

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento en Plantaciones de Tres Especies de Pinos 20 años de Establecidas
en Miahuatlán, Oaxaca

Por:

CLAUDIA ELIZABETH LOPEZ MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento en Plantaciones de Tres Especies de Pinos a 20 años de
Establecidas en Miahuatlán, Oaxaca

Por:

CLAUDIA ELIZABETH LOPEZ MORENO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal

Dr. Jorge Méndez González

Coasesor

Ing. Juan Morales Hernández

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2015

El presente trabajo se llevó a cabo bajo el apoyo del Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 38-111-3613-2192 a cargo del Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mi madre **Reyna Moreno Calvo** por darme la vida, por el gran esfuerzo que realizó al sacarme adelante, por enseñarme a salir de los problemas de la mejor manera, gracias por ser mi apoyo incondicional y hacerme sentir que nunca estoy sola además gracias por los valores enseñados a lo largo de la vida y sobre todo por los sacrificios que has hecho en tu vida para mí, eres lo mejor en mi vida, por todo esto, te dedico este logro tratando de recompensar lo mucho que me has dado te amo mamita.

A mi hermano **Marco Antonio López Moreno** por todas las vivencias que tuvimos juntos, por el apoyo que siempre he encontrado en ti y porque eres tu parte de este logro, que sin tu apoyo estoy segura hubiese sido más difícil, te quiero mucho.

A mi familia tan única y tan grande, a ustedes que me ha regalado tantos momentos, alegrías y por hacerme sentir que mi lugar en esa gran familia siempre está esperándome. A mis sobrinos adoptivos que me han regalado su cariño, inocencia y por aguantar mis locuras y ser parte de ellas.

A mi novio Javier Ton Méndez quien me ha apoyado y se ha vuelto alguien especial en mi vida.

A mis amigos Moisés Pinto García, Levi Norberto Espinosa García, Luli Guadalupe Santiz Aguilar, Marisol Santiz Aguilar, Ana Gabriela Jiménez Maldonado, Yesenia Santiz Hernández, Yesica Asbey Calvo García, Adriana Cardona Martínez, Diana Lizett Corona Mora, Gustavo Mérida Altuzar, Jonathan Uzziel Trujillo Solar que han estado presente en mi vida en momentos felices pero más por que han permanecido en los difíciles gracias.

El espacio es muy corto por ello solo me queda dedicar este trabajo a aquellas personas transcurridas en mi vida que han creído en mí y no dudaron en que lo lograría a ustedes este es un logro de tantos que nos quedan por cumplir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me ha regalado la vida a quien agradezco todo lo que tengo, por ser mi refugio y esperanza en los momentos difíciles.

A mi alma mater Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme la oportunidad de crecer en conocimiento, brindarme el espacio de sus instalaciones.

A mis profesores de la carrera que sin duda influyeron cada uno en mi formación, tanto profesional como personal.

A mis asesores del presente trabajo Dr. Celestino Flores López como asesor principal, Dr. Jorge Méndez González e Ing. Juan Morales Hernández como coasesores, por la función que desempeñaron, la paciencia y tiempo que le dedicaron al mismo.

A mis amigos Cecilia Guadalupe Ruiz González, Juan Carlos Montoya Jiménez, Saúl A. Salmerón Bravo que me apoyaron en la evaluación para recaudar datos, lo cual hizo posible el presente trabajo, y además me han regalado su amistad.

A mis compañeros de la universidad con quienes me compartieron tantas aventuras en cada una de las prácticas y claro aquellas personitas que me regalaron su amistad, locuras y su grata compañía.

A las familias Cortés García, Cortes Pascual, López Pérez, Jacinto Sánchez y a Eladio Cortés García del estado de Oaxaca a quienes pertenece el área de estudio, por haber brindado la hospitalidad durante las evaluaciones y por el apoyo que brindaron en campo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivos específicos.....	3
1.2 Hipótesis.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Importancia y problemática de las plantaciones forestales comerciales.....	5
2.2 Plantaciones forestales en México	7
2.3 Importancia, descripción y usos de las especies de interés	9
2.3.1 <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Loock (Ocote, Pino).....	9
2.3.2 <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl (Pino, Pino Blanco, Ocote)	11
2.3.3 <i>Pinus douglasiana</i> Martínez (Pino, Ocote)	13
2.4 Crecimiento en árboles y masas forestales	14
2.5 Metodologías utilizadas para medir crecimiento e incremento en masas forestales y modelos de crecimiento.....	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Localización del área de estudio.....	17
3.1.1 Localización geográfica.....	17
3.2 Aspectos ecológicos	21
3.2.1 Fisiografía	21
3.2.2 Hidrología.....	21
3.2.3 Clima	21
3.2.4 Suelos	21
3.2.5 Vegetación	22
3.2.6 Fauna silvestre.....	22
3.3 Manejo silvícola de las plantaciones evaluadas	22

3.4 Muestreo y selección del arbolado	23
3.4.1 Cálculo de volumen de los árboles analizados	25
3.4.2 Cálculo de la variable área basal	25
3.4.3 Análisis de datos	26
3.4.4 Ecuaciones utilizadas.....	26
3.4.5 Comparación y selección de modelo.....	27
3.4.6Crecimiento e incremento	27
3.4.7 Determinación de turno absoluto.....	27
3.4.8 Análisis de varianza	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Ecuaciones ajustadas para crecimiento en diámetro normal, para las tres especies de pinos	29
4.2 Modelos ajustadas para crecimiento en altura, para las tres especies de pinos	31
4.3 Modelos ajustadas para crecimiento en área basal, para las tres especies de pinos	31
4.3 Modelos ajustadas para crecimiento en volumen, para las tres especies de pinos	33
4.4 Crecimiento e incremento y determinación del turno absoluto	35
4.4.1 Diámetro normal.....	35
4.4.2 Altura.....	37
4.4.3 Área basal	40
4.4.4 Volumen	42
4.5 Comparación de curvas de crecimiento en tres especies de pinos	45
4.5.1 Diámetro normal.....	45
4.5.2 Altura.....	48
4.5.3 Área basal	48
4.5.4 Volumen	50
5 CONCLUSIÓN	52
6 RECOMENDACIONES	53
7 LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1	Localización geográfica, años de plantación, superficie plantada hectárea por año y superficie total de cada predio plantado, en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca..... 17
Cuadro 2	Municipio, predio, año de la plantación, edad de las plantación y superficie total de los pequeños propietarios de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl, <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> Look y <i>Pinus douglasiana</i> Martínez..... 24
Cuadro 3	Parámetros y estadísticos de ajuste para el cálculo de volumen en las tres especies de pino, Miahuatlán, Oaxaca..... 25
Cuadro 4	Modelos de crecimiento utilizados para la simulación del crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen..... 26
Cuadro 5	Ecuaciones utilizadas para determinar crecimiento e incremento de variables altura, diámetro, área basal y volumen..... 27
Cuadro 6	Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en diámetro para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca..... 30
Cuadro 7	Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en altura para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca..... 32

Cuadro 8	Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en área basal para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	34
Cuadro 9	Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en volumen para cinco especies de pinos Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	36
Cuadro 10	Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en diámetro normal de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.....	47
Cuadro 11	Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en altura de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.....	48
Cuadro 12	Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en área basal de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca...	49
Cuadro 13	Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en volumen de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Ubicación predial de las plantaciones “Las tunas y Rio Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	18
Figura 2 Ubicación predial de las plantaciones “Las tunas y Rio Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	19
Figura 3 Ubicación predial de las plantaciones “Rio San José”, Municipio San Sebastián Rio Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	20
Figura 4 Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 1.30 m, ajustada por el modelo seleccionado: a) <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> , b) <i>Pinus douglasiana</i> y c) <i>Pinus pseudostrobus</i> en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	39
Figura 5 Curvas de crecimiento e incrementos en altura m, ajustada por el modelo seleccionado: a) <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> , b) <i>Pinus douglasiana</i> y c) <i>Pinus pseudostrobus</i> en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	41

Figura 6	Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (m ²), ajustada por el modelo seleccionado: a) <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> , b) <i>Pinus douglasiana</i> y c) <i>Pinus pseudostrobus</i> en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	44
Figura 7	Curvas de crecimiento e incrementos en volumen (m ³), ajustada por el modelo seleccionado: a) <i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i> , b) <i>Pinus douglasiana</i> y c) <i>Pinus pseudostrobus</i> en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	46
Figura 8	Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en diámetro normal para tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	47
Figura 9	Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en altura (m) para tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	49
Figura 10	Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en área basal (m ²) en tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	50
Figura 11	Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en volumen (m ³) en tres especies de pinos en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.....	51

RESUMEN

A partir de la evaluación dasométrica de 85 sitios permanentes en las plantaciones forestales de pequeñas propiedades se evaluó el crecimiento e incremento máximo en diámetro, altura, área basal y volumen para las especies *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus* a 20 años de establecidas en Miahuatlán, Oaxaca.

Se realizó una evaluación en el 2013, además se anexó la base de datos de las evaluaciones realizadas en el periodo 2005-2012, donde se ajustaron 5 ecuaciones para predecir crecimiento e incremento, usando como estadísticos de comparación coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y cuadrado medio del error (CME), además de obtener el turno absoluto de las mismas variables, para cada especie.

La mayoría de las ecuaciones probadas tuvieron buenos ajustes, aunque la se ajustó con mayor frecuencia es la de Schumacher para las diferentes variables, por lo contrario de la ecuación de Bertalanffy tuvo los valores más bajos en los ajustes, por lo cual no fue seleccionado en ningún caso. En base a los resultados las curvas ajustadas de crecimiento son estadísticamente iguales entre las tres especies de pinos. El turno absoluto alcanzado en la evaluación a 20 años de establecidas, lo alcanzó *P. douglasiana* teniendo para las variables diámetro, altura, área basal y volumen los turnos de 9, 12, 14, y 18 años, respectivamente.

Palabras clave: *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana*, *Pinus pseudostrobus*, crecimiento, plantaciones.

ABSTRACT

From the assessment dasometric of 85 permanent plots in forest plantations of smallholdings, maximum growth and increase in diameter, height, basal area and volume of *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. pseudostrobus* and *P. douglasiana* were evaluated 20 years after of established in Miahuatlán, Oaxaca.

An evaluation was conducted in 2013, the database of the assessments made in the period 2005-2012 was annexed, where 5 equations were adjusted to predict growth and increased, using as statistical comparison coefficient of determination (R^2), adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) and mean square error (MSE), plus get the absolute shift of the same variables.

Most of the equations tested had good adjustments, although the adjusted most often was Schumacher's for the different variables, on the other hand Bertalanffy's equation, had the lowest values in the adjustmet, that's way it was not selected in any case. Based on the results adjusted growth curves are statistically equal between the three species of pine. The absolute shift in the assessment to 20 years of establishing the plantations. Was reached by *P. douglasiana* getting for diameter, height, basal area and volume shifts of 9, 12, 14, and 18 years respectively.

Keywords: *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana*, *P. pseudostrobus*, growth, plantations.

1 INTRODUCCIÓN

Los bosques juegan un papel muy importante en el sostenimiento de los estándares de la calidad de vida proporcionando beneficios tangibles e intangibles. El aumento en las demandas de productos forestales, se debe al crecimiento poblacional, el cual difícilmente podrá ser cubierto con producción de los bosques naturales, los cuales debido a la gran presión dan como resultado destrucción y cambio de uso de las áreas forestales, ante esto surge el aprovechamiento sostenido de los recursos forestales, para satisfacer las necesidades (Martínez, 2005; Musálem, 2006).

Por lo anterior Torres y Magaña (2001) consideran a las plantaciones forestales como una herramienta principal del aprovechamiento sostenido las cuales dan solución a los problemas de deforestación y el desabasto de bienes y servicios que generan los bosques, además de tener la función de restaurar la cobertura arbórea.

Las plantaciones forestales comerciales a nivel mundial, alcanzan aproximadamente 187 millones de hectáreas representando el 4.8% de toda la superficie forestal, concentrando diez países. Las especies que más se plantan a nivel mundial son el género *Pinus*, *Eucalyptus*, *Hevea*, *Acacia* y *Tectona* (CONAFOR, s.f.).

México cuenta con un excelente potencial biológico, físico y climático, para el establecimiento de plantaciones de árboles forestales, tanto en especies de coníferas, como de latifoliadas (Musálem, 2006). La superficie cubierta por plantaciones de diversas especies a nivel nacional alcanzan aproximadamente 117, 479 hectáreas, el 85.2 % representa especies maderables (CONAFOR, s.f.).

A principios de los años 90's en la región del estudio, se da iniciativa, de parte de los pequeños propietarios al aprovechamiento de los bosques con la elaboración de los Estudios de Manejo Integral Forestal a nivel Municipal, mediante Programas de Manejo Forestal, que ha hecho que tanto los dueños como la población en general logre tomar la actividad forestal como una actividad primaria (Sandoval, 2006).

Sin embargo la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) en el 2002 llegó a calificar a esta microrregión como "área crítica" al no poder controlar la tala clandestina y el tráfico de madera; que genera la sobre regulación ambiental, por burocracia y los conatos de corrupción de las instituciones involucradas y su personal, sin embargo no todo es como lo califica la PROFEPA, prueba de ello, es con los trabajos de silvicultura y manejo sustentable de los bosques, este grupo de pequeños propietarios forestales, obtuvo en el 2003, la Mención Honorífica del Premio al Mérito Ecológico y ese mismo año en grupo la Mención Honorífica del Premio Nacional al Mérito Forestal (Sandoval, 2006).

Debido a la importancia de las plantaciones forestales es necesaria la investigación técnica, económica, social y legal que implementan la plantación y desarrollo de una masa forestal (Arteaga, 2003).

La evaluación del crecimiento en una plantación tiene como objetivo definir su dinámica de desarrollo así como su probable rendimiento a una edad o fecha determinada. Lo cual hace posible identificar estrategias de manejo para optimizar tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de producción, estimar fechas y actividades de cosecha (Torres y Magaña, 2001).

Existe una gran cantidad de metodologías para la determinación o estimación del incremento en las masas arboladas, los cuales suelen dividirse en métodos directos y métodos indirectos; sin embargo, los más utilizados son los primeros, ya que son mucho más confiables que los indirectos, además de que su utilidad práctica ya ha sido probada y aceptada; estos métodos se pueden clasificaren cuatro grupos: tablas de incremento y producción, método del taladro de Pressler, método de control y análisis troncal (Klepac, 1983).

En la actualidad, los modelos matemáticos son una de las herramientas analíticas más socorridas para generar información del crecimiento y reproducción de masas forestales sujetas a un régimen de cultivo. La variedad de modelos en cuanto a estructura, componentes, construcción y propósitos de utilización, es debida a que el crecimiento y la reproducción son procesos complejos, estos modelos tienen la cualidad de abarcar procesos dinámicos que implican un cambio continuo en el tiempo, ha sido uno de los puntos más relevantes para la adopción generalizada de

los modelos matemáticos como herramienta de investigación biológica (Mendoza, 1983).

Las plantaciones de los pequeños propietarios en Miahuatlán Oaxaca proporcionan gran parte de la demanda de madera, además de recuperación y conservación de los recursos forestales, paralelo al desarrollo social y económico de los dueños y proveedores, sin embargo no se cuenta con información actual de la dinámica del crecimiento en estas plantaciones, la cual permitirá conocer la producción forestal, conocer el comportamiento de la tendencia de las curvas de crecimiento e incremento, por lo cual es de suma importancia generar dicha información, en distintas variables, de las especies de *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Look y *Pinus douglasiana* Martínez, cabe mencionar que estas plantaciones ya se han aplicado tratamientos silvícolas como son podas y aclareos, el resultado del presente trabajo servirá para los administradores forestales con herramientas que representan el componente esencial para la planificación de las plantaciones forestales y respalden sus decisiones silvícolas.

1.1 Objetivo general

Analizar el crecimiento e incremento en diámetro, altura, área basal y volumen, en tres especies de pinos a 20 años de ser establecidas en plantaciones comerciales de Miahuatlán Oaxaca.

1.1.1 Objetivos específicos

- Ajustar ecuaciones de predicción de crecimiento en las variables diámetro, altura, área basal y volumen en *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus*, de plantaciones en Miahuatlán Oaxaca.

- Comparar el crecimiento e incremento máximos en diámetro, altura, área basal y volumen de las especies *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana* y *Pinuspseudostrobus*, de plantaciones en Miahuatlán Oaxaca.
- Determinar en las especie *Pinus patula* var. *longepedunculata*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pseudostrobus*, si ya ha sido alcanzado el turno absoluto en diámetro, altura, área basal y volumen a los 20 años de establecidas.
- Comparar curvas de crecimiento entre las especies para las variables diámetro, altura, área basal y volumen.

1.2 Hipótesis

H0: El crecimiento e incremento en diámetro, altura, área basal y volumen de tres especies de pinos a veinte años de establecidas son diferentes.

