

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



CRECIMIENTO DE DIÁMETRO Y ALTURA PARA TRES PLANTACIONES DE PINOS  
EN MIAHUATLÁN, OAXACA

POR:

JAIME PETRONILO CORTÉS MARTÍNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

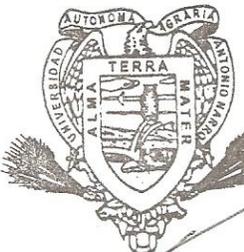
CRECIMIENTO DE DIÁMETRO Y ALTURA PARA TRES PLANTACIONES DE PINOS  
EN MIAHUATLÁN, OAXACA

POR:

JAIME PETRONILO CORTÉS MARTÍNEZ

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

  
DEPARTAMENTO FORESTAL  
ASESOR PRINCIPAL

APROBADA:

  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE  
AGRONOMÍA  
Coordinación  
División de Agronomía

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ DR. MARIO ERNESTO VÁZQUEZ BADILLO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

CRECIMIENTO DE DIÁMETRO Y ALTURA PARA TRES PLANTACIONES DE PINOS  
EN MIAHUATLÁN, OAXACA

POR:

JAIME PETRONILO CORTÉS MARTÍNEZ

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

DR. JORGE MENDÉZ GONZÁLEZ

ASESOR

ING. JUAN MORALES HERNÁNDEZ

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO  
MAYO DE 2010

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02-030207-2385, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme dado la existencia y la fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida y por darme la oportunidad de salir adelante y por tener la capacidad de demostrarme a mí mismo que con esfuerzo valentía y coraje pero sobre todo con fe las metas se pueden alcanzar.

A mi *ALMA MATER* la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de formarme dentro de la carrera de Ingeniero Forestal y haber enriquecido mis conocimientos para que el día de hoy pueda partir de la misma pero con una mejor visión de lo que quiero lograr y el camino que quiero seguir.

A todos los maestros del Departamento Forestal por sus consejos y transmitirme sus conocimientos y darme las herramientas necesarias en esta carrera de ingeniero forestal.

Al M.C. Celestino Flores López le agradezco infinitamente por haberme asesorado para realización del presente trabajo, por la confianza, por su constante estímulo e interés así como por su amistad durante mi estancia en esta Universidad.

Al Ing. Juan Morales Hernández por el apoyo que recibí de él en la realización de este documento, además de formar parte de mis asesores en dicho trabajo.

Al Dr. Jorge Méndez González por su asesoría en la elaboración de este trabajo, por su amistad y consejos durante mi estancia en la universidad.

Al Sr. Leonilo Jacinto Sánchez y familia les agradezco por el apoyo que me ha brindado moralmente y por su gran amistad.

A mis compañeros de la generación CVIII de la universidad, principalmente a mis compañeros de la carrera de Ingeniero Forestal, por la convivencia y por los grandes momentos de alegría que compartimos.

## DEDICATORIA

A mis padres: Hipólito y Marcelina, por darme la vida, por darme la herencia más grande que se le puede dar a un hijo a quien les debo lo que soy; porque día con día han luchado para que sus hijos salgan adelante, gracias por todo el esfuerzo que realizaron durante mi formación. Gracias por sus buenos consejos y ejemplo que me han brindado, para ustedes con mucho cariño.

A mis hermanos: Mateo y Eladio, a ustedes por compartir conmigo momentos inolvidables, por el apoyo que me han brindado en toda circunstancia, pero sobre todo por ser parte de una gran familia.

A mis tíos (as): Luis Cortés, Josefina López y Marcelina Cortés, por su amistad, consejos y el apoyo moral que siempre me han brindado y por estas siempre unidos en los momentos más difíciles.

A mis primos y familia: Manuel, Fidencia, Constantino y Patricia, Heriberta y Paulino, María y asunción, Lucia y David, por su cariño y estimación por formar parte de algo que es muy importante en una familia..... La UNION FAMILIAR.

A mis sobrinos (as): Gabina, Pedro, Andrés, Alicia, Fernando, Rey David, Laura, Xochitl, porque sean una esperanza en el futuro.

Al Sr. Javier y su esposa Josefina e hijas Eri, Yazmín, Rosario y María José, por el gran apoyo que me han brindado, siempre impulsándome a seguir adelante.

A mi novia Celitaí Ramírez con amor y de manera especial, por tu constante apoyo incondicional y por ser tan comprensible, desde lo más profundo de mi corazón, gracias por tu amor, por tu paciencia y sobre todo por esa gran confianza que has depositado en mí.

A todas las personas que en este momento mi mente deja escapar.....Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general .....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Descripción de las especies forestales utilizadas en la plantación de estudio .....	5
2.2 Plantaciones forestales en México .....	7
2.3 Plantaciones forestales en Oaxaca .....	8
2.4 Importancia de crecimiento de pinos en plantaciones forestales .....	10
2.5 Modelos de crecimiento en plantaciones forestales .....	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
3.1 Descripción del área de estudio .....	12
3.2 Manejo silvícola de las plantaciones establecidas en Oaxaca .....	16
3.3. Evaluación de las plantaciones de pino .....	17
3.3.1 Diseño de muestreo.....	17
3.3.2 Variables evaluadas .....	17
3.4 Modelos de crecimiento .....	17
3.4.1 Crecimiento en diámetro y altura de pinos .....	17
3.4.2 Modelos de diámetro y altura de pinos .....	19
3.5 Modelos para diámetro/altura dominante o calidad de sitio .....	20
3.5.1 Crecimiento en altura dominante de pinos .....	20
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Crecimiento promedio en diámetro y altura.....	22

4.1.1 Crecimiento en diámetro y altura para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.....	22
4.1.2 Incremento en diámetro para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.....	24
4.1.3 Incremento en altura para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.....	26
4.2 Crecimiento de diámetro y altura para datos generales y dominantes por especie .....	27
4.2.1 <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	28
4.2.2 <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock .....	32
4.2.3 <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.....	35
4.3 Proyección de diámetros y alturas promedios de las especies plantadas a diferentes edades.....	37
4.4 Estimación de altura promedio a partir de datos de diámetro promedio y altura dominante para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez.....	40
4.5 Calidad de sitio.....	41
5 CONCLUSIONES.....	46
6 RECOMENDACIONES .....	48
7 LITERATURA CITADA.....	49
APÉNDICE .....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características geográficas de las localidades, superficie, dos y tres especies/año en cada rodal y superficie total por plantación. ....	12
Cuadro 2. Aspectos ecológicos de las tres localidades que son “Río San José”, “Latinas y Rio Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua”. ....	15
Cuadro 3. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro y altura para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez. ....	18
Cuadro 4. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en altura promedio, en base a los diámetros promedios y la altura dominante. ....	20
Cuadro 5. Proyección de diámetros para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl a diferentes edades tomando como referencia de diámetro la edad de 14 años.....	37
Cuadro 6. Proyección de alturas para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 14 años.....	38
Cuadro 7. Proyección de diámetros para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 15 años. ....	38
Cuadro 8. Proyección de alturas para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock a diferentes edades y como ejemplo se tomó la edad de 15 años.....	39
Cuadro 9. Proyección de diámetros para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 7 años. ....	39
Cuadro 10. Proyección de alturas para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 7 años.....	39

Cuadro 11. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. ....	40
Cuadro 12. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock. ....	40
Cuadro 13. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez. ....	41
Cuadro 14. Resumen del análisis de regresión efectuado con datos de altura–edad en <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Mapa de localización de las plantaciones, pequeña propiedad “Río San José”, Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....13
- Figura 2. Mapa de localización de las plantaciones, Conjunto Predial “Santa Ana y Ojo de Agua” y “Lastina y Río Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....14
- Figura 3. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....23
- Figura 4. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro para *Pinus pseudostrobus* Lindl (a) (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (b) (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (c) (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....25
- Figura 5. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl (a) (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (b) (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (c) (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....27
- Figura 6. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=453) y los dominantes (225) para *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....29

Figura 7. Diagramas de dispersión de valores de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=453) por predio de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....	31
Figura 8. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=225) y los dominantes (n=181) para <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	33
Figura 9. Diagrama de dispersión de valores de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=225) por predio de <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	34
Figura 10. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=234) y los dominantes (n=136) para <i>Pinus douglasiana</i> Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....	36
Figura 11. Datos de altura dominante para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....	42
Figura 12. Curvas anamórficas de índice de sitio para <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez (edad base= 14 años) en plantaciones realizadas en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca. ....	44

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el crecimiento en diámetro y altura de tres plantaciones de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

La evaluación de las plantaciones se realizó en sitios permanentes donde el diseño de muestreo utilizado fue el sistemático con el primer sitio aleatorio y una intensidad de muestreo de 2.83% (85 sitios). Las especies evaluadas fueron *Pinus pseudostrobus*, *P. patula* y *P. douglasiana*. Para estimar el crecimiento en diámetro y altura se utilizaron los modelos Schumacher modificado o modelo de Korf, Chapman-Richards y Weibull, para la selección del modelo se utilizaron estadísticos cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ). La proyección de diámetro y altura fue basada en el modelo de Schumacher. Para la elaboración de las curvas de índice sitio se utilizaron los modelos Schumacher y Chapman-Richards.

El modelo de Schumacher fue presentó mejor ajuste en diámetro y altura. Tanto en diámetro como en altura las curvas de crecimiento presentaron una forma lineal, excepto *Pinus patula* sigmoideal. La especie que tuvo mayor crecimiento en diámetro como en altura a partir de la edad de ocho años fue *Pinus patula*. La proyección de crecimiento en diámetro y altura para las tres especies tienen un ritmo de crecimiento en diámetro de 1 a 1.30 cm por año y un crecimiento en altura de 0.50 m a 1 m por año. El modelo Chapman-Richards describió el crecimiento en altura dominante para las tres especies, determinando cinco curvas anamórficas de índice de sitio a una edad base de 14 años.

Palabras claves: Crecimiento, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula*, *Pinus douglasiana*, índice de sitio.

## ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the growth in diameter and height of three plantations of pines in Miahuatlán of Porfirio Díaz, Oaxaca.

The evaluation of the plantations was realized in permanent sites where the design of sampling was systematic and the first site was random with an intensity of sampling of 2.83 % (85 sites). The species studied were *Pinus pseudostrobus*, *P. patula* var. *longepedunculata* and *P. douglasiana*. To estimate growth in diameter and height were used three models the Schumacher modified or Korf, Chapman-Richards and Weibull, for the selection of the best model were used the mean square error (MSE) and coefficient of determination ( $R^2$ ). The projection of diameter and height was based on the model of Schumacher. For the development of site index curves were used Schumacher and Chapman-Richards models.

The Schumacher model was the best fit in diameter and height. Both diameter and height growth curves showed a linear form, except *Pinus patula* was sigmoidal. *Pinus patula* had greater growth in diameter and height from the age of eight years. The projected growth in diameter and height for the three species have a growth rate in diameter from 1 to 1.30 cm per year and an increase in height of 0.50 m to 1 m per year. Chapman-Richards model described the dominant height growth for the three species, determining five curves anamorphic of site index to a base age of 14 years.

Keywords: Growth, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana*, site index.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones comerciales son importantes debido a que representan la principal alternativa para abastecer las diferentes industrias forestales, las cuales también se realizan con fines de protección y recuperación de los suelos degradados, reducen la presión que la gente ejerce sobre los bosques naturales. Las plantaciones representan el 20% del abastecimiento total de madera para celulosa en el mundo y el dominio del mercado de celulosa lo están asumiendo países del hemisferio sur como Brasil, Chile, Australia y Sudáfrica (Flores, 1990; Villa, 1995; Corona *et al.*, 2005).

La supervivencia de la industria forestal mexicana y del propio sector forestal dependerán de los volúmenes que en el futuro puedan aportar las plantaciones comerciales; México tiene la oportunidad de aumentar la superficie de plantación ya que se han identificado 22 millones de hectáreas con alto potencial pues tienen condiciones ambientales similares a los de la zona central de Chile, donde empresas y pequeños propietarios han reforestado cerca de 1.5 millones de hectáreas (Arteaga y Musalem, 2004).

Al realizar trabajos de plantaciones forestales comerciales para abastecer las industrias forestales se generarían empleos y el desarrollo social, por lo que se pretende hacer es potencializar las áreas que ya no tienen uso agrícola o pecuario a fin de ampliar la frontera silvícola, para que de esta forma los productores y dueños de terrenos forestales aprovechen sus recursos naturales de forma sustentable y les permita ser un mecanismo para combatir la pobreza y volver a recuperar la masa forestal (CONAFOR, 2008).

El primer intento por establecer plantaciones forestales comerciales en México se llevó a cabo en 1932 por la Compañía Cerillera La Central, ubicada en Chalco, Estado de México, donde se utilizó álamo (*Populus deltoides* Marshall) para la producción de cerillos, con turnos de 20 años, a partir de 1953 la empresa FIBRACEL, da inició un programa de plantaciones comerciales para abastecer la demanda de materia prima para la fabricación de tableros de fibra, la plantación fue realizada en Casas Blancas,

municipio de Tamuín, San Luis Potosí, alcanzando aproximadamente 5,500 hectáreas, las especies plantadas fueron de *Eucaliptus sp.* y otras como paraíso (*Melia azederach* L.), cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King) (Monreal, 2005).

A finales de la década de los 60's, FAPATUX tenía problemas de abastecimiento que le provocaban paros constantes de maquinaria en la producción de papel periódico con las consiguientes pérdidas económicas. Es aquí donde la Dirección Técnica Forestal de FAPATUX surgió la idea de desarrollar plantaciones forestales para solucionar el problema de desabasto y en 1974 a 1978, se llevaron a cabo las primeras plantaciones forestales comerciales con pinos tropicales en "La Sabana", Distrito Mixe, Oaxaca, con una extensión de 7500 hectáreas. Las especies plantadas fueron *Pinus oocarpa ochoteranae* Martínez procedente de Guatemala, *Pinus caribaea* Barret y Golfari y *Pinus tropicales* Morelet, procedentes de Cuba (Castellanos, 1988; Merino-Pérez, 2004).

Michoacán también es una de las entidades del país donde se han realizado plantaciones forestales, hasta 1986 se habían plantado cerca de 40 mil hectáreas principalmente de pino, eucalipto y cedro blanco, la mayor parte de las reforestaciones se hicieron en terrenos degradados, con la finalidad de recuperar suelos y proteger alguna cuenca hidrológica y muy pocas pueden considerarse plantaciones comerciales ya que los suelos donde se establecieron son pocos fértiles (Villa, 1995).

A partir de los 90's los municipios de San Miguel Suchixtepec y municipio de San Sebastián Río Hondo dan inicio a las primeras plantaciones de restauración de los suelos en áreas agrícolas abandonadas y áreas degradadas de la región Sur del estado de Oaxaca (García, 2005).

A pesar de que se han realizado plantaciones forestales con diferentes propósitos, en México se desconoce su éxito o tal vez se han realizado estudios pero que no se han publicado los resultados por lo que es muy importante evaluar las plantaciones para conocer su comportamiento; al realizar la evaluación se determina el

valor económico que ha alcanzando la plantación desde su inicio hasta un momento considerado, y esto está en función de los objetivos ya que pueden estar orientados a diversos fines y nos permiten cuantificar lo que se tiene en un determinado rodal. La respuesta de la plantación a distintas características de su entorno, ya sea desde un punto de vista técnico, económico o social, aporta datos muy valiosos para el manejo y planeación de futuras plantaciones (Ramos y Romero, 1993; Torres y Magaña, 2001).

Las plantaciones deben tener un adecuado manejo, basado en evaluaciones en el transcurso de su desarrollo. Para conocer con detalle la adaptación de una especie en una determinada localidad, se deben evaluar distintos factores ambientales y dasométricos como son el suelo, la precipitación, sobrevivencia, crecimiento en follaje, diámetro y altura, sanidad y vigor. En base a estos estudios, se deben tomar decisiones en cuanto a las podas y los aclareos y la cantidad de madera esperada en el futuro. Por lo que es muy importante estar monitoreando o realizando las evaluaciones periódicamente (Monreal, 2005).

Para la evaluación del crecimiento de las plantaciones se toman en cuenta las variables adicionales que nos permiten estimar el crecimiento del árbol como las variables dasométrica típicas como diámetro normal, altura que son indispensables para determinar existencias; sin embargo, en ocasiones se han tratado de utilizar otras, como diámetro de copa, clase de copa, diámetro de tocón, altura de fuste limpio, etc. (Benavidez *et al.*, 2005).

Evaluar el crecimiento de una plantación es muy importante ya que nos permite conocer la dinámica de desarrollo así como su probable rendimiento a una edad o fecha determinada. Con ello es posible identificar estrategias de manejo para optimizar tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de producción predefinidos, estimar fechas y actividades de cosecha, así como planificar actividades de protección y cultivo. Dichas actividades no están limitadas a planificación de actividades relacionadas con la producción maderable de la plantación, ya que la evaluación del crecimiento puede realizarse para estimar tasas de crecimiento o rendimiento (Torres y Magaña, 2001).

En la región sur del estado de Oaxaca, donde se encuentran los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec existe la sobreexplotación del bosque, incendios, clandestinaje y desmontes, sin embargo al principio de los años 90's el manejo del bosque fué dirigido por un Responsable Técnico Forestal. Después de 10 años de trabajo y por los resultados obtenidos, en el año 2000 se incorporan nuevos productores a su esquema de trabajo; de esta manera en Junio del año 2003 el Sr. Luis Cortés y Hermanos obtuvieron la Mención Honorífica del Premio al Mérito Ecológico a pesar de ser invidente; en Julio de ese mismo año, en grupo obtienen la Mención Honorífica del Premio Nacional al Mérito Forestal en la categoría de manejo forestal y silvicultura comunitaria.

Es aquí donde surge la necesidad de evaluar las plantaciones, ya que en esta región Sur del estado no se cuenta con información y existe el interés de los silvicultores por determinar la respuesta y proyección de las plantaciones a si como darle un mejor manejo, motivo por el cual se realiza este trabajo.

