

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Análisis de Crecimiento en Diámetro y Altura de tres Especies Tropicales
en Plantación de Enriquecimiento en Pochutla, Oaxaca.

Por:

BARTOLOMÉ SANTIAGO GARCÍA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Análisis de Crecimiento en Diámetro y Altura de Tres Especies Tropicales en Plantación
de Enriquecimiento en Pochutla, Oaxaca.

Por:

BARTOLOMÉ SANTIAGO GARCÍA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

M.C. Celestino Flores López
Asesor Principal

Dr. Alejandro Zárate Lupericio
Coasesor

Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2012

Esta tesis ha sido apoyada por el proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 02-03-02072192. Proyecto que pertenece al Departamento Forestal, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

Con la mayor gratitud por los esfuerzos realizados para que yo lograra terminar mi carrera profesional siendo para mí la mejor herencia. “Con amor, admiración y respeto”. A mi madre que es el ser más maravilloso de todo el mundo. Gracias por el apoyo moral, tu cariño y comprensión que desde niño me has brindado, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más difíciles.

A mi padre porque desde pequeño ha sido para mí un gran hombre maravilloso al que siempre he admirado. Gracias por guiar mi vida con energía, esto ha hecho que sea lo que soy.

A mis queridos hermanos por ser parte de la familia y por compartir grandes momentos de felicidad conmigo. Por toda la armonía y alegría de familia y por alentarme a seguir adelante. Pero sobre todo les pido ánimo y trabajo constante para seguir luchando para un mejor futuro.

Con profundo amor y admiración a mis abuelos por todo el apoyo incondicional, sobre todo por sus sabios consejos que me han alentado a seguir adelante a pesar de las circunstancias en la vida. Muchas gracias.

A mis tíos (as) por el gran apoyo moral que siempre me han brindado durante la vida y durante el proceso de mi carrera profesional.

A mis primos (as) por compartir grandes momentos de felicidad en familia y por la gran amistad existente entre nosotros.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por darme la vida, valentía, constancia y fortaleza de aprovechar todos los instantes de la vida.

Expreso mi profunda gratitud a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme dado la oportunidad de prepararme como profesional durante estos cinco años.

Por el valioso apoyo, credibilidad, empuje y conocimientos académicos que recibí por parte de los académicos que se involucraron en mi formación durante el desarrollo del presente proyecto de investigación, agradezco sinceramente a:

Al M.C. Celestino Flores López por su excelencia como profesor y consejero, por todas sus enseñanzas, y disposición en las asesorías otorgadas durante la realización de esta investigación y por su gran amistad.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio por su contribución para el desarrollo de la presente investigación, así como su enseñanza que ha sido importante en mi formación.

Al Ing. Juan Morales Hernández por la confianza que depositó en mí y sobre todo su colaboración para el proceso y desarrollo de esta investigación.

Al C. José Luís López Pérez por todo el apoyo brindado y haber puesto a disposición el campo de trabajo donde se recabaron los datos para la ejecución de esta investigación.

Al Dr. Jorge Méndez Gonzales y M. C. José Aniseto Díaz Balderas por su incondicional apoyo durante el trayecto de mi formación profesional.

Al personal que labora en las plantaciones de Agrosilvícola San José S. P de R. L. por su gran apoyo en la toma de datos de campo.

A mis entrañables amigos y compañeros de la generación 2007-2012 de la carrera de Ingeniero Forestal por la gran amistad: Manuel, Javier, Andrés, Leonardo, Maybeth, Angelina, Adrián, Edilberto, Francisco Javier, Gamaliel, Rusbeli, Eber, Inocencia, Rosalina, Flor, Ángela, Gualberto, Verónica, Cecilio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Plantaciones forestales en México	4
2.1.1 Historia de las plantaciones forestales en México	4
2.1.2 Instituciones que actualmente promueven el desarrollo de plantaciones forestales comerciales	6
2.1.3 Especies forestales mas utilizadas en plantaciones forestales.....	6
2.2 Especies tropicales utilizadas en plantaciones forestales en México	7
2.2.1 Especies forestales tropicales que más se plantan	7
2.3 Especies de estudio.....	8
2.3.1 <i>Cedrela odorata</i> L	8
2.3.2 <i>Swietenia macrophylla</i> King.....	8
2.3.3 <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	9
2.4 Plantaciones de enriquecimiento	9
2.4.1 Que son las plantaciones de enriquecimiento.....	10
2.4.2 Condiciones de establecimiento de las plantaciones de enriquecimiento....	10
2.4.3 Ventajas y desventajas de las plantaciones de enriquecimiento	11
2.4.4 Métodos de plantaciones de enriquecimiento	12
2.4.5 Experiencias de plantaciones de enriquecimiento en México	13
2.5 Crecimiento de los árboles tropicales	13
2.5.1 Crecimiento de árboles tropicales y sus anillos de crecimiento	14
2.5.2 Curvas de crecimiento de los árboles tropicales.....	15
2.6 Modelos de crecimiento	16
2.6.1 Modelos más utilizados para las especies tropicales.....	17
2.7 Estudios sobre crecimiento de las tres especies forestales tropicales de interés.	17

3 MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1 Descripción del área de estudio.....	19
3.1.1 Ubicación geográfica	19
3.1.2 Orografía.....	20
3.1.3 Hidrología.....	21
3.1.4 Clima.....	21
3.1.5 Suelo.....	21
3.1.6 Vegetación asociada.....	22
3.2 Antecedentes de las plantaciones.....	22
3.2.1 Problemas de sanidad en las plantaciones.....	23
3.3 Diseño de muestreo.....	23
3.3.1 Establecimiento de sitios permanentes.....	24
3.4 Variables dasométricas evaluadas	24
3.5 Modelos de crecimiento	25
3.5.1 Incremento en diámetro y altura de las tres especies.....	25
3.5.2 Estadísticos de evaluación del modelo.....	26
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1 Crecimiento en diámetro y altura promedio para <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	27
4.1.1 Crecimiento en <i>Cedrela odorata</i> L	27
4.1.2 Crecimiento en <i>Swietenia macrophylla</i> King	29
4.1.3 Crecimiento en <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	34
4.2 Incremento en diámetro y altura.....	36
4.2.1 Incremento en diámetro y altura en <i>Cedrela odorata</i> L.....	36
4.2.2 Incremento en diámetro y altura de <i>Swietenia macrophylla</i> King.....	37
4.2.3 Incremento en diámetro y altura de <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	40
5 CONCLUSIONES.....	43
6 RECOMENDACIONES	44
7 LITERATURA CITADA.....	45
APÉNDICES.....	51

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar crecimiento en diámetro y altura para <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	25
Cuadro 2. Crecimiento e incremento (ICA e IMA) de las especies <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose en diámetro y altura a una comparación de cinco años de edad.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales de enriquecimiento de acahual, en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Sandoval, 2010. 19
- Figura 2. Ubicación geográfica de la plantación forestal comercial, bajo el sistema agroforestal, predio El Triunfo, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca. Sandoval, 2010..... 20
- Figura 3. Gráfica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Cedrela odorata* L. en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 28
- Figura 4. Gráfica general de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca..... 30
- Figura 5. Gráfica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., correspondiente a la exposición norte (N, NE y NW). 31
- Figura 6. Gráfica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., correspondiente a la exposición sur (S, SE y SW) 32
- Figura 7. Gráfica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Tabebuia donnell-smithii* Rose. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. 35

- Figura 8. Curvas de incremento en diámetro ajustada por el modelo Schumacher modificado por Bailey y Clutter (A) y altura promedio ajustada por el modelo de Chapman-Richards (B) para *Cedrela odorata* L, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 36
- Figura 9. Curvas de incremento en diámetro (A) y altura promedio (B) ajustadas por el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter de la exposición norte (N, NE y NW) de *Swietenia macrophylla* King, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. 38
- Figura 10. Curvas de incremento en diámetro (A) y altura promedio (B) ajustadas por el modelo de Weibull de la exposición sur (S, SE y SW) de *Swietenia macrophylla* King, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. 39
- Figura 11. Curvas de incremento en diámetro ajustada por el modelo de Weibull (A) y altura promedio ajustada por el modelo de Chapman-Richards (B) para *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. 40

RESUMEN

Con el propósito de generar información sobre el crecimiento de las especies forestales tropicales en México sobre todo en plantaciones forestales tropicales se realizó la presente investigación en especies de *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, establecidas como plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Municipio de San Pedro Pochutla y en Santiago La Galera, Municipio de Candelaria Loxicha, ambos del distrito de Pochutla, Oaxaca.

Se remidieron los diámetros y alturas totales de los árboles en las parcelas permanentes de muestreo con superficies de 250 m² en 40 sitios de muestreo durante tres años consecutivos, con la finalidad de generar curvas de crecimiento promedio e incremento de las tres especies a través de los modelos Schumacher modificado por Bailey y Clutter, Chapman-Richards y Weibull.

El mejor modelo para predecir el crecimiento es el de Weibull y comparando el crecimiento promedio a los ocho años el mejor fue presentado para *Cedrela odorata* con un diámetro de 12.12 cm y una altura de 9.61 m, para *Swietenia macrophylla* en la exposición norte (N, NE y NW) se presentaron los mejores crecimientos. En lo que respecta a los incrementos *Cedrela odorata* fue el que presentó el valor más alto en ICA para diámetro con un incremento de 1.73 cm/año y para la altura fue *Swietenia macrophylla* con un ICA de 2.34 m/año en la exposición norte y para el IMA los mejores valores fueron presentados para *Cedrela odorata* para ambas variables a la edad de 5 años de establecimiento de la plantación.

Palabras claves: crecimiento, modelos de crecimiento, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, enriquecimiento de acahual

ABSTRACT

In order to generate information on the growth of tropical forest species in Mexico, especially in tropical forest plantations, this research was performed in species of *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King and *Tabebuia donnell-smithii* Rose, established as acahual enrichment planting in San Jose Chacalapa, Municipality of San Pedro Pochutla and in Santiago La Galera, municipality of Candelaria Loxicha, both are district of Pochutla, Oaxaca.

The diameters and the total heights of trees were remeasured in permanent sample plots with areas of 250 m² in 40 sampling plots for three consecutive years in order to generate growth curves and increased average of the three species through Schumacher models modified by Bailey and Clutter, Chapman-Richards and Weibull.

The best model to predict growth was the Weibull and comparing the average growth at eight years, *Cedrela odorata* was the best with a diameter of 12.1 cm and a height of 9.6 m, for *Swietenia macrophylla* in the northern exposure (N, NE and NW) showed the best growth. In regard to *Cedrela odorata* increases was the one with the highest value in ICA diameter with an increase of 1.73 cm per year and in height was *Swietenia macrophylla* with ICA of 2.34 m per year in the northern exposure and IMA the best values were presented for *Cedrela odorata* for both variables to the age of 5 years of plantation establishment.

Keywords: growth, growth models, *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii*, acahual enrichment

1 INTRODUCCIÓN

México está considerado como un país con vocación forestal importante. Sin embargo la superficie forestal ha venido disminuyendo en las últimas décadas perdiendo el 2% de la cubierta boscosa anualmente, esto debido a diferentes causas, dentro de las cuales destacan los incendios, desmontes, sobrepastoreo, plagas y enfermedades y daños antropogénicos, ante tal situación las plantaciones forestales comerciales presentan características favorables y son aptas para ser desarrolladas y aprovechadas como una alternativa viable (Caballero, 2000; Carlson, 2004; Rueda *et al.*, 2007).

Para México, las plantaciones forestales comerciales son una estrategia de incremento de la producción, disminución de la presión sobre los bosques naturales y como instrumento para reducir la dependencia de productos forestales de otros países, se destaca del análisis de la balanza comercial de productos forestales de México (UANL-Facultad de Ciencias Forestales, 2004).

Las plantaciones forestales tienen en común la producción maderable para el abastecimiento de la materia prima. Sin embargo, éstas no sólo cumplen este propósito, adicionalmente pueden ser importantes en la protección y conservación de los recursos asociados al bosque como el suelo, agua, fauna silvestre y otros (Téllez, 2006; Sáenz-Reyes *et al.*, 2007).

