12b. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	332661010012	-25.032637	0.197734		3197787577
Chapman-Richards	28434673	0.015537	3.360326		3188766125
Von Bertalanffy	55324346	0.0000226906			9729675276
Logístico	207264	0.424053	283.398136		3227359654
Weibull	2659302	0.0000789210	3.297877		1867130818158
Gompertz	1536977	8.873362	0.089688		3185680546
Levakovic I *	16.224912	2558.906464	-0.068257	-46.550697	3178380988
Korf	1450.940640	2558.906464	-0.068257		3198380988
Sloboda	916099546	0.643371	6.832567	-0.340896	32306388357
Monomolecular	-5563.679003	-0.275626	0.522310		3183633554

Apéndice 12c. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus patula* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	442436	-14.165204	0.894058		4603147781
Chapman-Richards	137448	0.219022	5.419022		4598484505
Von Bertalanffy	70065617	0.0000270406			8163336457
Logístico	83851.884912	0.659830	132.193416		4630576954
Weibull	90945.319114	0.001189	3.119250		4697149761
Gompertz *	117904	8.676359	0.286879		4597149761
Levakovic I	408.987398	798.433959	-0.031895	-68.076432	4725190841
Korf	3662.114935	0.057825	5.296853		5353536571
Sloboda	454712	0.652835	6.195588	-0.883791	4603160471
Monomolecular	-24492.364304	-0.172743	0.722058		4784260778

Apéndice 12d. Parámetros y suma de cuadrados del error de los modelos en el cálculo de crecimiento en volumen para *Pinus pseudostrobus* en tratamiento silvícola de árboles padres.

Modelo	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	SCE
Schumacher	48051.111291	-611.927559	3.426671		7686574028
Chapman-Richards	42616.681655	0.598853	43.734890		7624600225
Von Bertalanffy	42224572	1.026083	1147.427657		7506050322
Logístico *	39641.088451	1.026083	1147.427657		7506051587
Weibull	90945.319114	0.001189	3.119250		20442871175
Gompertz	42694.688626	44.768389	0.600339		7620733466
Levakovic I	252.826023	1156.497746	-0.037554	-55.637160	8362863203
Korf	2464.000824	0.028152	9.939365		9241231444
Sloboda	48816.406280	0.703164	17.874720	-3.352601	7686822655
Monomolecular	-26254.001308	-.118806	0.763045		8410333023

B₀, B₁, B₂, B₃ = parámetros del modelo, SCE= suma de cuadrados del error

* Modelo seleccionado

Cuadro 1. Características geográficas y fisiográficas de las áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.

	Grupo (#)	Área (#)	No. De Sitios	Especie plantada puro o mezclado	Latitud (N)	Longitud (W)	Superficie total (ha ⁻¹)	Altitud (m.s.n.m.)	Exposición (%)	Pendiente (%)		
Tratamiento silvícola	I	1	2	<i>P. patula</i>	17° 34' 14"	96° 28' 27"	0.612	2500	NW 5°	36		
	II	6(2)*	1	<i>P. patula</i>	17° 34' 28"	96° 28' 55"	0.158	2460	NE 60°	30		
				<i>P. pseudostrobus</i>								
	III	8	2	<i>P. patula</i>	17° 34' 08"	96° 28' 49"	3.066	2390	NE 40°	34		
				<i>P. pseudostrobus</i>								
	IV	6(1)*	1	<i>P. pseudostrobus</i>	17° 34' 16"	96° 29' 00"	6.453	2470	NE 21°	23		
				<i>P. pseudostrobus</i>	17° 33' 53"	96° 27' 35"	0.840	2660	NE 21°	20		
				<i>P. pseudostrobus</i>	17° 33' 55"	96° 27' 32"	6.157	2630	NE 22°	22		
	Selección en grupo	V	2	1	<i>P. pseudostrobus</i>	17° 34' 21"	96° 28' 20"	0.320	2530	NE 5°	40	
					<i>P. patula</i>							
					<i>P. ayacahuite</i>							
VI		3	1	<i>P. patula</i>	17° 33' 14"	96° 28' 06"	0.633	2593	NE 7°	30		
				<i>P. pseudostrobus</i>								
VII	4	1	<i>P. pseudostrobus</i>	17° 34' 17"	96° 28' 13"	0.113	2620	NE 88°	44			
			<i>P. pseudostrobus</i>	17° 34' 21"	96° 28' 11"	1.063	2567	NE 11°	42			
		11	1	<i>P. pseudostrobus</i>	17° 34' 03"	96° 27' 32"	0.196	2620	NE 18°	20		