### 1.1 Objetivo general

Determinar el crecimiento en diámetro y altura de tres plantaciones de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Descripción de las especies forestales utilizadas en la plantación de estudio

Las especies de *Pinus* que se encuentran plantadas en los predios “Río San José”, “Lastina y Río Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua”, pertenecientes a los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec son las siguientes *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus ayacahuite* Ehren, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock, *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus douglasiana* Martínez.

Las descripciones de las especies de *Pinus* mencionadas anteriormente están basadas en Martínez (1948) y Perry (1991).

El *Pinus pseudostrobus* es caracterizado por ser uno de los pinos más finos de México que alcanzan alturas de 30-40 m, 1 m de diámetro. El tronco suele ser recto, la corteza de color marrón en la vejez áspera y agrietada; hojas en fascículos de 5, en su mayoría delgadas (alrededor de 0.7-0.9 mm de espesor) flexibles, 20-25 (a 30) cm de largo; cono ovoide, ligeramente curvada, casi simétrica de 8 a 10 cm de largo y 5-7 cm de ancho (abierto), éstos presentan un color café claro, en grupos de dos o tres, sus semillas son pequeñas, de unos 6 mm de largo, de color marrón oscuro; el ala de las semillas es articulada, 20-23 mm de largo.

*Pinus oaxacana* posee características similares al *P. pseudostrobus* a diferencia que este va desde 25-40 m de altura; el tronco es bastante recto corteza de color grisáceo, las ramas horizontales formando una copa redondeada; hojas, en fascículos de 5, a veces 6; delgadas, de 20-30 cm de largo, los márgenes finamente aserrados las vainas de color marrón claro, de aproximadamente 25 mm largo y persistente; los conos de 10-14 cm de largo, de color marrón amarillento, el pedúnculo que permanece conectado a la ramita estas se encuentran en grupos de 3 a 4 con algunas escamas basales, pero las semillas a diferencia del *P. pseudostrobus* son mas grandes llegando a medir hasta 10 mm de largo y 6 mm de ancho.

En el caso de *Pinus douglasiana* por su amplia distribución esta se encuentra asociada con *P. pseudostrobus* y *P. patula*, este es un pino alcanza una altura de 30-35 m y de diámetro de 50-75 cm. La copa es generalmente redondeada y densa, con las ramas horizontales inferior y superior; la corteza es de color marrón rojizo oscuro, áspera; hojas de color verde amarillento, en fascículos de 5, grueso y erguido de 20-30 cm de largo, los márgenes aserrados con fascículo y vainas persistentes de color marrón; conos en grupos de 3-5, café rojizo, de 7-10 cm de largo, pedúnculos escamosa de 1-2 cm de largo que permanecer unidos a los del cono cuando se cae; semillas de color grisáceo oscuro, de 4-5 mm de largo.

*Pinus maximinoi* es una especie con una amplia distribución en el país lo podemos encontrar en Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, México, Morelos, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y Chiapas, éste se caracteriza por presentar el tronco de 20-35 m de altura, la corteza del tallo o tronco inferior es rugosa y dividida por profundas grietas horizontales y longitudinales en grandes placas de color marrón grisáceo; hojas, en grupos de 5, 15-28 cm de largo, muy delgado 0.7-0.8 mm de ancho, márgenes finamente aserrados; fascículo y vainas persistentes de color marrón pálido; conos asimétrica, oblicua de 5-8 cm de largo color marrón rojizo, en grupos de 3 y 4, de 10-15 mm de largo; la semilla es de color marrón oscuro, casi negro 5-7 mm de largo y unos 5 mm de ancho; las alas de las semillas son amarillentas, 16-20 mm de largo y 8 mm de ancho.

*Pinus ayacahuite* es una especie caracterizada por crecer en suelos húmedos y arcillosos puede alcanzar alturas de 35 a 40 m, con un diámetro arriba de 2 m que ninguno de las especies mencionadas anteriormente lo han superado; hojas delgadas, flexibles, en grupos de 5, 10-18 cm de largo son de color verde brillante, márgenes aserrados, vainas de color marrón; conos casi cilíndrico, pero disminuyendo hacia el ápice ligeramente curvados, 10-40 cm de largo, color marrón amarillento cuando están maduros y muy resinosos, tienen un pedúnculo de 1-3 cm de largo; sus semillas son de color marrón claro con manchas oscuras de 5-8 mm de largo con alas bien desarrolladas de 30-40 mm de largo, fuertemente ligada a la semillas.

Finalmente tenemos el *Pinus patula* que se caracteriza por crecer en los sitios secos en lugares rocosos, sin embargo su mayor crecimiento es en suelos profundos y bien drenados y se encuentra asociado con *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. douglasiana* y *P. ayacahuite*; el *Pinus patula* es un árbol con una altura de 20-35 m y de hasta 1 m de diámetro la copa irregularmente redondeada; la corteza en árboles maduros es de color marrón y después de 3-4 m arriba del tronco cambia a color rojizo y muy escamoso; hojas en fascículos de 3-4, ocasionalmente de 5, 15-25 cm de largo, flexible de color verde pálido, los márgenes finamente aserrados con fascículo de 20-15 mm de largo; presentan conos largo-cónico, 5 a 8 cm de largo, 2.3 cm de ancho; las semillas son pequeñas, muy oscuro las cuales tiene 5 mm de largo y 3 mm de ancho, el ala de semillas de 15 mm de largo y 5 mm de ancho.

## 2.2 Plantaciones forestales en México

El origen de las plantaciones forestales en el país fue en la época de los emperadores aztecas que cultivaron jardines y bosques generados artificialmente con fines de espaciamento principalmente en Chapultepec y en el actual Parque Nacional “El Contador”. A partir de 1906 se inicia en México una etapa en que las plantaciones forestales alcanzan lentamente una importancia en la recuperación de suelo, por ser una alternativa a corto plazo para la producción de satisfactores derivados de la madera (Castellanos, 1988; Flores, 1990).

Posteriormente en 1952 y 1953, la unidad industrial de explotación forestal de San Rafael realizó una plantación de 34 hectáreas en “Lomas de San Juan Atzacualoya”, en Tlalmanalco, estado de México. Las especies plantadas fueron *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. *Pinus patula*, *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus ayacahuite* (Rodríguez, 1992).

Al mismo tiempo en 1953 la empresa FIBRACEL inició un programa de plantaciones comerciales para abastecer la demanda de materia prima para la fabricación de tableros de fibra, la plantación fue realizada en Casas Blancas, municipio de Tamuín, San Luis Potosí, alcanzando aproximadamente 5,500 hectáreas en 1969 y

éstas fueron cosechadas en 1978 en los terrenos dedicados a otros usos se probaron algunas especies de *Eucalyptus sp.*, paraíso (*Melia azederach* L.), cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y caoba (*Swietenia macrophylla* King) (Monreal *et al.*, 2005).

A mediados de los años 60 se iniciaron las primeras plantaciones forestales por parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería en México y posteriormente se continuaron los programas de plantación con fines industriales; sin embargo, a pesar de los intentos que se han realizado falta mucho por hacer, cabe destacar que cada año van incrementando; triplicándose entre 1965 a 1990 las superficies plantadas con diferentes fines (Arteaga *et al.*, 1994).

Entre 1997 a 2004, el PRODEPLAN en Oaxaca (Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales) apoyó 1,572 proyectos de plantaciones forestales comerciales en un total de 303,036.64 ha, la inversión aportada por CONAFOR para este rubro fue de aproximadamente \$845 millones; a la fecha tal cantidad continúa incrementándose y de acuerdo al PRODEPLAN, Oaxaca es uno de los estados donde más plantaciones se han establecido durante la última década coincidiendo con la puesta en marcha de este Programa, de tal manera que se reportan 15,150 ha plantadas (Bravo, 2007).

### 2.3 Plantaciones forestales en Oaxaca

El estado de Oaxaca posee una superficie total de 9.5 millones de ha, de las cuales 7.1 son de vocación forestal lo cual esta constituida por un amplio mosaico vegetativo, según el gradiente de altitud y condiciones climáticas específicas de cada región de estos 7.1 millones de ha, 5.1 se encuentran arboladas, el 2.7 son bosques templado frío, y 2.4 son selvas tropicales húmedas y secas, 0.1 lo conforman vegetación de otros tipos y el 1.9 corresponden a áreas perturbadas (Díaz y Díaz, 2007).

Oaxaca con sus 5.1 millones de hectáreas ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie arbolada a nivel nacional. Respecto al potencial maderable también ocupa el

tercer lugar con sus 291 millones de m<sup>3</sup> rollo; segundo lugar en reserva de selva alta (Díaz y Díaz, 2007).

Sin embargo, en la década de los 50's, los principales bosques de Oaxaca fueron concesionados por decreto presidencial y por un período de 25 años a dos empresas: Fábricas de Papel Tuxtepec, S. A., empresa dedicada a producir papel periódico y la Compañía Forestal de Oaxaca, empresa que fabricaba triplay y madera aserrada, en la Sierra Sur (Merino-Pérez, 2004).

A finales de la década de los 60's, FAPATUX (Fabricas de Papel Tuxtepec), tenía problemas de abastecimiento que le provocaban paros constantes en la producción de papel periódico con las consiguientes pérdidas económicas. Es aquí donde la Dirección Técnica Forestal de FAPATUX surgió la idea de desarrollar plantaciones forestales para solucionar el problema de desabasto (Merino-Pérez, 2004).

De tal manera que en 1968 realizan los primeros ensayos del proyecto en el área de Playa Vicente, Veracruz. A partir del año 1970 la DTF estableció en terrenos de la fábrica en Tuxtepec ensayos de procedencias de cuatro especies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari de Nicaragua, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari de Guatemala, *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Lindl de México, *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Martínez de Belice, *Pinus tropicalis* Morelet de Cuba, *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* de Cuba. Las especies de pino que empezaron a destacar fueron *Pinus oocarpa* schiede var. *ochoterenai* Martínez de Belice y *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari de Guatemala (Monreal, 2005).

En 1974 a 1978, se llevaron a cabo las primeras plantaciones forestales comerciales con pinos tropicales en "La Sabana", distrito Mixe, en el estado de Oaxaca, con una extensión de 7500 ha. Las especies plantadas fueron *Pinus ocarpa ochoterenae* Martínez, procedente de Guatemala, *Pinus caribea* Barret y Golfari y *Pinus tropicales* morelet, procedente de Cuba, que son las especies que dieron mejores resultados en el ensayo (Castellanos ,1988).

La comunidad de Magdalena Zahuatlán, Distrito de Nochixtlán, Oaxaca, en 1989 estableció un ensayo experimental de *Pinus greggii* Engelm para lograr una adecuada selección de procedencias y familias a utilizar en las plantaciones esto con el fin de restauración de suelos (Arteaga *et al.*, 1994).

Desde el 2001 al 2006 se tienen establecidas 249 ha de coníferas y 225 ha de especies preciosas todas destinadas a la producción de madera; tres hectáreas plantadas para la producción de árboles de navidad, todas con registro de plantación forestal comercial (Morales, 2008).

#### 2.4 Importancia de crecimiento de pinos en plantaciones forestales

En una plantación forestal es importante conocer la productividad del sitio en que esta establecida ya que el sitio es definido por el suelo, incluyendo factores que puedan afectar sus propiedades y que influyen sobre el crecimiento de los árboles forestales, las condiciones del sitio y el manejo son determinantes para su buen desarrollo (Arteaga *et al.*, 1994).

El crecimiento de un árbol o de una masa forestal está representado por su respectivo desarrollo, es decir, por el aumento en sus dimensiones en altura, diámetro, área basal y volumen. Este crecimiento, considerado en un período de tiempo determinado se denomina incremento, para determinar o conocer su crecimiento se requiere de mediciones constantes y esta información del crecimiento generalmente es usada para construir modelos de predicción y simulación del rendimiento del árbol bajo diferentes condiciones de desarrollo (Torres y Magaña, 2001; Rojo *et al.*, 2005).

La importancia del crecimiento e incremento de las plantaciones forestales, recae en el interés de los silvicultores para determinar su respuesta y su proyección a un determinado tiempo de aprovechamiento y así darle un mejor manejo ya que aquí influyen algunos factores como la densidad y los tratamientos silvícolas aplicados al mismo (Calvillo, 2003).

Para acelerar el crecimiento se aplican tratamientos silvícolas como son podas, limpias y aclareos con el fin de estimular el crecimiento de los árboles que quedan para aumentar la producción del material utilizable del rodal se reduce el número de árboles pero se obtienen individuos con más volumen y de mejor calidad con un turno más corto (Hernández, 1998).

## 2.5 Modelos de crecimiento en plantaciones forestales

Un modelo de crecimiento es una síntesis de la dinámica de un conjunto de datos en el que se indica el crecimiento general de un bosque a través de la correcta aplicación de un modelo de crecimiento. En un manejo forestal, se elaboran con la finalidad de estimar la producción futura, determinar el turno óptimo, realizar análisis financieros, estimar el crecimiento bajo condiciones donde no existen datos, comparar alternativas de manejo para analizar las mejores opciones de uso de la tierra (Bautista, 2001; Rojo *et al.*, 2005).

Por lo tanto, los tipos de modelos necesarios que se utilizan en un área específica dependen del tipo de crecimiento que ocurra (Quintero, 2005).

Un estudio realizado en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca por Hernández (2003) sobre el crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas, encontró que para el crecimiento en volumen mostró mejor ajuste para *P. patula* var. *longepedunculata* el modelo Gompertz, seguido por el modelo Chapman-Richards y en *P. pseudostrobus* indicó mejor ajuste el modelo Levakovic y el modelo Gompertz presentan buenos ajustes para los trabajos de análisis de crecimiento de pinos.

Sin embargo por la escasez de información se menciona un trabajo en rodales naturales al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León, donde un estudio sobre crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. y Cham. utilizaron 10 modelos de los cuales el modelo que brindó mejor ajuste para el crecimiento en volumen fue el Gompertz posteriormente seguido por el Logístico (Sosa, 2001).

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo se realizó en las plantaciones que se encuentran ubicadas en tres pequeñas propiedades en los municipios de San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec dichos municipios pertenecen al Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz de la Sierra Sur del Estado de Oaxaca. Los detalles de la localización de las plantaciones se presentan en el Cuadro 1 (Sandoval, 2006; con modificaciones) en los mapas se muestran en la Figura 1 y 2.

Cuadro 1. Características geográficas de las localidades, superficie, dos y tres especies/año en cada rodal y superficie total por plantación.

Localidad	Municipio	Especies	Año	Sup. plantada por año (ha)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Superficie total/Localidad (ha)
Río San José	San Sebastián Río Hondo	<i>P. pseudostrobus</i> Lindl	1994	4.788	16° 09'58.3"	96° 23'08.6"	2789	17.906
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock						
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl	1995	2.542				
		<i>P. oaxacana</i> Mirov <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock						
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl	2001	4.407				
		<i>P. douglasiana</i> Martínez <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock						
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl <i>P. douglasiana</i> Martínez <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock	2002	6.169				
Lastina y Río Yubto	San Miguel Suchixtepec	<i>P. oaxacana</i> Mirov	1993	5.968	16° 03'01.6"	96° 25'15.3"	2160	9.000
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock						
		<i>P. maximinoi</i> H. E. Moore	1997	3.102				
Santa Ana y Ojo de Agua	San Miguel Suchixtepec	<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock	1995	1.723	16° 03'04.8"	96° 28'03.4"	2335	4.051
		<i>P. pseudostrobus</i> Lindl						
		<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock	1996	2.328				
		<i>P. ayacahuite</i> Ehren <i>P. pseudostrobus</i> Lindl						

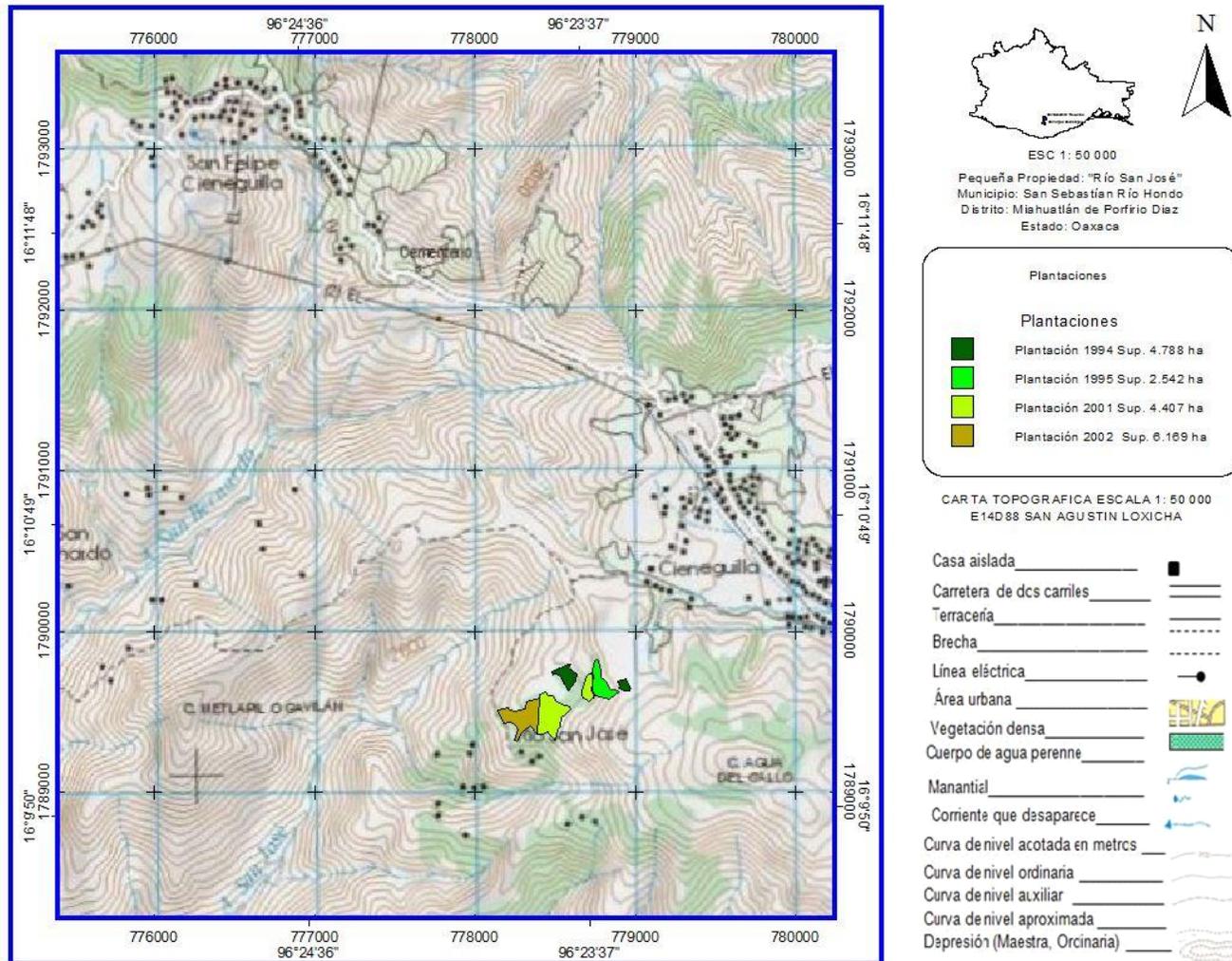


Figura 1. Mapa de localización de las plantaciones, pequeña propiedad "Río San José", Municipio de San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