H1: El crecimiento e incremento en diámetro, altura, área basal y volumen de tres especies de pinosa veinte años de establecidas no son diferentes.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia y problemática de las plantaciones forestales comerciales

Las plantaciones forestales son de gran importancia por la producción de madera que generan, recuperación de suelo, influyen en la protección de las cuencas hidrográficas esto reduciendo los azolves de obras hidráulicas, lagos, lagunas y tierras corriente abajo, además son participes de la restauración ecológica aumentando las áreas verdes en campo o en ciudades y hace freno a la alarmante desertificación que sufre el planeta (Musálem, 2006; Muñoz *et al.*, 2011).

Es por ello que en 1997 inicia en México el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales (PRODEPLAN), operado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), y fue rediseñado en 2001, su objetivo principal fue apoyar en un tiempo de 25 años el establecimiento de 875, 000 hectáreas de plantaciones forestales comerciales, a fin de reducir las importaciones de productos forestales (SEMARNAT y CONAFOR, 2003).

Además, el establecimiento de plantaciones forestales juega un papel preponderante en la mejora del ambiente, permitiendo restaurar la cobertura arbórea, y detener el avance de la agricultura y la ganadería extensivas al convertirse en una actividad rentable a largo plazo; permite incrementar la producción maderable más allá de lo que actualmente pueden rendir los bosques naturales (CONAFOR, 2007).

Por otra parte el Programa Estratégico Forestal (PEF) 2000-2025 se destaca la importancia de las Plantaciones Forestales Comerciales (PFC) para aumentar la producción maderable para el abastecimiento de la industria forestal, reducir la presión sobre los bosques naturales, fomentar la inversión privada y social en el sector forestal, y convertir áreas degradadas o improductivas en bosques productivos, contribuyendo de paso al mejoramiento del ambiente en general, además a un futuro ofrecen una excelente oportunidad de exportación de los productos procesados, a partir de las materias primas, dándole un valor agregado y así aportar una compensación en la balanza comercial (CONAFOR, s.f.).

Musálem (2006) afirma que las plantaciones forestales en comparación a los bosques naturales tienen la ventaja de tener un rápido crecimiento y con rotaciones

más cortas, brindan la oportunidad de trabajar con especies de mejores características genotípicas y fenotípicas, obteniendo así masas coetáneas, logrando una mayor productividad.

A pesar de la gran importancia que tienen la plantaciones forestales se enfrenta ante grandes problemas para que estas puedan ejercer una o varias funciones que tienen, en México es frenado por grandes problemas técnicos, financieros y de organización, los cuales hacen imposible el uso de las plantaciones para reforestar áreas aprovechadas y perturbadas, al igual limitan forestar terrenos de alto potencial productivo (Torres y Magaña, 2001).

Debido a la protección de áreas degradadas ha limitado el establecimiento de plantaciones forestales, pocas son a fines comerciales, sin embargo industrias y organizaciones de actividad forestal las plantean para satisfacer la necesidad de materia prima (Martínez *et al.*, 2006).

Otro punto importante es la sobre regulación respecto a planeación y ejecución de los proyectos de plantación existe una controversia entre el Reglamento de Materia de Impacto Ambiental, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y la normatividad establecida previamente por la propia LGEEPA y por la Ley Forestal y su Reglamento. Además pagar un derecho de alrededor de 7 mil pesos, por la recepción, evaluación y dictamen de los Programas Integrados de Manejo Ambiental y Forestación (CONAFOR, 2001).

CONAFOR (2007) menciona que el establecimiento de plantaciones forestales es una actividad que requiere alta inversión, con periodos prolongados de recuperación y alto riesgo involucrado. Adicionalmente, los requerimientos tecnológicos son altos, en la producción de planta de calidad y en la preparación del sitio y posterior manejo de la plantación, independientemente de su objetivo. Por estas razones, el establecimiento de plantaciones, usualmente ha estado acompañado por incentivos gubernamentales que tienen como objetivo reducir costos y riesgos. Musálem (2006) afirma que son actividades silvícolas muy cara, es por ello que la toma de decisiones en ellas deben ser las más adecuadas de lo contrario el costo por corregirlas resultara muy caro muy caro y otra de la dificultades encontradas es la escasa experiencia técnica de a demás en México en el campo de

las plantaciones forestales industriales, no hay suficiente información en cuanto a la selección de especies y la metodología de las plantaciones, que permitieran pronosticar en un futuro inmediato, el éxito deseado.

Además las fuentes de crédito y financiamiento son muy limitadas o poco accesibles. Además, no existen subsidios orientados a incentivar el desarrollo de las industrias ligadas a los proyectos de plantaciones comerciales, por lo cual se dificulta la integración de la cadena productiva. Cabe destacar que la exigencia de fianzas para garantizar la buena aplicación de los subsidios, constituye un requisito difícil y costoso de cumplir (CONAFOR, 2001).

En Michoacán se han establecido plantaciones forestales con varias especies de coníferas y hojosas, sin embargo, presentan una baja supervivencia y reducidos incrementos, en respuesta a factores como: el establecimiento sin un propósito específico, mala elección de especies, densidades inadecuadas para el buen desarrollo del arbolado y falta de manejo silvícola (Muñoz *et al.*, 2011).

En el estado de Oaxaca en las regiones pertenecientes a la UMAFOR 20-08, donde se encuentra el área de estudio, se cuenta con una superficie potencial considerable para el establecimiento de plantaciones sus principales problemas que impiden el desarrollo en la región son: están distribuidas en superficies muy pequeñas como resultado de una alta fragmentación de la tierra, irregularidades en la tenencia de la tierra (contratos de compraventa no actualizados, sobre posición, intestados, bienes ocultos y otros), poca o nula inversión de los gobiernos federal estatal y municipal para fortalecer esta actividad y poco acceso a los programas de apoyo gubernamental por las reglas de operación y por falta de promoción (UMAFOR, 2008).

2.2 Plantaciones forestales en México

El establecimiento de plantaciones forestales comerciales en México datan de la década de los 60's cuando la empresa Fibracel, S.A. establece en el estado de San Luís Potosí, plantaciones con fines de producción de materia prima para la

fabricación de tableros aglomerados, abarcando 2,500 hectáreas con varias especies de eucalipto (Musálem, 2006).

Entre 1974 y 1983 el Gobierno Federal, a través del Fideicomiso para el Desarrollo del Plan de Estructuración de Bosques Artificiales (FIDEBA), plantó alrededor de 9 mil hectáreas en San Juan Cotzocón, Distrito Mixe, con el propósito de abastecer a la planta de celulosa de FAPATUX (Fábricas de Papel Tuxtepec), ubicada en Tuxtepec, Oaxaca. Las especies plantadas fueron pinos tropicales (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. tropicalis* y *P. oocarpa*). En los años de 1975 a 1978, la empresa paraestatal Productos Forestales de la Tarahumara (PROFORTARAH) en el estado de Chihuahua, estableció cerca de 6,500 hectáreas de plantaciones con diferentes especies de pinos de la localidad (*P. arizonica*, *P. durangensis* y *P. engelmanni*), las cuales tuvieron como propósito original la producción de madera en rollo (CONAFOR, s.f.).

En Veracruz, la empresa Plantaciones Forestales del Sureste, estableció en los años de 1989 y 1990, dos módulos demostrativos con diversas especies de eucalipto como parte de un proyecto para la producción y exportación de astilla de madera para la producción de celulosa (Fortes, 1994).

En 1989 parcelas experimentales fueron establecidas, a partir de 1991 la empresa Ponderosa Industrial, S.A., en coordinación con la Subdelegación Forestal de la SARH en Sinaloa, estableció 80 hectáreas de plantaciones de *Eucalyptus spp* (*E. camaldulensis*, *E. tereticornis*, *E. grandis*, *E. urophylla* y *E. saligna*), en terrenos bajo riego y en 300 hectáreas de temporal, en varias localidades de los municipios de Ahome, Sinaloa, como parte de un programa para establecer 28 mil hectáreas, que finalmente no se llevó a cabo (CONAFOR, 2007).

En el año de 1992, la empresa Plantaciones Industriales Mexicanas, estableció la plantación de 10,500 hectáreas de eucalipto en Ojinaga, Chihuahua, con la finalidad de producir celulosa para la fabricación de papel (Fortes, 1994).

Para 1994, la Subsecretaría Forestal tenía identificados seis proyectos de plantaciones de eucalipto en los estados de Baja California, Durango, Chihuahua, Guerrero, Sinaloa y Tamaulipas; con una superficie programada de 68,500 ha. En el estado de Tabasco, se tenían seis proyectos con empresas privadas como grupo

Interfin, ICA, Louisiana Pacific, y Guinness y asociados, de Inglaterra, con una superficie de 52,500 hectáreas. Otro proyecto reciente lo constituye la empresa Pulsar con plantaciones de eucalipto en el municipio de Emiliano Zapata en Tabasco con 300,000 hectáreas (Musálem, 2006).

El territorio oaxaqueño es conformado por 9,536.400 ha, de las cuales, 7.1 millones de hectáreas son de vocación forestal, de estas, el 73% (5, 105,015 ha) se encuentran arboladas, de las cuales 38.84 % (2, 715,583 ha) son bosques y 34.16% (2,389,432 ha) son selvas. Los principales grupos de especies maderables que se aprovechan en el estado corresponden al género *Pinus* con un volumen de 485,450 m³ rollo, Oyamel con 1,464 m³ rollo, Encino con 7,134 m³ rollo, preciosas 92 m³ rollo y comunes tropicales con 6,609 m³ rollo (UMAFOR, 2008).

En relación a las plantaciones forestales comerciales, la UMAFOR N° 20-08 cuenta con 249 ha de plantaciones de coníferas del género *Pinus* y 225 ha plantadas de especies preciosas, para la producción de madera y 3 hectáreas plantadas para la producción de árboles de navidad (UMAFOR, 2008).

2.3 Importancia, descripción y usos de las especies de interés

2.3.1 *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock (Ocote, Pino)

Es una especie mexicana su importancia se debe al rápido crecimiento, amplio grado ecológico de adaptación, tronco recto y libre de nudos, bajo contenido de resina y por sus características físicas y mecánicas de la madera (Vela, 2010).

El árbol es un pino alto, recto con un tronco aparentemente alto de 20 a 35 m y un diámetro hasta de 1 m; los árboles maduros tienen copa redondeada irregular y abierta, árboles jóvenes tienen una copa piramidal abierta con ramas ampliamente espaciadas; corteza en árboles maduros en la base del fuste es café grisáceo y profundamente surcada a los 3-4 m de altura del tronco la corteza se hace delgada, rojiza y muy escamosa; ramillas caedizas, lisas cuando es joven pero se ponen escamosas y rojizas; hojas en fascículos de 3-4, ocasionalmente 5, de 15 a 25 cm de longitud, muy flexibles, delgadas, colgantes, color verde pálido; los márgenes finamente aserrados, el estoma presente en el envés y las capas ventrales, 2

canales resiníferos, ocasionalmente 3, intermedio ocasionalmente con uno interno; las paredes exteriores de las células endodermis están ligeramente engrosadas, 2 haces fibrovasculares, contiguos pero distintos; vainas del fascículo persistente, de 10 a 15 m de largo; conillos brotan en pedicelos largos, escamosos, en grupos de 2 a 5, ocasionalmente solo, las pequeñas escamas poseen una espina diminuta y conos ovalado alargado a cónico alargado, de 5 a 8 cm de largo y 2 a 3 cm de ancho, la mayoría de las veces curvado, oblicuo, café brillante, reflexo en pedicelos de 6 a 12 mm de largo. Abren en la madurez y los conos abiertos permanecen unidos a él por un tiempo hasta después de que las semillas hayan caído, el pedicelo generalmente permanece unido al cono cuando cae; escamas del cono no es tan duro y resistente como *P. patula* var. *longepedunculata*, de aproximadamente 10 mm de ancho, el apófisis generalmente aplanado aunque ocasionalmente elevado particularmente en las escamas de la base; el umbo ligeramente elevado con una espina una espina pequeña decidua; semilla pequeña, café muy oscuro casi negro, de 5 mm de largo y alrededor de 3 mm de ancho, el ala de la semilla tiene 15 mm de largo y 5 mm de ancho, engrosada en la base donde se une con la semilla de tal manera que la mayor cantidad de semilla se desprende en la temporada seca de acuerdo al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales existen 112, 000 y 115, 000 semillas por kg; ,madera amarillo pálido y duramen ligeramente, suave, no muy resinosa (Perry, 1991; Vela, 2010).

Distribución Loock colectó el espécimen tipo en el rancho Benito Juárez en las montañas del norte de la ciudad de Oaxaca el rango de la var. *longepedunculata* aún no ha sido claramente definido y podría extenderse hasta Guatemala y Honduras (Perry, 1991).

Hábitat crece a altitudes entre 1800 a 2800 m, con una precipitación anual sobre la mayor parte de su rango de 1000 a 2000 mm. Las heladas se presentan en las elevaciones más altas durante los meses de invierno y los meses cálidos son abril, mayo y junio. Además este taxón crecerá sobre sitios más bien secos y rocosos, hace su mejor crecimiento en suelos profundos, hace su mejor crecimiento en suelos profundos y bien drenados. Está muy a menudo asociado con *P. patula* var. *longepedunculata* (en Oaxaca), *P. pseudostrobus*, *P. rudis*, *P. douglasiana*, *P.*

ayacahuite, *P. oocarpa* var. *ochoterenai*, y ocasionalmente con liquidámbar (Perry, 1991).

La madera es de buena calidad de acuerdo a sus características físico mecánicas, se recomienda para construcciones que requieren madera muy resistente como postes, durmientes, pilotes, armaduras, vigas y elaboración de cajas para empaque, para acabados interiores y exteriores, es apreciada para la fabricación de papel por la longitud de sus fibras (Vela, 2010).

2.3.2 *Pinus pseudostrobus* Lindl (Pino, Pino Blanco, Ocote)

El árbol es uno de los pinos más finos de México alcanzando alturas de 30 a 40 m y ocasionalmente hasta 45 m, la mayoría de los árboles están en rangos de 40 a 80 cm de diámetro en Michoacán se observó de más de 1 m. El fuste es usualmente recto y libre de ramas hasta los 20 a 30 m, en los árboles muy largos; las ramas son en su mayoría horizontales y en árboles maduros forman una copa redondeada los árboles jóvenes tienen una copa más bien abierta, con forma piramidal y ramas ampliamente espaciadas; corteza es gruesa en los árboles maduros, café oscuro dividida por fisuras verticales profundas en placas arrugadas y escamosas, sobre la parte alta del fuste cerca de la punta, la corteza es suave y café rojiza, en árboles jóvenes la corteza es suave y de color rojizo a café grisáceo; ramas delgadas, ligeramente encorvada, lisa; las bases de las brácteas de las hojas no son decurrentes; hojas en fascículos de 5, en su mayoría delgadas (alrededor de 0.7 a 0.9 mm de grueso) flexibles, ligeramente inclinadas, de 20 a 25 (hasta 30) cm de largo, los márgenes son finamente aserrados, el estoma está en el envés y las capas ventrales; tiene de 2 a 4 canales resiníferos en su mayoría 3, intermedios; las paredes exteriores del endodermo están engrosadas, tiene 2 haces fibrovasculares, contiguos pero distintos; las vainas de los fascículos son de color claro a café oscuro, de 12 a 15 mm de largo, persistentes; conillos cónico alargado, las pequeñas escamas son engrosadas con una pequeña espina recta; brotan simples y en grupos de 2 a 3 en pedúnculos duros y escamosos, los conos de ovoide a ovoide alargado, ligeramente curvado, casi simétricos, sin reflejar, de 8 a 10 cm de largo y de 5 a 7 cm de ancho (abierto) de color café claro, más bien lustroso, crece singular y en

parejas o tercias sobre pedúnculos cortos que, cuando el cono cae, generalmente permanece unido a la rama con un poco de escamas basales del cono; escamas del cono delgado, solo dureza media, la apófisis está ligeramente levantada a aplanada y ligeramente aquillado transversalmente; el umbo dorsal, pequeño ocasionalmente ausente, sin prominencia, armado con una espina pequeña decidua; Semilla pequeña, alrededor de 6 mm de largo, café oscuro; la semilla con ala articulada, de 20 a 30 mm de largo; el número de cotiledones va de 6 a 9, en su mayoría 8; madera- de color amarillo claro, suave pero resistente y ligeramente resinosa (Perry, 1991).

Distribución *P. pseudostrobus* es un pino mexicano a pesar de que su rango se extiende hasta el sur de Guatemala, en México se encuentra en Jalisco y al este a lo largo de las montañas del gran cinturón en los estados de Michoacán, México, el distrito federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas (Perry, 1991).

Hábitat esta especie se encuentra en pendientes de montaña a elevaciones que van desde los 1600 a los 3200 msnm, sobre su rango de precipitación este es en promedio va de 800 a 1500 mm anualmente, los árboles más largos fueron encontrados al este de Michoacán a elevaciones de 2000 a 2400 msnm, creciendo en suelos volcánicos con una precipitación de 1500 mm (Perry, 1991).