Grupo (#)

- I. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez en tratamiento silvícola de árboles padres.
 II. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.
 III. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de árboles padres.
 IV. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de árboles padres.
 V. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus ayacahuite* Ehr. en tratamiento silvícola de selección en grupo.
 VI. Área con crecimiento representativo de plantación establecida de *Pinus patula* Schl. et Cham var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.
 VII. Área con crecimiento representativo de plantación establecida *Pinus pseudostrobus* Lindl. en tratamiento silvícola de selección en grupo.
 * Área bipartida con sus sitios correspondientes (1) y (2).

Cuadro 2. Análisis de suelos¹ muestreados en áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.

Área (#)	Sitio No.	Profundidad (cm)	pH ²	Materia orgánica ³ (%)	N ⁴ (%)	P ⁵ (Mg kg ⁻¹)	K ⁶ (Mg kg ⁻¹)	Arena ⁷ (%)	Limo ⁷ (%)	Arcilla ⁷ (%)
01	01	0-30	5.0	51.90	2.59	123.986	160	18.0	48.0	34.0
01	01	30-60	5.2	11.85	0.578	130.468	200	14.0	33.2	52.8
02	01	0-30	4.8	38.76	1.938	126.978	210	15.8	13.0	71.2
02	01	30-60	5.7	48.96	2.448	55.923	260	18.8	38.0	43.2
03	01	0-30	4.6	54.40	2.72	77.614	440	15.6	19.2	65.2
03	01	30-60	6.1	18.36	0.918	51.436	200	12.0	26.0	62.0
04	01	0-30	5.8	16.32	0.816	83.098	180	10.0	30.0	60.0
04	01	30-60	6.0	17.00	0.850	87.586	220	8.0	30.0	62.0
05	01	0-30	5.6	34.68	1.734	113.016	370	24.0	30.0	46.0
05	01	30-60	5.8	19.52	0.476	113.016	190	30.0	20.0	50.0
06	01	0-30	5.8	48.96	2.448	76.367	350	4.0	20.0	76.0
06	01	30-60	5.8	10.88	0.544	68.389	230	14.0	30.0	56.0
06	02	0-30	5.6	13.60	0.68	107.531	260	8.0	18.0	74.0
06	02	30-60	5.5	12.92	0.646	116.507	220	8.0	24.0	68.0
07	01	0-30	5.4	14.28	0.714	77.115	260	2.0	32.0	66.0
07	01	30-60	5.6	11.56	0.578	120.496	210	18.0	14.0	68.0
07	02	0-30	5.0	14.08	0.204	113.112	200	12.0	50.0	38.0
07	02	30-60	5.2	10.88	0.544	112.019	400	30.0	20.0	50.0
08	01	0-30	4.9	27.20	1.36	483.248	210	12.0	42.0	46.0
08	01	30-60	6.0	13.60	0.68	249.142	230	18.0	22.0	60.0
08	02	0-30	6.4	42.16	2.108	188.060	220	6.0	50.0	44.0
08	02	30-60	6.7	32.64	1.632	221.717	230	8.0	32.0	60.0
09	01*	0-30	4.8	34.00	1.70	229.197	250	20.0	36.0	44.0
10	01*	0-30	4.9	55.08	2.750	173.849	270	12.0	38.0	50.0
10	02	0-30	4.4	43.52	2.172	86.369	220	8.0	44.0	48.0
10	02	30-60	6.4	23.80	1.19	170.359	210	16.0	26.0	58.0
10	03	0-30	6.0	34.00	1.70	173.350	180	20.0	30.0	50.0
10	03	30-60	6.7	17.00	0.85	245.402	180	18.0	26.0	56.0
11	01	0-30	6.4	38.08	1.904	190.553	220	28.0	34.0	38.0
11	01	30-60	5.8	19.72	0.986	227.950	230	10.0	40.0	50.0