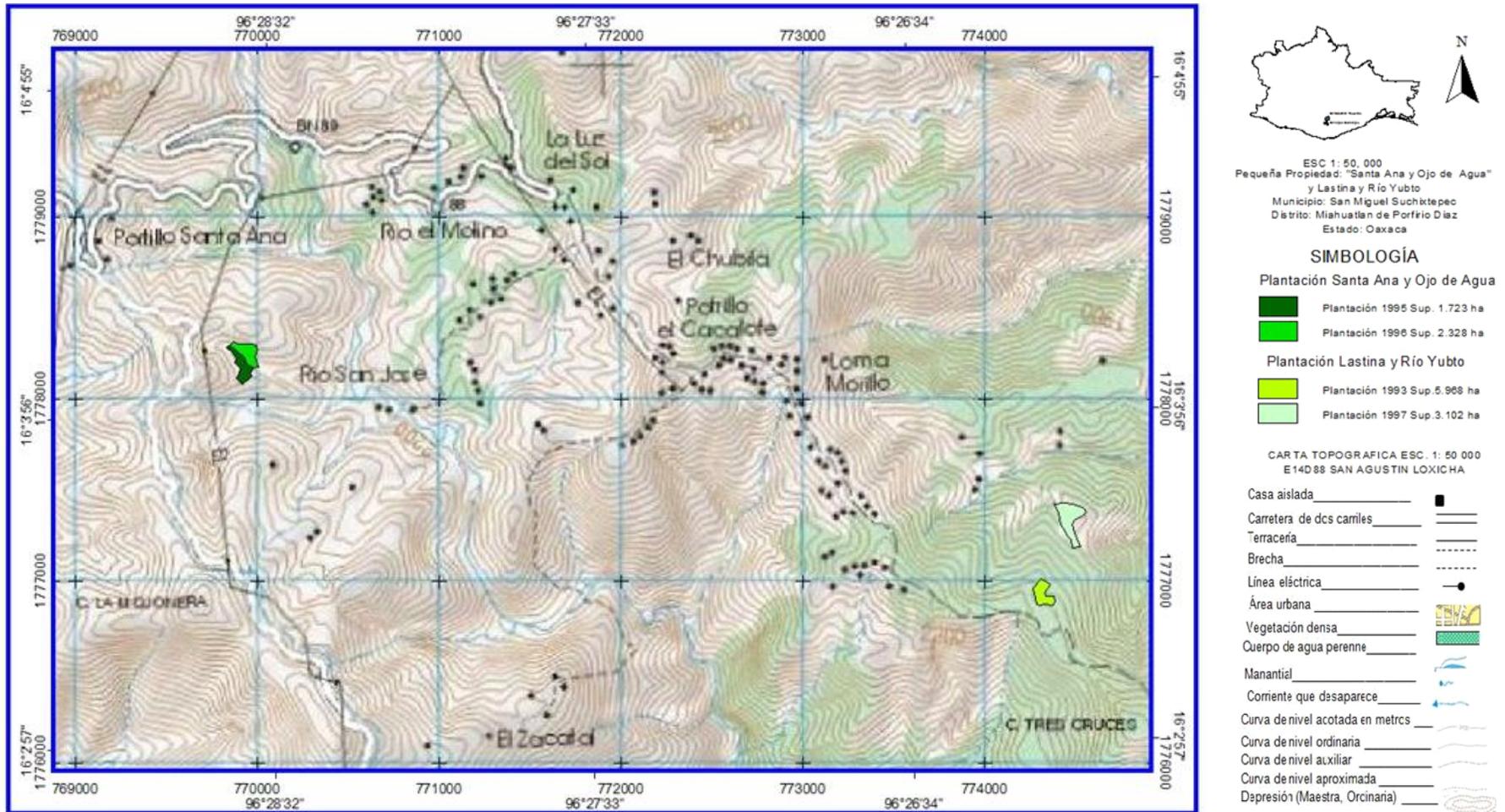


Figura 2. Mapa de localización de las plantaciones, Conjunto Predial "Santa Ana y Ojo de Agua" y "Lastina y Río Yubto", Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Las características ecológicas en las tres localidades son similares éstas se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Aspectos ecológicos de las tres localidades que son “Río San José”, “Latinas y Rio Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua”.

Hidrología	Clima	Vegetación	Fauna	Geología	Edafología
Región Hidrográfica RH-21, Costa de Oaxaca, Puerto Angel dentro de la cuenca Río Copalita y otros, Subcuenca Río Copalita y Microcuenca Río San José.	Cb (w2) (w) igw”, que corresponde al clima templados y subhúmedos; con lluvias en verano, y una precipitación anual de 1294.3 mm y un porcentaje de lluvias invernal entre el 5% y 10% con verano fresco y largo; la temperatura media del mes más caluroso (mayo) de 22 °C y los meses más fríos oscila entre 6-12 °C; la máxima precipitación se presenta en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, alcanzando un promedio mensual de 250 mm.	Bosque de Pino- encino. Comunidad constituida por diferentes especies de Pinos y de Quercus (encino) en proporciones variables. Además se presenta vegetación conformada por arbustos y vegetación herbácea que integran el sotobosque.	Las especies de fauna silvestre se consideran de paso, las más comunes observadas son: venado cola blanca ( <i>Odocoileus virginianus</i> Zimmermann), Tejón ( <i>Nasua narica</i> L.), Armadillo ( <i>Dasypus novemcintus</i> L.), Conejo ( <i>Sylvilagus floridanus</i> J. A. Allen), Tlacuache ( <i>Didelphys marsupialis</i> L.), Ardilla gris ( <i>Sciurus sociales</i> Warner), Codorniz común ( <i>Colinus virginianus</i> L.) Correcaminos ( <i>Geococcyx velox</i> Warner) Carpinteros ( <i>Dendrocopos</i> spp), víbora de cascabel ( <i>Crotalus triseratus</i> Wagler)	Se presentan tres tipos geomorfológicos siendo el más representativo, el denominado Sierra Sur; cuya conformación consta de rocas metamórficas, tipo Gneis, de la era Paleozoica y rocas sedimentarias calizas.	Los tipos de suelos que se encuentran son Acrisol húmico, Nitrosol districo y Regosol eútrico, estos suelos se caracterizan porque se pueden encontrar en distintos climas y con diversos tipos de vegetación y susceptibles a la erosión.

Fuente: INEGI 1988; Flores *et al.*, 1971; Morales, 2000; García, 1987.

### 3.2 Manejo silvícola de las plantaciones establecidas en Oaxaca

Las especies establecidas en las plantaciones fueron *P. pseudostrobus* Lindl, *P. oaxacana* Mirov, *P. ayacahuite* Ehren, *P. patula* var. *longepedunculata* Loock y *P. maximinoi* H. E. Moore, *P. douglasiana* Martínez.

En las tres localidades, la semilla de *P. oaxacana* y *P. douglasiana* fueron recolectadas en la “Ranchería el Jefe” y la comunidad de “San Bernardo” que se encuentran dentro del municipio de San Sebastián Río Hondo, en el caso del *P. maximinoi* se desconoce la procedencia, el resto de las especies fueron colectados en los rodales que se encuentra en las localidades donde se realizó la plantación. La semilla se puso a germinar en almácigo utilizando tierra de monte, la siembra fue realizada al voleo aplicando riego todas las mañanas durante tres semanas aproximadamente que es el tiempo que duró la semilla para germinar después se realizó el trasplante donde se utilizaron bolsas de polietileno de 10 x 20 cm, utilizando como sustrato tierra de monte. Al principio cuando se realizó el trasplante se aplicaron riegos todas las mañanas, una vez adaptada la planta en las bolsas de polietileno se aplicaron riegos cada tercer día durante un periodo de ocho meses alcanzando una altura de 30 cm, antes de plantar los pinos se le aplicó un castigo para que se fueran adaptando realizando riegos cada ocho días.

Los sitios seleccionados fueron en áreas abandonadas o que anteriormente fueron dedicadas al pastoreo y/o a la agricultura. Primero se realizaron labores de limpieza del terreno antes del establecimiento de la plantación. La plantación se realizó en la temporada de lluvias, que son los meses de junio hasta octubre utilizando el sistema de cepa común con dimensiones de 20 x 20 x 30 cm, espaciamiento de 2.50 x 2.50 m entre árboles e hileras con una densidad de 1600 árboles/-ha, el sistema de trazado fue de tres bolillo, por las condiciones de los terrenos. Las labores de limpieza se realizan cada dos años, al igual que las podas cortando aproximadamente un 30% de las ramas de los árboles.

### 3.3. Evaluación de las plantaciones de pino

#### 3.3.1 Diseño de muestreo

La evaluación de las plantaciones se realizó en sitios permanentes establecidos por Sandoval (2006) donde el diseño de muestreo utilizado fue sistemático, colocando el primer sitio de forma aleatoria; la una intensidad de muestreo fué 2.83% quedando los sitios ( $100^2$ ) de forma circular a una distancia de 40.5 m, en total fueron ochenta y cinco sitios. Se realizaron tres evaluaciones en marzo 2006, 2007 y 2008.

#### 3.3.2 Variables evaluadas

Las variables que se midieron fueron diámetro a 1.30 m de todos los árboles que se encontraron dentro del sitio; también se tomó un árbol por categoría diamétrica y por especie representativa del sitio y se midió el diámetro basal, diámetro a 0.30 m, 1.30 m; después se midieron diámetros a cada metro y la altura total para cada especie y para cada categoría diamétrica seleccionada en cada sitio.

### 3.4 Modelos de crecimiento

#### 3.4.1 Crecimiento en diámetro y altura de pinos

Para el análisis de los datos se tomaron en cuenta los datos obtenidos por Sandoval (2006) en marzo del 2005 y los evaluados 2006, 2007 y 2008, de los datos generales se sacaron promedios por especie y por sitio. Se utilizaron tres modelos de crecimiento (Cuadro 3), el ajuste de estos modelos se efectuó con el paquete estadístico SAS versión 8.1, para la selección del modelo se compararon los estadísticos, cuadrado medio del error (CME) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ); para la elaboración de las gráficas se utilizó el programa de SigmaPlot 10.0.

Cuadro 3. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro y altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez.

No.	Nombre	Modelo
1	Chapman-Richards	$y=b_0(1-\exp^{-b_1E})^{b_2}$
2	Weibull	$y=b_0(1-\exp^{-b_1E^{b_2}})$
3	Schumacher modificado o modelo de Korf	$y=\exp\left(b_0 - \frac{b_1}{E^{b_2}}\right)$

Donde:  $y$  = dap ( $D$ ) o altura ( $H$ ) de los árboles de medición,  $E$  = edad,  $\exp$  = función exponencial y  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  = parámetros del modelo a estimar.

De acuerdo a Montero *et al.* (2007) los modelos de diámetro y altura descritos anteriormente nos permiten estimar el crecimiento promedio en  $D$  y  $H$ , las cuales éstos son de gran utilidad para planificar el establecimiento de nuevas plantaciones. Sin embargo, es posible que el interés sea proyectar el crecimiento de una plantación en función de las características presentes. Para ello se plantea una expresión de proyección basada en el modelo 3 (Cuadro 3) de la forma:

$$y_2 = y_1 \exp\left(b_1 \left(\frac{1}{E_1^{b_2}} - \frac{1}{E_2^{b_2}}\right)\right) \quad (1)$$

Donde:

$y_2$  = diámetro proyectado a partir del diámetro real  $y_1$  y su edad real (años)

$\exp$  = función exponencial

$E_2$  = edad de proyección (años)

$E_1$  = edad real (años)

$b_1$ ,  $b_2$  = parámetros de regresión

De esta forma, si se conoce la edad del árbol y la relación diámetro o altura, se pueden proyectar sus dimensiones futuras con mayor precisión que si se usa la curva promedio solamente. Con base en los parámetros obtenidos en el Apéndice 1, los modelos respectivos para diámetro y altura serían:

$$D_2 = D_1 \exp \left( b_1 \left( \frac{1}{E_1^{b_2}} - \frac{1}{E_2^{b_2}} \right) \right) \quad (2)$$

$$H_2 = H_1 \exp \left( b_1 \left( \frac{1}{E_1^{b_2}} - \frac{1}{E_2^{b_2}} \right) \right) \quad (3)$$

Donde:

$D_2$  = diámetro proyectado a partir del diámetro real  $D_1$  y su edad real (años)

exp = función exponencial

$E_2$  = edad de proyección (años)

$H_2$  = altura proyectada partir de la altura real  $H_1$  (m)

$E_1$  = edad real (años)

$b_1, b_2$  = parámetros de regresión de los modelos 2 y 3.

### 3.4.2 Modelos de diámetro y altura de pinos

Para facilitar el monitoreo de plantaciones es conveniente contar con un modelo de diámetro/altura. Durante el monitoreo es difícil y caro obtener todas las alturas en los sitios de muestreo; entonces, se miden pueden unas cuantas alturas dominantes, o ninguna si se tiene un modelo de diámetro-altura que nos permita compensar la falta de datos de  $H$ . Esto es necesario ya que árboles muy grandes pueden producir sobrestimaciones considerables (Montero *et al.*, 2007).

En el presente estudio se utilizaron cinco modelos para determinar la altura media en base a los datos de altura dominante y diámetro promedio los modelos se muestran en el Cuadro 4 de acuerdo con los autores (Montero *et al.*, 2007; Valdez-Lazalde and Lynch, 2000). Para la selección del modelo se utilizó el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{aj}$ ).

Cuadro 4. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en altura promedio, en base a los diámetros promedios y la altura dominante.

No.	Modelo
1	$H=b_0DAP+b_1DAP^2$
2	$H=b_0+b_1\ln(DAP)$
3	$H=b_0(1-e^{-b_1DAP})$
4	$H=b_0(DAP^{b_1})$
5	$H=b_0 DAP^{b_1} HD^{b_2}$

Donde:  $H$ = altura promedio (m),  $DAP$ = diámetro promedio (cm),  $HD$ = altura dominante (m),  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ = parámetros de regresión,  $\ln$ = logaritmo natural y  $e$ = función exponencial.

### 3.5 Modelos para diámetro/altura dominante o calidad de sitio

#### 3.5.1 Crecimiento en altura dominante de pinos

A la altura dominante evaluada a una edad de referencia se le denomina Índice de Sitio (IS), y es una forma de clasificar los sitios forestales. El índice de sitio es uno de los métodos más usados para determinar la calidad de estación en masas coetáneas preferentemente puras. La calidad de estación refleja la productividad de un sitio forestal, la cual se puede clasificar cualitativamente en tipos de sitios, a través de su clima, suelo y vegetación o cuantitativamente en clases de sitio, a través de su potencial para producir madera. Los índices de sitio se han convertido en el método directo más popular y práctico para la evaluación de la productividad forestal (Clutter *et al.*, 1983; Zepeda y Rivero, 1984).

Para la construcción de las curvas de índice de sitio se utilizaron datos de altura dominante para las edad actuales por sitio, se seleccionó un árbol por especie y por sitio el de mayor altura representativa del sitio, de un total de 85 sitios permanentes de muestreo, se tomaron en cuenta 75 sitios, el resto de los sitios (10) no se tomaron en cuenta debido a que se encuentran mezcladas con otras especies y esta podría subestimar o sobreestimar los datos, los datos se ubicaron de tal manera que cubrieran

los intervalos de edad entre 3 y 14 años para tener una amplia distribución y definir la calidad de sitio.

Primero se determinó el mejor modelo y con éste se trazó la curva guía, posteriormente se generó una familia de curvas de tipo anamórficas; la altura guarda la misma proporción a diferentes edades, haciendo que las curvas aparenten tener la misma forma (Clutter *et al.*, 1983).

Para la elaboración de estas curvas de índice de sitio, se ajustaron los modelos de Schumacher y Chapman–Richards, por ser los más utilizados (Ramírez, 1981). La selección del modelo más adecuado para describir la relación altura dominante/edad se hizo mediante los criterios de coeficiente de determinación  $R^2$  y cuadrado medio del error (CME).

El modelo tipo Schumacher anamórfico (4) es el usado para estimar el IS (Galán, 2007) y para la proyección de alturas dominante en las plantaciones de las tres especies evaluadas:

$$H_1 = b_0 \exp\left(-\frac{b_1}{E}\right) \quad (4)$$

El modelo Chapman-Richards anamórfico (5) empleado para estimar el índice de sitio (IS) (Galán, 2007) y la proyección de alturas dominante en las plantaciones de las tres especies evaluadas:

$$H_1 = b_0 (1 - \exp(-b_1 E))^{b_2} \quad (5)$$

Donde:

$H_1$  = es la altura dominante inicial (m)

$E$  = es la edad (años) reales

$b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$  = parámetros a estimar

exp = función exponencial

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Crecimiento promedio en diámetro y altura

#### 4.1.1 Crecimiento en diámetro y altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez.

El modelo que tuvo mejor ajuste en diámetro y altura para las tres especies mencionadas anteriormente fue el modelo Schumacher modificado o modelo de Korf, excepto para la altura *Pinus douglasiana* el mejor fue Chapman-Richards, sin embargo el modelo que se seleccionó fue Schumacher modificado. El crecimiento en diámetro y altura promedio Figura 3 y los resultados de los modelos en los Apéndices 1, 4 y 7.