Esta especie es buena productora de resina, la cual es explotada en los estados del centro y sur de México. La madera es de buena calidad y sus largos fustes limpios permiten el uso en aserrío, madera terciada, chapa, triplay, pulpa para papel, caballetes, molduras, jaulas y envases, como barrera de calor y sonido, postes, pilotes, madera para minas, durmientes para ferrocarril, tejamaniles y largueros, combustibles, palillos y fósforos. Asimismo, es muy apreciada en artesanías, ebanistería y muebles finos o de producción seriada, como mesas, butacas, bancos, etc., en las zonas rurales tiene varios usos domésticos. Se propone emplearlo en la fabricación de abatelenguas, palos para paleta, cucharas para nieve, pisos, cancelas, tarimas y plataformas, etc (Sáenz *et al.*, 2011).

2.3.3 *Pinus douglasiana* Martínez (Pino, Ocote)

El árbol es un pino largo que alcanza alturas de los 30 a 35 m y un diámetro de 50 a 75 cm; la copa es generalmente redondeada y densa con las ramas de la parte de abajo horizontales y arriba con ramas ligeramente inclinadas, los árboles jóvenes tiene una copa poco densa y piramidal; corteza en árboles maduros, es café oscuro rojizo, rugoso, escamoso y dividido en placas largas e irregulares y árboles jóvenes la corteza es café rojiza variando de rugosa y escamosa a suave; ramas delgadas, a menudo un poco inclinado, árboles con muchas ramillas que son rasposas y escamosas y otros árboles con ramas suaves y las bases de las brácteas de las hojas no son decurrentes; hojas a menudo verde amarillento, en fascículos de 5, gruesos y rectos, de 20 a 30 cm de largo, los márgenes son aserrados, los estomas se presentan en la parte dorsal y las capas ventrales; con 3 canales resiníferos intermedios; el hipodermo irregularmente desarrollado, extendiéndose hasta algunos puntos que cruzan completamente la clorencima del endodermo; células del endodermo con las paredes externas engrosadas, 2 haces fibrovasculares. Las vainas del fascículos son persistentes, café y no son resinosas; conillos ovoides con escamas terminales en una espina pequeña; nacen simples y en grupos de 2 a 5 sobre pedúnculos resistentes y escamosos y conos café rojizo, de 7 a 10 cm de largo, ovados, casi simétricos; brotan sobre pedúnculos oblicuos, resistentes de 1 a 2 cm de largo que permanecen unidos al cono cuando cae, los cuales abren durante los meses de invierno, abriendo en la madurez y son deciduos; escamas del cono duras, resistentes, de 10 a 12 mm de ancho, el margen apical, irregularmente redondeado, el apófisis ligeramente levantado a subpiramidal, transversalmente aquillado; el umbo levantado y armado con una pequeña espina decidua; semilla café oscuro, pequeña, de 4 a 5 mm de largo con ala articulada de alrededor de 25 mm de largo; de 6 a 9 cotiledones, mayormente de 7 a 8; madera de calidad resistente, más bien suave, color crema a amarillo pálido; no muy resinosa (Perry, 1991).

Distribución se presenta principalmente en las montañas del eje neo volcánico de México; sin embargo, su rango se extiende más al norte a través de la sierra madre occidental y hacia el sur a lo largo de la sierra madre del sur. Ha sido

reportada en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, México, Guerrero y Oaxaca (Perry, 1991).

Hábitat crece entre los 1500 y 2500 m de altitud, temperaturas cálidas hasta áreas templadas con precipitación anual promedio de aproximadamente 1000 mm, en las elevaciones más altas las heladas son comunes durante los meses de invierno, los mejores árboles creciendo sobre sitios mixtos cerca de Uruapan, Michoacán. Asociado con pinos que a menudo son *P. pseudostrobus*, *P. maximinoi*, *P. michoacana* y *P. herrerae* (Perry, 1991).

2.4 Crecimiento en árboles y masas forestales

Dentro de los temas en ámbito forestal que ha sido poco estudiados y atendidos, destacan: propagación vegetativa, micro propagación, plantación con plantas incompletas (estacas, toconcillos, plantas podadas), plantación y producción de planta a raíz desnuda, micorrización, producción de plantas en condiciones controladas, aclareos, podas, fertilización, estudios de crecimiento, uso múltiple, desarrollo de planes de manejo y estudios de factibilidad económica y financiera (CONAFOR, s.f).

Los estudios del crecimiento de los árboles y masas forestales son una herramienta de gran utilidad en la correcta toma de decisiones sobre tratamientos silvícolas y aprovechamiento de los bosques, además facilita la cuantificación de sus respuestas (Cuevas *et al.*, 1992).

El crecimiento de una plantación depende de un sinnúmero de variables, dada la imposibilidad práctica y económica de considerar a todas las variables independientemente, se han agrupado en pequeños grupos de indicadores que reflejan en forma genérica los elementos que contribuyen al crecimiento de un rodal (Torres y Magaña, 2001).

El crecimiento en un árbol o masa forestal es el desarrollo en altura, diámetro y volumen, a estas analizadas en un periodo determinado, se le llama incremento. El incremento corriente anual es el crecimiento que logra un árbol o masa forestal en el curso de un año; el incremento medio anual es el promedio anual del incremento

total, se obtiene dividiendo las dimensiones de un árbol o masa forestal entre su edad (Klepac, 1983).

Inturre y Araujo (2006) señalan, si se analiza el crecimiento medio en diámetro en función de la edad, se observa un crecimiento rápido en los primeros años, seguido de un gradual decrecimiento. Sin embargo, esta tendencia puede ser diferente en rodales manejados y no manejados; el crecimiento en altura es más uniforme la variación de alturas depende de la posición sociológica de cada individuo, según la cual se lo puede clasificar como dominante, codominante, oprimido y suprimido, el crecimiento en altura culmina antes que el crecimiento en diámetro; el crecimiento en área basal se analiza en investigaciones comparativas de diferentes especies o del crecimiento de los rodales en diferentes sitios; el crecimiento en volumen en relación con la edad, tiene la típica forma sigmoide, durante los primeros años la producción en volumen es lenta, luego la tasa de crecimiento se incrementa hasta un máximo y finalmente decrece.

2.5 Metodologías utilizadas para medir crecimiento e incremento en masas forestales y modelos de crecimiento

Para llevar a cabo un buen manejo forestal eficiente es necesario contar con las suficientes bases técnicas, garantizando un rendimiento sostenible, la permanencia y fomento del recurso entre ellas la determinación índice de sitio, del turno, del ciclo de corta, la edad del primer y segundo aclareo, la edad a 1.30 m, y los incrementos; sin embargo se ha tenido por costumbre predeterminedar estos fundamentos, principalmente el turno y ciclo de corta, y aplicarlos indiscriminadamente a todas las especies y localidades, lo que ha llevado a plantear la interrogante si se estará realizando un manejo adecuado (Velarde, 2002).

Una de las metodologías que permiten conocer el crecimiento e incremento del árbol son los análisis troncales mediante ellos se reconstruyen la dinámica del crecimiento y da predicciones del desarrollo de la plantación (Klepac, 1976; Torres y Magaña, 2001).

Otra de las metodologías para conocer el crecimiento de los árboles individuales se puede obtener con la medición directa de árboles en diferentes

condiciones de crecimiento, involucrando modelos de crecimiento los cuales establecen indicadores de competencia y desarrollo dependen de la interrelación con los demás individuos de la población (Torres y Magaña, 2001).

Por ello el uso de los modelos matemáticos en el manejo forestal, permiten definir en forma cuantitativa algunas relaciones de crecimiento, mediante funciones continuas de tipo sigmoideal (Cuevas *et al.*, 1992).

Los modelos de crecimiento proporcionan resultados a nivel más detallados, cuando los datos obtenidos son de parcelas permanentes de muestreo, lo cual permite la representación de la realidad en las diferentes etapas de desarrollo de las masas forestales. Estos modelos pueden incluir la definición matemática de regeneración, competencia, reclutamiento y mortalidad que puede ser a nivel espacial de la masa forestal (Corral y Návar, 2005).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del área de estudio

3.1.1 Localización geográfica

El área de estudio se localiza en el Distrito de Miahuatlán, estado de Oaxaca, México, específicamente en tres pequeñas propiedades de los municipios San Sebastián Río Hondo y San Miguel Suchixtepec, (Cuadro 1). Mapas de ubicación de las plantaciones de estudio Figura 1, 2 y 3.

Cuadro 1. Localización geográfica, años de plantación, superficie plantada hectárea por año y superficie total de cada predio, en el Distrito de Miahuatlán, Oaxaca.

Municipio	Predios	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Año	Superficie plantada (ha/año)	Superficie total (ha)
San Sebastián Río Hondo	Río San José	16°10'22''	96°23'5''	2852	23	1994	4.788	17.906
		16°10'19''	96°23'42''	2797	14	1995	2.542	
		16°10'15''	96°23'37''	2807	10	2001	4.407	
		16°10'12''	96°23'49''	2803	15	2002	6.169	
San Miguel Suchixtepec	Las tinas	16°03'41''	96°26'07''	2125	40	1993	5.968	9
	Río Yubto	16°03'23''	96°26'09''	2253	35	1997	3.102	
	Santa Ana	16°04'10''	96°28'38''	2290	40	1995	1.723	
	Ojo de Agua	16°04'05''	96°28'35''	2205	40	1996	2.328	

(Cortés, 2010; con modificaciones)

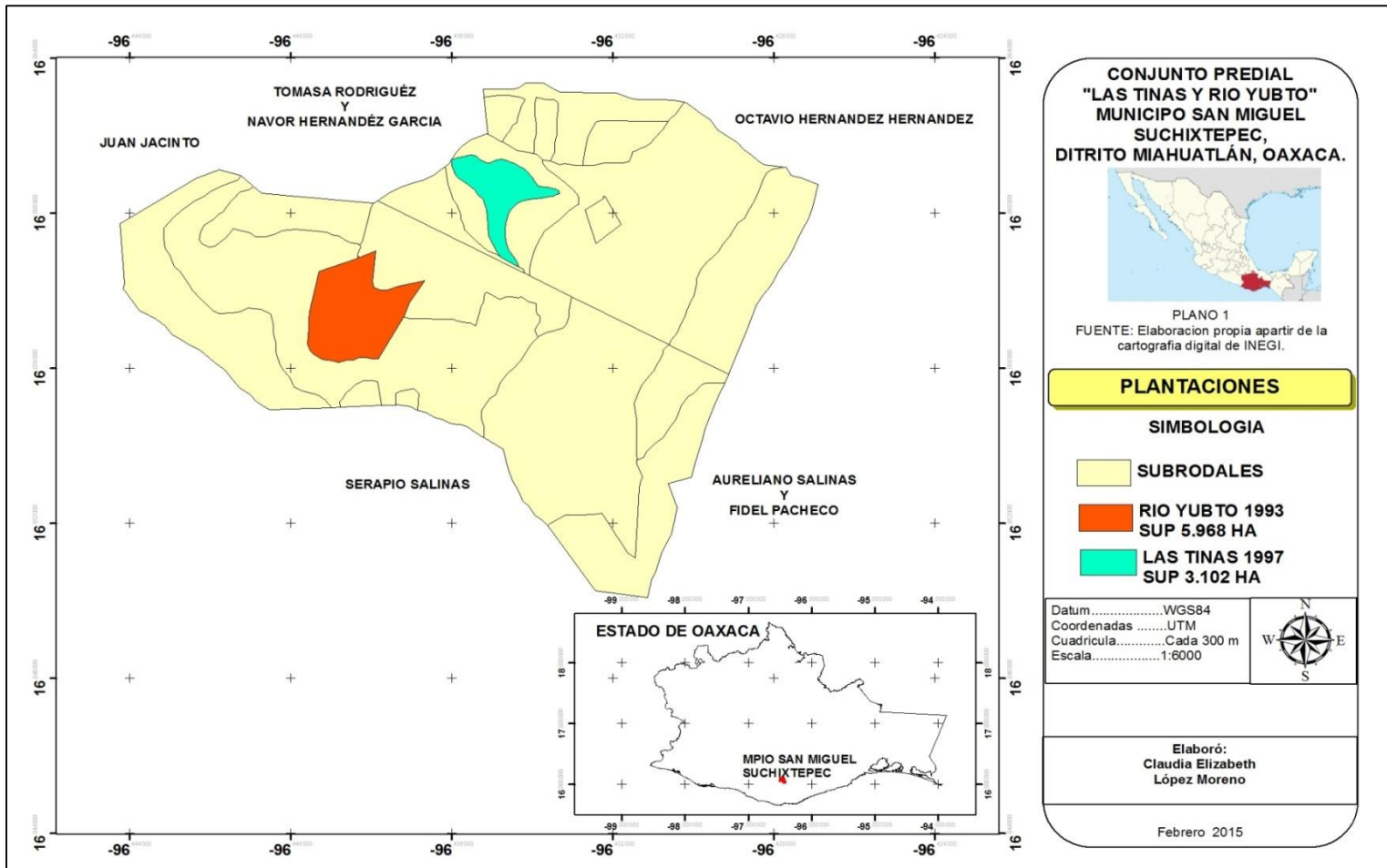


Figura 1. Ubicación predial de las plantaciones “Las tunas y Rio Yubto”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

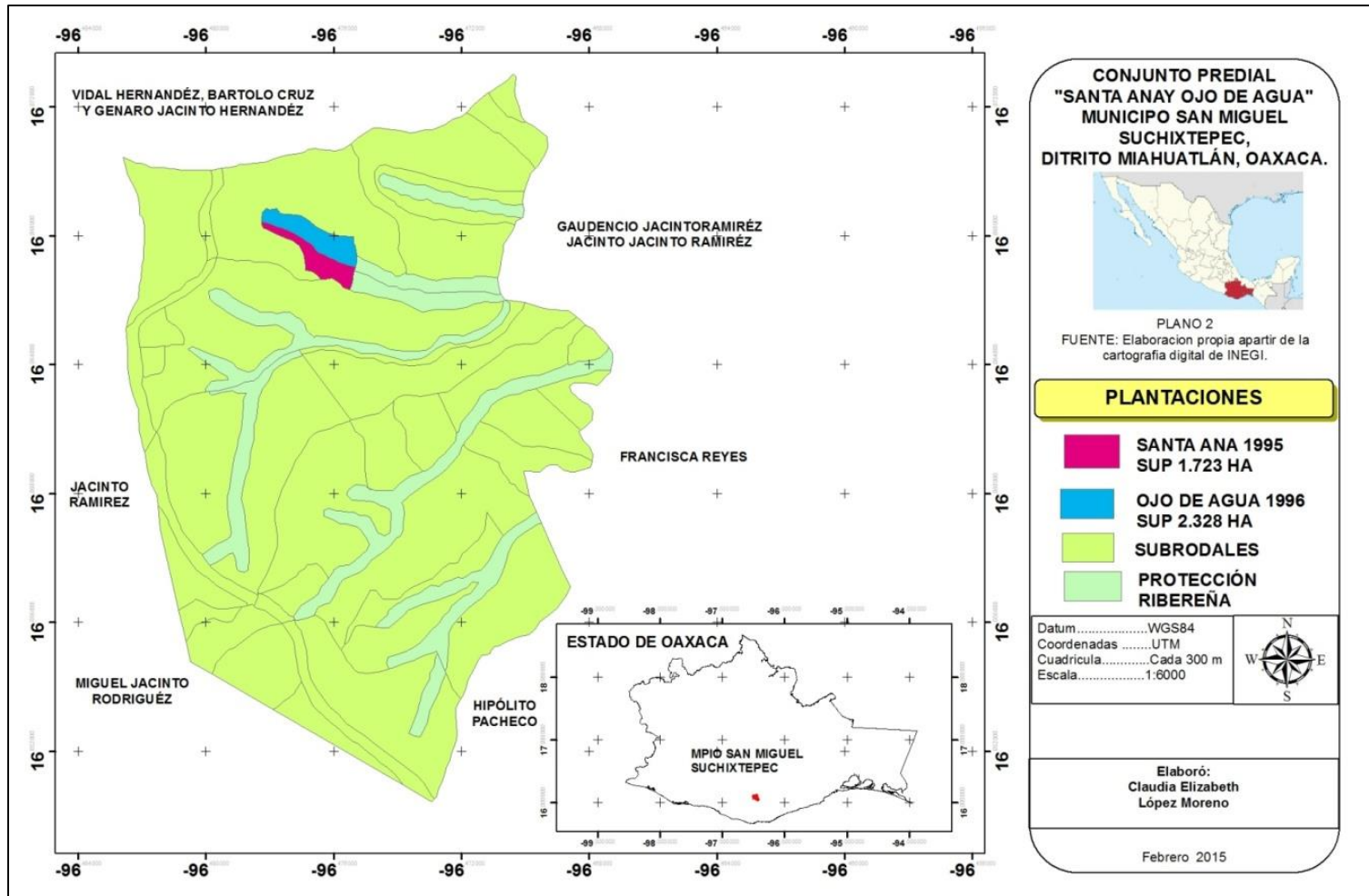


Figura 2. Ubicación predial de las plantaciones “Santa Ana y Ojo de Agua”, Municipio San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