1 Los análisis de suelos se realizaron en el laboratorio de suelos UAAAN.

2 El valor fue determinado con agua y pH-metro (electrodo combinado).

3 El valor fue obtenido por el método Walkley y Black.

4 Valor estimado a partir del humus del suelo.

5 El valor fue estimado por el método Olsen.

6 Valor obtenido por extracción con hidrato de sodio cuantificado en absorción atómica.

7 Valor obtenido por el método del hidrómetro de Bouyoucos.

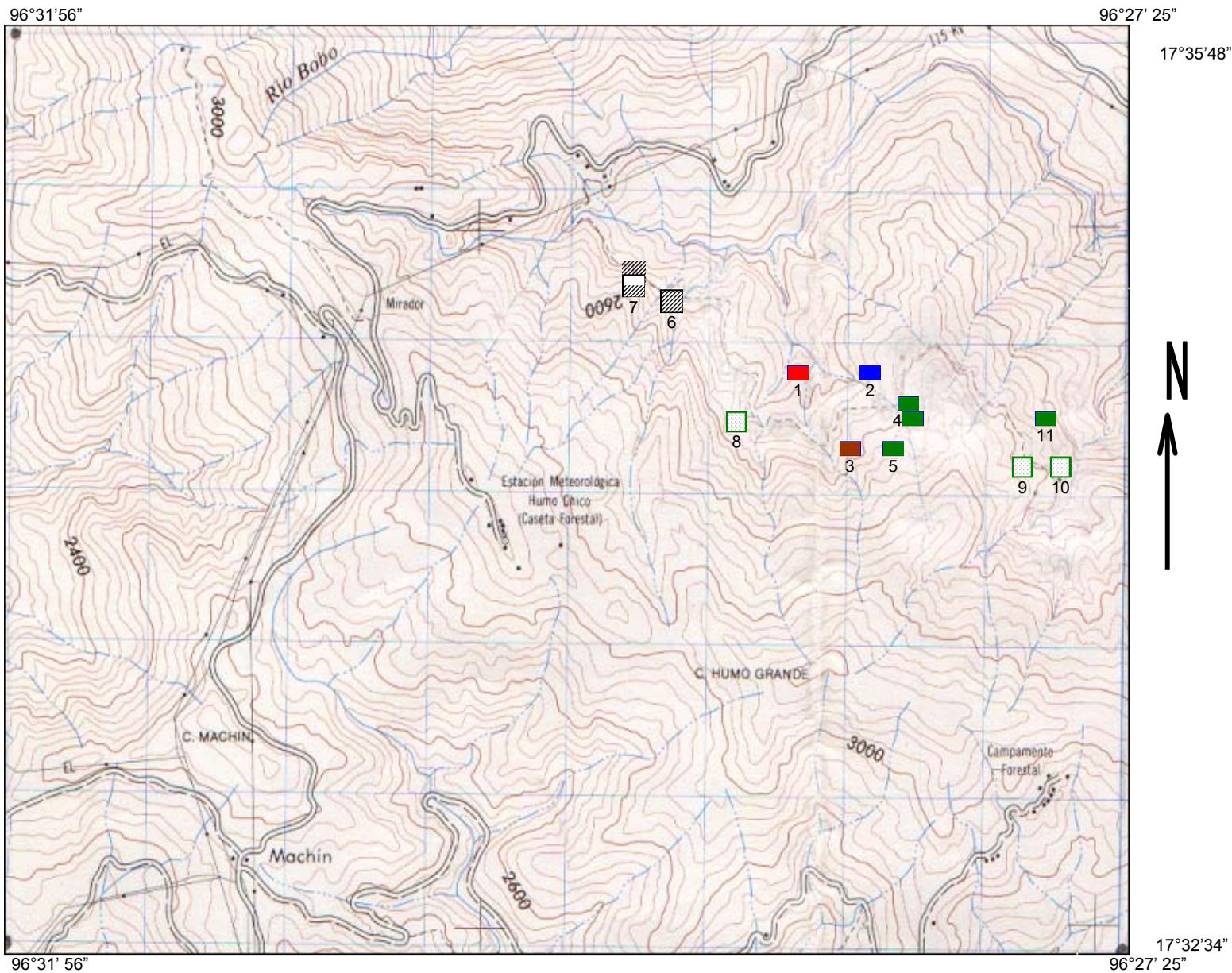
* Solo se encontró esa profundidad.

Cuadro 3. Densidad absoluta y relativa, espaciamiento, altura, diámetro y edad de las áreas plantadas con tres especies de pino bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca.