El modelo seleccionado para este estudio también coincide con lo que reporta Sosa (2001) en un estudio en crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. y Cham. donde encontró que el mejor modelo de ajuste fue el de Schumacher, por otro lado Monárrez *et al.* (2003) realizaron un estudio sobre la predicción del rendimiento de *Pinus duranguensis* Martínez encontraron que el mejor modelo para el diámetro normal fue el de Schumacher.

Otro de los estudios realizado por Arteaga (2000) en una plantación de cuatro especies de *Pinus*, el modelo que mejor ajuste presentó para el diámetro fue el de Chapman-Richards para las especies *P. oaxacana*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* y para *P. radiata* el mejor ajuste lo manifestó el modelo de Schumacher. El cual concuerda con el modelo seleccionado para este estudio, ya que por lo regular son los modelos más utilizados para esta variable por ser sencillos y prácticos.

Las curva de crecimiento en diámetro (Figura 3) presentan una tendencia ascendente y en forma constante, este comportamiento es debido a que es una plantación joven; bajo condiciones normales el incremento en diámetro al principio es

lento y en los siguientes años aumenta hasta estabilizarse a una edad madura. En el caso de *P. patula*, el primer año presentó un diámetro de 0.18 cm, al mismo año *P. pseudostrobus* fue mayor donde con un diámetro de 1.49 cm y *P. douglasiana* con un diámetro de 2.71 cm, como se puede apreciar en los primeros cinco años el que tiene mayor crecimiento es *P. douglasiana*, sin embargo, a la edad de los ocho años el de mayor crecimiento es *P. patula* con un diámetro de 11.46 cm, seguido de *P. douglasiana* con un diámetro de 11.15 cm, y finalmente *P. pseudostrobus* con un diámetro de 8.52 cm, por lo tanto *P. patula* es el que tiene mayor crecimiento respecto a las demás especies.

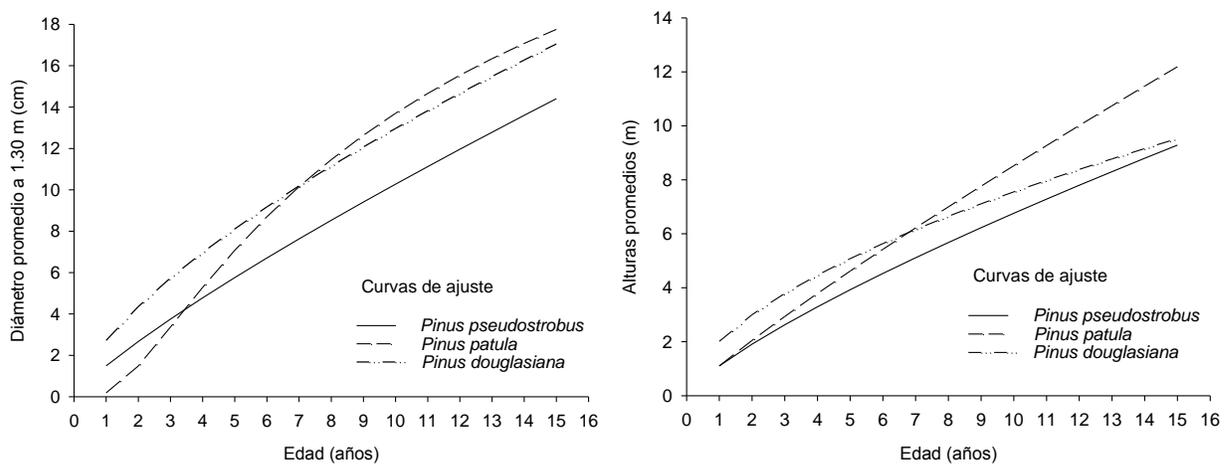


Figura 3. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Hernández (2003) evaluó el crecimiento de tres especies plantadas bajo tratamientos silvícolas y encontró que *Pinus pseudostrobus* en los primeros seis años alcanzó un diámetro de 10.75 cm, posteriormente a los diez años 14.9 cm; este valor es mayor en diámetro respecto a presente estudio ya que la especie que tuvo mayor crecimiento a la edad de diez años fue *P. patula* con un diámetro de 13.7 cm.

Para las alturas, el crecimiento presentan una curva casi lineal donde no se aprecia una inflexión, excepto para *P. douglasiana* que a partir de los siete años el crecimiento es un poco más lento pero sin descender, sin embargo en los primeros años es el que tiene mayor desarrollo. A la edad de ocho años *P. pseudostrobus*

muestra una altura de 5.67 m, *P. douglasiana* 6.64 m y *P. patula* 6.99 m, como se puede apreciar *P. patula* es el que tiene mayor crecimiento (Figura 3).

En un estudio realizado por García y Toledo (1989) en una plantación de *Pinus pseudostrobus* y *P. michoacana* bajo tratamientos silvícolas en Michoacán a la edad de nueve años la altura fue de 9 y 7 m respectivamente, comparado con el presente estudio en el caso de *P. pseudostrobus* a la misma edad se tiene una altura menor que es de 6.22 m, sin embargo *P. patula* presentó una altura de 7.76 m que es mayor comparado con *P. michoacana*, en parte las diferencias que se presentan probablemente se deben a que en el presente estudio no se realizaron aclareos, como lo realizaron en el estudio mencionado.

Hernández (2003) evaluó el crecimiento de tres especies plantadas bajo tratamientos silvícolas y encontró que el crecimiento en altura de *Pinus pseudostrobus* a la edad de un año mostró un crecimiento de 0.60 m de altura, a partir de los dos años reflejó un crecimiento ascendente teniendo a la edad de siete años una altura de 7.07 m; para el presente trabajo a la edad de un año el crecimiento fue mayor ya que para *P. pseudostrobus* y *P. patula* tuvieron una altura de 1.10 m, sin embargo a la edad de siete años fue menor donde *P. pseudostrobus* tuvo 5.11 m y *P. patula* 6.21 m.

#### 4.1.2 Incremento en diámetro para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez.

Los incrementos ICA e IMA en diámetro (Figura 4) para el caso de *Pinus pseudostrobus* y *P. douglasiana* presentan una curva de “J” invertida debido a que el mayor incremento fue en el primer años mostrando un ICA a la edad de un año de 1.49 y 2.71 cm, con un IMA igual que el ICA, teniendo un mayor incremento *P. douglasiana*; con respecto a *P. patula* presentó una curva en forma de campana donde en el primer años tiene un incremento menor respecto a las demás especies, con un ICA de 0.18 cm y el mayor incremento se muestra a la edad de cuatro años con un ICA de 1.92 cm y un IMA de 1.32 cm, a partir de los tres años el crecimiento es más acelerado motivo por el cual existe la intersección del ICA y el IMA a la edad de siete años.

Comparando el incremento a la edad de ocho años se puede ver que *Pinus patula* tiene el mayor ICA que es de 1.30 cm y un IMA de 1.43 cm seguido de *P. douglasiana* con un ICA de 0.96 cm y un IMA de 1.39 cm, finalmente *P. pseudostrobus* mostrando un ICA de 0.90 cm y un IMA de 1.06 cm, como se puede ver la especie que presenta mayor desarrollo es *Pinus patula*.

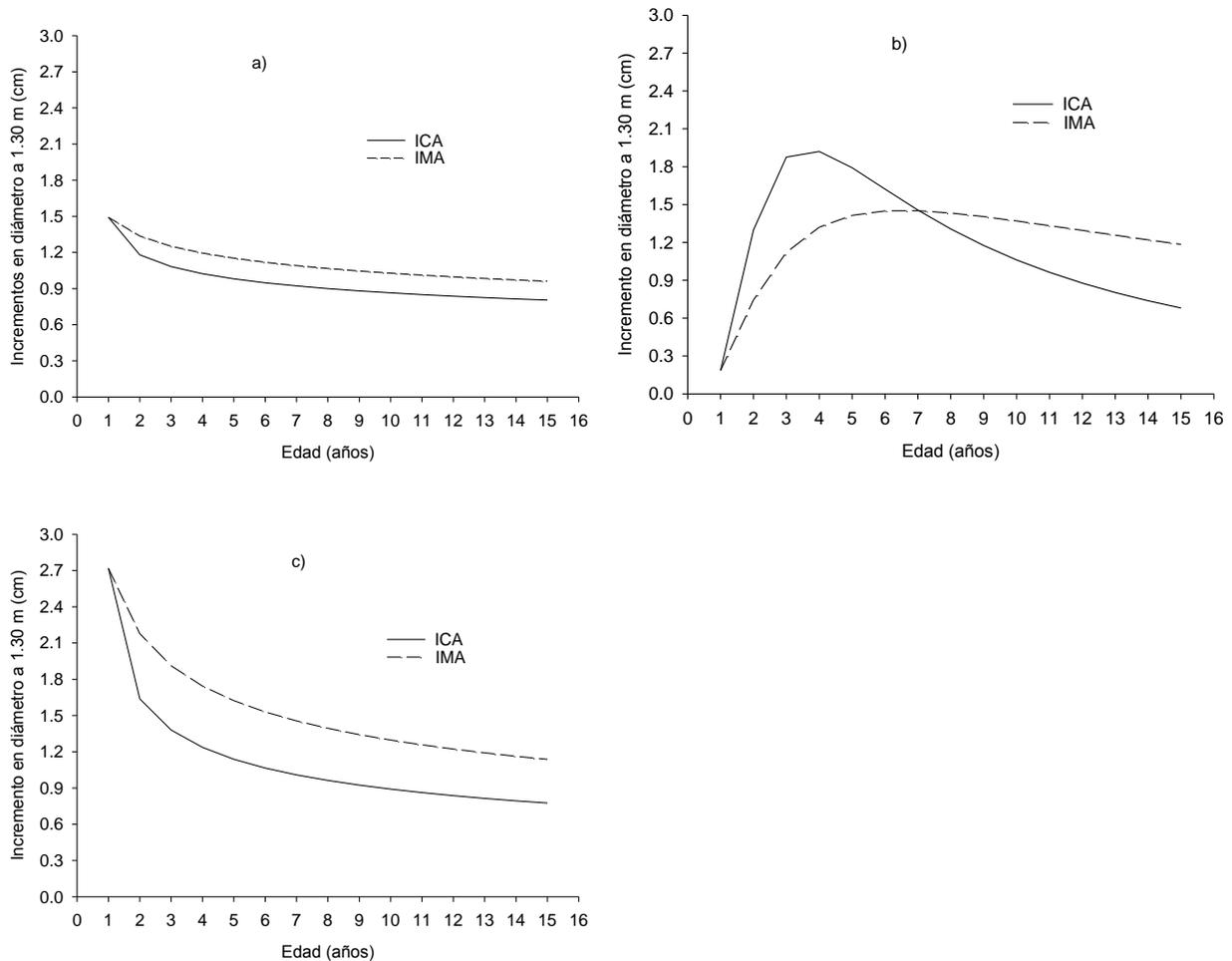


Figura 4. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en diámetro para *Pinus pseudostrobus* Lindl (a) (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (b) (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (c) (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Sosa (2001) realizó un estudio sobre crecimiento e incremento en regeneración natural de *Pinus teocote* encontró que el máximo incremento en diámetro ocurre a los ocho años punto en el que el IMA y el ICA se cruzan. Después ambos crecimientos comienzan a descender quedando el ICA encima del IMA, sin embargo para el presente

estudio para *Pinus pseudostrobus* y *P. douglasiana* el máximo incremento ICA e IMA se presentó en el primer año y para *P. patula* se presentó a la edad de cuatro años y el ICA e IMA se cruzan a la edad de siete años en el caso de *P. patula*, un año antes.

Otro estudio realizado por García (1989) en una plantación de *Pinus pseudostrobus* en Capacuaro, Michoacán a una edad de 5.8 años encontró que el incremento medio anual en diámetro fue de 1.6 cm, mientras que para el presente estudio *P. pseudostrobus* a la misma edad el incremento medio anual fue de 1.11 cm, *Pinus patula* con 1.44 cm y *P. douglasiana* de 1.52 cm que es el que más se asemeja siendo menor con una diferencia de 0.08 cm.

#### 4.1.3 Incremento en altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez.

Para los incrementos en altura ICA e IMA para las tres especies evaluadas se muestran en la Figura 5 donde las curvas tienen forma de “J” invertida para ambas especies el mayor incremento se presentó en el primer año; considerando la edad de ocho años para *Pinus pseudostrobus* el ICA fue de 0.56 m y un IMA de 0.70 m, para *P. patula* el ICA fue de 0.77 m y el IMA de 0.87 m y para *P. douglasiana* el ICA fue 0.48 m con un IMA de 0.83 m, al comparar los resultados obtenidos, la especie que presentó mayor incremento fue *P. patula* seguido de *P. pseudostrobus* y al final *P. douglasiana* (Figura 5).

En un estudio realizado por Salazar *et al.* (1999) sobre variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas encontraron que a la edad de 18 meses *P. maximinoi* tuvo la mayor tasa de IMA de 2.50 m/año, *P. tecunumanii* de forma similar a la especie anterior con un IMA de 2.44 m/año y *P. patula* con una tasa de crecimiento en IMA de 1.92 m/año; sin embargo, para el presente trabajo los valores de crecimiento en altura fueron menores al estudio mencionado.

Otro estudio realizado por García (1989) en una plantación de *Pinus pseudostrobus* en Michoacán donde a la edad de 5.8 años obtuvo un IMA de 1.01 m con un espaciamiento de 2.5 x 2.5 m, sin embargo para el presente trabajo se tienen los mismos espaciamientos y el IMA a la misma edad fue menor, obteniendo para *P. pseudostrobus* 0.75 m.

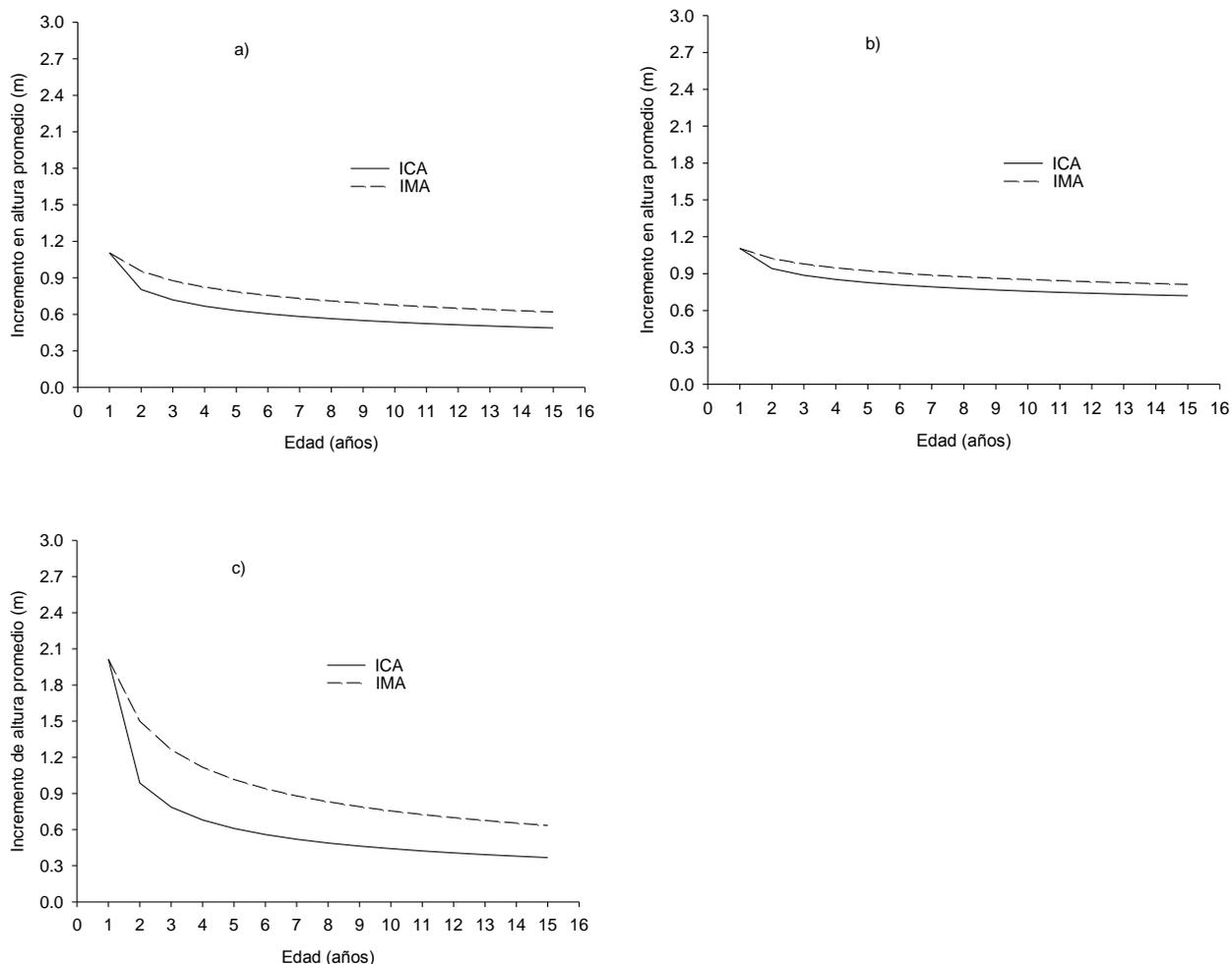


Figura 5. Curvas de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA) en altura para *Pinus pseudostrobus* Lindl (a) (n=225), *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (b) (n=178) y *Pinus douglasiana* Martínez (c) (n=136) en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

#### 4.2 Crecimiento de diámetro y altura para datos generales y dominantes por especie

#### 4.2.1 *Pinus pseudostrobus* Lindl

Considerando que los datos promedios de los sitios ajustados en una curva de crecimiento diámetro y altura pueden sobreestimar o subestimar los valores de crecimiento se realizaron diagramas de los datos generales y dominantes tanto en diámetro como en altura (Figura 6). En el caso del diámetro se aprecia que el diagrama de dispersión durante los primeros siete años el crecimiento es homogéneo, pero a partir de los nueve años ya se empieza a separar los valores dominantes de las generales, apreciándose los árboles rezagados; este efecto de la competencia se ve influenciado más en el diámetro que en la altura y sugiere la necesidad de realizar un raleo por lo bajo con la finalidad de liberar a los árboles dominantes y codominantes para un mejor desarrollo.