Desde la perspectiva técnica, combinando el conocimiento silvícola, económico, social, ecológico y financiero, existen argumentos suficientes para señalar que en México las plantaciones forestales son una opción viable, con posibilidades de contribuir a satisfacer la demanda interna de productos forestales y además, generar excedentes para la entrada de divisas y así contribuir al desarrollo económico del país (Téllez, 2006; Zamudio *et al.*, 2010).

Un ejemplo es la plantación forestal comercial que se estableció en el año de 1974, en la porción noroeste del estado de Oaxaca en la localidad conocida como La

Sabana donde se plantaron las especies de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W. H. G., *Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Martínez, *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* Morelet, con la finalidad de obtener productos para la fabricación de papel por parte de la empresa papelera Tuxtepec (Caballero, 2000).

Otro ejemplo en la parte tropical es la plantación forestal comercial de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, con especies de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* Bertol, *Cordia alliodora* (Ruíz & Pavón) Cham, *Ceiba pentandra* L. Gaertn y *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Que es muy importante en su tipo, porque se está desarrollando en áreas que fueron fuertemente impulsadas por la agricultura por el método de roza-tumba-quema, por lo que la finalidad es enriquecer el acahual de la zona, a través de la introducción de especies maderables a fin de incrementar su valor y es una estrategia viable para mantener la biodiversidad y recuperar el ecosistema forestal degradado (García, 2005; Montagnini *et al.*, 2006). También a través del establecimiento y manejo de las plantaciones se reduce la presión sobre los bosques naturales, se fomenta la inversión privada y social en el sector forestal, y una fuente de ingresos para la población (Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados, 2011).

Queda clara la importancia que las plantaciones representan para el trópico mexicano y con el fin de solucionar la deficiencia de materia prima en la industria y hacer más eficiente el mercado de exportación en el sureste mexicano (Bravo *et al.*, 2007).

Además de que en México son pocos las investigaciones de enriquecimiento de acahual y agroforestal que se han realizado, lo que hace importante conocer cuál es el ritmo de crecimiento que tienen las plantaciones de San José Chacalapa y Santiago La Galera, Pochutla, Oaxaca a través de las evaluaciones continuas que se han hecho, lo cual permitirá establecer criterios para el manejo de plantaciones de este tipo.

1.1 Objetivo general

Estimar el crecimiento promedio en diámetro y altura de tres especies (*Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose) en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera en Candelaria Loxicha, Oaxaca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales en México

Históricamente los esfuerzos de reforestación que se ha desarrollado en México han sido con fines protectores, reguladores y ecológicos, que comerciales o industriales, sin embargo, ante la drástica reducción de la superficie arbolada y la creciente demanda de productos forestales que se ha venido dando en los últimos años, ha despertado el interés en las plantaciones forestales (Caballero, 2000).

Actualmente en México la superficie cubierta por plantaciones forestales comerciales alcanza aproximadamente 117, 474 ha, de las cuales las especies maderables representan un 85.2%, distribuidas básicamente en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, y el resto de las plantaciones forestales comerciales corresponde a las especies no maderables (Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados, 2011).

2.1.1 Historia de las plantaciones forestales en México

Para lo cual nuestro país el primer intento por desarrollar plantaciones forestales comerciales se da en el año 1932 por la Compañía Cerillera La Imperial, en el Estado de México, plantando en una superficie menor a las 100 ha, donde se emplearon especies del género *Populus* sp. (Caballero, 2000; Monreal, 2005).

Para el año de 1953 la empresa Fibracel inició un programa de plantaciones forestales con el objetivo de abastecer una industria de tableros de fibra, estableciendo en el Estado de San Luís Potosí 5,000 ha de plantaciones, para lo cual en el año 1969 fueron cosechados y los terrenos fueron dedicados para otros fines (Monreal, 2005).

Entre el año 1974 y 1983 el gobierno federal, a través del FIDEBA (Fideicomiso para el Desarrollo del Plan de Estructuración de Bosques Artificiales) con el objetivo de abastecer a la planta de celulosa ubicada en Tuxtepec, Oaxaca, la Fábrica de Papel

Tuxtepec (FAPATUX), realizó una plantación con alrededor de 9,000 ha en el municipio de San Juan Cotzocón, Oaxaca, empleando especies de pinos tropicales como: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barret y Golfari, *P. caribaea* var. *caribaea*, *P. tropicalis* Morelet y *P. oocarpa* Schiede, que para después fue suspendida y se estima que en el año 2000 existían solamente 6,000 ha (Monreal, 2005; Villa, 2010).

Por otro lado, durante 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 ha de plantaciones con diferentes especies de pinos de la localidad (*Pinus arizonica* Engelm, *P. durangensis* Martínez y *P. engelmannii* Carr.), las cuales tuvieron como propósito la producción de madera en rollo (Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados, 2011).

En la década de los noventa específicamente en el año de 1994, se inician en el Sureste del país, proyectos de plantaciones a grandes escalas, con la finalidad de producir materias primas celulósicas. Los principales proyectos fueron PLANFOSUR que plantó 7,000 ha en Las Choapas, Veracruz, El Desarrollo Forestal que estableció 2,000 ha de plantaciones en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco estos dos grandes proyectos se llevaron a cabo entre los años de 1994 a 1997 y para los años de 1997 y 1999, Smurfit, realizó una plantación de 900 ha en El Carmen, Campeche (Monreal, 2005).

Para el año de 1997, con la entrada del Programa de Desarrollo de Plantaciones (PRODEPLAN), se incorporan nuevos proyectos como las Plantaciones de Tehuantepec (PLANTEH) que plantó 1,000 ha en el norte del Estado de Oaxaca entre los años 1999 y 2000 empleando especies del género *Eucalyptus* sp. Este programa se fue popularizando en los últimos años, lo que también ha abarcado a las especies no maderables de semidesierto y de trópico húmedo, que inicialmente no estaban contempladas (Monreal, 2005).

Los proyectos que presentan un gran avance se localizan en el sureste del país, principalmente en los Estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, y en menor medida

en los Estados de Chiapas, Oaxaca y Puebla. Existen nuevos proyectos en desarrollo como Promotora de Plantadores del Sureste (PROPLANSE), con 4,000 ha plantadas, Forestales Mexicanos Agroindustrial Agua Fría y Agropecuaria Santa Genoveva, todos estos cuentan con alrededor de 3,000 ha plantadas cada uno (Monreal, 2005).

2.1.2 Instituciones que actualmente promueven el desarrollo de plantaciones forestales comerciales

Una de las instituciones que ha participado para el establecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales comerciales en México es la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), un organismo público descentralizado de la SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales), a través de la Gerencia de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales de la Coordinación General de Producción y Productividad de la CONAFOR operaba el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales (PRODEPLAN), que inicia en 1997 rediseñado en el año 2001 con el objetivo principal de apoyar el establecimiento de plantaciones forestales (UANL-Facultad de Ciencias Forestales, 2004), en la cual el PRODEPLAN se ha ido transformando hasta ser un concepto de apoyo de ProÁrbol con el mismo objetivo de seguir fomentando el desarrollo de Plantaciones forestales (Fierros, 2010).

2.1.3 Especies forestales más utilizadas en plantaciones forestales

En base a las evaluaciones realizadas por el Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible y la Comisión Nacional Forestal, indican que las principales especies usadas en México para las plantaciones forestales de acuerdo a la superficie plantada, son los siguientes especies: *Eucalyptus* spp., *Cedrela odorata* L., *Gmelina arbórea* Roxb., *Pinus* spp., *Swietenia* spp., *Tectona grandis* L., *Agave lechuguilla* Torr., *Hevea brasiliensis* Müll., *Chamaedorea* spp., *Tabebuia rosea* Bertol., pino navideño y otras. Estas especies son las más utilizadas en las tres principales ecosistemas de México (Merino *et al.*, 2008; Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados, 2011).

Evaluaciones realizadas por otros organismos indican que las especies más utilizadas para las plantaciones forestales comerciales en nuestro país son del género *Pinus*, se incluyen diversas especies entre las cuales destacan: *Pinus patula* Schl. et Cham, *Pinus ayacahuite* Ehren y *Pinus strobus* var. *chiapensis* L., que constituyen la mayor parte del área de las plantaciones forestales de coníferas FAO (2000), mientras que para las plantaciones frondosas de acuerdo a las superficies que ocupan, las especies más demandadas corresponden a *Cedrela odorata* L., *Paulownia elongata* Siebold & Zucc., *Prosopis* sp., *Eucalyptus* sp., *Gmelina arbórea* Roxb., *Swietenia macrophylla* King., *Phitecellobium ébano* (Berl.) Muller (UANL-Facultad de Ciencias Forestales, 2004).

2.2 Especies tropicales utilizadas en plantaciones forestales en México

De acuerdo a los datos de la Comisión Nacional Forestal, indican que las especies con mayor demanda para las plantaciones forestales comerciales en áreas tropicales de México son *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Gmelina arbórea* Roxb., *Eucalyptus* sp y *Tectona grandis* L. (Conafor, 2006).

2.2.1 Especies forestales tropicales que más se plantan

Diversas unidades forestales y empresas que han trabajado en el sureste mexicano, han hecho a través del tiempo, numerosos esfuerzos en materia de plantaciones de especies tropicales, en las cuales se han destacado especies tanto exóticas y nativas tales como: jobo (*Spondias mombin* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King.), cedro (*Cedrela odorata* L.), negrito (*Simarouba glauca* DC.), parota (*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb.), macuilis (*Tabebuía rosea* Bertol. DC.), melina (*Gmelina arbórea* Roxb.), teca (*Tectona grandis* L.), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) (Caballero, 2000).

Por otra parte la FAO, señala diversas especies que predominan en las plantaciones forestales tropicales en donde destacan dos del género *Eucalyptus* y *Pinus*, estos dos grupos representan el 43.4 % de las áreas de las plantaciones

tropicales. Pero existen otras especies de importancia que figuran *Acacia*, *Tectona grandis* L y *Gmelina arborea* Roxb. (FAO, 2000).

2.2 Especies de estudio

2.3.1 *Cedrela odorata* L

El cedro rojo es un árbol caducifolio de 20 a 35 metros de altura y diámetros hasta 1.7 m, ramas ascendentes y gruesas, copa redondeada y densa. Corteza externa ampliamente fisurada, pardo grisácea a moreno rojizo, corteza interna rosada cambiando a pardo amarillenta, fibrosa y amarga. La madera presenta un color crema rosado con un olor muy característico y sabor amargo. Hojas lanceoladas u oblongas, asimétricas, con el margen entero, ápice acuminado, base muy asimétrica. Tiene flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia. Frutos en infrutescencias hasta 30 cm, péndulas. Cápsulas de 2.5 a 5 cm de largo, elipsoides a oblongas (Niembro, 1986 y Pennington y Sarukhán, 1998).

Se distribuye en la vertiente del golfo de México desde Tamaulipas hasta Yucatán y Quintana Roo y en la vertiente del pacífico desde Sinaloa hasta Chiapas. Forma parte de los bosques tropical perennifolio, tropical subcaducifolio y tropical caducifolio. La madera del cedro rojo es de excelente calidad que se utiliza para la fabricación de muebles finos, decoración de interiores, instrumentos musicales, cubiertas y forros de embarcaciones, parquet, triplay, chapa, y ebanistería en general (Niembro, 1986).

2.3.2 *Swietenia macrophylla* King

La caoba es un árbol de 40 a 50 m de altura y diámetros hasta de 3.5 m, ramas gruesas ascendentes y torcidas, con la copa abierta y redondeada, corteza profunda y ampliamente fisurada con las costillas escamosas en piezas alargadas, pardo grisácea, la corteza interna rosada a roja, fibrosa de sabor amargo y astringente. Madera de color blanco a rosado. Hojas lanceolados u ovados, muy asimétricos, con el margen entero,

ápice agudo hasta finamente acuminado, base asimétrica. Flores de ambos sexos en las mismas inflorescencias. Semillas de 1 cm de largo, angulosas y morenas, con una ala de 6 a 7 cm de largo (Niembro 1986; Pennington y Sarukhán, 1998). Esta especie forma parte del bosque tropical perennifolio, se distribuye en los estados de Puebla, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo y Chiapas. La madera de caoba es de excelente calidad, es utilizada para la fabricación de muebles finos, instrumentos musicales, artículos torneados, chapa, triplay, duela, artículos decorativos, artesanías y ebanistería (Niembro, 1986).