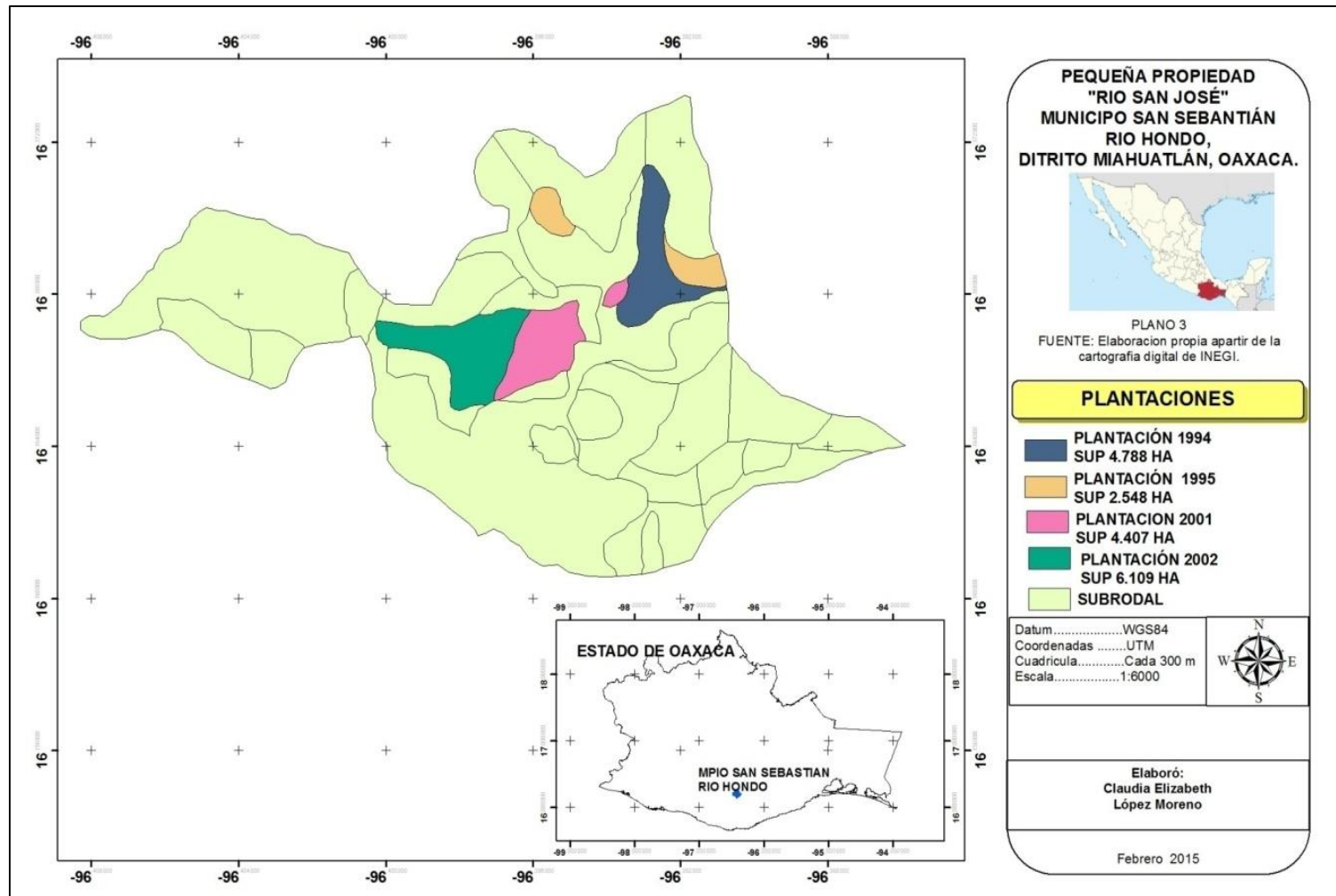


Figura 3. Ubicación predial de las plantaciones “Río San José”, Municipio San Sebastián Río Hondo, Distrito de Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

3.2 Aspectos ecológicos

3.2.1 Fisiografía

Las plantaciones de los pequeños propietarios están dentro de la provincia Sierra Madre del Sur, se encuentra dentro de la subprovincia Cordillera Costera del Sur, las topoformas es Sierra Alta Compleja (INEGI, 2000a).

3.2.2 Hidrología

Las pequeñas propiedades se encuentran en los municipios San Miguel Suchixtepec y San Sebastián Rio Hondo, el primero está dentro de la región hidrográfica RH-20 Costa chica Rio verde, cuenca Rio Copalita, sub cuenca Rio Copalita, corriente de agua: perenes (Molino y Hondo) e intermitentes (Carpintero), y el segundo en la región hidrográfica RH-21 Costa de Oaxaca, cuenca Rio Copalita (INEGI, sf; Robles, 2008).

3.2.3 Clima

Los tipos de clima para los pequeños propietarios son C(w2)(w) y C(E)(W2)(W) de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973) corresponde a climas templado subhúmedo y semifrío subhúmedo respectivamente, el primero es un clima templado, con temperatura media anual de 12° a 18°C, y que por su humedad son del grupo de subhúmedos de los más húmedos, la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es menor de 5°C , con una precipitación anual 1294.3 mm y el segundo es un clima que por su temperatura son semifríos, con temperatura media anual de 5°C a 12°C, y que por su humedad son del grupo de subhúmedos de los más húmedos, la oscilación anual de las temperaturas medias mensuales es menor de 5°C.

3.2.4 Suelos

El área de estudio se encuentra el tipo de suelo acrisol, los acrisol del latín acris: agrio, ácido y solum: suelo. Literalmente, suelo ácido. Son suelos que se encuentran en zonas tropicales o templadas muy lluviosas. En condiciones naturales tienen vegetación de selva o bosque. Se caracterizan por tener acumulación de

arcilla en el subsuelo, muy ácida y pobre en nutrientes. Son moderadamente susceptibles a la erosión. Con subsuelo Húmico Del latín hummus: tierra. Suelos con una capa superficial oscura y rica en materia orgánica, pero ácida y pobre en algunos nutrientes importantes para las plantas (INEGI, 2000b; INEGI, 2004).

3.2.5 Vegetación

En el municipio de Miahuatlán se encuentran los tipos de vegetación de Bosque de pino, Bosque de pino encino, Bosque mesófilo de montaña y Agricultura temporal (INEGI, 2009). Sin embargo en las áreas de estudio Morales (2012) indica que las especies presentes son de géneros *Quercus*, *Arbustus* y *Alnus*, estas se encuentran mezcladas *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Pinus* var. *longipedunculata*, *Pinus douglasiana*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus rudis*, *Pinus oaxacana*, *Quercus* sp., *Arbustus* sp. y *Alnus* sp.

3.2.6 Fauna silvestre

Las especies de fauna silvestre se consideran de paso, las más comunes observadas son: venado cola blanca (*Odocoileus virginianus Zimmermann*), Tejón (*Nasuanarica L.*), Armadillo (*Dasypus novemcintus L.*), Conejo (*Sylvilagus floridanus J.A. Allen*), Tlacuache (*Didelphys marsupialis L.*), Ardilla gris (*Sciurus sociales Warner*), Codorniz común (*Colinus virginianus L.*) Correcaminos (*Geococcyx veloz Warner*), Carpinteros (*Dendrocopos ssp*) y víbora de cascabel (*Crotalustriseratus Wagler*) (UMAFOR, 2008).

3.3 Manejo silvícola de las plantaciones evaluadas

Las plantaciones del área de estudio fueron establecidas a partir del año 1993 a 2001, con fin de reforestación, donde se encuentran las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*. La densidad de las plantaciones para *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* con un espaciamiento de 2 m y 2.5 m entre los árboles, teniendo así una densidad de 2, 500 y 1, 600 árboles por hectárea, para *P. douglasiana* se tienen 1,111 árboles por

hectárea, con espaciamiento de 3 m por 3 m. Algunas características de las especies *P. douglasiana* se encuentra en una exposición Noreste soleada, esta misma tienen la característica de presentar abundancia en ramas, esta se presenta en altitudes 2500 a 2600 msnm, *P. pseudostrobus* presenta una madera suave lo cual facilita las podas, se encuentra en altitudes más altas hasta de 2, 800 msnm y *P. patula* var. *longepedunculata* es una especie un fuste más limpio y se presenta en altitudes altas al igual que *P. pseudostrobus* (Morales, 2015).

En las plantaciones se realizan podas a los 5 años con una intensidad de 40%, 10 años con 60% y a los 15 años 70 a 80 %, el equipo utilizado son tijeras de una y dos manos, para primeras podas y basto telescópico (sueco) entre otros.

Es el año 2014 se regularizó una superficie de 16 ha plantaciones comerciales donde se encuentran las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus* con No. Oficio SEMARNAT -SGPA-AR-573/2014. El método aplicado en las plantaciones es matarrasa, con alta productividad por hectárea y alta rentabilidad (Morales, 2015).

Uso de los productos, una de la problemática presente es el mercado por lo cual la venta de productos, por lo cual esta se realiza por etapas: primer aclareo; donde se eliminan árboles lobo y suprimidos, se tienen diámetros de 10 a 25 cm con longitudes desde 2 a 6 m, su mercado son los productos astillados, pero este se encuentra en el centro de país por ello no es factible, por lo cual la industria turística demanda este tipo de productos convertidos en morillos. Segundo aclareo; productos de 30 a 35 cm para las industrias forestales maderables como es el aserrío, al no presentar duramen sirve para molduras, tablonés o postes. Corta final; considerado productos con 40 a 45 cm en diámetros, con productos para aserrío y postes (Morales, 2015).

3.4 Muestreo y selección del arbolado

La evaluación de las plantaciones se realizó en sitios permanentes establecidos por Sandoval (2006), donde el criterio para la ubicación de los sitios fue de manera sistemática, colocando el primer sitio de forma aleatoria; con una

intensidad de muestreo de 2.83 %, con un tamaño de sitio de 100 m² de forma circular y con una distancia de 40.5 m, en total fueron ochenta y cinco sitios (Cortés, 2010).

Las mediciones se realizaron a un árbol representativo por categoría diamétrica y especie de cada uno de los 85 sitios muestreados, se evaluaron las siguientes variables dasométricas: identificación especie, número de árboles por sitio, edad de plantación, diámetro normal a diferentes alturas del árbol (0, 0.30, 1.30 m), altura total del árbol, grosor de corteza a 1.30 m y por último el diámetro de copa.

En base al objetivo de estudio se realizó la evaluación en el 2013, se utilizaron además la base de datos de las evaluaciones realizadas en el periodo 2005-2012 de los 85 sitios, tomando únicamente los datos de interés de las especies *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Look y *Pinus douglasiana* Martínez. Para determinar la edad de cada plantación se toma el año de la plantación en cada una de las pequeñas propiedades y el año en que se realizó la evaluación (Cuadro.2).

Cuadro 2. Municipio, predio, año de la plantación, edad de las plantación y superficie total de los pequeños propietarios de *Pinus pseudostrobus* Lindl, *Pinus patula* var. *longepedunculata* Look y *Pinus douglasiana* Martínez.

Municipio	Predios	Año de la plantación	Edad de la plantación 2013	Superficie total (ha)
San Sebastián Río Hondo	Rancho Río	1994	19	17.906
	San José	1995	18	
		2001	12	
		2002	11	
San Miguel Suchixtepec	Las tinas	1993	20	9
	Río Yubto	1997	16	
	Santa Ana	1995	18	4.051
	Ojo de Agua	1996	17	

3.4.1 Cálculo de volumen de los árboles analizados

Para el cálculo de el volumen se toma las ecuaciones generadas en el área de estudio para las tres especies *Pinus pseudostrobus*, *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *Pinus douglasiana* que pertenecen a los predios “Rancho Río San José”, “Lastinas y Río Yubto” y “Santa Ana y Ojo de Agua” ubicados en los municipios de San Sebastián Río Hondo el primer predio y en San Miguel Suchixtepec, Distrito de Miahuatlán, Oaxaca. Zúñiga (2013) encontró el modelo que presentó mayor bondad de ajuste para las tres especies fue el modelo de variable combinada con la ecuación $V=a + bD + cDH + dD^2 + eD^2H$ Donde: v=volumen. Dónde: D=diámetro, H=altura, parámetros= a, b, c, d, e. (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros y estadísticos de ajuste para el cálculo de volumen en las tres especies de pino, Miahuatlán, Oaxaca Zúñiga (2013).

Especie	Parámetros					R ²	R ² _{adj}	CME
	a	b	c	d	e			
<i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	0.03087	-0.01397	0.00328	0.000173	0.000004	0.9943	0.9943	0.000708
<i>P. douglasiana</i>	0.05127	-0.012560	0.0028	-0.000087	0.000027	0.9851	0.9849	0.000780
<i>P. pseudostrobus</i>	0.03266	-0.01257	0.00288	0.000087	0.000015	0.9838	0.9837	0.000985

R²=Coeficiente de determinación, R²_{adj}= Coeficiente de determinación ajustada, CME= Cuadrado medio del error.

3.4.2 Cálculo de la variable área basal

Con los datos obtenidos de campo en diámetro se procede a calcular el área basal para cada árbol de las tres especies de pinos.

$$AB = (Dm^2 * 0.7854)/100$$

Donde:

AB= Área basal

Dm= Diámetro normal del árbol (cm)

3.4.3 Análisis de datos

Debido a la base de datos con la que se cuenta, es necesario encontrar una relación matemática que permita predecir con un grado de precisión el valor de una variable cuando se conoce el valor de otra variable asociada. Para esto se utilizó la técnica del análisis de regresión.

Para ajustar los modelos de crecimiento e incremento la muestra comprendida de 1 520 de *Pinus pseudostrobus*, 680 *Pinus patula* var. *longepedunculata* y 760 *Pinus douglasiana*. Es crecimiento para cada especie fue analizado en crecimiento en árboles individuales.

El ajuste de modelos se realizara mediante el procedimiento REG del paquete de SAS versión 9.0 para los modelos no lineales y lineales.

3.4.4 Ecuaciones utilizadas

Los modelos más utilizados en árboles y masas forestales, para predecir el crecimiento e incremento, de las especies en pinos son reportadas por distintos autores, las cuales fueron ajustadas en las variables diámetro, altura, área basal y volumen (Aguilar, 1991; Arteaga, 2003; Corral y Návar, 2005; Pérez *et al.*, 2012; Zeide, 1993) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Modelos de crecimiento utilizados para la simulación del crecimiento en altura, diámetro normal, área basal y volumen.

Modelos	Ecuaciones
Bertalanffy	$y = a(1 - \exp^{(b-cE)})^d$
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp^{-bE})^c$
Gompertz	$y = \exp^{((-a-b)(\exp^{-cE}))}$
Schumacher modificado O modelo de Korf	$y = \exp(a - \frac{b}{EC})$
Weibull	$y = a(1 - \exp^{-bE^c})$

Dónde: y = variable de estudio; a, b, c, d= parámetros de regresión; E= edad; exp = base logaritmos naturales.

3.4.5 Comparación y selección de modelo

Para elegir el modelo con mayor ajuste se observa método gráfico el cual nos da una visión de la tendencia que se tiene y la dispersión de los datos para saber si tiene un buen ajuste; coeficiente de determinación (R^2), es considerado el criterio más utilizado, cuyo valor más acercado a la unidad determinará el mejor ajuste; coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), cuadrado medio del error (CME) un valor mínimo será indicador de un buen ajuste; y el análisis de varianza el cual servirá para conocer la significancia a un nivel de confiabilidad determinado (Aguilar, 1991; Bergerud y Sit, 1994; Velarde, 2002).

3.4.6 Crecimiento e incremento

Con la ecuación seleccionada de mejor ajuste y con los datos correspondientes en las variables de interés altura, diámetro, área basal y volumen, se procede a calcular la tendencia de crecimiento y determinar sus incrementos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Ecuaciones utilizadas para determinar crecimiento e incremento de variables altura, diámetro, área basal y volumen (Velarde, 2002).

Variable	Ecuación ICA	Ecuación IMA
Altura	$ICA = (altura\ 2 - Altura\ 1) / (Edad\ 2 - Edad\ 1)$	$IMA = Altura / Edad$
Diámetro	$ICA = (Diámetro\ 2 - Diámetro\ 1) / (Edad\ 2 - Edad\ 1)$	$IMA = Diámetro / Edad$
Área basal	$ICA = (Área\ basal\ 2 - Área\ basal\ 1) / (Edad\ 2 - Edad\ 1)$	$IMA = Área\ basal / Edad$
Volumen	$ICA = (Volumen\ 2 - Volumen\ 1) / (Edad\ 2 - Edad\ 1)$	$IMA = Volumen / Edad$

3.4.7 Determinación de turno absoluto

Se define como la edad a la que se obtiene la máxima producción leñosa sin importar la naturaleza o calidad de los productos. Se determina en base a la intersección del ICA e IMA (Velarde, 2002).