La aplicación de aclareos es con la finalidad de eliminar los árboles suprimidos o dominados ya que la densidad afecta un gran número de variables de un rodal, especialmente el diámetro. Al realizar el raleo por lo bajo elimina árboles débiles, para reducir la competencia por agua, luz y nutrientes, dejando siempre los más grandes y vigorosos y puedan tener mayor espacio para tener un mejor desarrollo ya que el diámetro se encuentra más influenciado por el medio ambiente (Klepac, 1983; Cozzo, 1995).

En el caso del crecimiento en la altura de *Pinus pseudostrobus* (Figura 6) se puede apreciar que existen muy pocos árboles rezagados, el ritmo de crecimiento es parejo esto se debe a que existe una competencia por lo que tienden a dispararse entre más denso esté la plantación mayor crecimiento en altura, al respecto Klepac (1983) menciona que el crecimiento e incremento en altura en los árboles esta menos influenciado por el medio ambiente.

En la Figura 6 se puede notar que de acuerdo a las curvas ajustadas en altura tanto en los datos dominantes como datos generales en los primeros siete años no existen diferencias su crecimiento es homogéneo, a partir de los ocho años es donde se empieza a notarse una diferencia a la edad de catorce años de 1.30 m de altura entre curvas.

A diferencia de las curvas de ajuste para el diámetro los crecimientos son homogéneos en los primeros cuatro años, posteriormente se nota la diferencia y a la edad de catorce años la diferencia entre curvas es de 4.5 cm. La curva ajustada de altura dominante es preferente pues es indicadora de la productividad del sitio.

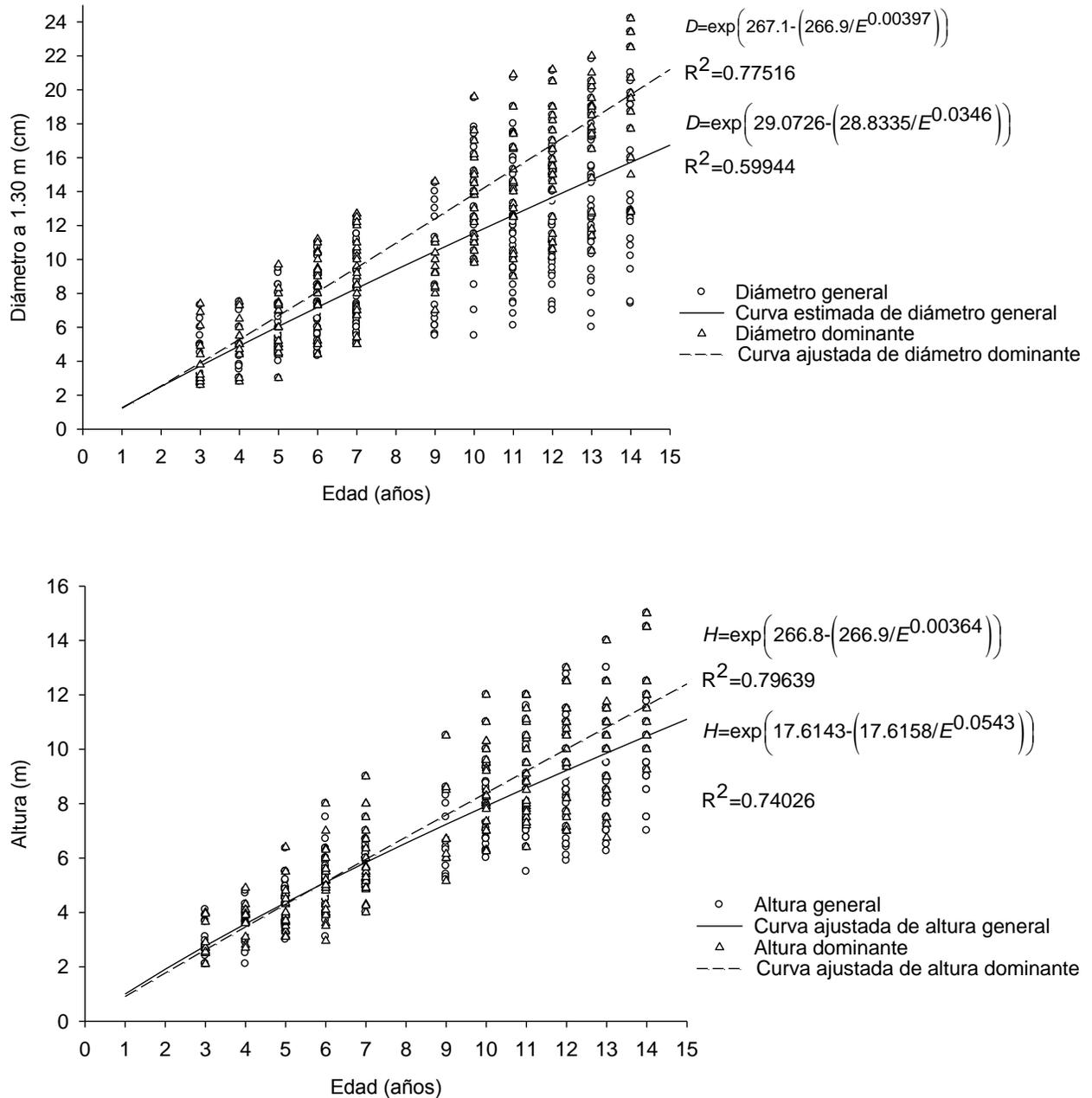


Figura 6. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=453) y los dominantes (225) para *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Debido a que los datos se graficaron en general sin considerar los predios se decidió realizar la Figura 7 donde se graficaron todos los árboles de *Pinus pseudostrobus* identificando por predios y se puede apreciar que en diámetro como en altura en los primeros siete años el crecimiento es mayor en el Predio Río San José posteriormente a partir de los diez a doce años el predio que sobresale más es Santa Ana y Ojo de Agua, sin embargo a la edad de trece y catorce años son similares y para ambos predios se observan rangos amplios de altura y diámetro para las diferentes edades, por lo tanto los comportamientos son prácticamente similares.

Los resultados obtenidos en diámetro probablemente se debe a que en esos tiempos se obtenía de las áreas donde se realizaban aprovechamientos o de los árboles caídos y no había selección por lo tanto esto puede dar una amplia variación en el crecimiento y también efecto en crecimiento de árboles enanos o menos vigorosos.

El éxito en el establecimiento y productividad de las plantaciones de árboles forestales está determinado en gran parte por la especie utilizada y la fuente de semilla, también este depende de cierta forma del manejo o los tratamientos silvícolas que se han aplicado a la plantación y esto complementa también parte de la competencia (Zobel y Talbert, 1988).

Otro de los aspectos importantes que se deben considerar para el establecimiento de una plantación de calidad es obtener la semilla de árboles selectos y que no hayan sufrido explotaciones en las cuales se hayan eliminado los mejores árboles; las características que debe tener el árbol selecto es rectitud del fuste y resistencia a las enfermedades (Zobel y Talbert, 1988).

Es importante recalcar que el espaciamiento de una plantación es un factor importante en el comportamiento del bosque ya que tiene una gran influencia sobre las características del crecimiento; el espaciamiento también se induce en función del sitio, de la especie y de la calidad genética del material reproductivo que se va a utilizar pero indiscutiblemente el uso final de la madera es el factor decisivo para la selección del espaciamiento (Patiño, 1995).

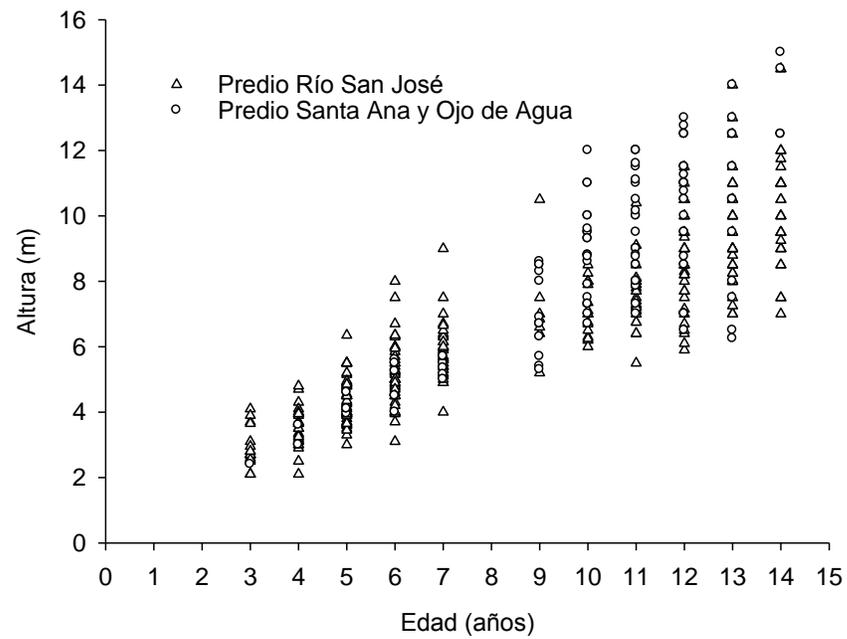
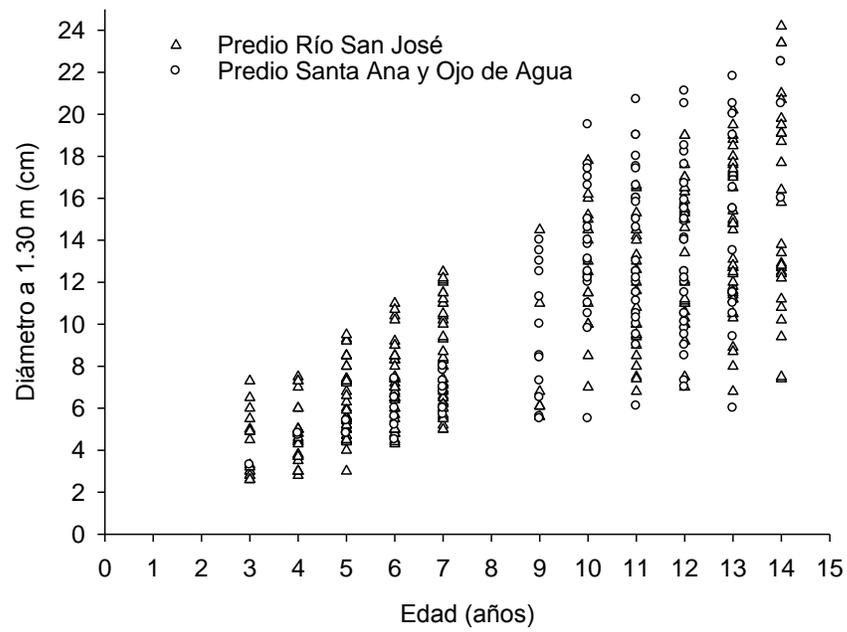


Figura 7. Diagramas de dispersión de valores de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=453) por predio de *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

#### 4.2.2 *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock

De acuerdo con las razones explicadas para *Pinus pseudostrobus* sobre el comportamiento de los árboles dominantes y de los árboles generales se realizaron diagramas de dispersión de todos los árboles generales y dominantes tanto en diámetro como en altura (Figura 8).

En la Figura 8 se presenta la gráfica de diámetro y altura en la cual tienen el mismo comportamiento, se observa que durante los primeros ocho años el diagrama de dispersión de los árboles se encuentran en un rango de crecimiento homogéneo para diámetro y altura donde no se puede apreciar todavía los árboles que se encuentran suprimidos o dominantes; cabe destacar que el efecto de la competencia influye más en el diámetro a partir de los nueve años donde se empieza a diferenciar los árboles que son dominantes y los árboles que se encuentran dominados.

La diferenciación observada entre árboles dominantes y dominados en la Figura 8 sugiere la aplicación de un aclareo. Para esto es importante considerar la edad de la plantación, ya que en el estudio de Ruíz *et al.* (1996) se realizaron aclareos en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* a los ocho y once años; en el rodal de once años de edad se obtuvo que a los dos años de haber aplicado el aclareo no se apreció el efecto, ya que se presentó un “estancamiento” debido a la fuerte competencia; sin embargo el efecto se pudo apreciar cuando el aclareo se realizó en rodales de ocho años.

También en la aplicación de aclareos es importante considerar el comportamiento en crecimiento, Montero *et al.* (2007) mencionan que para evitar que el árbol pierda energía en la recuperación de su dinámica inicial de la plantación recomienda aplicar un aclareo antes de que el ICA y el IMA se crucen y como resultado se obtendrá árboles de mayor calidad y se evitará la pérdida de individuos por competencia; para el presente trabajo el ICA e IMA en diámetro se cruzaron a la edad de siete años (Figura 4b), esto significa que ya es necesario realizar un aclareo.

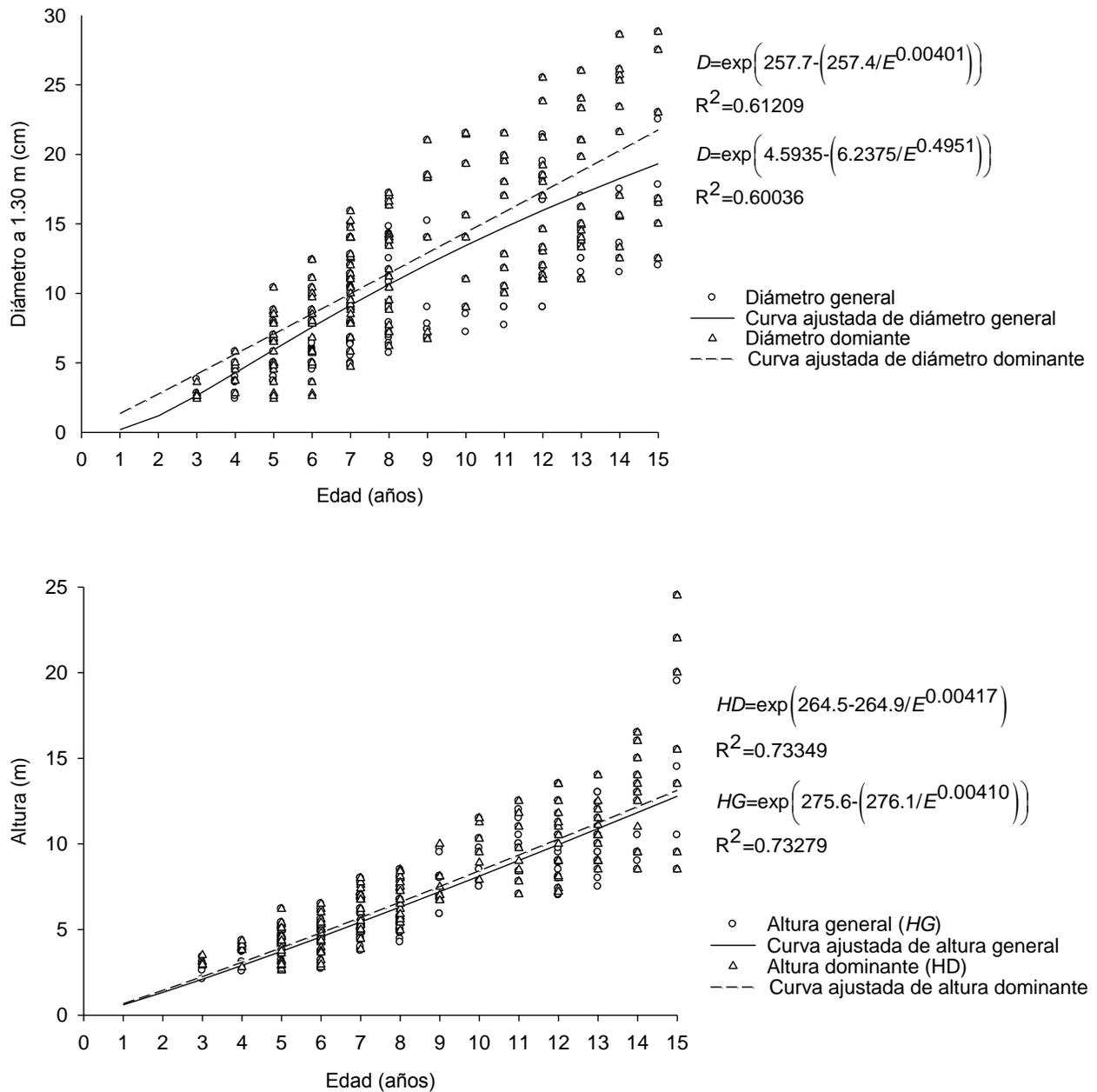


Figura 8. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=225) y los dominantes (n=181) para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

En cuanto a las curvas de ajuste (Figura 8) en el caso del diámetro existe una diferencia de 2.4 cm a la edad de quince años, siendo superior la curva de los diámetros dominantes. Con respecto a las curvas de altura prácticamente son similares.

En la Figura 9 se presenta un diagrama de dispersión de todos los árboles de *Pinus patula* identificados por predios, se puede apreciar que en diámetro no hay diferencias ambos predios presentan un crecimiento similar, en cuanto en altura el predio Río San José y el predio Santa Ana y Ojo de Agua presentan alturas semejantes, ejemplo a la edad de quince años tienen una altura de 17 m, sin embargo el predio Lastina y Río Yubto es el más sobresaliente a la misma edad tienen una altura de 24 m.