2.3.3 *Tabebuia donnell-smithii* Rose

La primavera es un árbol de 30 m de altura y diámetros de hasta 70 cm con el tronco ligeramente acanalado, ramas ascendentes, copa alargada. Corteza externa parda amarillenta, con abundantes lenticelas protuberantes. Interna de color crema amarillento. Hojas decusadas, digitado-compuestas, de 20 a 70 cm de largo incluyendo el peciolo, 9 compuestas de 7 folíolos, ocasionalmente 5, elípticos, oblongos u obovados, margen ligeramente repando, ápice agudo o acuminado. Flores zigomórficas en panículas terminales, piramidales, con ramas cimosas de 15 a 35 cm de largo. El fruto es una cápsula de 25 a 50 cm de largo, péndulas, aplanadas y las semillas aladas y aplanadas de 1.5 cm de largo incluyendo el ala (Pennington y Sarukhán, 1998).

Forma parte de las selvas medianas subcaducifolias y se distribuye en la vertiente del pacífico desde Nayarit hasta Chiapas. Presenta una madera suave de color clara que es muy apreciada para la fabricación de muebles (Pennington y Sarukhán, 1998).

2.4 Plantaciones de enriquecimiento

Las plantaciones de enriquecimiento corresponden a la introducción de especies arbóreas valiosas en bosques que han sido degradados, sin eliminar a los árboles

presentes, es una opción viable cuando la regeneración natural es incipiente y las condiciones del suelo son poco indicadas para otros usos (Montagnini *et al.*, 2006).

Para este tipo de plantación y/o reforestación se recomienda una densidad máxima de 500 plantas por hectárea y por lo general las especies que más han sido utilizadas en este tipo de sistema de plantación son plantas de alto valor comercial actual, donde se puede hacer mención a la caoba (*Swietenia macrophylla* King.) cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y ciricote (*Cordia dodecandra* A.DC.) (Macario y Sánchez, 2010).

2.4.1 Que son las plantaciones de enriquecimiento

Con este tipo plantación se pretende recuperar matorrales o bosques degradados, formando un nuevo bosque productivo que será aprovechado años más tarde. Este bosque está formado de individuos de rápido crecimiento y alto valor económico que son plantados en fajas o líneas y se distribuyen en forma equidistante dentro de los bosques (Tobar, 1997).

2.4.2 Condiciones de establecimiento de las plantaciones de enriquecimiento

El enriquecimiento es una técnica que se aplica en bosques relativamente pobres en especies económicamente importantes en las selvas, debido a prácticas irracionales de extracción, en donde la regeneración de especies valiosas fracasa, ante la pérdida de árboles semilleros y a la falta de sitios adecuados para el establecimiento de nuevas plántulas. Lo cual hace necesarias aquellas labores tendientes a incrementar esa relación y consiste en establecer artificialmente en el rodal las especies de interés económica, sin embargo, la mayoría de estas plantaciones han fracasado debido a la falta de control de la maleza después de la plantación, esto por el rápido crecimiento de la maleza en los bosques tropicales generalmente deriva que las plántulas sean dominadas por la vegetación competidora en cuestión de pocos meses (Samek, 1974; Parraguirre, 1993; Fredericksen *et al.*, 2001).

Lo que hace necesario realizar un mantenimiento adecuado a las plantas introducidas mediante la eliminación de los brinzales y a la tala o anillamiento de algunos árboles de especies no valiosas en los bordes de los grupos o de las líneas o corredores enriquecidos (Álvarez y Varona, 1988).

2.4.3 Ventajas y desventajas de las plantaciones de enriquecimiento

El método de enriquecimiento tiene muchas ventajas al ser muy flexible, se puede aplicar en todas las especies, bien sean exigentes a la luz o a la sombra; se puede aplicar en casi todas las situaciones topográficas, es decir, tanto en llanuras como en montañas y además, es relativamente fácil de practicar y algunas de sus modificaciones se controlan fácilmente (Samek, 1974).

Otra de las ventajas es que los costos de establecimiento y mantenimiento son bajos en virtud de que se aprovecha las áreas que fueron utilizadas para la milpa tradicional y los costos por preparación del terreno son absorbidos por los trabajos de la milpa, mientras que los trabajos de mantenimiento (limpieza de las brechas) y prácticas silviculturales (liberación de plantas reprimidas) son de bajo costo en razón de que solo se realizan cuando las plántulas sembradas se ven superadas o acosadas por la vegetación que las circunda (Macario y Sánchez, 2010).

Las desventajas de este método son los altos costos del cuidado de la plantación en los primeros años, la baja intensidad lumínica no es la más favorable para las especies implantadas, es necesario la realización de ajustes en los tratamientos silviculturales para el establecimiento de la plantación y desarrollo de la regeneración entre las líneas (Montagnini *et al.*, 2006).

Además este método presenta la baja producción de maderas de alto valor comercial si se comparan con los resultados de incremento en volumen de una plantación pura, esto debido a un crecimiento más lento de las especies dando como resultado turnos de aprovechamientos más largos (Macario y Sánchez, 2010).

2.4.4 Métodos de plantaciones de enriquecimiento

Existen diversos métodos de enriquecimiento, con sus diversos variantes que dependen de la forma como se distribuyen las plantas y de la condición bajo la cual se desarrollaran, a continuación se describen algunas (Parraguirre, 1993).

Enriquecimiento individual: este método consiste en establecer plantas individuales en pequeños claros abiertos en la vegetación, generalmente los huecos que dejan los árboles extraídos o muertos, se puede adaptar a las condiciones que se generan en las áreas de corta. Su implementación se puede basar en siembra directa de las semillas o en plántulas producidas en vivero. La limitación principal de esta técnica es que se tendrían árboles muy dispersos además que los claros en el dosel son pequeños, estos rápidamente se cerrarían suprimiendo a los individuos plantados, por lo que es necesario un programa exhaustivo de mantenimiento, para favorecer el desarrollo de las plantas.

Enriquecimiento en grupos: este método es similar al anterior y solamente lo diferencia el hecho de que, como su nombre lo indica, se establecen grupos de individuos, ya sea de la misma especie o de varias especies seleccionadas, en este método es más posible establecer grupos de plantas, ya que la entrada de luz es mayor que en primer caso. También se puede establecer mediante la siembra directa de semillas o por plantación. Una de las principales limitantes de este método es que al abrir grandes claros, la entrada de luz es mayor hasta el nivel del suelo, lo que favorece la aparición de especies secundarias, que son muy agresivas y por consecuencia se debe de establecer un programa de limpieza frecuente.

Enriquecimiento en líneas: consiste en abrir pequeñas líneas de uno a dos metros de ancho, colocando en ellas una o dos hileras de plantas. Resulta apropiado para especies tolerantes a la sombra, motivo por el cual tienen muchas limitaciones, porque estas son de crecimiento lento. La limitante de este método es que se debe de eliminar paulatinamente la vegetación adyacente, para propiciar el desarrollo adecuado

de las especies plantadas, de otra forma el dosel se cierra rápidamente, creando túneles que limitan el crecimiento de las plantas sembradas o plantadas.

Enriquecimiento en corredores o fajas: esta forma de enriquecimiento plantea la apertura de corredores o fajas de diversas medidas de amplitud, en función de la altura de la vegetación a enriquecer. Este método puede ser aplicado en aquellas áreas que han sido explotadas anteriormente y que a la fecha cuentan con muy pocas especies de maderas comerciales que valgan la pena ser conservadas y mejoradas. Las inconvenientes que pudieran presentarse al practicar este método, está en que, al realizar una apertura fuerte del dosel de la vegetación, favorece la vegetación, se favorece la aparición de especies secundarias muy agresivas.

2.4.5 Experiencias de plantaciones de enriquecimiento en México

El enriquecimiento de las selvas inicia en México, en la década de 1940-1950 practicándose en los estados de Campeche y Quintana Roo, a través de la práctica del método conocido como reforestación en brechas bajo dosel protector, pero resultó ser poco satisfactorio, por el bajo porcentaje de sobrevivencia después de un año de plantación. Después en la década de los 70 la empresa Maderas Industriales de Quintana Roo, realizó la misma práctica, obteniendo los mismos resultados a las anteriores, las razones por la cual no prosperaron fue de que se abandonaron y además, en algunos casos fueron afectadas por el fuego (Parraguirre, 1993).

2.5 Crecimiento de los árboles tropicales

El crecimiento de los árboles se refleja en el aumento de los tejidos (floema, xilema, tallo, parénquima) a través del tiempo; En consecuencia el crecimiento es el resultado de la modificación conjugada de las diversas variables dendrométricas como el diámetro, la altura, el área basal, la forma del tronco y el volumen. El ritmo del crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) así como por el tiempo. Puede presentar variaciones en función de factores genéticos, climáticos, características físicas y químicas del suelo, topografía,

presencia de plagas y enfermedades, competencia con otros árboles y factores derivados de acciones del hombre (Imaña y Encinas, 2008; Sampayo *et al.*, 2010).

Relativamente pocos árboles tropicales producen anillos de crecimiento, en condiciones uniformes, esto se debe al resultado de cambios de temperatura, de días largos y de lluvias y el crecimiento anual puede ser controlado por los factores endógenos (Borman y Berlyn, 1983).

2.5.1 Crecimiento de árboles tropicales y sus anillos de crecimiento

En la vida de un árbol se distinguen diversos comportamientos de crecimiento en diámetro, altura, área basimétrica y volumen. En las zonas templadas el crecimiento se estima o se mide por medio de estudios de los anillos de crecimiento, sin embargo en las zonas tropicales y subtropicales no existe una perfecta diferenciación entre los periodos de crecimiento esto debido a que los árboles tropicales no siempre presentan anillos de crecimiento visible y continuo. Por consiguiente en estas zonas, los estudios sobre crecimiento aún son limitados y los que se han realizado para los árboles plantados como para los árboles nativos, se han hecho mediante mediciones y remediciones de parcelas permanentes de muestreo (Imaña y Encinas, 2008).

Los anillos de crecimiento en los árboles tropicales son inducidos año con año por la incidencia de diversos factores como periodos de sequía, inundaciones, el clima ecuatorial donde se distribuyen, ocasionando que no presentan estación anual que induzca a la latencia y detenga el crecimiento de los árboles, motivo por el cual los anillos de crecimiento pueden ser anuales, bianuales o irregulares lo que imposibilita la medición de los anillos de crecimiento es por ello que uno de las formas para conocer la edad y el crecimiento de árboles tropicales es a través de las plantaciones de edad conocida (Borman y Berlyn, 1983; Worbes, 1995).

2.5.2 Curvas de crecimiento de los árboles tropicales

Para conocer las tasas de crecimiento de los árboles forestales, se basa mediante la estimación de la calidad de estación, a través de métodos directos e indirectos. Los métodos directos se basan en la medición de variables del rodal y, por tanto, requieren que el rodal ya exista o haya existido en el pasado y se hayan realizado mediciones en él. Los métodos indirectos se basan en la estimación de la calidad de estación del rodal a partir de la medición o cuantificación de variables de la estación que afectan al crecimiento por ejemplo clima, suelo, fisiografía, vegetación del sotobosque (Gadow *et al.*, 2007).

En lo que se refiere al método directo para la estimación de la calidad de estación, se derivan cuatro metodologías para caracterizar dicha productividad: 1) a partir del volumen de la masa total a lo largo del turno; 2) a partir del volumen de la masa y su edad; 3) a partir del valor de la altura de la masa y 4) método de intercepción de crecimiento. De estos métodos el más utilizado es del valor de la altura de la masa, de este método se plasma la obtención de una familia de curvas que relacionan altura dominante con la edad del rodal y que se caracterizan por el valor del índice de sitio y las familias de curvas de índice de sitio se clasifican en dos grupos: curvas anamórficas y curvas polimórficas. Las primeras cumplen que para cualquier par de curvas de la familia, la altura de una de ellas a cualquier edad es proporcional a la altura de la curva a esa misma edad, es decir el cociente entre las alturas dominantes de las dos curvas es constante, en cambio las curvas polimórficas no se cumple esa proporcionalidad de modo que el cociente entre las alturas dominantes de dos curvas cualesquiera depende de la edad (Gadow *et al.*, 2007)

El crecimiento en altura de las especies forestales sigue un curso similar a una curva en forma de "S", dentro de la cual se deriva la curva de incremento, en donde el punto de inflexión de la curva "S" indica la culminación del incremento corriente en altura (Klepac, 1976).