3.4.8 Análisis de varianza

Para conocer si existe similitud entre las curvas ajustadas de crecimiento de las variables altura, diámetro y área basal de las tres especies de pinos se realizó la comparación de parámetros estimados para los modelos no lineales (Ratkowsky, 1983). La metodología aplicada consiste en los siguientes pasos: 1) examinar las diferencias entre la suma de cuadros residuales (SCR) y de los grados de libertad (g.l.) de los modelos de mejor ajuste, 2) obtener el cuadrado medio residual (CMR), dividiendo la diferencia por los grados de libertad, 3) Obtener el valor de F, dividiendo el paso 2 con el cuadrado medio residual del modelo comparado y 4) Obtener la significancia utilizando una tabla de la distribución de F a 1% de confiabilidad.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ecuaciones ajustadas para crecimiento en diámetro normal, para las tres especies de pinos

Para la especie de *Pinus patula* var. *longepedunculata* la ecuación de Gompertz tiene los estadísticos de mejor ajuste, exponiendo los valores más altos en $R^2=0.8896$, $R^2_{adj}=0.8891$ y el menor valor en el $CME=28.861$. Por otra parte la ecuación de Weibull es la que se ajustó adecuadamente para la especie *Pinus douglasiana*, presentando los coeficientes de determinación con $R^2=0.8914$, $R^2_{adj}=0.8909$ y $CME=22.5025$. En *Pinus pseudostrobus* las cinco ecuaciones mostraron valores iguales en R^2 y R^2_{adj} , tomando como determinación el valor más bajo en el CME, siendo la ecuación de Chapman Richards la de mejor ajuste con los valores $R^2=0.8580$, $R^2_{adj}=0.8577$ y un $CME=29.3276$. Obsérvese que la ecuación de Bertalanffy es la menos ajustada para esta variable (Cuadro 6).

De acuerdo al trabajo de Corral y Nívar (2005) tuvieron similitudes con el presente trabajo, probaron 11 modelos arrojando en sus resultados que las ecuaciones de Chapman Richards y Weibull mostraron el mejor ajuste en diámetro, aunque un menor valor con un R^2 (%)=68 en el análisis de crecimiento e incremento en cinco pináceas de los bosques de Durango, además en el trabajo de Arteaga (2003) coincide que el modelo Chapman Richards es el de mejor ajuste resultados de la evaluación dasométrica en una plantación de *Pinos spp* en Perote Veracruz, mas sin embargo Hernández (2003) en su trabajo encontró la ecuación de Gompertz con mejor ajuste para esta variable en base al menor valor en la suma de cuadrados del error (SCE)=40.412843 seguido de Weibull con SCE=42.606196, resultado de la evaluación de crecimiento en *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* especies de pinos plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Oaxaca.

Cuadro 6. Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en diámetro para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros			
		R ²	R ² _{adj}	CME	a	b	c	d
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	Bertalanffy	0.8891	0.8887	28.9771	20.8072	3.862	1.1998	0.1501
	Chapman-Richards	0.8895	0.8890	28.8752	19.6060	0.2860	4.6964	
	Gompertz	0.8896	0.8891	28.8611	-2.9672	6.0806	0.3129	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.8893	0.8888	28.9283	3.1166	23.6875	1.7441	
	Weibull	0.8894	0.8889	28.9119	18.8589	0.0108	2.1621	
<i>Pinus douglasiana</i>	Bertalanffy	0.8906	0.8901	22.6664	22.8468	0.6909	0.2941	0.4573
	Chapman-Richards	0.8911	0.8907	22.5586	21.2154	0.2031	2.5634	
	Gompertz	0.8913	0.8909	22.5072	-3.0362	3.7065	0.2387	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.8905	0.8900	22.6888	3.3285	9.0403	1.1490	
	Weibull	0.8914	0.8909	22.5025	20.1323	0.0248	1.7327	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Bertalanffy	0.8580	0.8577	29.3288	25.0229	0.1923	0.2835	0.2201
	Chapman-Richards	0.8580	0.8577	29.3276	23.5820	0.0754	1.1947	
	Gompertz	0.8580	0.8577	29.3313	-3.0081	2.4000	0.1367	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.8580	0.8577	29.3302	4.1478	4.8825	0.4469	
	Weibull	0.8580	0.8577	29.3277	22.8520	0.0483	1.1353	

R²=Coeficiente de determinación, R²_{adj}= Coeficiente de determinación ajustada, CME= Cuadrado medio del error, parámetros= a, b, c y d.

4.2 Modelos ajustadas para crecimiento en altura, para las tres especies de pinos

En altura para *Pinus patula* var. *longepedunculata* las ecuaciones de Schumacher y Bertalanffy muestran un R^2 igual, R^2_{adj} similar, es por ello CME más bajo fue la determinación de la elección de la ecuación, siendo la ecuación de Schumacher la mejor ajustada con los valores $R^2=0.9461$, $R^2_{adj}=0.9459$ y un $CME=6.8746$. En *Pinus douglasiana* el modelo de Chapman-R expone estadísticos, de mejor ajuste con $R^2=0.9339$, $R^2_{adj}=0.9337$ y un $CME=5.5110$. De nuevo la ecuación Schumacher presenta el mejor ajuste para *Pinus pseudostrobus* en altura, por sus valores de determinación significativos con $R^2=0.9208$, $R^2_{adj}=0.9206$ y un $CME=9.4667$ (Cuadro 7).

Cabe mencionar que las cinco ecuaciones mostraron valores similares en R^2 , R^2_{adj} y CME, con excepción de la ecuación de Bertalanffy para *P. douglasiana* con el ajuste más bajo.

En base a 10 modelos probados por González (2000) recomienda la ecuación de Chapman Richards para la predicción de crecimiento en altura, esto en base a su trabajo de crecimiento e incremento en la especie *P. estevezii* la cual presentó mejor ajuste, tuvo el menor valor de la suma de cuadrado medio residual (SMR)=0.2096, entre otros también destacando el modelo de Schumacher con valores similares. El modelo de Schumacher es recomendado para predecir la altura por Aguilar (1997), el cual utilizó en su estudio de crecimiento de *P. douglasiana* Martínez y *P. lawsoni* Roehl en la región central de Michoacán.

4.3 Modelos ajustadas para crecimiento en área basal, para las tres especies de pinos

De acuerdo a los resultados la ecuación de Schumacher mostró mayor flexibilidad a un a buen ajustes para *Pinus patula* var. *longepedunculata* teniendo los valores en los estadísticos un $R^2=0.7004$, $R^2_{adj}=0.6985$ y un $CME=0.000215$. Por otra parte de *Pinus douglasiana* la ecuación de Weibull presenta el mejor ajuste mostrando los valores más altos con $R^2=0.6986$, $R^2_{adj}=0.6972$ y un menor valor en el $CME=0.000142$.

Cuadro 7. Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en altura para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros			
		R ²	R ² _{adj}	CME	a	b	c	d
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	Bertalanffy	0.9461	0.9445	6.8765	50.7898	0.1384	0.135	0.1672
	Chapman-Richards	0.9460	0.9458	6.8821	39.6183	0.0362	1.2166	
	Gompertz	0.9457	0.9455	6.9205	-3.1607	2.8817	0.1126	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.9461	0.9459	6.8746	6.2286	7.1363	0.2518	
	Weibull	0.9460	0.9458	6.8834	37.7183	0.0194	1.1638	
<i>Pinus douglasiana</i>	Bertalanffy	0.5980	0.5970	5.5615	36.7055	0.5106	0.2941	0.1191
	Chapman-Richards	0.9336	0.9334	5.5353	24.2646	0.0843	1.7099	
	Gompertz	0.9339	0.9337	5.5110	-3.0099	3.3595	0.1455	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.9334	0.9332	5.5540	4.5844	6.6065	0.4469	
	Weibull	0.9337	0.9335	5.5294	21.0275	0.0183	1.5011	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Bertalanffy	0.9203	0.9201	9.5207	12659134	0.000664	0.00217	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.9206	0.9205	9.4871	1133151	0.0000115	1.0474	
	Gompertz	0.9207	0.9205	9.4769	-4.2003	3.3583	0.0434	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.9208	0.9206	9.4667	-0.0839	-0.7570	-0.4456	
	Weibull	0.9203	0.9202	9.5111	236809	2.90E-06	1.0464	

R²=Coeficiente de determinación, R²_{adj}= Coeficiente de determinación ajustada, CME= Cuadrado medio del error, parámetros= a, b, c y d.

Para *Pinus pseudostrobus*, las ecuaciones Schumacher y Bertalanffy presenta un R^2 igual, donde se seleccionó la ecuación de Schumacher como la de mejor ajuste con $R^2=0.6319$, $R^2_{adj}=0.6302$ y $CME=0.000179$, la razón por su selección es por ser una ecuación con menos parámetros y más sencilla, además que ya mostró buen ajuste en esta variable para *Pinus patula* var. *longepedunculata*. Se observa que todas las ecuaciones tuvieron valores similares y la elección de la ecuación es una diferencia mínima (Cuadro 8).

En trabajos similares Hernández (2003) encontró buenos ajustes en las ecuaciones de Weibull y Gompertz para la variable área basal con menor valor en la suma de cuadrados del error $SCE=15290.99$ y $SCE=15322.63$ respectivamente para cada ecuación, resultado de su trabajo de investigación sobre crecimiento en *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* en Oaxaca. González (2000) en base a resultados de su trabajo sobre crecimiento e incremento en *P. estevezii* al sur de Nuevo Leo, encontró para área basal con el mejor ajuste el modelo de Schumacher presentando el menor valor en el cuadrado medio residual (CMR) con un valor de $CMR=18.470460$.

4.3 Modelos ajustadas para crecimiento en volumen, para las tres especies de pinos

La ecuación de Schumacher presenta estadísticamente los mejores valores en su coeficiente de determinación, esto para las especies de *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. douglasiana*, arrojando los valores $R^2=0.7420$, $R^2_{adj}=0.7405$, $CME=0.1032$ y $R^2=0.6710$, $R^2_{adj} = 0.6703$, $CME=0.0857$, respectivamente.

En *Pinus douglasiana* Gompertz es el modelo con un mejor ajuste considerando los valores $R^2=0.6883$, $R^2_{adj} = 0.6870$ y un $CME=0.0580$. La ecuación de Bertalanffy mostró menor ajuste para las tres especies de pinos en esta variable (Cuadro 9).

Arteaga (2001) indica que el modelo de Schumacher tuvo gran representatividad en modelos de crecimiento para altura, diámetro y volumen en función de la edad para las especies *P. radiata*, *P. oaxacana*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* en el estado de Guerrero.

Cuadro 8. Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en área basal para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros			
		R ²	R ² _{adj}	CME	a	b	c	d
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	Bertalanffy	0.6991	0.6971	2.16E-04	0.0434	2.9849	0.6736	0.1556
	Chapman-Richards	0.6997	0.6985	2.15E-04	0.0333	0.2985	10.1002	
	Gompertz	0.6997	0.6985	2.15E-04	3.4159	12.6219	0.3212	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.7004	0.6985	2.15E-04	-3.2615	120.7	2.2596	
	Weibull	0.6979	0.6971	2.16E-04	0.0321	0.00198	2.6648	
<i>Pinus douglasiana</i>	Bertalanffy	0.6910	0.6908	1.45E-04	76486.9	0.00341	0.00116	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.6980	0.6972	1.42E-04	0.0391	0.2275	6.4216	
	Gompertz	0.6983	0.6972	1.42E-04	3.2590	8.4373	0.2520	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.6975	0.6951	1.43E-04	-2.9431	36.3803	1.5626	
	Weibull	0.6986	0.6972	1.42E-04	0.0354	0.00126	2.8028	
<i>Pinus pseudostrobus</i>	Bertalanffy	0.6319	0.6322	1.78E-04	49679.5	0.00366	0.00116	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.6318	0.6302	1.79E-04	0.0592	0.0593	2.0608	
	Gompertz	0.6318	0.6302	1.79E-04	3.1845	4.2491	0.1177	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.6319	0.6302	1.79E-04	-0.8790	9.4208	0.4177	
	Weibull	0.6318	0.6302	1.79E-04	0.0459	0.00519	1.7337	

R²=Coeficiente de determinación, R²_{adj}= Coeficiente de determinación ajustada, CME= Cuadrado medio del error, parámetros= a, b, c y d.

Velarde (2002) coincide en que el modelo Schumacher brinda una gran eficiencia para la evaluación de crecimiento y elaboración de tablas de volumen de *Pinus lawsoni* y *Pinus oocarpa*. Por otra parte Hernández (2003) en sus resultados arrojó que el modelo de Gompertz presenta buen ajuste en volumen, encontrados en el estudio de crecimiento para las especies de *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. pseudostrobus* y *P. ayacahuite* en el estado de Oaxaca.

4.4 Crecimiento e incremento y determinación del turno absoluto

4.4.1 Diámetro normal

En *Pinus patula* var. *longepedunculata* el crecimiento presenta una curva de forma sigmoideal la cual presenta un crecimiento lento en los primeros 5 años, se observa cómo se encuentra en crecimiento y posteriormente se establece a los 12 años, sin dejar de aumentar el crecimiento, presentando a los 20 años 19.21 cm en diámetro. El incremento corriente anual (ICA) máximo es de 2.22 cm, el cual se observa a los 6 años. El incremento medio anual (IMA) se da a los 9 años teniendo 1.50 cm. La intersección del ICA e IMA representa el turno absoluto el cual en esta especie se da a los 10 años (Figura 4).

La curva de crecimiento para *P. douglasiana* al igual presenta una forma sigmoideal que asemeja a la anterior con un crecimiento lento a los primeros años, posteriormente se observa una pendiente prolongada indicando una aceleración en su crecimiento y este se va estableciendo a los 12, con 19.89 cm en diámetro a los 20 años.

El ICA máximo en esta especie es presentado a los 6 años con un valor de 1.87 cm y presenta un IMA máximo de 1.50 cm a los 9 años. El turno absoluto lo alcanza a los 9 años (Figura 4).

La curva generada en *P. pseudostrobus* refleja una tendencia de crecimiento continuo hasta la edad final de 20 años alcanzando 17.48 cm para esta variable. El incremento corriente anual máximo es de 1.25 cm el cual lo presenta a los 3 años, con un incremento medio anual de 1.18 cm a los 5 años, el turno absoluto lo presenta a los 5 años (Figura 4).

Cuadro 9. Estadísticos de ecuaciones de crecimiento e incremento en volumen para tres especies de pinos en Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros			
		R ²	R ² _{adj}	CME	a	b	c	d
<i>Pinus patula</i> var. <i>longepedunculata</i>	Bertalanffy	0.4462	0.4453	0.1030	2130935	0.00565	0.00116	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.7412	0.7403	0.1033	2.8441	0.0610	2.6769	
	Gompertz	0.7405	0.7395	0.1036	-0.5933	5.4875	0.1198	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.7420	0.7405	0.1032	2.4980	12.9712	0.5638	
	Weibull	0.7412	0.7400	0.1034	2.3709	0.00149	2.0264	
<i>Pinus douglasiana</i>	Bertalanffy	0.4295	0.4287	0.0589	2044191	0.00587	0.00116	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.6881	0.6870	0.0580	1.3086	0.1636	6.3635	
	Gompertz	0.6883	0.6870	0.0580	-0.2045	9.2128	0.1944	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.6878	0.6865	0.0581	0.9287	31.8110	1.1946	
	Weibull	0.6881	0.6865	0.0581	1.0237	0.00026 3	3.1625	
<i>Pinus pseudostrabus</i>	Bertalanffy	0.6646	0.6641	0.0873	1533393	0.00676	0.00116	2.90E-05
	Chapman-Richards	0.6707	0.6703	0.0857	4.0468E +09	1.159E- 06	2.0910	
	Gompertz	0.6707	0.6703	0.0857	-1.7973	5.9569	0.0551	
	Schumacher modificado o modelo de Kolf	0.6710	0.6703	0.0857	-9.7814	-4.7297	-0.2365	
	Weibull	0.6707	0.6703	0.0857	-405091	-3.87E- 09	2.0910	

R²=Coeficiente de determinación, R²_{adj}= Coeficiente de determinación ajustada, CME= Cuadrado medio del error, parámetros= a, b, c y d.

Como se puede observar la especie que alcanzó mayor crecimiento en diámetro a los 20 años es *P. douglasiana* después *P. patula* var. *longepedunculata* y por último *P. pseudostrobus*. El ICA máximo lo presenta *P. patula* var. *longepedunculata* y el IMA máximo lo presentan *P. douglasiana* y *P. patula* var. *longepedunculata* alcanzado a la misma edad.