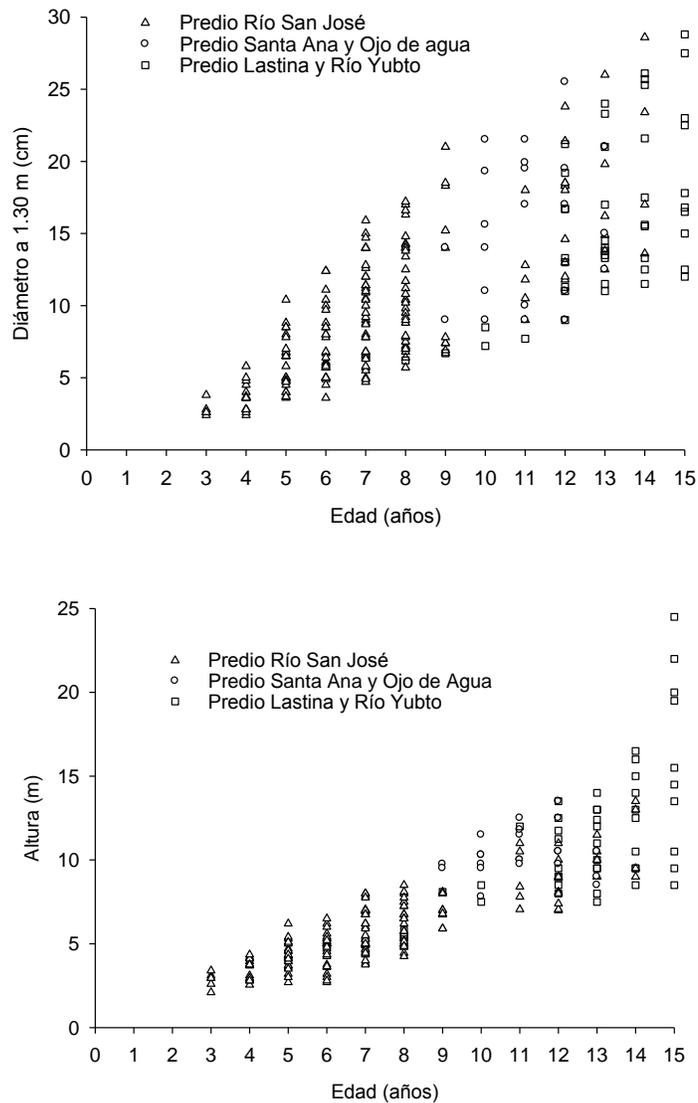


Figura 9. Diagrama de dispersión de valores de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=225) por predio de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Este comportamiento probablemente se debe a la calidad de sitio (suelo, precipitación, pendiente y exposición) (Klepac, 1983), de forma particular las características edáficas son las que mayor influencia tienen en el crecimiento en altura y que determinan la calidad de estación, principalmente el pH, contenido de limo y arcilla de la capa de suelo 0 a 50 cm de profundidad y contenido de arcilla de la capa de suelo de 50 a 100 cm de profundidad (Rodríguez, 1997).

Klepac (1983) afirma que con frecuencia árboles de la misma especie y aún de la misma variedad, en el mismo sitio, presentan crecimientos en altura diferentes, debido al factor individual más importante, que es el genético; pero el éxito en plantaciones está influenciada por la especie utilizada y la fuente semillera (aspecto genético), también esto depende de cierta forma de el manejo de la plantación (Zobel y Talbert, 1998) y esto complementa también parte de la competencia mencionada anteriormente en las Figuras 3 y 8.

#### 4.2.3 *Pinus douglasiana* Martínez

Para *pinus douglasiana* se proyectar los datos generales y dominantes del diámetro y altura en la Figura 10, como se puede observar a partir de los tres años se empieza a diferenciar la curva de los árboles dominantes donde a la edad de siete años las curvas del diámetro dominante es mayor por 1.67 cm a la curva de los diámetros generales y para alturas las curvas presentan una diferencia de 1.12 m a la misma edad sobresaliendo las alturas dominantes.

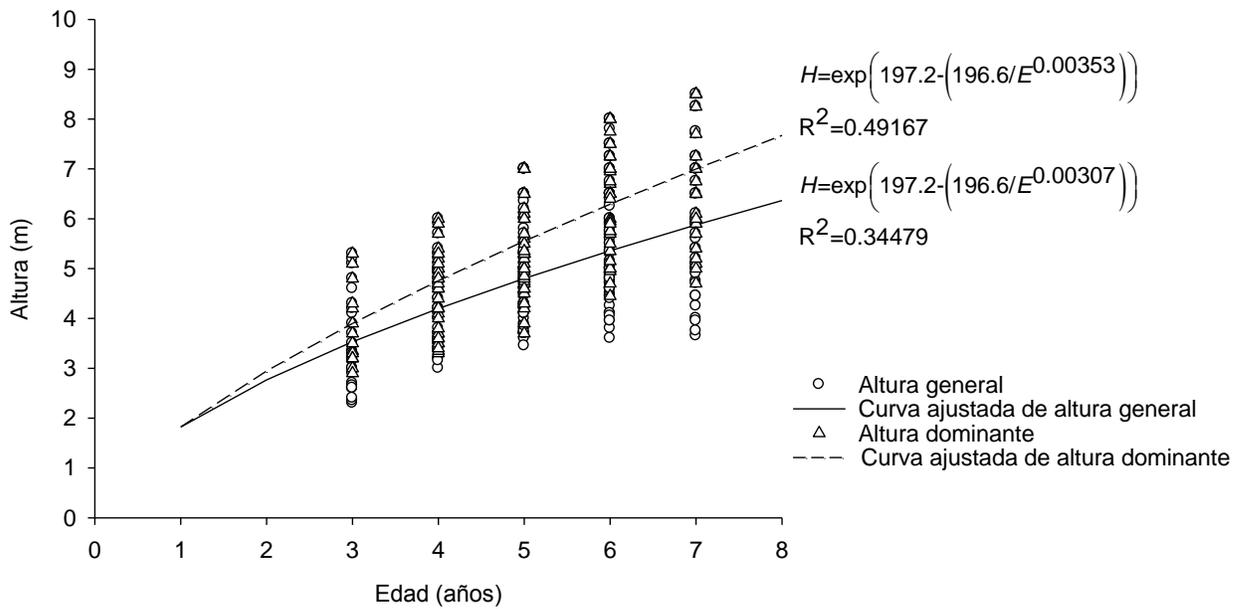
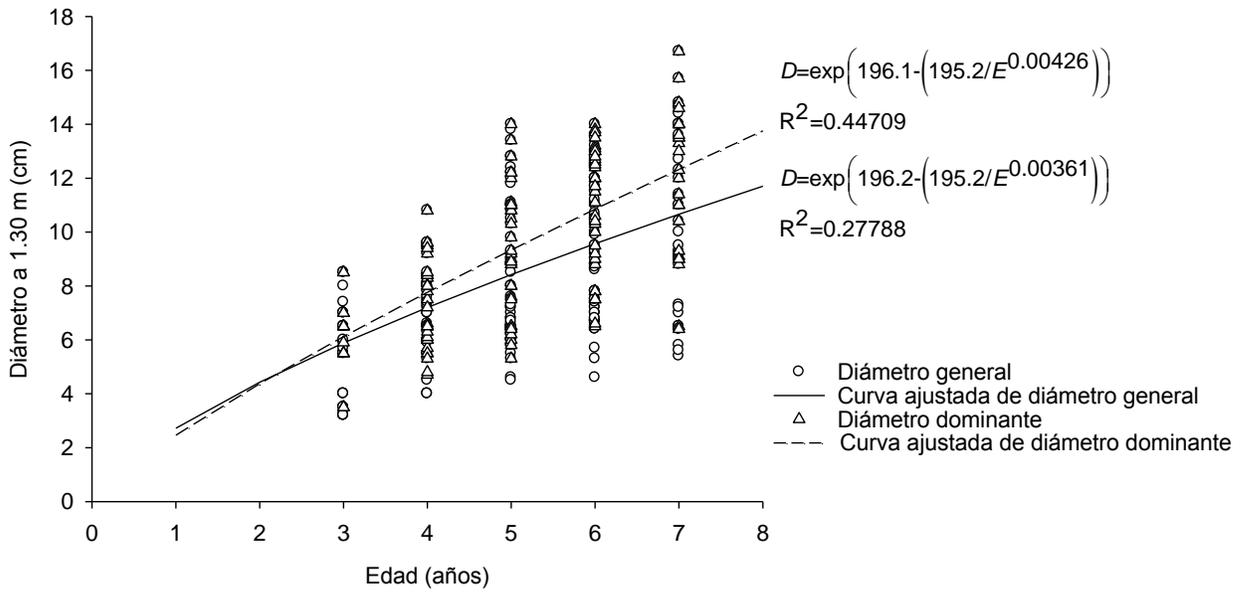


Figura 10. Curvas de crecimiento de edad-diámetro y edad-altura de los datos generales (n=234) y los dominantes (n=136) para *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

### 4.3 Proyección de diámetros y alturas promedios de las especies plantadas a diferentes edades

Esta proyección es con la finalidad de conocer el comportamiento del diámetro a una cierta edad para *Pinus pseudostrobus* (Cuadro 5) y el diagrama de distribución (Apéndice 12a). Como referencia se eligió la edad de 14 años; para esta edad se tiene un rango de diámetros que van desde 11.55 cm hasta 21.00 cm, se estima que si a los 14 años de edad con un diámetro de 21.00 cm, a los 22 años se proyecta un diámetro de 30.59 cm, se puede notar que prácticamente anualmente existe un crecimiento de 1 cm/año, sin embargo bajo tratamientos silvícolas este diámetro podría ser mayor en menor tiempo.

Cuadro 5. Proyección de diámetros para *Pinus pseudostrobus* Lindl a diferentes edades tomando como referencia de diámetro la edad de 14 años.

Datos actuales		Diámetros máximos y mínimos proyectados a diferentes edades (cm)							
Edad (años)	Diámetro (cm)	15 años	16 años	17 años	18 años	19 años	20 años	21 años	22 años
14	11.55	12.23	12.90	13.57	14.23	14.89	15.54	16.18	16.82
14	12.65	13.39	14.13	14.87	15.59	16.31	17.02	17.72	18.42
14	13.27	14.05	14.83	15.59	16.35	17.11	17.85	18.59	19.33
14	16.27	17.23	18.18	19.12	20.05	20.98	21.89	22.80	23.70
14	17.35	18.37	19.39	20.39	21.38	22.37	23.34	24.31	25.27
14	21.00	22.24	23.47	24.68	25.88	27.08	28.26	29.43	30.59

También se proyectaron las alturas para *Pinus pseudostrobus* donde los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 6 y el diagrama de distribución (Apéndice 12b) en éste presentan las alturas reales que se tiene en una plantación a la edad de 14 años con rango que van desde 7.92 m hasta 12.60 m de altura; considerando la altura de 12.60 m se estima que a la edad de 22 años ésta tendrá una altura de 18.04 m prácticamente ésta crece anualmente aproximadamente 0.70 m, sin embargo, tomando como referencia la altura de 7.92 m se estima que a la edad de 22 años esta tendrá una altura de 11.34 m, este ritmo de crecimiento se encuentra en un rango de 0.35 -0.50 m por año.

Cuadro 6. Proyección de alturas para *Pinus pseudostrobus* Lindl a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 14 años.

Datos actuales		Alturas máximos y mínimos proyectados a diferentes edades							
Edad (años)	Altura (m)	15 años	16 años	17 años	18 años	19 años	20 años	21 años	22 años
14	7.92	8.36	8.80	9.24	9.67	10.09	10.51	10.93	11.34
14	8.63	9.11	9.59	10.07	10.53	11.00	11.45	11.91	12.35
14	9.75	10.29	10.84	11.37	11.90	12.42	12.94	13.45	13.96
14	10.33	10.91	11.48	12.05	12.61	13.16	13.71	14.25	14.79
14	11.00	11.62	12.23	12.83	13.43	14.02	14.60	15.18	15.75
14	12.60	13.31	14.01	14.70	15.38	16.06	16.73	17.39	18.04

Para una planeación y control eficientes de la producción forestal es necesario contar con modelos de crecimiento que puedan predecir el rendimiento actual y futuro de un bosque en un determinado periodo de tiempo. En el cuadro 7 y y el diagrama de distribución (Apéndice 13a) se proyecta el diámetro para *Pinus patula* a partir de la edad de 15 años, para esta edad existe un rango de diámetros que van desde 12.40 cm hasta 26.00 cm, se estima que un árbol de 15 años de edad con un diámetro de 26.00 cm a los 22 años edad éste tendría un diámetro de 31.87 cm, como se puede notar la proyección nos da una idea de los rendimientos que se esperan en una plantación a lo largo de su vida.

Cuadro 7. Proyección de diámetros para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 15 años.

Datos actuales		Diámetros máximos y mínimos proyectados a diferentes edades							
Edad (años)	Diámetro (cm)	16 años	17 años	18 años	19 años	20 años	21 años	22 años	23 años
15	12.40	12.83	13.24	13.62	13.98	14.31	14.62	14.92	15.19
15	16.75	17.34	17.89	18.40	18.88	19.33	19.76	20.15	20.53
15	20.00	20.70	21.36	21.98	22.55	23.09	23.59	24.06	24.51
15	26.00	26.92	27.77	28.57	29.32	30.01	30.67	31.28	31.87

Las proyecciones para la altura de *Pinus patula* se muestra en el Cuadro 8 y el diagrama de distribución (Apéndice 13b) a una edad base de 15 años, de acuerdo a las proyecciones existe un incremento aproximado de 0.50 m por año tomado en cuenta la altura mínima que es de 9.00 m, si un árbol a la edad de 15 años con una altura de 17.00 m se proyecta a la edad de 23 se estima una altura de 24.78 m.

Cuadro 8. Proyección de alturas para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Look a diferentes edades y como ejemplo se tomó la edad de 15 años.

Datos actuales		Alturas máximos y mínimos proyectados a diferentes edades							
Edad (años)	Altura (m)	16 años	17 años	18 años	19 años	20 años	21 años	22 años	23 años
15	9.00	9.52	10.05	10.57	11.08	11.59	12.10	12.61	13.11
15	15.00	15.87	16.75	17.61	18.47	19.33	20.18	21.02	21.86
15	16.75	17.73	18.70	19.67	20.63	21.58	22.53	23.47	24.41
15	17.00	17.99	18.98	19.96	20.94	21.90	22.87	23.82	24.78

Para *Pinus douglasiana* se puede proyectar el diámetro a la edad de siete años con un rango de diámetro de 7.55 a 14.10 cm (Cuadro 9) el diagrama de distribución se aprecia en el Apéndice 14a, se puede observar que el diámetro es de 23.59 cm a la edad de 15 años, si consideramos una edad de siete años y un diámetro de 14.10 cm.

Cuadro 9. Proyección de diámetros para *Pinus douglasiana* Martínez a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 7 años.

Datos actuales		Diámetros máximos y mínimos proyectados a diferentes edades							
Edad (años)	Diámetro (cm)	8 años	9 años	10 años	11 años	12 años	13 años	14 años	15 años
7	7.55	8.26	8.94	9.60	10.24	10.86	11.47	12.06	12.63
7	8.00	8.75	9.48	10.18	10.85	11.51	12.15	12.78	13.38
7	9.10	9.96	10.78	11.58	12.35	13.10	13.82	14.53	15.23
7	11.80	12.91	13.98	15.01	16.01	16.98	17.93	18.85	19.74
7	12.30	13.46	14.57	15.65	16.69	17.70	18.69	19.64	20.58
7	13.60	14.88	16.11	17.30	18.46	19.57	20.66	21.72	22.76
7	14.10	15.43	16.71	17.94	19.13	20.29	21.42	22.52	23.59

Las alturas para *Pinus douglasiana* donde se estima la altura que tendrá la plantación forestal a la edad de 15 años cuando se parte de una edad de siete años y una altura de 7.50 m, ésta alcanzara una altura de 11.59 m donde prácticamente incrementa 0.50 m por año (Cuadro 10) y el Apéndice 14b.

Cuadro 10. Proyección de alturas para *Pinus douglasiana* Martínez a diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 7 años.

Datos actuales		Alturas máximos y mínimos proyectados a diferentes edades							
Edad (años)	Altura (m)	8 años	9 años	10 años	11 años	12 años	13 años	14 años	15 años
7	4.73	5.10	5.46	5.80	6.12	6.43	6.74	7.03	7.31
7	5.40	5.82	6.23	6.62	6.99	7.35	7.69	8.02	8.35
7	6.00	6.47	6.92	7.35	7.77	8.16	8.55	8.92	9.27
7	6.25	6.74	7.21	7.66	8.09	8.50	8.90	9.29	9.66
7	6.43	6.94	7.42	7.88	8.32	8.75	9.16	9.55	9.94
7	7.02	7.57	8.10	8.61	9.09	9.55	10.00	10.43	10.85
7	7.50	8.09	8.66	9.19	9.71	10.21	10.68	11.15	11.59

4.4 Estimación de altura promedio a partir de datos de diámetro promedio y altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez.

Las ecuaciones que se presentan en los Cuadros 11, 12 y 13 nos permiten a estimar la altura promedio de un rodal cuando se cuenta con el diámetro promedio y esto se puede estimar sólo cuando se cuenta con el diámetro promedio como es el caso de las ecuaciones del 1 al 4, sin embargo cuando se cuenta con una variable más que es la altura dominante del rodal, esta puede tener un mejor estimación de la altura promedio, este efecto se puede ver en los valores que se presenta en la ecuación 5 son mejores de CME,  $R^2$  y  $R^2_{aj}$ .

Cuadro 11. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl.

No	Ecuación	Parámetros de regresión			CME	$R^2$	$R^2_{aj}$
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
1	$H=b_0DAP+b_1DAP^2$	0.8923	-0.0183		2.4189	0.5925	0.5907
2	$H=b_0+b_1\ln(DAP)$	-2.0435	3.9962		2.5577	0.569	0.567
3	$H=b_0(1-e^{-b_1DAP})$	14.6340	0.0660		2.3944	0.5966	0.5948
4	$H=b_0(DAP^{b_1})$	1.4080	0.6934		2.3453	0.6049	0.6031
5	$H=b_0 DAP^{b_1} HD^{b_2}$	1.3017	0.4674	0.2947	1.9848	0.6671	0.6641

Cuadro 12. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock.