2.6 Modelos de crecimiento

Un modelo es una abstracción o una representación simplificada de algunos aspectos de la dinámica natural de un rodal y puede involucrar el crecimiento, mortalidad y otros cambios de la estructura y composición (Vanclay, 1994), los modelos de crecimiento y de rendimiento constituyen una de las herramientas eficientes para la planificación de las actividades de manejo forestal, como lo es la programación de un manejo adecuado de las plantaciones forestales. Se puede predecir el crecimiento y rendimiento del rodal bajo ciertas condiciones, pero su predicción es siempre algo incierta, más aún cuando las limitantes del tiempo y costo en el manejo forestal requieren métodos de proyecciones rápidos y sencillos basados en el mínimo de mediciones y variables (Prodan *et al.*, 1997; Hughell, 1990). De acuerdo con Vanclay (1994), los modelos de crecimiento se pueden agrupar en tres niveles que se describen a continuación.

1) Modelos a nivel de rodal: emplean como unidad básica de modelación las existencias, área basal, volumen del rodal y parámetros que caracterizan la distribución diamétrica. Estos son más adecuados para rodales coetáneos y plantaciones, siendo las tablas y ecuaciones de rendimiento las técnicas más comunes.

2) Modelos de árboles individuales: emplean al árbol individual como unidad básica de modelación. Se requiere mucho detalle sobre el tamaño de cada árbol en el rodal, posición espacial, altura y tamaño de copa, vecindario y sitios. Este tipo de modelos son tan complejos como aquellos que modelan ramas y características internas del fuste.

3) Modelos por clase de tamaño: es una transición entre los modelos de rodal y los de árboles individuales, emplean como unidad básica de modelación una clasificación de árboles, la cual puede ser por tamaño (el más común), predice la distribución diamétrica del rodal futuro a partir de la distribución diamétrica presente, sus incrementos y mortalidad.

A pesar de existir una serie de investigaciones encaminadas a generar nuevas técnicas para lograr un manejo óptimo de los recursos forestales, como los modelos de crecimiento y rendimiento en México aún se tienen muchas carencias para el desarrollo,

implementación y ejecución de estas herramientas, las cuales se han estudiado principalmente en especies arbóreas de bosques naturales en clima templado como las coníferas (Galán, 2007).

2.6.1 Modelos más utilizados para las especies tropicales

El uso de modelos matemáticos en el manejo forestal, permite describir en forma cuantitativa algunas relaciones de crecimiento, mediante funciones continuas de tipo sigmoideal, que proporcionan una valiosa ayuda en la toma de decisiones de manejo forestal, para la producción sostenida y constante de las masas arboladas, preservándolas y fomentándolas para futuras generaciones (García *et al.*, 1992).

Existen diversas funciones o para estimar el crecimiento y rendimiento de los árboles, pero las más utilizadas han sido los modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull, principalmente al modelar altura dominante y curvas de índice de sitio (Ramírez, 1981).

Por otra parte de acuerdo a diversos trabajos realizados durante varios años de investigación en México, los modelos de crecimiento que más se han utilizado para predecir el crecimiento de los árboles tropicales son el modelo logístico, Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (García *et al.*, 1992; García *et al.*, 1998; García *et al.*, 2007).

2.7 Estudios sobre crecimiento de las tres especies forestales tropicales de interés

En el estado de Colima, México se realizó una investigación sobre el crecimiento en diámetro de tres especies: *Bursera simaruba* (L.) Sarg, *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Cordia elaeagnoides* D.C. en una selva mediana subcaducifolia donde se determinó el crecimiento estacional en diámetro, así como su relación con la ocurrencia de eventos fenológicos en los árboles, la temperatura y precipitación en esa región, utilizando bandas dendrométricas para la toma de lecturas cada dos meses durante 13 meses y mediciones con cintas diamétricas. Los resultados mostraron diferencias entre

especies, así como en la utilización de las dos herramientas para lo cual, *T. donnell-smithii* presentó crecimientos en diámetro significativamente mayores que *B. simaruba* y *C. elaeagnoides*, medidos con bandas dendrométricas o cinta diamétrica. Y en base a la correlación de la ocurrencia de eventos fenológicos en los árboles solamente *C. elaeagnoides* obtuvo una correlación significativa del crecimiento en diámetro, con la temperatura y precipitación del área de estudio (López-Ayala *et al.*, 2006).

Por otra parte en el campo experimental “San Felipe Bacalar” municipio de Othón Pompeyo Blanco, Quintana Roo, se efectuó un estudio sobre índice de sitio para la especie de caoba (*Swietenia macrophylla* King). Empleando los modelos de Schumacher, Chapman- Richards y Weibull, donde concluyeron que el modelo que presentó mejor ajuste fue el de Chapman- Richards en la versión de curvas anamórficas, mientras tanto para la versión polimórfica el modelo de Weibull fue el de mejor ajuste (García *et al.*, 1998).

Asimismo en el Ejido Doroteo Arango, municipio de Gonzales, Tamaulipas, se realizó un estudio con la finalidad de determinar la factibilidad de convertir terrenos agrícolas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, donde se determinó la supervivencia, el crecimiento, el estado fitosanitario y vigor de una plantación de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.). En el que se encontró que a tres años de establecimiento de la plantación se observó una sobrevivencia de 93%, un crecimiento promedio en diámetro de 1.72 cm y 1.46 m en altura, la proporción de árboles sanos es 90.3% y la proporción de árboles vigorosos de 84.36% la cual muestra que el cedro rojo tiene buena adaptación y crecimiento para las plantaciones forestales en la zona (Ramírez *et al.*, 2008).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

Las plantaciones forestales comerciales de enriquecimiento de acahual objeto de la presente investigación, se localizan en la comunidad de San José Chacalapa, municipio y distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, dentro de las coordenadas geográficas 15° 50' latitud norte y 96° 28' longitud oeste, a una altitud de 220 msnm (INEGI, 2000), dentro del cual se ubican las plantaciones con las siguientes denominaciones “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “Arroyo Rico” y “El Riego” (Figura 1) (García, 2005).

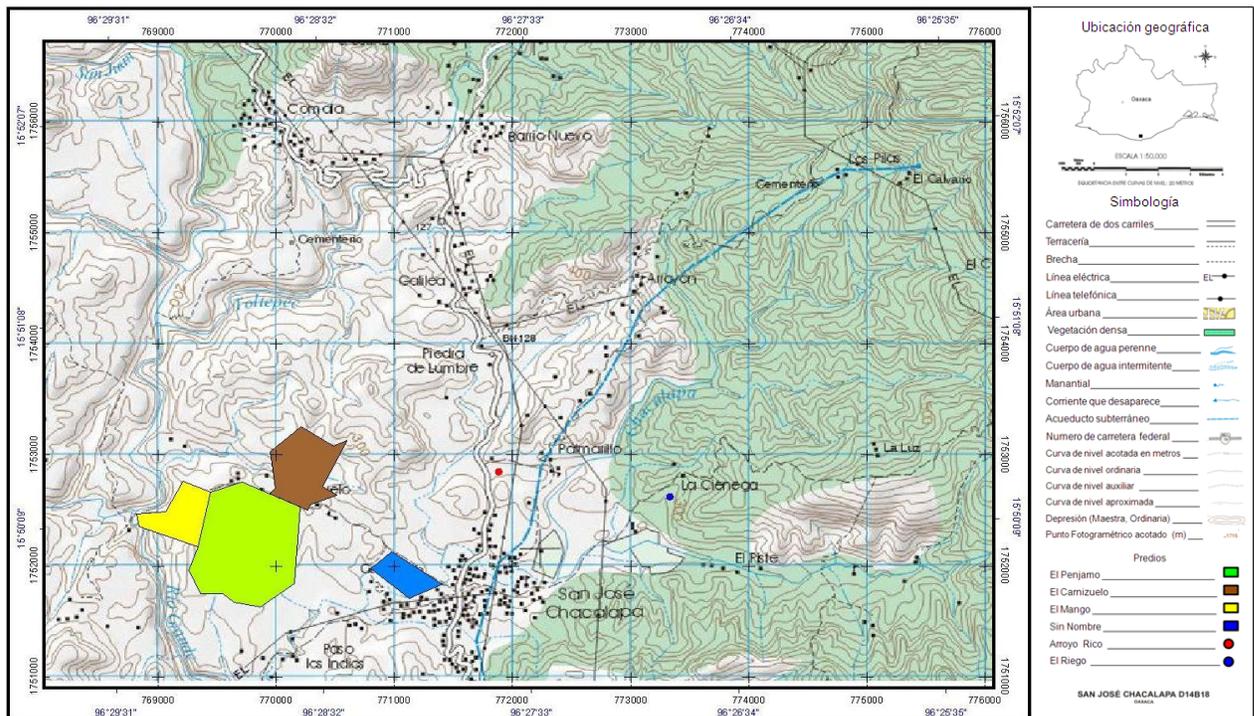


Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales de enriquecimiento de acahual, en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca (Sandoval, 2010).

Otro de las plantaciones evaluadas fue “El Triunfo” que se encuentra bajo un sistema agroforestal, ubicada en la comunidad de Santiago La Galera, municipio de Candelaria Loxicha, distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, entre las coordenadas geográficas 15° 55 latitud norte y 96° 29' longitud oeste, a una altitud de 1190 msnm (Figura 2) (INEGI, 2000)

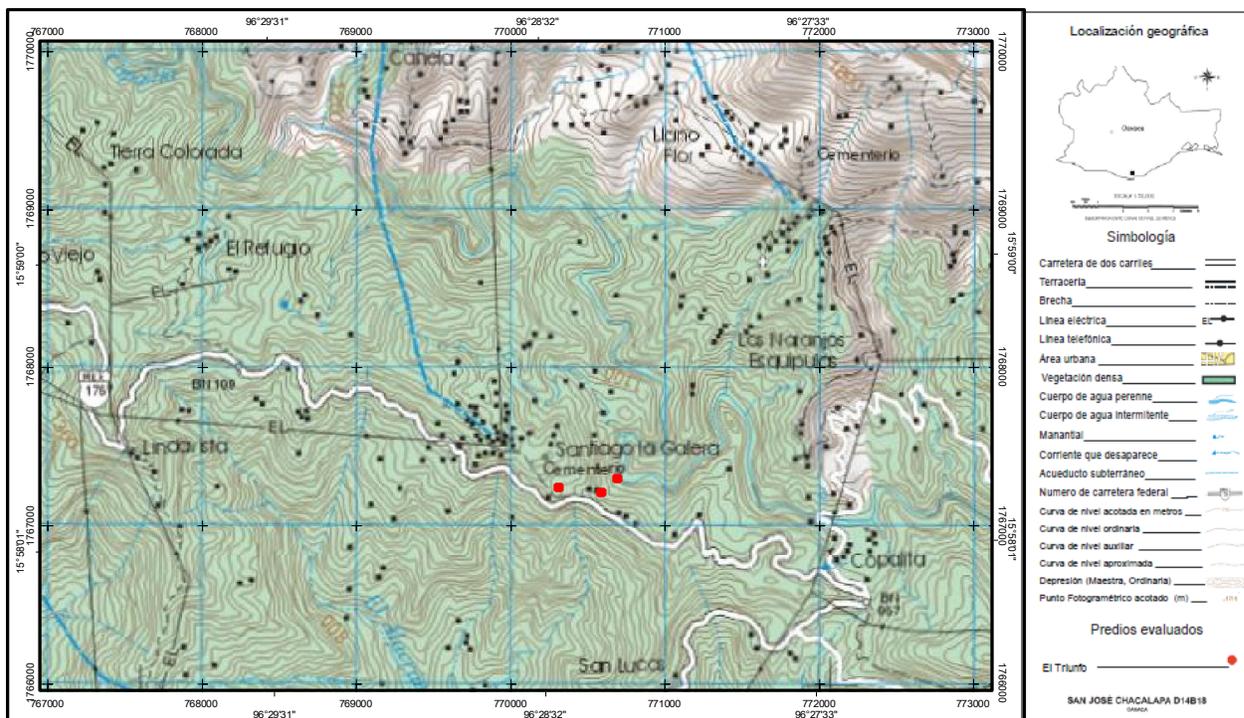


Figura 2. Ubicación geográfica de la plantación forestal comercial, bajo el sistema agroforestal predio El Triunfo, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca (Sandoval, 2010).