	Grupo (#)	Área (#)	No. De Sitios	Especie (puro o mezclado)	Densidad	Plantación	Regeneración	Espaciamiento		Altura	Diámetro basal	Edad total	
					(ind. ha ⁻¹)	(%)	(%)	promedio entre hilera (m)	promedio entre planta (m)	promedio (m)	promedio (cm)	(años)	
Tratamiento silvícola	I	1	2	<i>P. patula</i>	2784	71.9	28.1	1.64	2.19	5.10	6.30	6	
	Árboles padres	II	6*(2)	1	<i>P. patula</i>	790	17.7	15.1	3.10	3.30	12.40	14.00	12
					<i>P. pseudostrabus</i>		30.3	35.4			10.00	21.00	
					<i>P. ayacahuite</i> **		-	1.5					
		III	7	2	<i>P. patula</i>	1870	14.6	26.2	2.82	2.05	12.40	14.90	13
					<i>P. pseudostrabus</i>		35.2	24.0			10.34	21.31	
					<i>P. ayacahuite</i> **		-	-					
	IV	6*(1)	1	<i>P. pseudostrabus</i>	250	32.0	-	3.20	3.03	3.54	5.47	11	
				<i>P. ayacahuite</i>		64.0	-			7.66	20.28		
				<i>P. patula</i> **		4.0	-						
				<i>P. pseudostrabus</i>		-	-						
	Selección en grupo	V	2	1	<i>P. patula</i>	1860	20.4	1.0	2.37	2.34	3.69	8.76	6
					<i>P. pseudostrabus</i>		23.6	6.9			2.45	6.44	
					<i>P. ayacahuite</i>		47.3	0.8			2.76	4.84	
		VI	3	1	<i>P. patula</i>	2460	22.3	3.6	2.20	2.44	2.41	3.61	3
<i>P. pseudostrabus</i>						23.3	50.8	2.83			2.77		
VII		4	1	<i>P. pseudostrabus</i>	1410	42.6	49.7	1.92	1.92	2.03	3.22	4	
				<i>P. patula</i> **		-	7.0						
				<i>P. ayacahuite</i> **		-	0.7						
				<i>P. pseudostrabus</i>		-	-						
VIII		5	1	<i>P. pseudostrabus</i>	950	50.7	1.0	1.72	1.79	2.30	3.00	5	
	<i>P. patula</i> **				1.0	41.0							
	<i>P. ayacahuite</i> **				-	6.3							
IX	11	1	<i>P. pseudostrabus</i>	1670	75.0	24.5	2.49	2.78	0.70	1.50	1		
			<i>P. pseudostrabus</i>		-	-							

* Área bipartida con sus sitios correspondientes (1) y (2).