No.	Ecuación	Parámetros de regresión			CME	$R^2$	$R^2_{aj}$
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
1	$H=b_0DAP+b_1DAP^2$	0.8594	-0.0161		3.8001	0.5806	0.5783
2	$H=b_0+b_1\ln(DAP)$	-3.0382	4.4439		3.9981	0.5588	0.5563
3	$H=b_0(1-e^{-b_1DAP})$	15.1320	0.0617		3.8034	0.5803	0.5779
4	$H=b_0(DAP^{b_1})$	1.4537	0.6719		3.8352	0.5768	0.5744
5	$H=b_0 DAP^{b_1} HD^{b_2}$	1.1164	0.5817	0.2413	3.3940	0.6276	0.6233

Donde:  $H$ = altura promedio (m),  $DAP$ = Diámetro promedio (cm),  $HD$ = Altura dominante (m),  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ = Parámetros de regresión,  $\ln$ = logaritmo natural, CME= Cuadrado medio del error,  $R^2$ =Coeficiente de determinación,  $R^2_{aj}$  = Coeficiente de determinación ajustado.

Cuadro 13. Modelos para estimar la altura media en base a los diámetros promedios y la altura dominante para *Pinus douglasiana* Martínez.

No.	Ecuación	Parámetros de regresión			CME	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>aj</sub>
		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>			
1	$H=b_0DAP+b_1DAP^2$	0.7988	-0.0239		0.3176	0.6657	0.6631
2	$H=b_0+b_1\ln(DAP)$	-1.0832	2.8656		0.3146	0.6689	0.6664
3	$H=b_0(1-e^{-b_1DAP})$	8.6258	0.1033		0.3092	0.6745	0.6720
4	$H=b_0(DAP^{b_1})$	1.3277	0.6188		0.3000	0.6841	0.6818
5	$H=b_0DAP^{b_1}HD^{b_2}$	1.3012	0.5973	0.0389	0.3009	0.6856	0.6808

Donde: H= altura promedio (m), DAP= Diámetro promedio (cm), HD= Altura dominante (m), b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>= Parámetros de regresión, ln= logaritmo natural, CME= Cuadrado medio del error, R<sup>2</sup>=Coeficiente de determinación, R<sup>2</sup><sub>aj</sub> = Coeficiente de determinación ajustado.

#### 4.5 Calidad de sitio

El modelo Chapman-Richards presentó el mejor ajuste para predecir y explicar el crecimiento en altura de las tres especies (*Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana*) (Cuadro 14), obteniendo el mayor valor de coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), así como los valores mínimos en la suma de cuadrados del error (SCE) y en el cuadrado medio del error (CME) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Resumen del análisis de regresión efectuado con datos de altura–edad en *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez

Modelo	R <sup>2</sup>	SCE	CME	Parámetros	Valores estimados
Schumacher modificado	0.6496	1520.1	2.8628	b <sub>0</sub>	16.9185
				b <sub>1</sub>	6.5986
Chapman-Richards	0.7012	1296.4	2.4415	b <sub>0</sub>	218368
				b <sub>1</sub>	9.75E-7
				b <sub>2</sub>	0.8802

La curva de crecimiento en altura es de forma lineal, presenta un rápido crecimiento (Figura 11), a la edad que las plantaciones tienen una edad de 14 años tienen una altura de 12 m y no se puede apreciar una inflexión a esta edad.

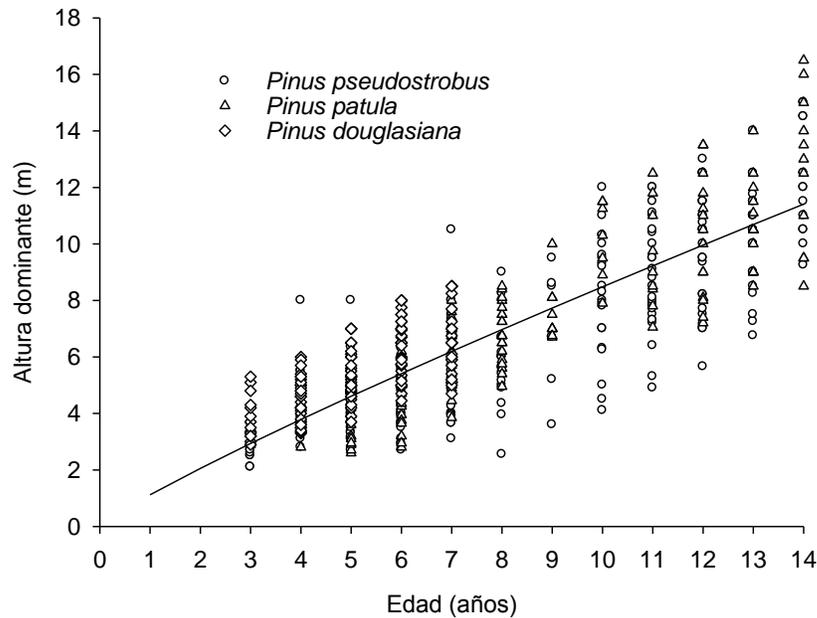


Figura 11. Datos de altura dominante para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Para la determinación de índice de sitio se reconocen dos variantes según sea la naturaleza de las familias de curvas de altura/edad las cuales pueden ser curvas anamórficas y curvas polimórficas, éstas curvas consisten en la construcción de un sistema de curvas de crecimiento en altura que representan dicho comportamiento para diferentes calidades de estación (Zepeda y Rivero, 1984).

Las curvas anamórficas se caracterizan por presentar la misma forma, ya que son proporcionales a la pendiente de la altura de las curvas a cualquier edad guarda una relación constante entre ellas y tienen un punto de inflexión a la misma edad, además que estas pueden ser construidas por métodos gráficos o analíticos. Es decir, las curvas de índice de sitio son anamórficas si hay una tasa relativa de crecimiento constante para todos los índices de sitio a una edad específica y el punto de inflexión es en la misma edad. Las curvas polimórficas son familias de curvas con pendiente variable que generalmente no guardan una relación y no son proporcionales por no depender unas de otras; por esto sus puntos de inflexión ocurren a edades diferentes (Zepeda y Rivero, 1984; García *et al.*, 1998).

Para el siguiente trabajo se utilizaron curvas anamórficas ya que son las más utilizadas cuando existe un crecimiento homogéneo (Figura 11). Con el ajuste del modelo de Chapman–Richards se realizó la curva guía y en base a ésta se construyeron sistemas de curvas de índice de sitio.

Para la determinación de la edad base existen dos formas las cuales se deben fijar: cerca de la culminación del incremento medio anual en altura y cerca de la edad del turno fijado, sin embargo en este estudio se tomó la edad base de 14 años ya que es la edad máxima observada, a esta edad no se aprecia la culminación del incremento medio anual en altura (Zepeda y Rivero, 1984).

Considerando la edad base anterior, se determinó el grupo de curvas anamórficas que representan la calidad de sitio; los sitios más aptos para *Pinus* son aquellos cuyo IS es mayor de 14.40 m con una edad base de 14 años; los sitios medios serían aquellos son los IS que se encuentran dentro del rango de 8.40 m a 14.40 m y los sitios regulares los que tienen un IS menor de 8.40 m pero mayor de 5.40 m y los sitios muy pobres son aquellos que se encuentran por debajo de IS de 5.40 m. La amplitud entre los índices de sitio fue de 3 m, ya que clases con amplitudes menores resultarían problemáticas al tratar de estimar la calidad de sitio de un lugar, principalmente cuando el arbolado es joven como las del presente estudio (Zepeda y Rivero, 1984).

Como se puede apreciar en la Figura 12, el modelo de Chapman–Richards tiende a subestimar el crecimiento en sitios de menor calidad (IS = 5.40 m) para edades tempranas y lo sobreestima en sitios de mejor calidad tanto para edades tempranas como posteriores (IS = 17.40 m), sin embargo, estas curvas muestran que las especies estudiadas aún están en constante crecimiento.

La curva correspondiente al índice de sitio de 17.40 m alcanza una altura máxima de 16.53 m a una edad base de referencia de 14 años, mientras que las otras curvas presentan menores como es el índice de sitio de 8.40 m con una altura de 8.54 m dicha curva con intervalos de tres metros (Figura 12).

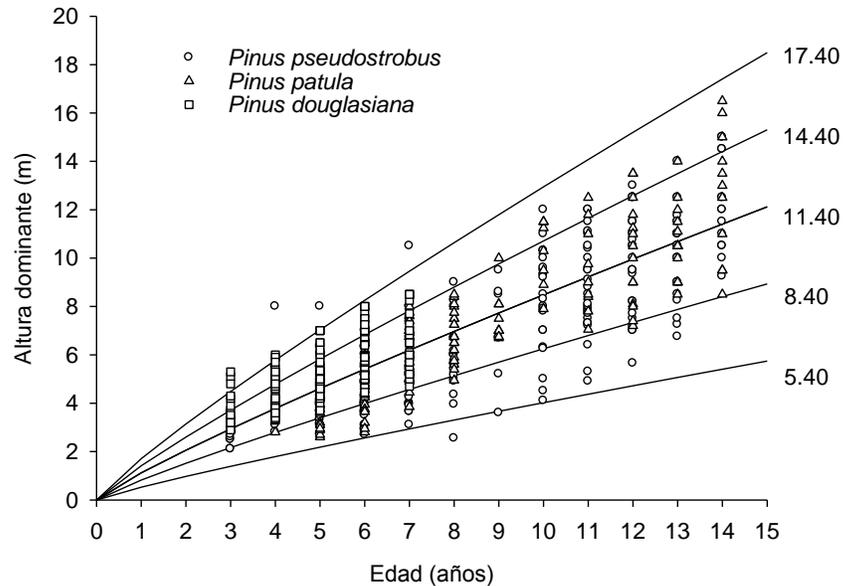


Figura 12. Curvas anamórficas de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez (edad base= 14 años) en plantaciones realizadas en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Mares (2003) determinó el índice de sitio para *Pinus herrerae* Martínez en Michoacán y el modelo que utilizó fue el de Chapman-Richards, para la determinación de la edad base la obtuvo donde el ICA y el IMA se interceptaron que fue a la edad de 32 años, para la generación de las curvas de índice de sitio utilizó el método de la curva guía y la equidistancia entre las curvas de índices de sitio se determinó con base en los límites de confianza al 95% de los valores individuales, respecto a la curva guía y en función a la edad base utilizaron cinco clases de calidad de estación, cuya amplitud fue de 3 m.

Otro de los estudios realizados en Michoacán fue el de Pereyra (2003) donde determinó el índice de sitio para *Pinus motezumae* Lamb. El modelo que utilizó fue el de Schumacher, la edad base a utilizar fue aquella edad donde la curva del ICA se interceptó con la curva del IMA lo cual fue a la edad de 32 años y para la generación de las curvas de índice de sitio se utilizó el método de la curva guía para determinar la equidistancia entre las curvas de índices sitio lo determinó con base los límites de confianza al 95% de los valores individuales utilizando cinco índices de sitio con una equidistancia de 3.5 m entre curvas.

El presente trabajo comparado con Mares (2003), utiliza el mismo modelo las distancias y el número de calidad de sitios. Con respecto a la edad base son diferentes ya que en este estudio se determinó en base a la máxima edad observa, mientras que Mares (2003) determinó la edad base con respecto a la intersección del ICA y el IMA como lo menciona Zepeda y Rivero (1984).

El estudio de Pereyra (2003), y el presente estudio coinciden con el número de índice de sitio, sin embargo el modelo, la edad base y la amplitud de las curvas utilizadas es diferente, esto se debe principalmente a que existe una diferencia de edades en las especies, y por ejemplo como es la edad base los trabajos de los autores mencionados anteriormente han estimado el IS para árboles adultos Zepeda y Rivero (1984).

Por otra parte Monroy (1996) determinó el índice de sitio para *P. patula* Schl et Cham., en la región de Huayacocótlá, Veracruz, donde mejor modelo fue el de Schumacher para lo cual empleó el método de la curva guía, utilizó seis calidades de sitio con una equidistancia de 4 m y con una edad base de 40 años, para elegir la edad base no menciona cual fue el criterio para determinarla, comparado con el presente trabajo en el caso del número de calidades de sitio es menor debido a que la distribución del diagrama de dispersión fue más compacto.

Otro estudio fue realizado en Veracruz y Puebla por Acosta y Arteaga (2005), determinan el índice de sitio para *Pinus chiapensis* Martínez, para esto utilizaron las curvas polimórficas y el mejor modelo ajustado fue el de Chapman- Richards, y dado que la amplitud de dispersión fue muy estrecha se fijaron tres calidades de sitio con una edad base de 25 años, sin embargo los autores no mencionan en que se basaron para definir la edad base ni la equidistancia que existe entre curvas, comparado con este trabajo concuerda con el modelo utilizado, respecto a lo demás es diferente, cabe destacar que para estimar el índice de sitio los modelos más utilizados por (García et al., 1998; Mares, 2003; Pereyra, 2003; Acosta y Arteaga, 2005) son el de Schumacher y el de Chapman- Richards.

## 5 CONCLUSIONES

El modelo de Schumacher fue el que presentó mejor ajuste para el crecimiento en diámetro y altura para todas las especies.

El crecimiento en diámetro y altura se presentó de forma lineal excepto para *Pinus patula* que fue sigmoïdal, como consecuencia las curvas de incremento ICA e IMA tuvieron forma de “J” invertida y de forma de campana para *P. patula*.

La especie que tuvo mayor crecimiento en diámetro a la edad de ocho años fue *Pinus patula* con un diámetro de 11.46 cm y una altura de 6.99 m, *Pinus douglasiana* con 11.15 cm y 6.64 m y finalmente *Pinus pseudostrobus* con 8.52 cm y 5.67 m.

La especie que tuvo mayor incremento ICA e IMA en diámetro y en altura a la edad de ocho años fue *Pinus patula* con un ICA de 1.30 cm y un IMA de 1.43 cm, seguido de *Pinus douglasiana* con un ICA de 0.96 cm y un IMA de 1.39 cm finalmente *Pinus pseudostrobus* con un ICA de 0.90 cm y un IMA de 1.06 cm.

La especie que tuvo mayor incremento en altura a la edad de ocho años fue *Pinus patula* con un ICA de 0.77 m y un IMA de 0.87 m, seguido de *Pinus pseudostrobus* con ICA de 0.56 m y un IMA de 0.70 m, y *Pinus douglasiana* con ICA de 0.48 m y un IMA de 0.83 m,

La proyección de diámetro y altura para las diferentes edades de *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* y *Pinus douglasiana* tuvieron un comportamiento similar, con un ritmo de crecimiento en diámetro de 1 a 1.30 cm por año y un crecimiento en altura de 0.50 a 1 m por año.

El modelo de Chapman-Richards fue el más apropiado para describir el crecimiento en altura dominante para *Pinus pseudostrobus*, *P. patula* y *P. douglasiana*.

Para la relación altura dominante - edad se definió una edad base de 14 años y cinco curvas anamórficas de índice de sitio con una amplitud de tres metros entre curvas.

## 6 RECOMENDACIONES

Continuar con evaluaciones que permitan conocer el crecimiento en área basal y volumen para complementar la información sobre la productividad de las plantaciones.

Realizar el estudio de suelos y relacionarlo con el comportamiento del crecimiento de las plantaciones.

## 7 LITERATURA CITADA

- Acosta R., M. y B., Arteaga M. 2005. Índice de sitio para *Pinus chiapensis* Martínez Andresen, en los estados de Veracruz y Puebla, México. Revista Chapingo. Serie Ciencia Forestal y del Ambiente. 11 (001): 39-44.
- Arteaga M., B. 2000. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de Pinos en Ayotoxtla, Guerrero. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6 (2): 151-157.
- Arteaga M., B. y M. A. Musalem S. 2004. Plantaciones forestales. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 548 p.
- Arteaga M., B., M.A., Musalem S. y J. Jasso M. 1994. Plantaciones: producir para conservar, plantaciones forestales. IV Reunión Nacional 19, 20 y 21 de julio. México, D.F. 66 p.
- Bautista M., J. L. 2001. Crecimiento e incremento en altura, diámetro, área basal y volumen de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. En la sierra las alazanas, Arteaga, Coah. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 57p.
- Benavidez U., G., J. de D. Benavidez S., A. Rueda S. y M. Silva L. 2005. Evaluación del crecimiento de seis especies tropicales de rápido crecimiento en la Huerta Jalisco. En: VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales 26–28 de Octubre de 2005. Chihuahua, México. 2 p.
- Bravo M., A. 2007. Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de cedro y caoba en Oaxaca, México. Tesis Profesional. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. 86 p.
- Calvillo G., J. C. 2003. Estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 68 p.
- Castellanos B., J. F. 1988. Evaluación dasométrica de cuatro plantaciones forestales en los altos de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 75 p.
- Clutter, J. L., J. C. Forston, L. V. Pineanar, G. H. Brister and R. L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. 333 p.
- CONAFOR. 2008. Plantaciones comerciales en México. Unidad de comunicación social B88-2008. CONAFOR. Zapopan, Estado de Jalisco. México. 2 p.
- Corona M., J. M., J. de D. Benavidez S., A. Rueda S. y A. Gallegos R. 2005. Comparación del crecimiento de cuatro especies forestales tropicales en una

- plantación experimental en Santiago Ixcuintla, Nayarit. En: Memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, 26-28 de Octubre de 2005. Chihuahua, México. p. 11.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables. Orientación gráfica. Ed. S.R.L. Buenos Aires. 258 p.
- Díaz F., V. H. y B. G., Díaz H. 2007. *Paulownia elongata*: una alternativa para el establecimiento de plantaciones forestales en las áreas tropicales y subtropicales del estado de Oaxaca. Boletín No. 31, 30 de septiembre 2007. Fundación produce Oaxaca. A.C. Oaxaca, Oax. Pp. 3-4. [En línea]. 5 de septiembre 2009. Disponible en: [www.oeidrusoaxaca.gob.mx/produccion/contenido.pdf](http://www.oeidrusoaxaca.gob.mx/produccion/contenido.pdf).
- Flores E., G. 1990. Evaluación dasométrica de una plantación forestal en la región Cofre de Perote, Veracruz. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 54 p.
- Flores M., G., J. Jiménez L., X. Madrigal S., F. Moncayo R. y F. Takaki T. 1971. Mapa de vegetación de la República Mexicana. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Esc. 1: 2000 000. México.
- Galán L, R. 2007. Crecimiento y rendimiento maderable de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.
- García de M., E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Tercera edición. Instituto de geografía. UNAM. México. 213 p.
- García C., X., H. Ramírez M., C. Rodríguez F., J. Jasso M. y C.A., Ortiz S. 1998. Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. Ciencia forestal. 23 (84): 9-18.
- García M., J. J. 1989. Efecto de espaciamiento en el desarrollo de una plantación de cuatro especies de pino en Capacuaro, Michoacán. Ciencia Forestal. 14 (65): 19-51.
- García M., J. J. y R., Toledo B. 1989. Ensayo de tres intensidades de poda de una plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus michoacana* Martínez. Ciencia Forestal. 14(65): 52-76.
- García P., V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 130 p.
- Hernández L., I. 2003. Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 69 p.