3.1.2 Orografía

Los predios de San José Chacalapa, están conformados por pequeños lomeríos que se elevan entre los 200 y 300 msnm, entre las elevaciones más importantes que se ubican cerca de esta comunidad está el cerro de las Pavas con una altitud de 600 msnm. En cuanto al predio de la plantación “El Triunfo” ubicada en Santiago La Galera, las elevaciones oscilan entre 1190 msnm, con pendientes considerables de 70-85% (INEGI, 1995; INEGI, 2005).

3.1.3 Hidrología

Las plantaciones que se ubican en San José Chacalapa, municipio y distrito de San Pedro Pochutla y la plantación agroforestal de Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca se ubican dentro de la región hidrológica RH-21 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel) que corresponde a la cuenca Río Copalita y otros (Dirección General de Geografía del Territorio Nacional e Informática, 1981).

3.1.4 Clima

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García el clima predominante en la comunidad de San José Chacalapa corresponde al tipo de clima: Aw0 (w) igw, cálido subhúmedo con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual de 26.8 °C con temperaturas mínimas en el mes de febrero y máximas en el mes de mayo y una precipitación media anual de 872.0 mm, los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses de menor precipitación es de enero a abril (García, 1981; CNA, 2000a; INEGI, 2005).

En la comunidad de Santiago La Galera el tipo de clima que predomina es A(c)m(w)igw, considerados como semicálidos, con una temperatura media anual de 21.0 °C presentándose en el mes de enero y febrero las temperaturas mínimas y con máximas en el mes de abril a mayo y presenta una precipitación media anual de 2,637.8 mm (García, 1981; CNA, 2000b).

3.1.5 Suelo

El tipo de suelo predominante en San José Chacalapa corresponde a un tipo Feozem háplico, suelo que se caracteriza por ser rico en materia orgánica que presenta un color oscuro y por carecer de un horizonte cálcico, además se caracteriza por presentar las características de fases físicas líticas. En el predio que se ubica en Santiago La Galera el tipo de suelo que predomina es cambisol crómico (INEGI, 1984).

3.1.6 Vegetación asociada

La vegetación existente en los siete predios que conforman las plantaciones en la comunidad de San José Chacalapa corresponde a un tipo de vegetación de Selva baja caducifolia, con presencia de vegetación secundaria. Predominan las especies como *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (parota, huanacastle), *Brosimum aliscastrum* Swartz. (ramón, capomo, ojoche), *Gliricidia sepium* Jack. (cocoite, cacahuananche), *Astronium graveolens*, Jack. (gateado), entre otras (INEGI, 1984).

Para el predio “El Triunfo”, de la comunidad de Santiago La Galera, el tipo de vegetación corresponde a una selva mediana subperenifolia, predominando las especies de *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (parota, huanacastle), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Guácima), *Leucaena* sp. (guaje), *Acacia* sp. (subin), *Inga* sp. (cuajinicuil, chalahuite). En la mayor parte de la zona, la vegetación que se halla esta modificada para el cultivo de café y otro tipo de árboles como los frutales: guanábana, anona y plátano principalmente (INEGI, 1984).

3.2 Antecedentes de las plantaciones

En los predios que actualmente están establecidas las plantaciones forestales, anteriormente fueron destinados a la agricultura y a la ganadería extensiva, practicándose en ellos el sistema de roza-tumba-quema, posterior a ello fueron abandonados de uno a dos años, lo cual originó el establecimiento de la vegetación secundaria o acahual, que cubren estos terrenos actualmente. Por consiguiente la Secretaría de medio ambiente y Recursos Naturales autorizó tres programas de plantación que se ejecutaron durante tres etapas en los siguientes predios, en el año de 1997 El Pénjamo, para el año 2000 en efecto se realizaron las plantaciones en los predios de El Carnizuelo, El mango y Sin Nombre por otra parte en el año 2004 de igual manera se efectuaron las plantaciones en los predios de El Riego, Arroyo Rico y El Triunfo.

En virtud de las autorizaciones para el establecimiento de la plantación, se abrieron carriles de 1 m de ancho dentro del acahual por tres metros entre carriles,

eliminando la vegetación arbustiva y herbácea, después de ello se estableció la plantación a una distancia entre árboles de 3 m, con el paso del tiempo el acahual ha ido creciendo por lo que se realizan limpiezas de carriles constantemente de acuerdo al ritmo de crecimiento de la vegetación secundaria, pero además la vegetación secundaria crea una especie de sombra en el dosel, lo que a la vez favorece a las plantas una resistencia en época de sequías (García, 2005).

3.2.1 Problemas de sanidad en las plantaciones

Los principales problemas fitosanitarios que presenta la plantación, es la incidencia de ataque del barrenador de yemas, *Hypsiphylia grandella* Zeller, las especies que más han sido atacadas por esta plaga es el cedro rojo y la caoba. Otros de los problemas que se presentan en la plantación es la muerte de las plantas por la insolación esto incide en las plantas en edades tempranas y es fuerte en exposiciones del sur, además de ello otro agente dañino que se presenta es el ataque de hormigas (García, 2005).

3.3 Diseño de muestreo

El diseño de muestreo que se utilizó para el establecimiento de los sitios fue el muestreo sistemático con el establecimiento del primer sitio aleatoriamente y ésta definió la distribución de los siguientes sitios, la intensidad de muestreo fue de 0.5 % quedando distribuido los sitios a una equidistancia de 140 m. La forma de los sitios de muestreo empleados fueron de forma circular con las dimensiones de 250 m² y un radio de 8.92 m (Sandoval, 2010).

La evaluación de las plantaciones se realizó con dos mediciones en los siete predios que conforman la plantación forestal comercial, la primera evaluación se efectuó del 12-18 de Julio del 2009 y la segunda fue realizada del 14-16 de julio del 2010. Para lo cual se requirió de la ayuda del personal encargado de las plantaciones, con la finalidad de conocer las diversas etapas de establecimiento de las plantaciones, que nos indicó la edad del arbolado o que es lo mismo el año de establecimiento.

Además de las dos evaluaciones se añadieron los datos levantados por Sandoval en el año 2008 un año de anterioridad a la primera evaluación nuestra.

3.3.1 Establecimiento de sitios permanentes

Se establecieron un total de 40 sitios permanentes en los siete predios que conforman la plantación forestal comercial, “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “El Riego” y “Arroyo Rico” en la comunidad de San José Chacalapa, Pochutla y el predio “El Triunfo” en la comunidad de Santiago La Galera. En cada sitio se colocó una placa metálica en la base del árbol central del sitio, donde esté indica el número de sitio y el nombre del predio que corresponde, cada sitio fue georreferenciado y todos los árboles que quedaron dentro de los 250 m² fueron enumerados con pintura a la altura de medición DAP, con la finalidad de facilitar las mediciones posteriores

3.4 Variables dasométricas evaluadas

Para el desarrollo del presente trabajo, las variables evaluadas en campo fueron la altura total del árbol, altura del fuste limpio, diámetro a 30 cm del suelo, así como el diámetro a 1.30 m del suelo, longitud y diámetro de copa. Para la medición de estas variables, se requirió de dos cintas diamétricas (Jackson) para medir los diámetros, una pistola Haga para la medición de la altura de los árboles, para la toma de alturas de los árboles pequeños se requirió la ayuda de una vara graduada y/o vara telescópica de tres metros para su medición, placas metálicas para la identificación de los sitios, una cuerda compensada para la delimitación de las parcelas de muestreo y un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la georreferenciación de las parcelas de muestreo.

De los 40 sitios de muestreo levantados en campo en la primera medición de el año 2009, más la segunda remediación de 2010 y los mismos sitios de muestreo levantados por Sandoval en el año 2008. Conformaron un total de 120 valores de sitios de muestreo levantados en campo, se clasificaron los sitios por especies, con la finalidad de conocer los sitios donde se encontraban las tres especies de estudio:

Cedrela odorata L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, con esta base de datos se promediaron las alturas y los diámetros por cada sitio y por cada una de las especies.

3.5 Modelos de crecimiento

Los modelos utilizados en este estudio, son los más frecuentes para estimar y predecir el crecimiento y productividad de las masas forestales que son Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (Cuadro 1) (Montero *et al.*, 2007; Aguilar, 1997).

Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar crecimiento en diámetro y altura para *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Modelos de crecimiento utilizados	Ecuación
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp (a-(b/E^c))$
Chapman - Richards	$Y = a (1-\exp(-(b E)^c))$
Weibull	$Y = a (1-\exp(-(b E^c)))$

Dónde: Y = DAP (diámetro a la altura del pecho en cm) o altura promedio en metros, E = edad de la plantación en años, a, b, c = coeficientes del modelo a estimar, exp = función exponencial.

Estas ecuaciones de crecimiento se ajustaron a los datos obtenidos de las tres mediciones realizadas diámetro promedio-edad y altura promedio-edad. El ajuste de los modelos de crecimiento fue a través de una curva promedio con todos los valores de los sitios muestreados.

3.5.1 Incremento en diámetro y altura de las tres especies

El incremento es una de las formas de expresar el crecimiento de las variables dendrométricas de un árbol o un rodal en función del tiempo o determinado periodo (Imaña y Encinas, 2008). Los incrementos se definieron utilizando al mejor modelo ajustado para diámetro y altura promedio de cada una de las especies, el incremento medio anual (IMA) también conocido como crecimiento acumulado se estimó dividiendo

las variables (altura y diámetro) entre la edad del árbol y el incremento corriente anual (ICA) se calculó obteniendo la diferencia de las variables alcanzadas en dos años consecutivos, dividiéndolos entre la diferencia de edades (Klepac, 1983).

3.5.2 Estadísticos de evaluación del modelo

Para el procesamiento de los datos y ajuste de cada uno de los modelos probados se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0, a través de la regresión no lineal utilizando PROC NLIN, en donde los parámetros de los modelos de crecimiento se ajustaron por cada especie (*Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose), se ingresó las ecuaciones de los modelos, eligiendo los valores iniciales de los parámetros que se estimaron, logrando así generar dichos parámetros reales de ajuste. Los criterios para la selección de los mejores modelos estimados fueron el coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el cuadrado medio del error (CME), debido a que son considerados como los mejores criterios de selección de los modelos (Sit y Poulin-Costello, 1994).

Después de haber obtenido los valores de ajustes para cada modelo y para cada especie, se procedió a la elaboración de las gráficas con la ayuda del programa SigmaPlot® 10.0.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Crecimiento en diámetro y altura promedio para *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose

4.1.1 Crecimiento en *Cedrela odorata* L

Para la variable diámetro promedio de la especie *Cedrela odorata* L. los tres modelos de crecimiento presentan poca variación en sus estadísticos, pero se decidió tomar el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter por que presentó un mejor ajuste, mostrando un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9214 presentando mucha similitud con los otros dos modelos. Para mayor detalle de los parámetros y estadísticos de ajuste ver Apéndice 1.

Basado en la Figura 3(A) el crecimiento en diámetro promedio presenta un ajuste con tendencia lineal donde el crecimiento es ascendente y prácticamente continuo desde los primeros años hasta el año catorce que es la edad que tuvieron algunos árboles cuando se realizó la última medición.

Si comparamos el trabajo realizado por Sandoval (2010), en la misma plantación muestra que el modelo de Weibull fue el de mejor ajuste para esta especie mostrando un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9475, sin embargo estos datos no concuerdan con lo obtenido para este estudio, esto se debe a que esta especie esta en constante crecimiento y el diámetro ha ido en aumento.