Klepac (1976) indica que las masas forestales bajo condiciones normales el incremento en diámetro es poco al principio, después aumenta hasta alcanzar una fase alta activa y después disminuye gradualmente, llegando a ser muy reducida en árboles viejos.

Muñoz *et al.* (2010) mencionan que *Pinus patula* var. *longepedunculata* logró incrementos medios anuales (IMA) de 1.3 a 2.2 cm a los 18.8 años, *P. douglasiana* 1.0 a 1.1 cm a los 8.6 años y *P. pseudostrobus* 1.0 a 1.3 cm a 18.8 años, estos en la localidad del Campo Experimental Forestal "Barranca de Cupatitzio" Michoacán, comparando con el presente trabajo, los resultados están en los rangos de incrementos medios anuales.

Los autores Corral y Nívar (2005) en estudios de crecimiento para las especies de *P. cooperi*, *P. duranguensis*, *P. engelmannii*, *P. herrerae* y *P. leiophylla* obtuvieron incrementos en ICA máximos en diámetro de 0.31 cm, 0.28 cm, 0,30 cm, 0,27 cm y 0.22 cm a las edades de 16,16,5,18 y 1 años, el turno técnico lo alcanzaron a los 30, 30, 15, 10 y 5 años, respectivamente para cada especie, comparando con los resultados del presente trabajo los incrementos corrientes anuales para las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus* presentan incrementos mayores, estos son alcanzados a edades más cortas. Como se puede observar el turno absoluto, para nuestras especies, es alcanzado a edades tempranas a comparación de *P. cooperi*, *P. duranguensis*, *P. engelmannii*, de acuerdo a los autores, más sin embargo *P. herrerae* y *P. leiophylla* presenta los turnos similares a nuestras especies estudiadas.

4.4.2 Altura

Las curvas de crecimiento para *P. patula* var. *longepedunculata* presentan una tendencia continua al principio de 0.40 m al año 20 presenta 17.67 m, lo cual se no

se observa ningún punto de inflexión que presente la disminución de crecimiento en altura, el incremento corriente anual (ICA) máximo es de 1.04 m expuesto a los 5 años, y un incremento medio anual (IMA) de 0.93 m a los 10 años. El turno absoluto lo alcanza a los 11 años.

P. douglasiana presenta una curva continua, a los primeros 5 años presenta un crecimiento lento posteriormente muestra una pendiente que muestra la aceleración de crecimiento continuo que alcanza a los 20 años 17.09 m. Esta especie tiene un ICA máximo de 1.09 m a los 7 años, y un incremento medio anual de 0.93 m expuesto a los 12 años, alcanza su turno absoluto a los 12 años.

En *P. pseudostrobus* refleja en su curva de crecimiento casi en forma recta de forma continua a los 20 años de la evaluación tiene 16.32 m. El ICA y el IMA máximos se presentan a la edad de 1 año con un valor de 1.96 m, la culminación de sus incrementos es alcanzada a los 12 años.

El crecimiento más alto a los 20 años en altura lo presenta *P. patula* var. *longepedunculata* seguido de *P. douglasiana* por último *P. pseudostrobus*, los máximos incrementos en ICA e IMA lo presenta *P. pseudostrobus*, pero *P. patula* var. *longepedunculata* es el que alcanza más rápido la culminación de sus incrementos.

Klepac (1976) señala que el incremento anual en altura es al principio pequeño, después aumenta; alcanza su culminación, disminuye y finalmente cesa, por lo tanto, el curso del desarrollo de la altura media de la masa muestra una curva en forma de S, si la altura media se considera en función de la edad de la masa.

Velarde (2002) encontró los incrementos en altura a una edad de 20 años en las especies *P. lawsoni* con ICA de 0.62 m y IMA de 0.53 m y en *P. oocarpa* un ICA 0.63 m y un IMA 0.63 m, *P. lawsoni* la culminación de sus incrementos se presentan a 25 años y *P. oocarpa* los 20 años. Comparando los incrementos con nuestros resultados estas especies presentan incrementos inferiores a los resultados de las especies estudiadas. En general la culminación de las curvas de incremento son más cortas en las especies estudiadas, confrontando con los resultados de comparación.

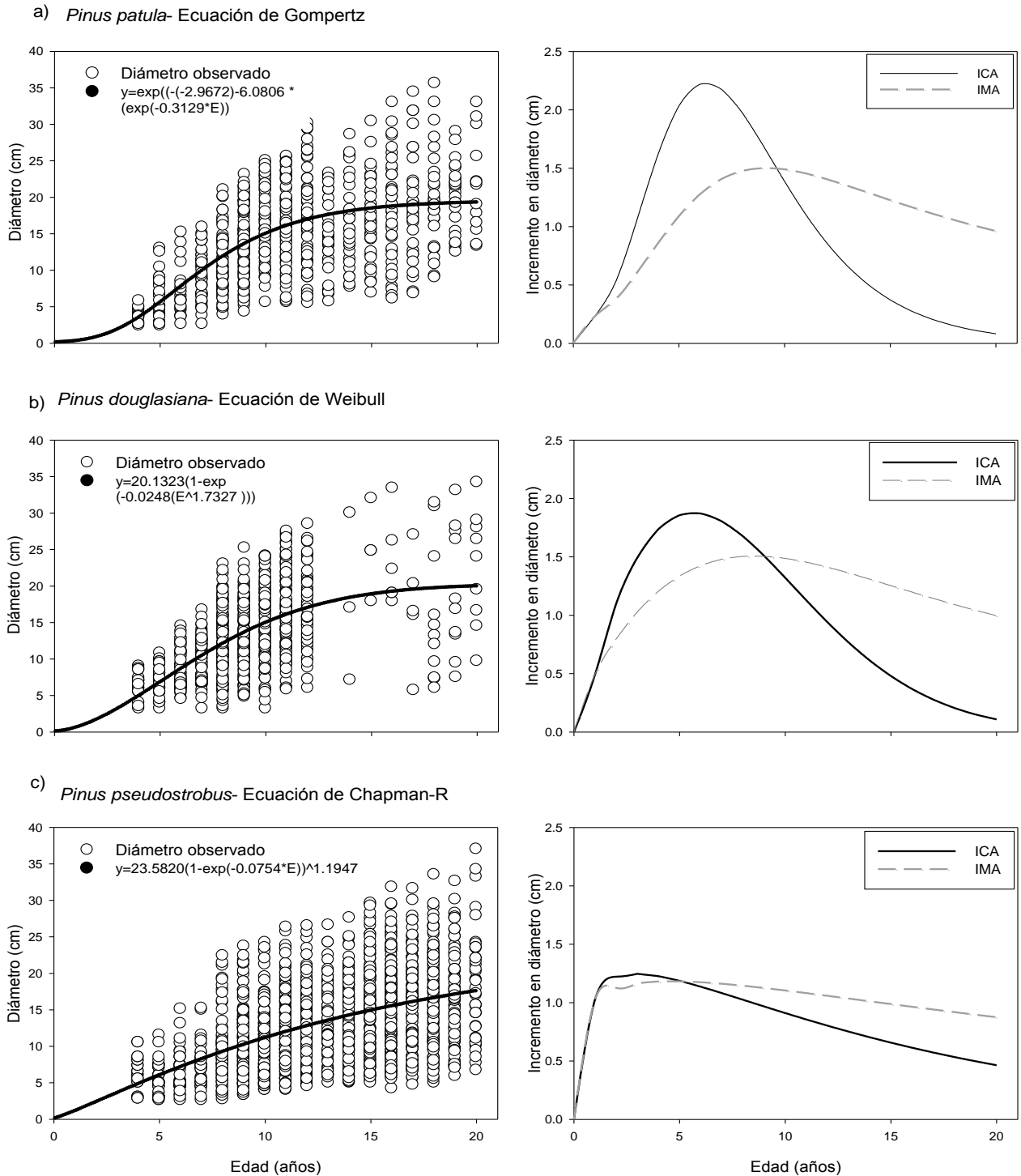


Figura 4. Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 1.30 m, ajustada por el modelo seleccionado: a) *Pinus patula* var. *longepedunculata*, b) *Pinus douglasiana* y c) *Pinus pseudostrobus* en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

4.4.3 Área basal

En *P. patula* var. *longepedunculata* el crecimiento es continuo presentando en los primeros años un mínimos valores y al año 20 un crecimiento en área basal de 0.0334 m², arroja un incremento corriente anual (ICA) máximo de 0.0041 m²a los 8 años, y un incremento medio anual (IMA) máximo de 0.0020 m² a los 12 años. Alcanzando el turno absoluto a los 12 años (Figura 6).

La curva que presenta *P. douglasiana* es de forma sigmoideal presentando un crecimiento lento al principio y acelerándose a los 20 años un crecimiento en área basal 0.0353 m². Para esta especie el ICA máximo lo presenta a los 10 años con un incremento de 0.0036 m² y un IMA máximo de 0.0022 m², su turno absoluto lo alcanzó a los 14 años (Figura 6).

Al igual que *P. patula* var. *longepedunculata* la especie *P. pseudotrobus* presenta una curva continua y ascendente pero con menor crecimiento teniendo a los 20 años un crecimiento en área basal de 0.0280 m². Los incrementos en ICA máximo es de 0.0017 m² dados a 12 años y un IMA máximo de 0.0014 m² presente a los 20 años, el turno absoluto aún no es alcanzado a los 20 años, sin embargo la tendencia de las curvas en crecimiento para área basal, llegara rápido su turno absoluto (Figura 6).

El mayor crecimiento en área basal a los 20 años de evaluación lo presentó *P. douglasiana* seguido de *P. patula* var. *longepedunculata* se puede observar mayor disminución en *P. pseudostrobus*. El ICA máximo lo presenta *P. patula* var. *longepedunculata* y el IMA máximo se observó en *P. douglasiana*.

El desarrollo del área basal de la masa forestal en función de la edad presenta también una curva del tipo S, esta va variando de acuerdo con la especie (Klepac, 1976).

González (2000) observó en las curvas de crecimiento para área basal a los 3 años el crecimiento es prácticamente insignificante, a los 9 años aumenta con mayor velocidad hasta los 18 años y posteriormente se estabiliza, para los incrementos estas aumentan con la edad en forma rápida y luego decrece en forma lenta, las curvas se cruzan a los 17 años de edad, esto en su estudio de crecimiento para *P. douglasiana* y *P. estevezii* en el estado de Michoacán.

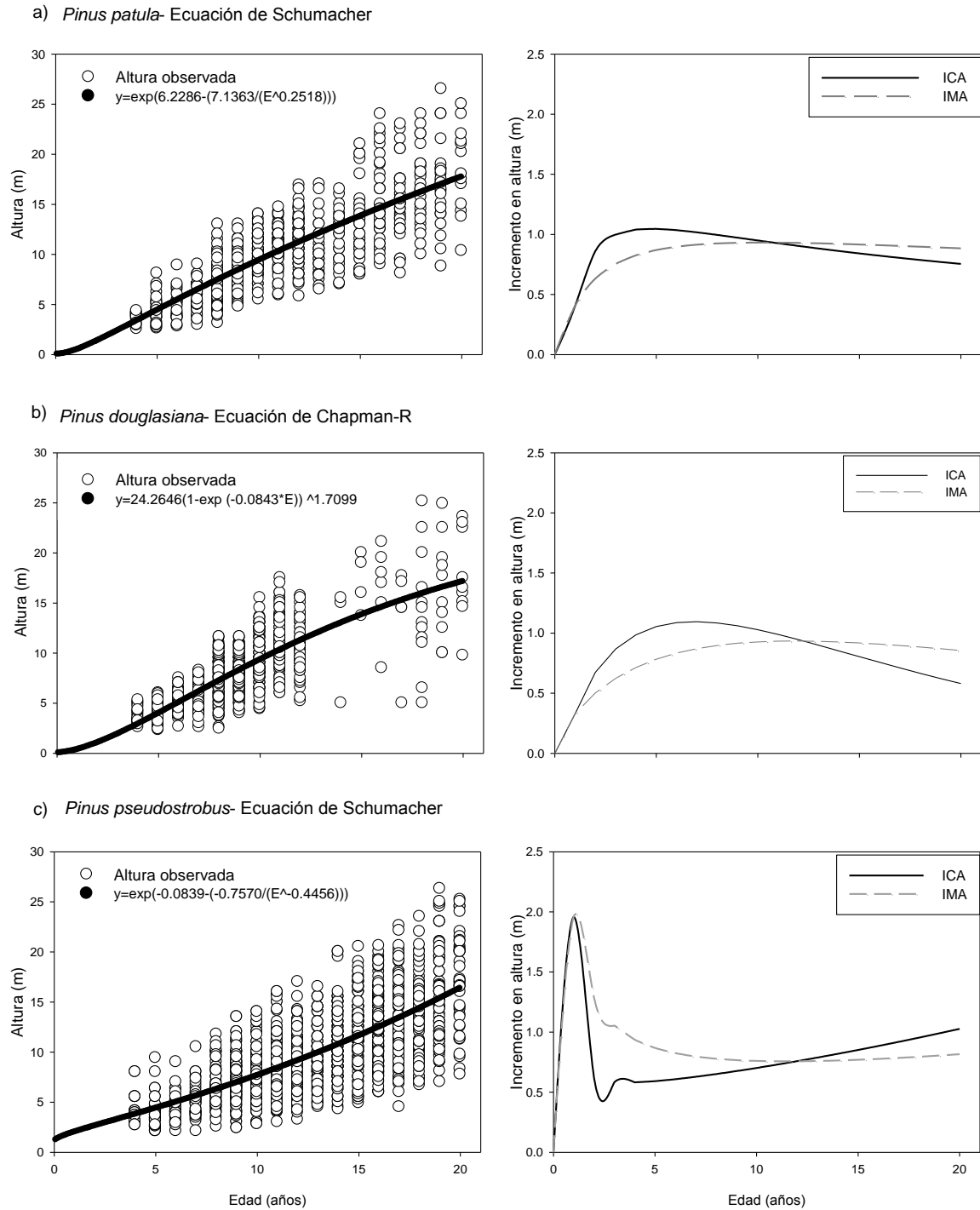


Figura 5. Curvas de crecimiento e incrementos en altura m, ajustada por el modelo seleccionado: a) *Pinus patula* var. *longepedunculata*, b) *Pinus douglasiana* y c) *Pinus pseudostrobus* en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Como se puede observar el comportamiento de las curvas las especies estudiadas son similares a nuestros resultados, los mayores incrementos lo presentan *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. douglasiana* con valores similares, la culminación de sus incrementos se presenta a edades más cortas para las especies del presente estudio.

Sin embargo para *P. pseudostrobus* los incrementos aún se encuentran en crecimiento, presentando una tendencia a que estas culminarán en un tiempo no menos a 5 años.

4.4.4 Volumen

La curva que presenta *P. patula* var. *longepedunculata* es de forma continua y ascendente al año uno presenta 0.000028 m^3 y a los 20 años 1.10 m^3 , expone un incremento corriente anual (ICA) máximo de 0.07 m^3 a los 16 años y un incremento medio anual (IMA) máximo de 0.05 m^3 a los 20 años. El turno absoluto en volumen aún no ha sido alcanzado (Figura 7).

Para *P. douglasiana* presenta una curva sigmoideal con menor crecimiento al inicio y posteriormente presenta una pendiente prolongada que indica su crecimiento ascendente presentando a los 20 años un volumen de 1.01 m^3 . El valor máximo en ICA es de 0.08 m^3 presentado a los 12 años, y un IMA máximo de 0.05 m^3 a los 18 años. La culminación de los incrementos se presenta a los 18 años, por lo cual este es el turno absoluto para esta especie (Figura 7).

En *P. pseudostrobus* la tendencia de la curva es continua y ascendente presentando un crecimiento a los 20 años de 0.83 m^3 . Los incrementos máximos son dados a los 20 años con un ICA máximo de 0.09 m^3 y un IMA máximo de 0.04 m^3 . El turno absoluto aún no es alcanzado (Figura 7).

En volumen el mayor crecimiento a los 20 años lo presentó *P. patula* var. *longepedunculata* en seguida *P. douglasiana* por último *P. pseudostrobus*. El ICA máximo lo presentó *P. pseudostrobus* y el IMA máximo lo presentan *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. douglasiana*.

Corral y Nívar (2005) encontraron los incrementos máximos en volumen con valores en ICA para *P. durangensis* ($0.012 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$), *P. cooperi* ($0.0115 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$),

P. engelmanni ($0.011 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$), *P. leiophylla* ($0.008 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) y *P. herrerae* ($0.0075 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$) a edades de 59, 50, 44, 88 y 58 años, respectivamente, los turnos técnicos fueron alcanzados a los 95, 80, 70, 155 y 105 de acuerdo al orden ya mencionado.