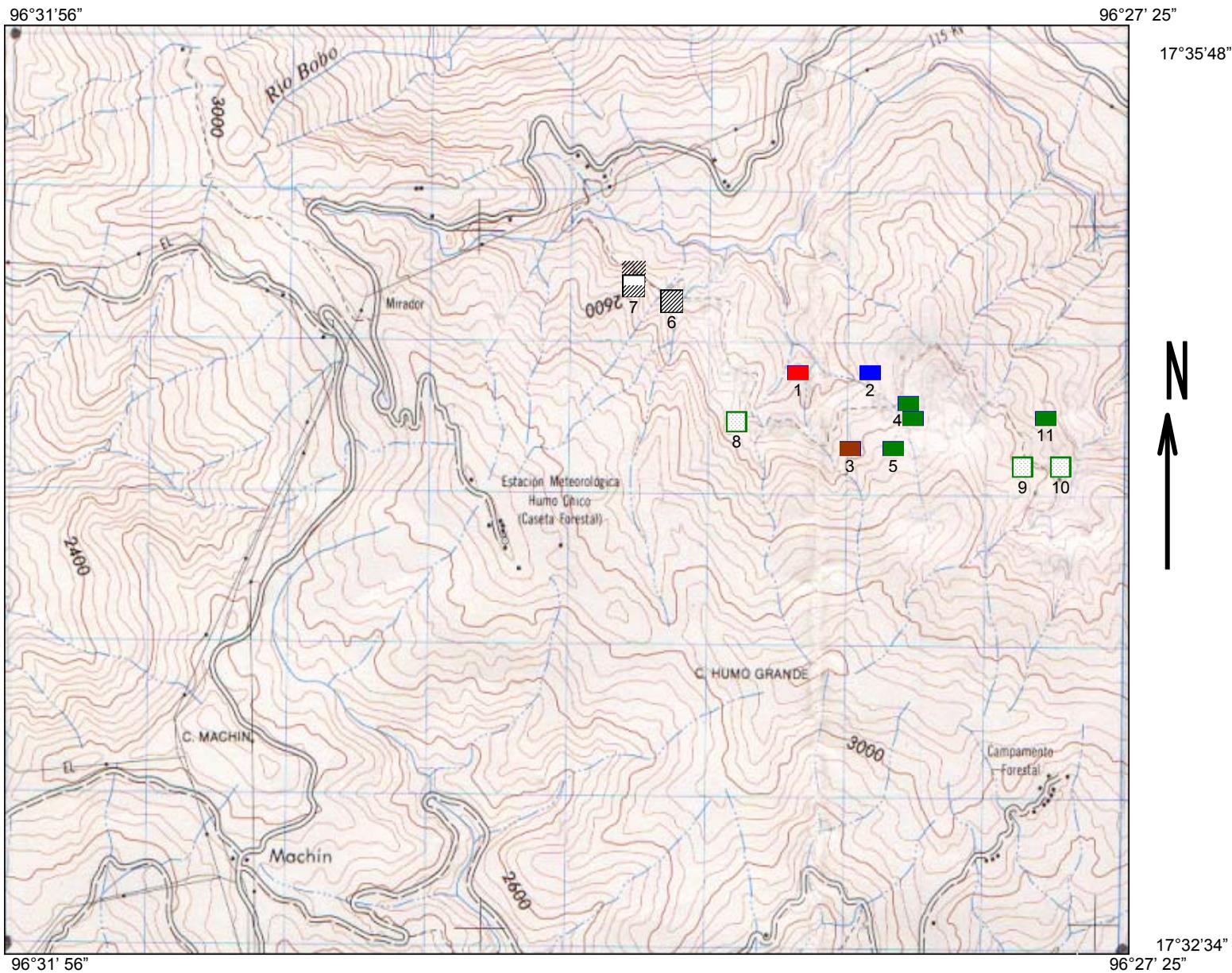
** Especies que no se consideraron en el análisis de crecimiento por no ser representativas en los porcentajes de plantación o por ser de regeneración natural.



Área No.	Especie (s) plantada(s)	Simbología
01	<i>Pinus patula</i>	[Red square]
02	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus-Pinus ayacahuite</i>	[Blue square]
03	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus</i>	[Brown square]
04	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square]
05	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square with diagonal lines]
06	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus y Pinus pseudostrobus-Pinus ayacahuite</i>	[Green square with diagonal lines]
07	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with diagonal lines]
08	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
09	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
10	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
11	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
	Curva de nivel acotada en metros	[Brown contour line symbol]
	Corriente de agua	[Blue line symbol]
	Carretera pavimentada	[Grey line symbol]
	Terracería transitable en todo tiempo	[Dashed line symbol]
	Brecha	[Dotted line symbol]
	Casa	[Black square symbol]

metros
 1000 500 0
 Escala: 1: 50 000
 Fuente: INEGI, 1984c. Carta topográfica.

Figura 1. Mapa de localización de las áreas de estudio.



Área No.	Especie (s) plantada(s)	Simbología
01	<i>Pinus patula</i>	[Red square]
02	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus-Pinus ayacahuite</i>	[Blue square]
03	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus</i>	[Brown square]
04	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square]
05	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square with diagonal lines]
06	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus y Pinus pseudostrobus-Pinus ayacahuite</i>	[Green square with diagonal lines]
07	<i>Pinus patula-Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with diagonal lines]
08	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
09	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
10	<i>Pinus pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
11	<i>Pinus Pseudostrobus</i>	[Green square with dots]
	Curva de nivel acotada en metros	[Brown line]
	Corriente de agua	[Blue line]
	Carretera pavimentada	[Grey line]
	Terracería transitable en todo tiempo	[Dashed line]
	Brecha	[Dotted line]
	Casa	[Black square]

metros
 1000 500 0
 Escala: 1: 50 000
 Fuente: INEGI, 1984c. Carta topográfica.

Figura 1. Mapa de localización de las áreas de estudio.