Para este estudio *Cedrela odorata*, a tres años de edad muestra un crecimiento de 3.61 cm, muy inferior a lo reportado por Ramírez (2008), en su estudio donde esta especie presentó un crecimiento de 5.17 cm a esa misma edad, en deducción este resultado se debe al tipo de plantación ya que para este estudio las plantaciones están establecidas bajo enriquecimiento de acahual y agroforestal donde el bajo rendimiento se debe a la falta de un buen mantenimiento y apertura del dosel, además de otros factores ecológicos como luz, suelo, humedad, punto de compensación de luz, Quintero

(1995) y por otro lado el estudio de Ramírez (2008), las plantaciones que fueron evaluadas son puras haciendo una preparación del terreno previo a la plantación lo que favoreció un mejor desarrollo de la plantación.

También podemos señalar que uno de los factores que pudo haber intervenido en el crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* es la procedencia debido a que provienen en dos condiciones agroecológicas diferentes, condición que genera respuestas diferentes en el crecimiento en diámetro.

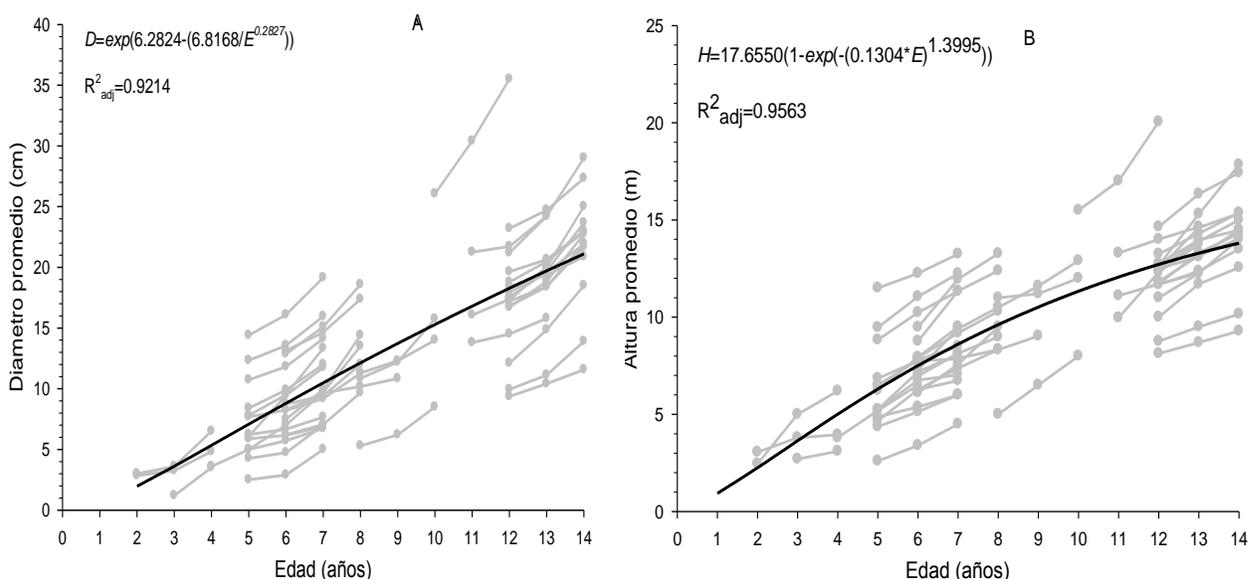


Figura 3. Grafica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Cedrela odorata* L, en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

En lo que respecta a la altura promedio Figura 3(B) de *Cedrela odorata*, el modelo Chapman-Richards, mostró ser eficiente para modelar la altura promedio teniendo un mejor ajuste con un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9563. (Apéndice 4). El crecimiento de la especie es similar al de una curva ligeramente sigmoideal, al principio presentó un crecimiento lento para después se muestra una inflexión que aceleró el crecimiento.

Haciendo una comparación con el trabajo de investigación realizado por Calvillo *et al.* (2005). En su investigación estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de ciudad Hidalgo Michoacán, México., encontró que el modelo de Chapman-

Richards presentó el mejor ajuste para predecir el crecimiento en altura arrojando un coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9845, con lo que el modelo de Chapman-Richards predicho por el estudio de Calvillo *et al.* (2005) concuerda con este estudio y es un buen modelo para predecir el crecimiento.

En este trabajo *Cedrela odorata* muestra un crecimiento superior a lo señalado por Moreno (2003), quien encontró que a la edad de cuatro años con seis meses *Cedrela odorata* presentó un crecimiento de 2.57 m, mientras que en éste estudio a esa misma edad muestra un crecimiento de 5.79 m, sin embargo, es importante señalar que los dos trabajos de investigación se realizaron en plantaciones bajo el mismo sistema de plantación de enriquecimiento, lo que nos indica que este estudio *Cedrela odorata* tiene un buen crecimiento.

4.1.2 Crecimiento en *Swietenia macrophylla* King

Para la especie de *Swietenia macrophylla* el modelo de Weibull fue el que presentó una mejor bondad de ajuste para diámetro y altura al obtener los valores más altos en el coeficiente de determinación (R^2_{adj}), (Apéndice 2). Sin embargo, es importante señalar lo siguiente:

La curva de ajuste en diámetro (Figura 4A) y altura (Figura 4B) para esta especie presentó un crecimiento ascendente a la edad de cinco a siete años, después existe una clara inflexión de la curva la cual empieza a descenderse y a la edad de 8 años empieza a estabilizarse hasta llegar a la edad de 10 años. Es semejante lo que ocurre con la curva de crecimiento en altura. Lo que expresa que en estas graficas de las curvas de ajuste tanto de diámetro como de altura promedio al parecer no es estrictamente correcto, puesto que a la corta edad que presenta la plantación ya decrece el crecimiento.

Debido a la alta variabilidad del comportamiento del diámetro y altura promedio de las plantaciones, es probable que este efecto de crecimiento se le pueda atribuirse al factor que ejerce la exposición del terreno, además existen otros factores que pueden

influir en la disminución de crecimiento como es la distribución de la precipitación ya que en una región con una precipitación alta en un periodo muy corto y la presencia de periodos secos muy largos disminuye el crecimiento o no es la adecuada para esta especie que en una región con precipitación baja y una estación seca corta (Bodero *et al.*, 2007), al mismo tiempo pueden existir diferencias ecológicas significativas entre los sitios evaluados como es la conformación del relieve y el tipo de suelo en las plantaciones, otra de las causas que se le puede adherir a este crecimiento es el mantenimiento inadecuado, que expone a los individuos plantados al ataque de malezas herbáceas, arbustivas o trepadoras (Lozada *et al.*, 2003)

Por lo tanto para poder apreciar el efecto de la exposición nos enfocaremos efectuando un análisis comparativo de los datos de acuerdo a las exposiciones y haciendo la separación de exposiciones norte (N, NE y NW) y sur (S, SE y SW), para apreciar el efecto que causa, tenemos que los puntos de dispersión que se encuentran por arriba de la curva de ajuste corresponden a la exposición norte y las dispersiones de la parte inferior pertenecen a la exposición sur, tanto en diámetro como de altura promedio (Figura 4A y 4B).

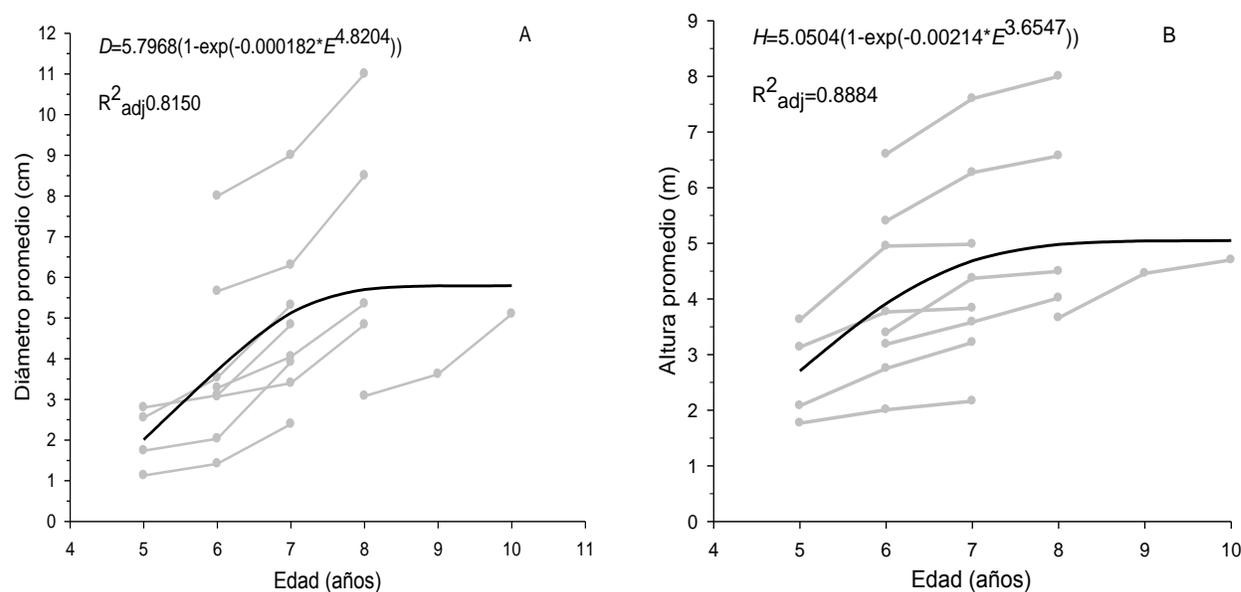


Figura 4. Grafica general de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Al examinar estos datos tenemos que los tres modelos probados presentan poca variación en sus estadísticos para ambas variables, pero se optó por el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter por presentar una significancia mejor en el ajuste, arrojando valores en coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9263 para diámetro y 0.9724 para la variable altura promedio (Apéndice 7). Además podemos observar que el comportamiento de las curvas de ajuste es diferente, y por otro lado los valores en coeficiente de determinación (R^2_{adj}) son mayores.

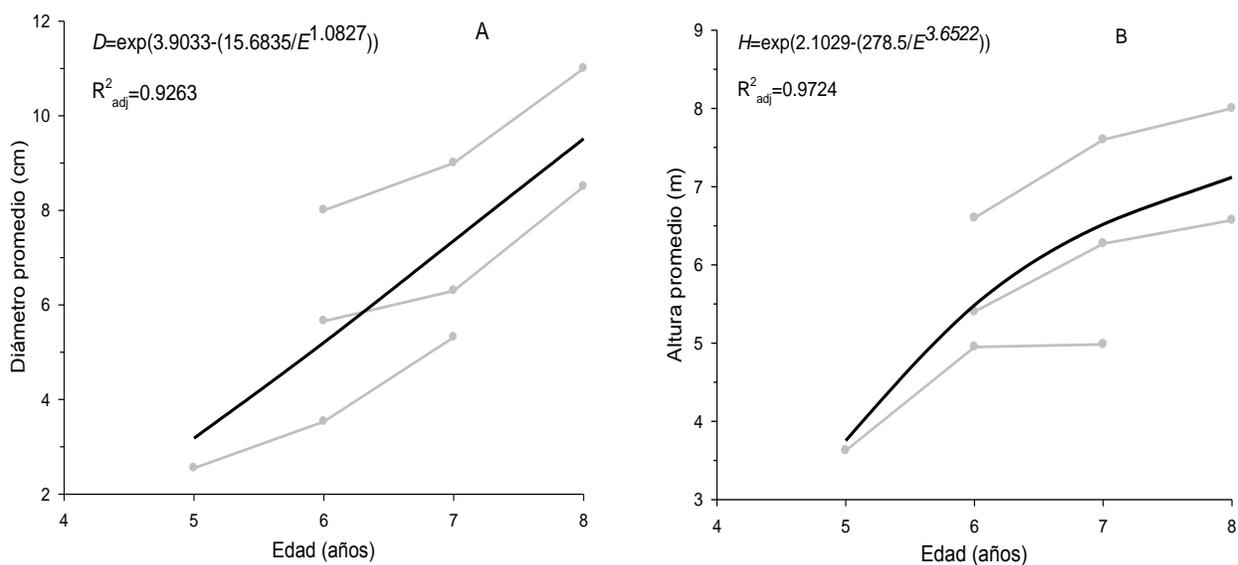


Figura 5. Gráfica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., correspondiente a la exposición norte (N, NE y NW).