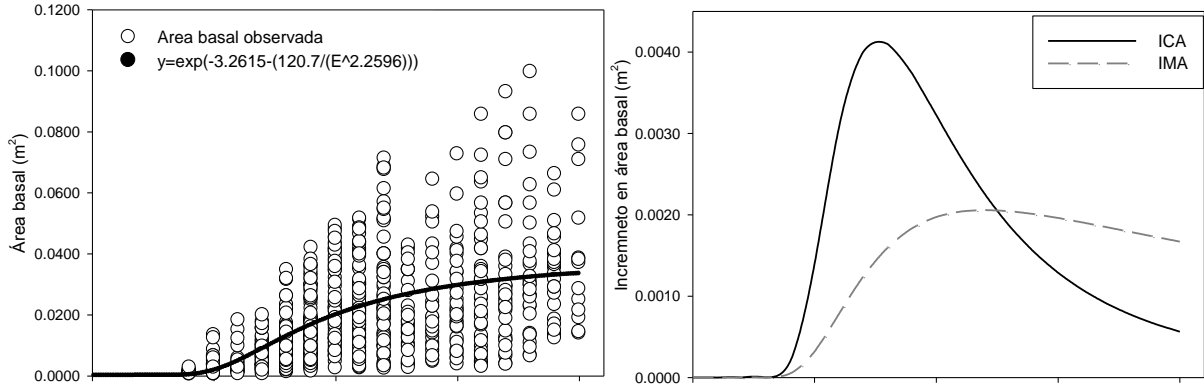
Comparando con nuestros resultados arrojados las especies analizadas presentan mejores incrementos con valores en diferencia significativa y se presentan a edades más cortas.

La tendencia de la curvas de incremento indica que el punto de culminación del ICA e IMA para *P. patula* var. *longepedunculata* se dará en los próximos 20 años, Vela (2010) menciona que *P. patula* var. *longepedunculata* es una especie de rápido crecimiento, llega a su madurez entre los 30 y 35 años de edad, su crecimiento bajo cultivo es alrededor de un metro por año y sin ningún tratamiento silvícolas es poco menor, de acuerdo a lo mencionado explica el por qué no ha llegado al turno absoluto a la edad de 20 años para nuestra evaluación, esto lo afirma Monroy (1989) en su trabajo de patrones de crecimiento en altura, diámetro normal y volumen para *pinus patula* var. *longepedunculata*, en condiciones naturales, que permite sugerir un turno silvícola de 40 años en los rodales estudiados, lo cual fundamenta en el cruce de las curvas de incremento medio e incremento corriente anual en volumen.

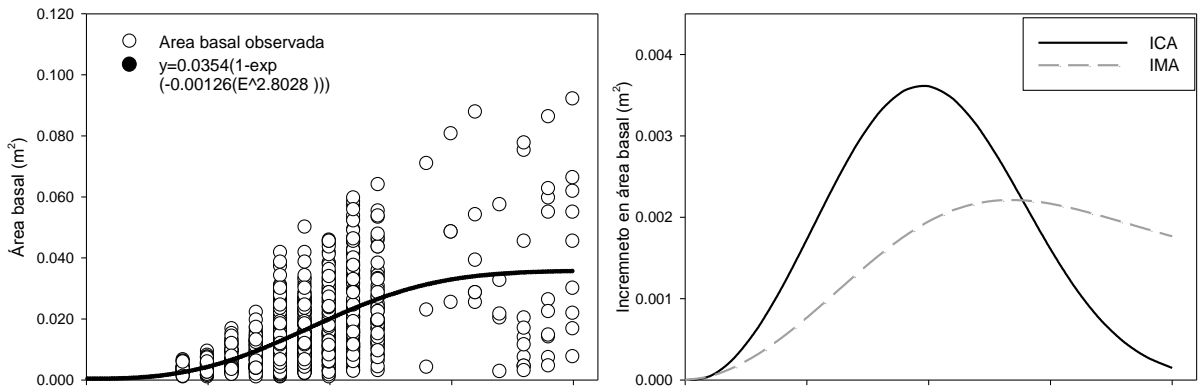
P. douglasiana alcanzó el turno absoluto en volumen a los 18 años de edad, Valencia (1995) menciona que el turno en volumen para *P. douglasiana* es de 50 años, sin embargo si las masas en campo se sometieran a un manejo adecuado alcanzaría dimensiones similares con un turno de 30 años, en comparación a nuestro resultado puede observarse que el turno es alcanzado a una edad más corta. Morales (2015) menciona que el efecto de densidad es causa de la culminación de los incrementos, ya que para esta especie es de 1,111 árboles por hectárea en el área del predio, además en el área de la especie se presenta exposición soleada Noroeste.

Para *P. pseudostrobus* en la comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán se encontró un turno de 50 años (Sáenz *et al.*, 2011), en comparación a los resultados se observando que la tendencia de incrementos aún se encuentra en una tendencia de alto crecimiento y contante, por lo cual es difícil pronosticar la culminación de los incrementos.

a) *Pinus patula*- Ecuación de Schumacher



b) *Pinus douglasiana*- Ecuación de Weibull



c) *Pinus pseudostrobus*- Ecuación de Schumacher

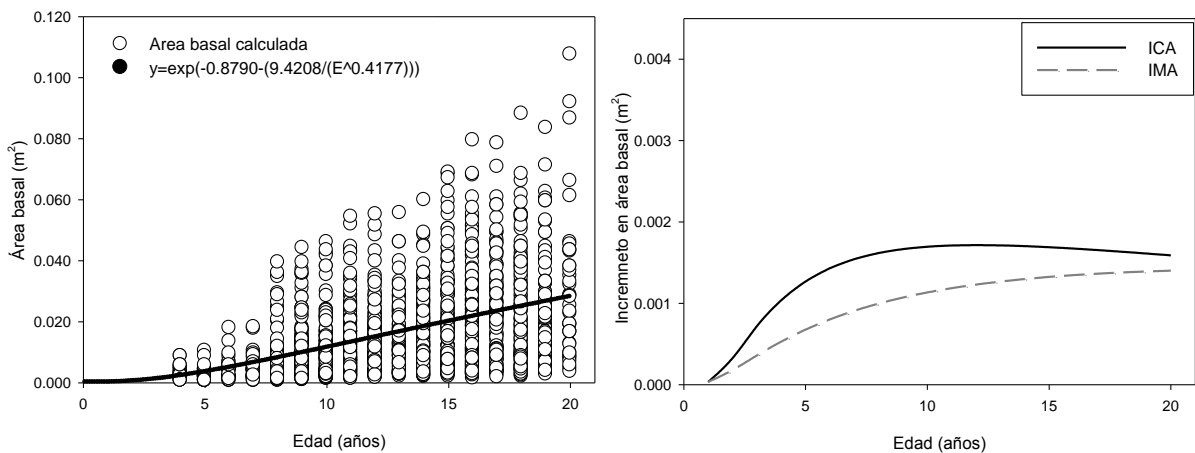


Figura 6. Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (m^2), ajustada por el modelo seleccionado: a) *Pinus patula* var. *longepedunculata*, b) *Pinus douglasiana* y c) *Pinus pseudostrobus* en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Klepac, (1976) menciona el que volumen del árbol aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde su nacimiento hasta su muerte. La curva es también en forma de "S", pero el punto de inflexión en esta curva ocurre aún más tarde que en las curvas del incremento en altura y diámetro, lo que tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen. Bajo condiciones diferentes el incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal. Con la edad el incremento anual en diámetro del árbol disminuye gradualmente; los anillos de crecimiento tienden a ser más estrechos, pero el correspondiente incremento en volumen permanece más tiempo y cuando los anillos de crecimiento se hacen considerablemente más estrechos comienza la disminución.

4.5 Comparación de curvas de crecimiento en tres especies de pinos

4.5.1 Diámetro normal

El análisis de varianza sirve para la comparación de parámetros estimados de los modelos no lineales seleccionados en diámetro para las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*, de acuerdo a la regla de decisión (** $p > 0.01$), indicando que este es altamente significativo es decir su comportamiento es diferente, o de lo contrario ($p < 0.01$) indica no hay diferencia, es decir el comportamiento es igual.

En base a los estadísticos arrojan que las tendencias de crecimiento para las tres especies son iguales, esto sujeto a que los valores no son tan altos para sobrepasar el rango de varianza (Cuadro 10) las curvas de crecimiento se presentan en (Figura 8), en las curvas se puede observar el comportamiento del crecimiento en las tres especies, nótese que *P. douglasiana* y *P. patula* var. *longepedunculata* tienen mayor similitud en forma sigmoideal y *P. pseudostrobus* presenta la tendencia más continua, sin embargo esta no están fuera del rango de varianza y no se considera diferente en el comportamiento de su crecimiento.

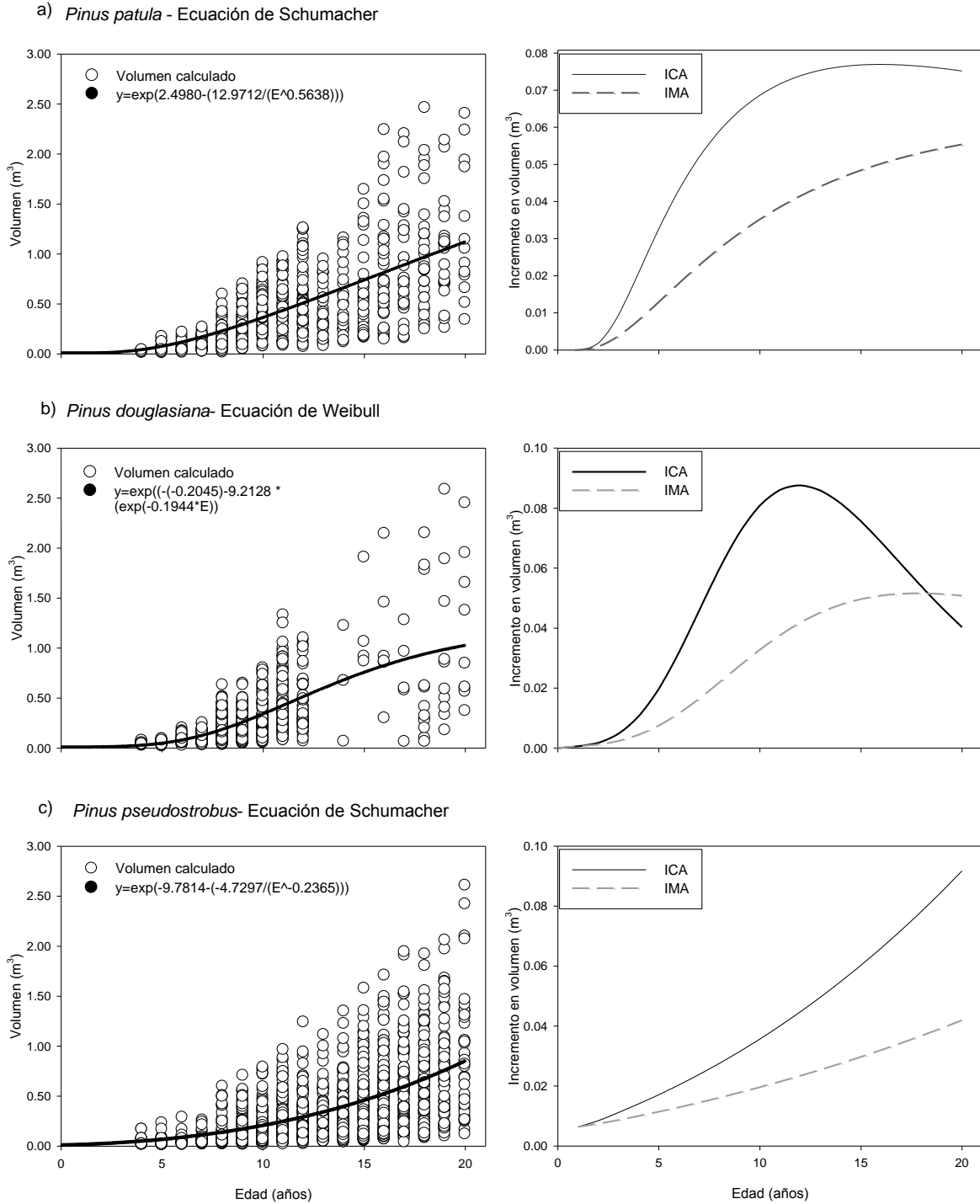


Figura 7. Curvas de crecimiento e incrementos en volumen (m³), ajustada por el modelo seleccionado: a) *Pinus patula* var. *longepedunculata*, b) *Pinus douglasiana* y c) *Pinus pseudostrobus* en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Cuadro 10. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en diámetro normal de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.

Modelos seleccionado	Grados de libertad residuales (GL)	Suma de Cuadrados residuales (SCR)	Cuadrado medio residual (CMR)	Grados de libertad del modelo (GL)	
(C) <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> (Gompertz)	677	19538.9	28.8611	3	
(B) <i>P. douglasiana</i> (Weibull)	757	17034.4	22.5025	3	
(A) <i>P. pseudostrobus</i> (Chapman-R)	1517	44490	29.3276	3	
	gl	Cambio en SCR	CMR	F calculada	Valor de la tabla F 0.01
(A) – (B)	760	27455.6	36.1258	1.6054	3.82
(A) – (C)	840	24951.1	29.7037	1.0292	3.81
(B) – (C)	80	2504.5	31.3063	1.0847	3.78

(p < 0.01)

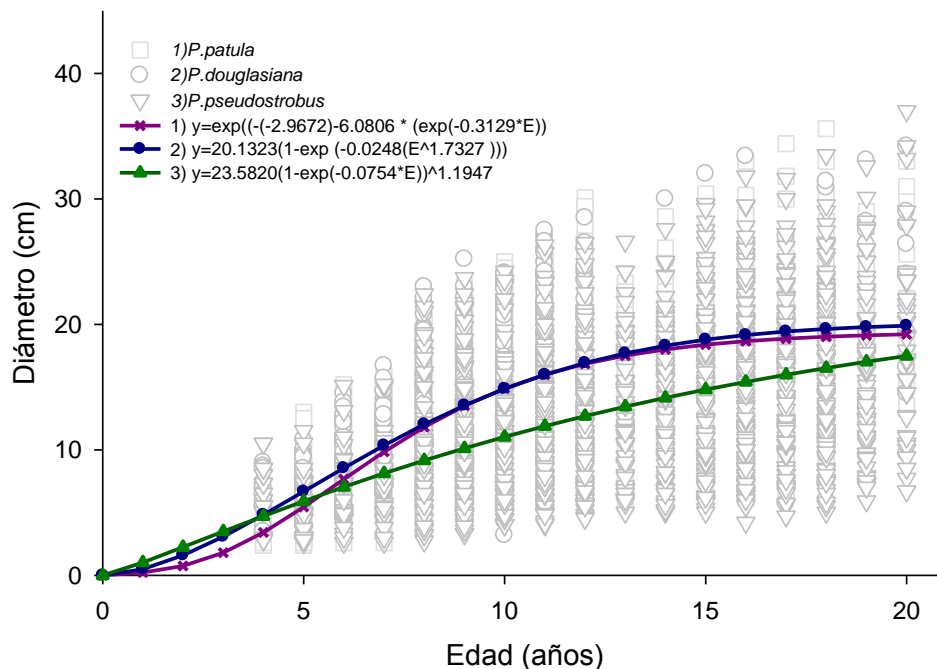


Figura 8. Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en diámetro normal para tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

4.5.2 Altura

El análisis de varianza para en las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*, de acuerdo a la regla de decisión los resultados arrojaron valores que indican que las curvas ajustadas de las tres especies, no fueron altamente significativas, es decir la tendencia de crecimiento en altura es igual (Cuadro 11). Las curvas muestran mayor similitud en el crecimiento en altura, para las tres especies de pinos, sin embargo *P. patula* var. *longepedunculata* y *P. douglasiana* tienen la tendencia casi igual a comparación de *P. pseudostrobus* que presenta menor crecimiento en diámetro en basa a la edad (Figura 9).

Cuadro 11. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en altura de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.

Modelos seleccionado	Grados de libertad residual (GL)	Suma de Cuadrado residual (SCR)	Cuadrado medio residual (CMR)	Grados de libertad modelo (GL)	
(C) <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> (Schumacher)	677	4654.1	6.8746	3	
(B) <i>P. douglasiana</i> (Chapman-R)	757	4190.3	5.5353	3	
(A) <i>P. pseudostrobus</i> (Schumacher)	1517	14361.0	9.4667	3	
	gl	Cambio en SCR	CMR	F calculada	Valor de la tabla F 0.01
(A) – (B)	760	10170.7	13.3825	2.4177	3.82
(A) – (C)	840	9706.9	11.5558	1.6809	3.81
(B) – (C)	80	463.8	5.7975	0.8433	3.78

(p < 0.01)

4.5.3 Área basal

Como se observan los valores de F calculada son menores a el valor F de la tabla, en las especies *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*, indicando que de acuerdo a la regla de decisión estas curvas de crecimiento se comportan de igual forma (Cuadro 12) la tendencia de las curvas de crecimiento de igual forma *P. pseudostrobus* presenta menor crecimiento en área basal a comparación de las otras dos especies que son casi de igual crecimiento (Figura 10).