- INEGI. 1988. Mapas de suelos dominantes FAO/UNESCO/ISRIC. Esc. 1: 1000 000. México.
- Klepac, D.1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales 2ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Chapingo, México. 365 p.
- Mares A., O. 2003. Índice de sitio para *Pinus herrerae* martínez en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 98 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. ed. Ediciones Botas. Impreso en México. 356 p.
- Merino-Pérez, L. 2004. Conservación o deterioro. El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en las prácticas de uso de los recursos forestales. 1ª. ed. INE-SEMARNAT, México. 339 p. [En línea]. 5 de septiembre 2009. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/publicaciones/download/>.
- Monárrez G., J. C. y H. Ramírez M. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus durangensis* Martínez. En el estado de Durango. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 9(1): 45-56.
- Monreal R., S. B. 2005. Las plantaciones forestales comerciales, una alternativa real para el campo mexicano. En: memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, 26 – 28 de octubre. Chihuahua, Chihuahua, México. p. 10.
- Monroy R., C. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schl et Cham en la región de Huayacocotla, estado de Veracruz. Ciencia Forestal. 21(80): 57-78.
- Montero M., M., H. De los Santos P. y M. Kanninen. *Hyeronima alchorneoides*. 2007. Ecología y silvicultura en Costa Rica. Serie técnica. Informe técnico / CATIE; No. 354 Turrialba, C.R. 50 p.
- Morales H., J. 2000. Programa de manejo forestal para aprovechamiento forestal maderable en bosque templado-frio, para el predio particular “Río San José”, municipio de San Sebastián Río Hondo, distrito de Miahuatlán, Oaxaca. p 34.
- Morales H., J. 2008. Estudio regional forestal. UMAFOR No. 20-08 “Amanecer del Pacífico” S.C. de R.L. (“silvicultores del Río Copalita”, A.C.) Miahuatlán-Pochutla, Oaxaca. 185 p.
- Patiño V., F. 1995. El espaciamiento en plantaciones. Ciencia forestal. 20 (77): 67-100.
- Pereyra G., J.A., 2003. Estudio epidométrico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb en la región de Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 145 p.

- Perry J. P., Jr. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231p.
- Quintero C., H. 2005. Crecimiento de dos especies tropicales maderables en plantaciones en san José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis Profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- Ramírez, A. H. 1981. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Ciencia Forestal*. 16 (70): 87– 08.
- Ramos B., G. y J. O. Romero G. 1993. Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus spp.* En Perote, Ver. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 117 p.
- Rodríguez F., A. 1992. Evaluación dasométrica de plantaciones forestales del ejido de San Diego Suchitepec, Municipio de Villa Victoria, Estado de México. Tesis profesional. Chapingo, México. 55 p.
- Rodríguez F., C. 1997. La silvicultura de *Pinus montezumae* Lamb. En la región Central de México. *Ciencia Forestal*. 22 (81):91-115.
- Rojo M., G. E., J. Jasso M., X. Zazueta A., C. R., Porras A., A. Velázquez M. 2005. Modelos de índice de sitio para *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. Del clon ian-710 en el norte de Chiapas. *Ra Ximhai*. 1(1):153-166.
- Ruiz M., M., F. González A. M. 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.
- Salazar G., J. G., J. J., Vargas H., J. Jasso M., J. D., Molina G., C. Ramírez H., J., López U. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Maderas y bosques*. 5(2): 19-34.
- Sandoval G., C. 2006. Evaluación de sobrevivencia, estado fitosanitario y crecimiento de plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 33 p.
- Sosa A., M. A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. y Cham. en rodales localizados al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75 p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial limusa y Grupo Noriega editores. México D.F. 472 p.
- Valdez-Lazalde and T.B., Lynch. 2000. Merchantable and total volume equations for thinned natural stands of *patula* pine in Puebla, México. *Agrociencia* 6 (34): 747-758.

- Villa S., A. B. 1995. Reforestación comercial. En: Memoria de simposio sobre reforestación comercial. Villa S., A. B. Chihuahua, Chih., del 26 al 29 de agosto de 1992. Coyoacán, México. 395 p.
- Zepeda B., E. M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índices de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal*. 9 (51):3-38.
- Zobel B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México. 545 p.

## APÉNDICE

Apéndice 1. Parámetros estimados para el diámetro y altura promedio de *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	216.8000	216.4000	0.0038	225	4.8005	0.6721
D	Chapman-Richards	33.1841	0.3856	0.1000	225	4.8402	0.6694
D	Weibull	530569	2.906E-6	0.8344	225	4.7997	0.6722
H	Schumacher modificado	216.5000	216.4000	0.0037	225	1.5318	0.7410
H	Chapman-Richards	19.3521	0.4812	0.1000	225	1.5628	0.7358
H	Weibull	402050	2.906E-6	0.7968	225	1.5313	0.7411

Apéndice 2. Parámetros estimados para el diámetro y altura general de *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	29.0726	28.8335	0.0346	453	9.3262	0.5994
D	Chapman-Richards	72.2605	0.1742	0.1000	453	9.3046	0.5994
D	Weibull	469020	2.906E-6	0.9264	453	9.3059	0.5994
H	Schumacher modificado	17.6143	17.6158	0.0543	453	2.0184	0.7402
H	Chapman-Richards	26.5030	0.3564	0.1000	453	2.0150	0.7401
H	Weibull	380528	2.906E-6	0.8535	453	2.0143	0.7402

Apéndice 3. Parámetros estimados para el diámetro y altura dominante de *Pinus pseudostrobus* Lindl en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	267.1000	266.9000	0.0039	225	6.4762	0.7751
D	Chapman-Richards	1949500	6.791E-6	0.1000	225	6.4801	0.7740
D	Weibull	404659	2.906E-6	1.0503	225	6.4753	0.7752
H	Schumacher modificado	266.8000	266.9000	0.0036	225	2.0146	0.7963
H	Chapman-Richards	136.4000	0.0636	0.1000	225	2.0171	0.79612
H	Weibull	313265	2.906E-6	0.9646	225	2.0142	0.79639

<sup>1</sup>D= diámetro promedio (m); H=Altura promedio (m);  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = parámetros de regresión; n= número total de observaciones usadas; CME= cuadrado medio del error; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación

Apéndice 4. Parámetros estimados para el diámetro y altura para promedios de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	3.6527	5.3352	0.7120	178	8.8135	0.6659
D	Chapman-Richards	44.1422	0.3584	0.1000	178	8.9008	0.6607
D	Weibull	618038	2.906E-6	0.8651	178	8.9706	0.6580
H	Schumacher modificado	257.5000	257.4000	0.0034	178	1.6347	0.8195
H	Chapman-Richards	35.2456	0.2817	0.1000	178	1.6334	0.8197
H	Weibull	386314	2.906E-6	0.8835	178	1.6349	0.8195

Apéndice 5. Parámetros estimados para el diámetro y altura general de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	4.5935	6.2375	0.4951	255	14.2377	0.6003
D	Chapman-Richards	2128072	6.152E-6	0.1000	255	14.3013	0.5953
D	Weibull	397569	2.906E-6	1.0532	255	14.3141	0.5966
H	Schumacher modificado	275.6000	276.1000	0.0041	255	3.3734	0.7327
H	Chapman-Richards	1389441	6.152E-6	0.1000	255	3.4460	0.7259
H	Weibull	275134	2.335E-6	1.1214	255	3.3720	0.7329

Apéndice 6. Parámetros estimados para el diámetro y altura dominante de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	257.7000	257.4000	0.0040	181	15.4182	0.6120
D	Chapman-Richards	2308007	6.152E-6	0.1000	181	15.3465	0.6117
D	Weibull	463877	2.906E-6	1.0221	181	15.4231	0.6119
H	Schumacher modificado	264.5000	264.9000	0.0041	181	3.5423	0.7334
H	Chapman-Richards	1440060	6.152E-6	0.1000	181	3.5832	0.7288
H	Weibull	302899	2.335E-6	1.0959	181	3.5412	0.73357

<sup>1</sup>D= diámetro promedio (m); H=Altura promedio (m);  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = parámetros de regresión; n= número total de observaciones usadas; CME= cuadrado medio del error; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación

Apéndice 7. Parámetros estimados para el diámetro y altura promedios de *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	196.2000	195.2000	0.0034	136	2.7232	0.4347
D	Chapman-Richards	1601678	0.000010	0.1000	136	3.1014	0.3513
D	Weibull	9521584	2.906E-7	0.6779	136	2.7235	0.4347
H	Schumacher modificado	197.3000	196.6000	0.0029	136	0.4303	0.5470
H	Chapman-Richards	7.5374	2.11550	0.1000	136	0.4260	0.5516
H	Weibull	666460	2.906E-6	0.5724	136	0.4303	0.5470

Apéndice 8. Parámetros estimados para el diámetro y altura general de *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

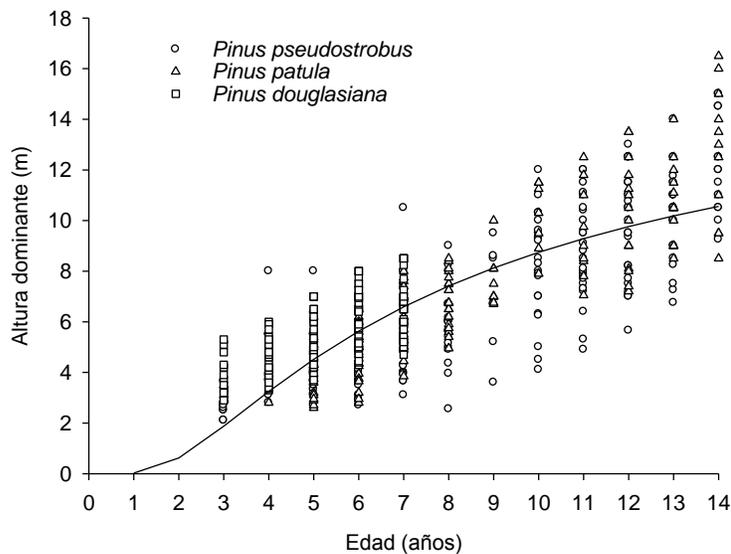
Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	196.2000	195.2000	0.0036	234	5.9087	0.2778
D	Chapman-Richards	1613556	0.000010	0.1000	234	6.2218	0.2363
D	Weibull	9304084	2.906E-7	0.6998	234	5.9088	0.2778
H	Schumacher modificado	197.2000	196.6000	0.0030	234	1.1172	0.3447
H	Chapman- Richards	7.9417	1.9574	0.1000	234	1.1091	0.3495
H	Weibull	642145	2.906E-6	0.6001	234	1.1173	0.3447

Apéndice 9. Parámetros estimados para el diámetro y altura dominantes de *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca<sup>1</sup>.

Variable	Modelo	Parámetros			n	CME	R <sup>2</sup>
		$b_0$	$b_1$	$b_2$			
D	Schumacher modificado	196.1000	195.2000	0.0042	136	4.7347	0.4470
D	Chapman-Richards	1806009	0.000010	0.1000	136	4.8417	0.4303
D	Weibull	8383501	2.906E-7	0.8264	136	4.7348	0.4470
H	Schumacher modificado	197.2000	196.6000	0.0035	136	0.9342	0.4916
H	Chapman-Richards	10.7533	1.3951	0.1000	136	0.9309	0.4937
H	Weibull	607612	2.906E-6	0.6894	136	0.9342	0.4916

<sup>1</sup>D= diámetro promedio (m); H=Altura promedio (m);  $b_0$ ,  $b_1$  y  $b_2$ = parámetros de regresión; n= número total de observaciones usadas; CME= cuadrado medio del error; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación

Apéndice 10. Grafica de valores de altura dominante con edad, mostrando la curva de ajuste para *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

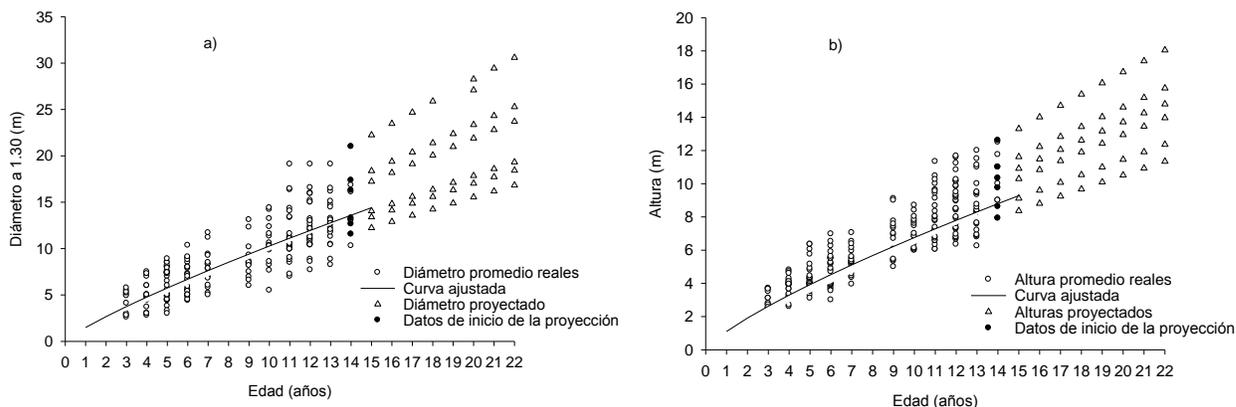


Apéndice 11. Edad y altura dominante para cinco índices de sitio en plantaciones *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock y *Pinus douglasiana* Martínez en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

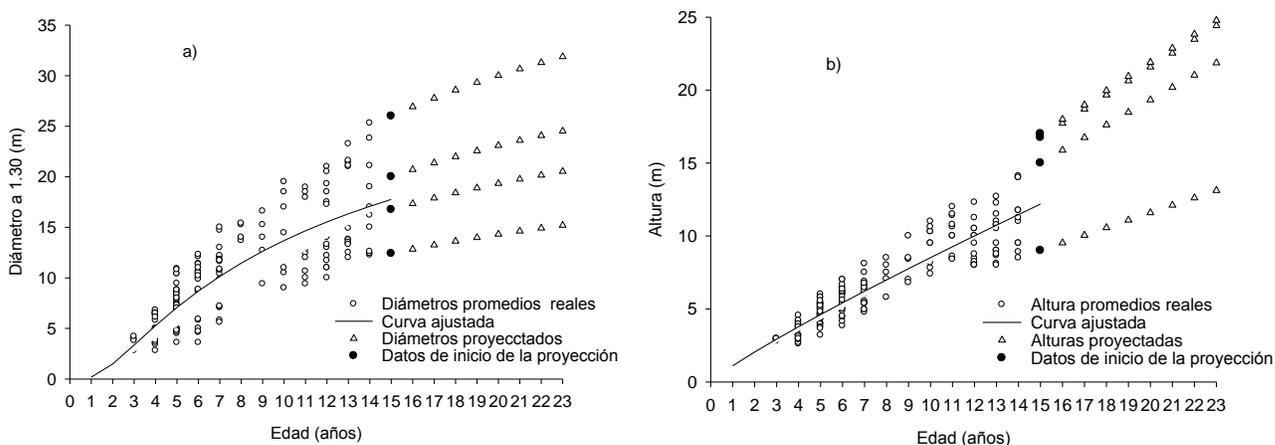
Edad	Índice de sitio (Coeficiente de Proporción)				
	17 (1.5260)	14 (1.2630)	11 <sup>1</sup> (1)	8 (0.7369)	5 (0.4739)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	1.7057	1.4117	1.1177	0.8237	0.5297
2	3.1394	2.5983	2.0572	1.5161	0.9750
3	4.4858	3.7126	2.9395	2.1663	1.3932
4	5.7784	4.7824	3.7865	2.7905	1.7946
5	7.0325	5.8204	4.6083	3.3962	2.1841
6	8.2566	6.8336	5.4105	3.9874	2.5643
7	9.4566	7.8267	6.1968	4.5669	2.9370
8	10.6359	8.8027	6.9696	5.1364	3.3032
9	11.7978	9.7644	7.7310	5.6975	3.6641
10	12.9442	10.7132	8.4822	6.2511	4.0201
11	14.0770	11.6507	9.2245	6.7982	4.3720
12	15.1974	12.5780	9.9587	7.3393	4.7199
13	16.3068	13.4963	10.6857	7.8750	5.0645
14	17.4059	14.4059	11.4059	8.4058	5.4058
15	18.4956	15.3078	12.1200	8.9321	5.7443

<sup>1</sup>Curva guía

Apéndice 12. La proyección de diámetros (a) y alturas (b) a futuro para *Pinus pseudostrobus* Lindl para diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 14 años.



Apéndice 13. La proyección de diámetros (a) y alturas (b) a futuro para *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock para diferentes edades y como ejemplo se tomó la edad de 15 años.



Apéndice 14. La proyección de diámetros (a) y alturas (b) a futuro para *Pinus douglasiana* Martínez para diferentes edades tomando como ejemplo la edad de 7 años.