Visualizando la gráfica de diámetro promedio (Figura 5A) se observa que la línea de ajuste de crecimiento es ascendente desde los cinco años de la plantación hasta los ocho años de edad, al parecer esto se debe a la edad juvenil de la plantación y seguirá en aumento puesto que la línea de ajuste es casi lineal y conforme aumenta la edad de la plantación la línea sigue la misma tendencia.

En lo que respecta a la altura promedio (Figura 5B), la curva de ajuste es diferente con respecto al de diámetro porque a la edad de cinco a seis y medio años de edad la curva de ajuste presentó un crecimiento muy acelerado de allí aparece una inflexión en la curva donde el crecimiento disminuyó ligeramente pero a pesar de ello el crecimiento es ascendente conforme avanza la edad del arbolado, comparando este

trabajo con la investigación realizado por Snook *et al.* (2004), sobre crecimiento de plántulas de caoba en aperturas creadas en la selva Maya de Belice y México, para lo cual reportan que a la edad de cinco años la especie tuvo un crecimiento de 2.90 m mientras que en este trabajo a esa misma edad la caoba presentó un crecimiento 3.75 m, para la exposición correspondiente al norte (N, NE y NW), un crecimiento muy superior a pesar de que en la investigación de Snook *et al.* (2004), previo al establecimiento de las plántulas se realizó la apertura de claros a través del método de la roza, tumba, quema y extracción con tractor con la finalidad de generar mejores condiciones para el crecimiento.

En lo que concierne a las variables evaluadas correspondientes a la exposición sur (S, SE y SW) (Figura 6A y 6B), de igual forma los tres modelos examinados presentan poca diferencia en sus estadísticos, pero en este caso se decidió seleccionar el modelo de Weibull para ambas variables por presentar un ajuste un poco superior a los otros dos modelos. Para diámetro promedio el coeficiente de determinación (R^2_{adj}) fue de 0.9373 y para la variable altura el valor del residual fue de 0.9670 (Apéndice 8).

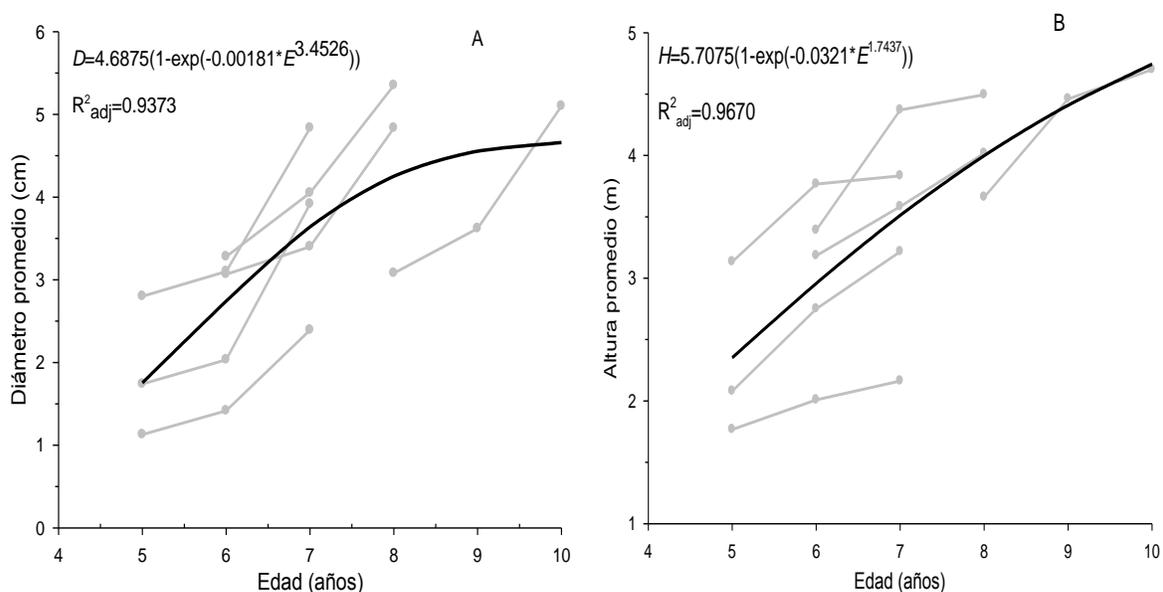


Figura 6. Grafica de dispersión de las parcelas de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Swietenia macrophylla* King., correspondiente a la exposición sur (S, SE y SW).

De acuerdo a la curva ajuste en diámetro (Figura 6A), ésta presenta un crecimiento acelerado y ascendente desde la edad de cinco años y al llegar a la edad

de ocho años el crecimiento fue disminuyendo pero sin llegar a un punto de estabilización, para tal caso esta disminución de crecimiento se le puede adherir a la falta de un mantenimiento adecuado y falta de aclareos para evitar la competencia temprana entre los individuos plantados con el bosque remanente ya que este genera el llamado efecto túnel por la apertura de corredores estrechos y al no eliminar los árboles del estrato superior no permite la entrada de luz generando limitaciones en el crecimiento de la plantación y el aumento de la mortalidad (Wadsworth, 2000; Lozada *et al.*, 2003).

Para el caso de la curva de ajuste de la altura promedio (Figura 6B) presentó un crecimiento ascendente y constante desde la edad de cinco años hasta la edad de 10 años y conforme avanza la edad de la plantación esta especie irá en aumento el crecimiento de la altura.

Si comparamos el crecimiento de la caoba en altura para la exposición sur (S, SE y SW) con el trabajo de Snook *et al.* (2004), a la misma edad de cinco años, tenemos que para nuestro trabajo el crecimiento es inferior debido a que existe una diferencia de 0.55 m, pero si cotejamos el crecimiento de la caoba de este estudio con el realizado por Lozada *et al.* (2003), obtenemos que el crecimiento de la caoba para este trabajo es superior mostrando un crecimiento de 2.35 m y para la investigación de Lozada *et al.* (2003) el crecimiento fue de 1.60 m.

Con la finalidad de hacer un análisis comparativo de las dos exposiciones evaluadas, tomando como referencia la edad de seis años *Swietenia macrophylla* presentó un crecimiento de 5.20 cm para diámetro y 5.48 m en la altura promedio para la exposición norte y en lo que se refiere a la exposición sur los crecimientos fueron de 2.74 cm para diámetro y 2.95 m para la altura. Este análisis muestra un claro contraste de la interacción que ejerce la exposición del terreno para el desarrollo y crecimiento de esta especie en las dos exposiciones evaluadas, obteniendo como resultado los mejores crecimientos para la exposición norte (N, NE y NW), debido a que son exposiciones donde se concentra mayor humedad y temperaturas menores creando así

las mejores condiciones para el desarrollo y crecimiento de la vegetación, situación inversa a lo que sucede en la exposición sur (Colak, 2003).

Por otra parte al comparar el efecto de exposición un estudio realizado por Ramírez y Rodríguez (2004), sobre efecto de la calidad de la planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*, encontraron una situación similar a nuestro trabajo en donde los brinzales presentaron un mayor crecimiento en altura y en diámetro para la exposición noreste debido a la mayor humedad con respecto a la exposición suroeste con ello podemos concluir que a pesar de que está especie no es tropical también influye la exposición del terreno en el crecimiento.

4.1.3 Crecimiento en *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Para la especie *Tabebuia donnell-smithii* el modelo de Weibull fue también el que mejor describió la tendencia de los datos en cuanto a diámetro con un valor en coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.7701 (Apéndice 3). La curva de crecimiento (Figura 7A) de esta especie se asemeja a la condición que presenta *Cedrela odorata*, en diámetro promedio, tornándose ligeramente a sigmoideal. La curva muestra que en la etapa juvenil de la plantación el crecimiento fue lento debido a que tuvo que afrontar a la competencia existida contra los acahuales. Sin embargo, a la edad de cuatro años se presentó una pequeña inflexión en el crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* donde la curva fue ascendente y constante hasta en las últimas edades de la plantación, lo que nos indica que la especie aún no ha culminado su crecimiento, mientras los cuidados de mantenimiento se realicen eficazmente como es la eliminación de los árboles o arbustos que conforman la vegetación secundaria.

Mientras tanto el modelo de ajuste tomado para esta especie también constata con lo reportado por Sandoval (2010), donde él reporta que el modelo Weibull fue el que resultó tener mejor validación en su estudio de crecimiento realizado en las mismas plantaciones objeto de este estudio.

En lo que concierne a la altura promedio (Figura 7B), de la misma manera la ecuación que resultó de mejor ajuste para esta variable fue el de Weibull obteniendo un valor en coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.8146, (Apéndice 6). La curva de ajuste muestra un crecimiento ascendente y constante desde los primeros años hasta la edad de trece años de algunos árboles de la última medición, la curva aún no llega un punto de inflexión donde merma el crecimiento, esto porque la plantación todavía es joven lo que significa que seguirá creciendo un poco más hasta un punto donde empiece a estabilizarse el crecimiento.

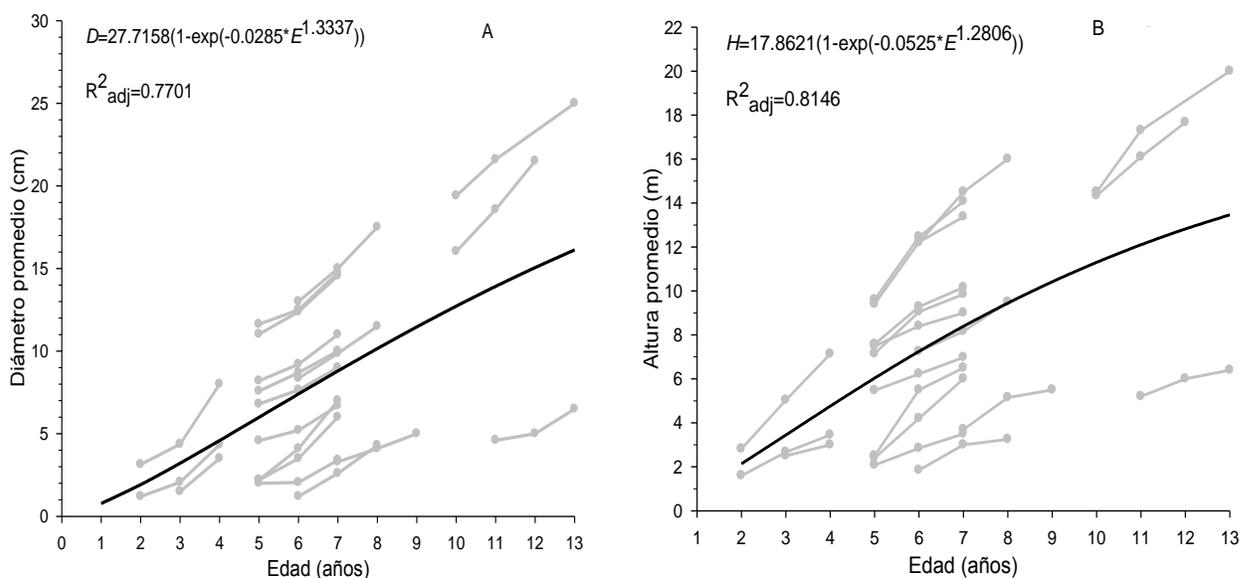


Figura 7. Gráfica de dispersión de las parcelas permanentes de muestreo y curva de crecimiento de edad-diámetro promedio (A) y edad-altura promedio (B) para *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Comparando el crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* a la edad de once años la especie muestra un desarrollo de 12.06 m en altura, crecimiento que es un poco inferior con lo reportado en el estudio de FHIA (2007), sobre especies latifoliadas de sombra para cacao en donde reportan que *Tabebuia donnell-smithii* a esa misma edad presentó un crecimiento de 16.5 m, por consiguiente es necesario recalcar que el estudio de FHIA (2007), se estableció bajo un sistema agroforestal lo que favoreció un mejor crecimiento de la especie.