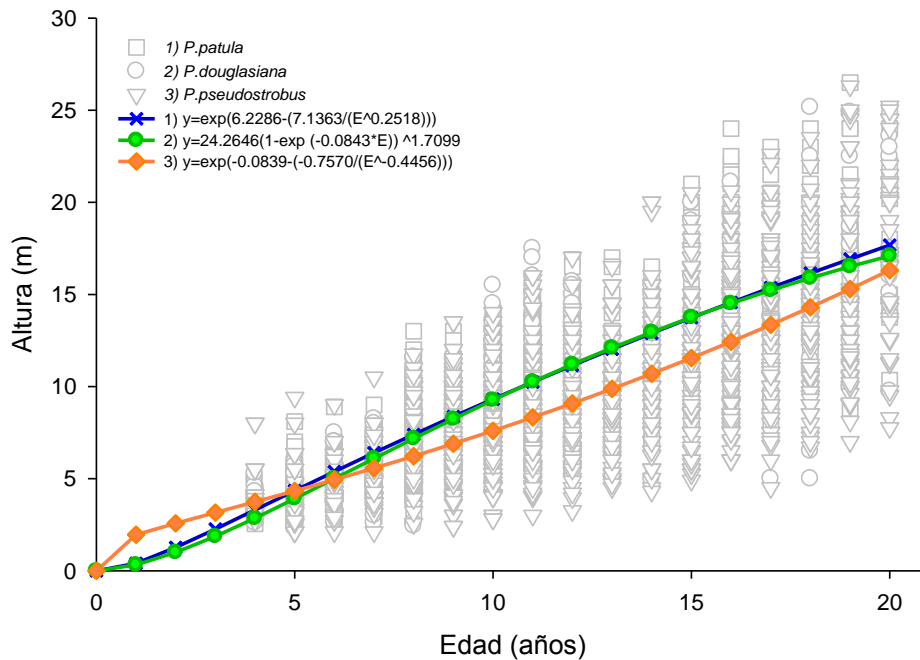


Figura 9. Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en altura (m) para tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Cuadro 12. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en área basal de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.

Modelos seleccionados	Grados de libertad residual (GL)	Suma de cuadrado residual (SCR)	Cuadrado medio residual (CMR)	Grados de libertad modelo (GL)	
(C) <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> (Schumacher)	677	0.1453	0.000215	3	
(B) <i>P. douglasiana</i> (Weibull)	757	0.1076	0.000142	3	
(A) <i>P. pseudostrobus</i> (Schumacher)	1517	0.2709	0.000179	3	
	gl	Cambio en SCR	CMR	F calculada	Valor de la tabla F
(A) – (B)	760	0.1633	0.000215	1.5132	3.82
(A) – (C)	840	0.1256	0.000150	0.8353	3.81
(B) – (C)	80	0.0377	0.000471	2.1919	3.78

(p < 0.01)

4.5.4 Volumen

De acuerdo a los parámetros de la ecuación mejor ajustada los estadísticos arrojan que las curvas de tendencia en crecimiento para *P. patula* var. *longepedunculata*, *P. douglasiana* y *P. pseudostrobus*, se comparten de la misma forma (Cuadro 13), sin embargo comparando *P. pseudostrobus* y *P. patula* var. *longepedunculata* casi llegan a valor de alta significancia lo que podría decir que son diferentes en su comportamiento de crecimiento. Como se observa la mayor variación entre las tres curvas la presenta *P. pseudostrobus* más sin embargo esta dentro de los datos de dispersión (Figura 11).

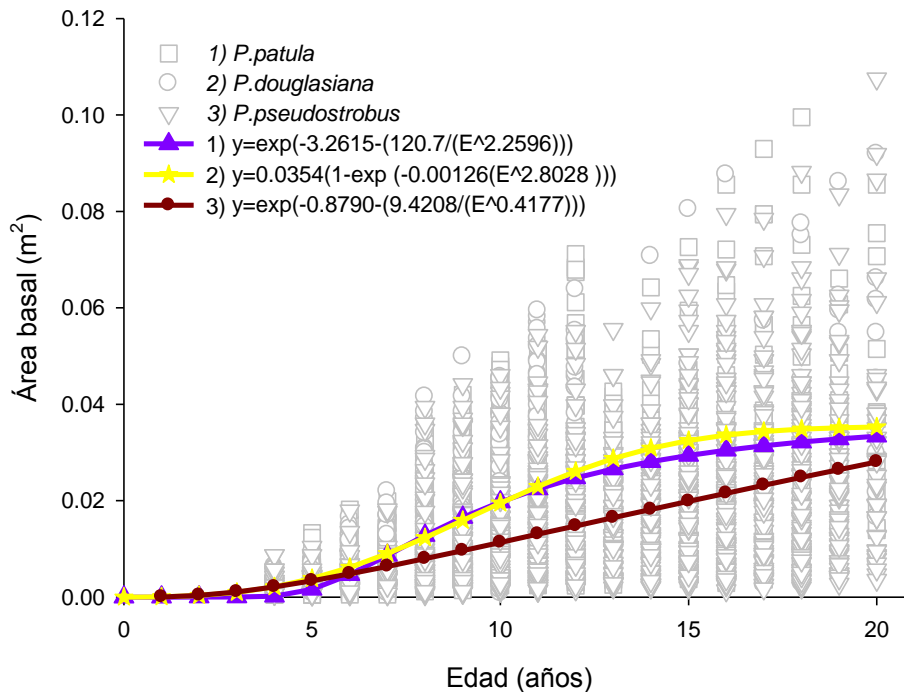


Figura 10. Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en área basal (m²) en tres especies de pinos, en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

Cuadro 13. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en volumen de las tres especies de pinos en Miahuatlán, Oaxaca.

Modelos seleccionado	Grados de libertad residual (GL)	Suma de cuadrado residual (SCR)	Cuadrado medio residual (CMR)	Grados de libertad modelo (GL)	
(C) <i>P. patula</i> var. <i>longepedunculata</i> (Schumacher)	677	69.8354	0.1032	3	
(B) <i>P. douglasiana</i> (Gompertz)	757	43.9264	0.0580	3	
(A) <i>P. pseudostrobus</i> (Schumacher)	1517	130.0	0.0857	3	
	gl	Cambio en SCR	CMR	F calculada	Valor de la tabla F 0.01
(A) – (B)	760	86.1	0.1133	1.9527	3.82
(A) – (C)	840	60.2	0.0716	0.6940	3.81
(B) – (C)	80	25.909	0.3239	3.1382	3.78

(p < 0.01)

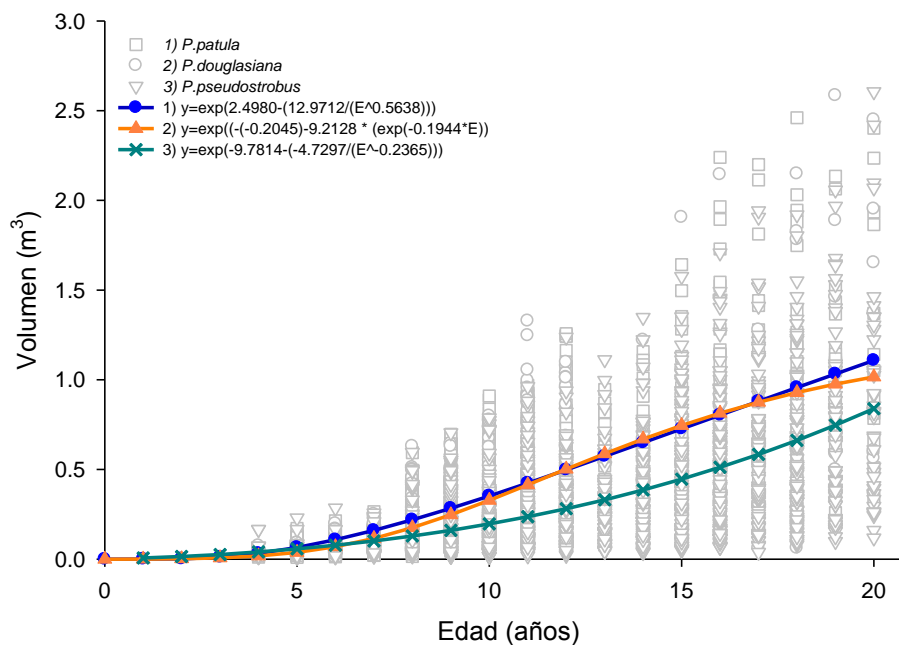


Figura 11. Curvas de crecimiento de los modelos mejor ajustados en volumen (m³) en tres especies de pinos en plantaciones comerciales en la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca.

5 CONCLUSIÓN

1. El crecimiento e incremento en tres especies de pinos en diámetro, altura, área basal y volumen en plantaciones a 20 años establecidas no son diferentes estadísticamente, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.
2. En la mayoría de las ecuaciones no lineales utilizadas presentaron buenos ajustes en las variables analizadas.
3. La especie que presenta los mayores valores en crecimiento e incrementos es *P. patula* var. *longepedunculata* seguido de *P. douglasiana* y con valores menores *P. pseudostrobus*.
4. El turno absoluto solamente fue alcanzado en *P. douglasiana* para las diámetro, altura, área basal y volumen con los turnos de 9, 12, 14 y 18 años.
5. Las curvas de crecimiento en las variables estudiadas para las tres especies de pinos presentan la misma tendencia.

6 RECOMENDACIONES

1. Las ecuaciones generadas presentan un buen ajuste las cuales son recomendadas para su aplicación en esta región con características ambientales similares, para la predicción de crecimiento e incremento, en base a 20 años de establecidas.
2. Para la obtención de estos crecimientos e incrementos en las tres especies de pinos se recomienda seguir con la aplicación de tratamientos silvícolas y la densidad adecuada.
3. Continuar con evaluaciones en los sitios permanentes, para conocer a futuro el comportamiento del crecimiento e incremento en las tres especies de pinos, bajo diferentes tratamientos silvícolas que serán aplicados en base a los diferentes tipos turnos convenientes a productores.
4. Las plantaciones existentes en la región del Distrito de Miahuatlan, Oaxaca, sean integradas a plantaciones con objetivo comercial desde el principio de su establecimiento, a fin de poder llevar un buen manejo desde el principio.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R., M. 1991. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Ciencia Forestal en México* 16:88-108.
- Aguilar R., M. 1997. Crecimiento de *P. douglasiana* Martínez y *P. lawsoni* Roehl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal en México* 22(81):40-70.
- Arteaga M., B. 2001. Evaluación dasométrica de plantaciones de cuatro especies de pinos en Ayotoxtla, Guerrero. *Revista de Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 2 (6):151-157.
- Arteaga M., B. 2003. Evaluación dasométrica de una plantación de *Pinus spp* en Perote Veracruz, México. *Recursos genéticos forestales México*5:27-32.
- Bergerud., W. y V. Sit. 1994. Catalog of curves for curve fitting. *Biometrics Information Hand book series No. 4*. British Columbia. Forest Science Research Branch 110p.
- CONAFOR. 2007. Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales a 15 años de su creación. Zapopan, Jalisco, México.198p.
- CONAFOR. sf. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. 472p.
- CONAFOR.2001. Plan estratégico forestal para México. 2025.Informe Final versión 2.1.191p.
- Corral R., S., y J. J. Nívar C. 2005. Análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y bosques* 11:29-47.
- Cortés M., J. P. 2010. Crecimiento de diámetro y altura para tres plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 73 p.
- Cuevas G., X., C. Parragurre L., y B. Rodríguez S. 1992. Modelos de crecimiento para una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla King*). *Ciencia Forestal en México* 17:88-102.

- Fortes., A.R. 1994. Establecimiento de las plantaciones forestales comerciales en México. In Arteaga, B.; Musálem, M.A. (Eds.). IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. SARH. México. D.F. pp.302-310.
- García E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- González Z., M. 2000. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al sur de Nuevo León. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.98 p.
- Hernández L., I. 2003. Crecimiento de tres especies de pino plantadas bajo dos tratamientos silvícolas en Santiago Comaltepec, Ixtlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Coahuila.100p.
- INEGI. 2000a. Conjunto de Datos vectoriales Fisiografía. Escala 1:1000000. México.
- INEGI. 2000b. Conjunto de Datos vectoriales Edafología. Escala 1:1000000. México.
- INEGI. 2004. Guía para interpretación de cartografía edafología. Aguas calientes. Primera impresión. Talleres Gráficos del Instituto Nacional de estadística Geográfica e Información. 28p.
- INEGI. 2009. Guía para interpretación de cartografía uso de asuelo y vegetación: Escala 1:250 000: serie III / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.77p.
- INEGI. sf. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos; San Miguel Suchixtepec, Oaxaca. Clave geoestadística 20279. 8p.
- Inturre C., M., y Araujo P. A. 2006.Crecimiento y producción del rodal regular. Facultad de ciencias forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. 75p.

- Klepac D., 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Departamento de Enseñanza e Investigaciones y Servicio en Bosques, Universidad Autónoma de Chapingo, México. 365 p.
- Klepac D., 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. 2ª. México. 297p.
- Martínez R., R., H. S. Azpíroz R., J. L. Rodríguez D., V. M. Cetina A., y M. A. Gutiérrez E. 2006. Importancia de plantaciones forestales de *eucalyptus*. Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable. 2:815-846.
- Martínez R., R. 2005. Reseña de “Silvicultura de Plantaciones Forestales Comerciales” de Miguel Ángel Musálem. Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable.1:421-425.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. In: Primera reunión sobre modelos decrecimiento de árboles y masas forestales. Publicación Especial. Instituto Nacional Investigaciones Forestales No.44. México. 35-45p.
- Monroy R., C. 1989. Patrones de crecimiento para *Pinus patula* var. *longipedunculata* en la región Huayacocotla, Veracruz. Catálogo de tecnología disponible del CIFAP –VER-INIFAP-SARH. México. 10-12p.
- Morales H. J. 2015. Comunicación personal. Consultoría Forestal. Tecnico responsable. moraleshj2003@yohoo.com.mx.
- Morales S., M.A. 2012. Establecimiento de un Área Semillera de *Pinus patula* var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 84p.
- Muñoz F., H. G., J.T. Sáenz R., J.J. García S., E. Hernández M., y J. Anguiano C. 2011. Áreas Potenciales para Establecer Plantaciones Forestales Comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggi* Engelm. En Michoacán. Ciencia Forestal en México 5:30-44.

- Muñoz F., H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A. y J. J. García M. 2010. Factores ambientales de y su adaptación a las condiciones de la Sierra Purécha, Michoacán. Recursos Genéticos Forestales México. 12(2):27-33.
- Musálem., M. A. 2006. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México. 213p.
- Pérez G., G., M. Domínguez D., P. Martínez Z. y J. D. Etchevers B. 2012. Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. Madera y bosques. 18:7-24.
- Perry, J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregón, U.S.A. 231 p.
- Ratkowsky., D.A. 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. 1st ed. Marcel Dekker, Inc. New York. Vol. 48. 276 p.
- Robles P., D. D. 2008. SAGARPA, Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable. Plan de Desarrollo Municipal San Sebastián Rio Hondo. 182p.
- Sáenz R., J. T., F. H. Muñoz J., y S. A. Rueda 2011. Especies Promisorias de Clima Templado para Plantaciones Forestales Comerciales en Michoacán. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 213 p.
- Sandoval G., C. 2006. Evaluación de sobrevivencia, estado fitosanitario y crecimiento de plantaciones de pinos en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. Coahuila. 33 p.
- SEMARNAT y CONAFOR. 2003. Evaluación externa "Programa para desarrollo de plantaciones forestales". Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares NL. 121p.
- Torres R., J. M. y O.S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa y Grupo Noriega editores. México. 472p.

- UMAFOR. 2008. Estudio regional de Miahuatlán Pochutla, Oaxaca. UMAFOR 20 08, Oaxaca, Oaxaca.177p.
- Valencia V., J.1995. Determinación del espacio de crecimiento adecuado para *Pinus douglasiana* Martínez, en el campo experimental barranca de Cupatitzio. Ciencia Forestal en México 20:23-34.
- Vela G., L. 2010. Contribución a la ecología de *Pinus patula Schlecht et Cham*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaría Forestal y de la Fauna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.Universidad Estatal de Pensilvania19:109p.
- Velarde R., J.C. 2002. Estudio de crecimiento y elaboración de tablas de volumen para *Pinus lawsoni* y *Pinus oocarpa*. Diplomado. Aprovechamiento de conservación y restauración de los recursos forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México. 79p.
- Zeide B., 1993. Analysis of growth equations. Forest Science. 39(3):594-616.
- Zúñiga V., N. D. 2013. Tablas de volúmenes para Plantaciones de Tres especies de pino en Miahuatlán, Oaxaca. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.62p.