4.2 Incremento en diámetro y altura

4.2.1 Incremento en diámetro y altura en *Cedrela odorata* L.

Los mayores incrementos en ICA e IMA para *Cedrela odorata* en diámetro (Figura 8A) y altura (Figura 8B) se dan en los primeros años de establecimiento de la plantación, para diámetro el ICA ocurre desde el primer año hasta la edad de cinco que es donde se estabiliza y empieza a decrecer, mientras que el IMA los máximos incrementos se dan desde el primer año de edad hasta llegar a la edad de diez donde encuentra su máximo velocidad de crecimiento y empieza a decrecer ligeramente, pero justo en el punto máximo de incremento del IMA es donde las dos líneas se interceptan y esto nos da entender que el potencial de crecimiento en diámetro de la especie *Cedrela odorata* se da hasta esa edad.

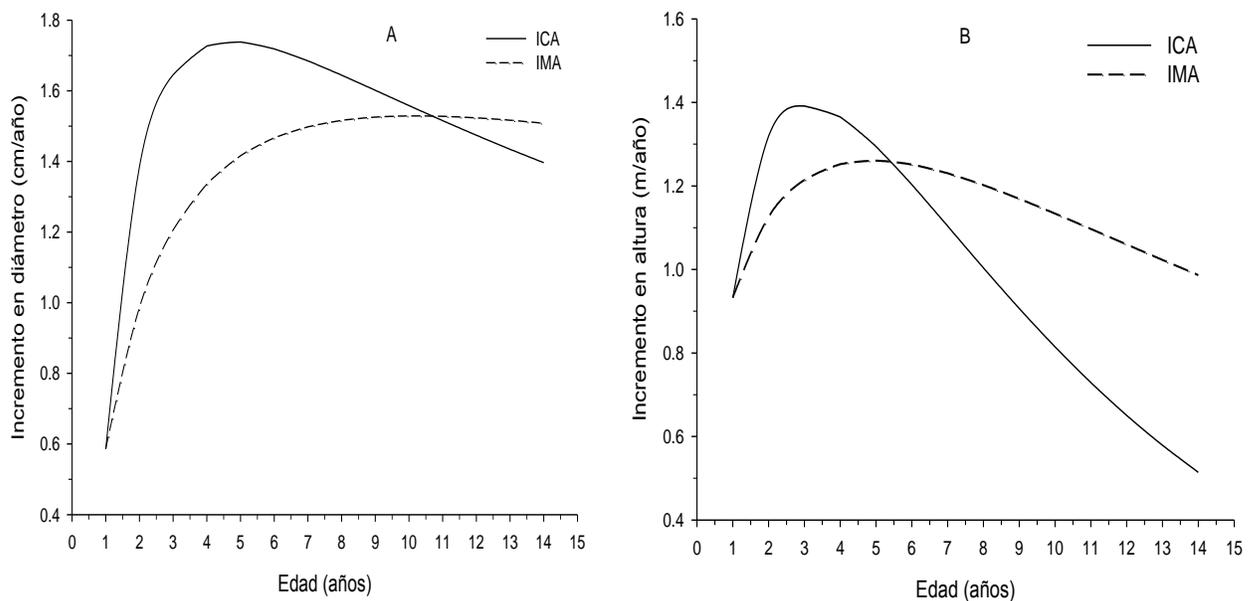


Figura 8. Curvas de incremento en diámetro ajustada por el modelo Schumacher modificado por Bailey y Clutter (A) y altura promedio ajustada por el modelo de Chapman-Richards (B) para *Cedrela odorata* L, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Por otro parte sobre la base de las ideas expuestas, si deseamos lograr un mejor y mayor incremento es necesario antes de que las líneas de ICA e IMA se crucen es el tiempo oportuno para realizar un raleo para obtener estos resultados (Montero *et al.*, 2007), Pero debido al tipo de plantación a que corresponde que es de enriquecimiento

de acahual los factores que limitan el crecimiento es el dosel y la presencia de competidores que restringen la disponibilidad de luz para que tenga un buen crecimiento (Toledo, 2008), por lo que considero que es necesario la apertura del dosel en mayor proporción en esta etapa de crecimiento.

Mientras tanto para la variable altura (Figura 8B), los incrementos son similares al de diámetro, presentándose un incremento máximo en ICA a la edad de tres años y para el IMA a la edad de cinco, el cruce de ambas líneas ocurre a la edad de cinco años y medio.

Cedrela odorata en condiciones normales de crecimiento sin la afectación del barrenador de yemas *Hypsipyla grandella*, con buenas condiciones de sitio y luz puede llegar a tener un buen crecimiento medio anual en los primeros años, llega a presentar de 1.3 a 1.6 cm en diámetro y 1.3 a 1.6 cm en altura (Cordero y Boshier, 2003), estos crecimientos coinciden con lo obtenido en este trabajo de investigación puesto que a la edad de cinco años el IMA para diámetro fue de 1.43 cm, solamente el IMA para altura fue ligeramente inferior presentando un incremento de 1.26 cm, sin embargo, si consideramos el tipo de plantación evaluado que es de enriquecimiento a pesar de ello *Cedrela odorata* presenta resultados favorables en ambas variables.

4.2.2 Incremento en diámetro y altura de *Swietenia macrophylla* King

Los incrementos para diámetro (Figura 9A) y altura (Figura 9B) en lo que corresponden a la exposición norte (N, NE y NW), para diámetro el ICA y el IMA aún siguen en crecimiento por lo cual las dos líneas de ICA e IMA todavía no encuentran el punto de intercepción, para el caso del ICA ya encontró el punto máximo de crecimiento el cual se dio entre la edad de siete y ocho años de edad a esa misma edad se estabilizó el crecimiento y se puede notar que la curva empezó a descender, para el caso de el IMA la línea aún sigue la tendencia ascendente y todavía no se puede observar el punto máximo de crecimiento.

Para los incrementos en altura el ICA y el IMA en los dos primeros años de edad el crecimiento fue muy lento inclusive se observa en la (Figura 9B) que el crecimiento quedó estático sin que se observará incrementos, llegando a la edad de tres años el crecimiento se aceleró considerablemente para el ICA y a la edad de cinco años fue donde presentó su máximo crecimiento a esa misma edad empieza a descender hasta llegar a interceptar con el IMA a la edad de siete años y tres meses.

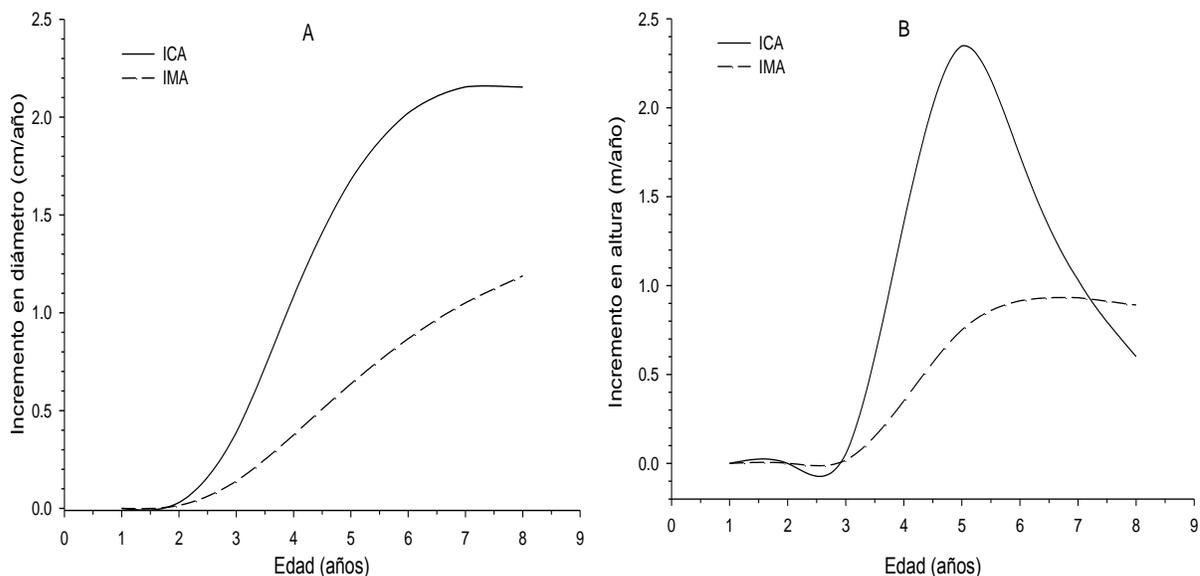


Figura 9. Curvas de incremento en diámetro (A) y altura promedio (B) ajustadas por el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter de la exposición norte (N, NE y NW) de *Swietenia macrophylla* King, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Mientras tanto para la exposición sur (S, SE y SW), el diámetro (Figura 10A) al principio presentó un crecimiento lento ya para la edad de dos años el ICA y el IMA se aceleraron y para la edad de seis fue donde se presentó el máximo incremento en ICA, para el caso del IMA el máximo incremento se presentó entre la edad de siete y ocho años haciendo la intercepción de las líneas a la edad de ocho años y dos meses.

En el caso de los incrementos para la variable altura (Figura 10B), sucedió lo contrario con lo que paso con esta misma variable pero en la exposición norte, en este caso desde los primeros años el incremento fue constante y acelerado, para el ICA el máximo incremento se da cuando esta especie presentó la edad de cinco años

haciendo el cruce de las dos líneas antes de llegar a los ocho años y el máximo crecimiento del IMA cuando la especie presentó la edad de siete años y medio.

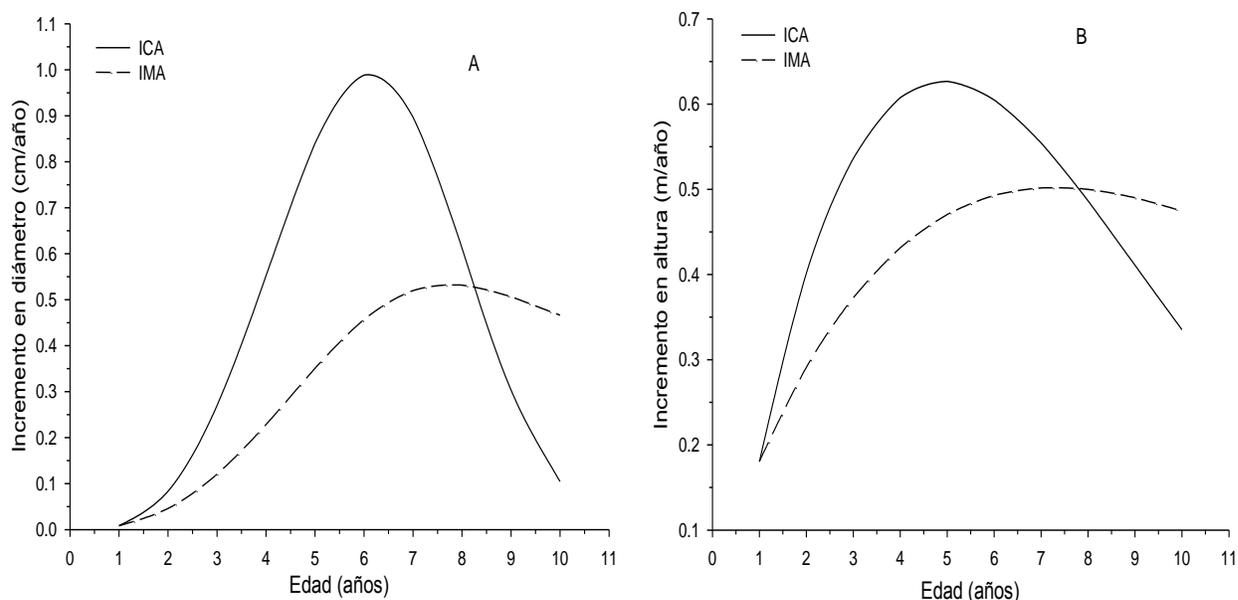


Figura 10. Curvas de incremento en diámetro (A) y altura promedio (B) ajustadas por el modelo de Weibull de la exposición sur (S, SE y SW) de *Swietenia macrophylla* King, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Realizando una comparación del incremento de *Swietenia macrophylla* en las dos exposiciones evaluadas se obtiene que los mayores incrementos en diámetro y en altura se presentaron en lo que corresponde a la exposición norte (N, NE y NW), para diámetro caoba presentó un ICA de 1.18 cm/año para la exposición norte y en lo que respecta a la exposición sur el ICA fue de 0.46 cm/año encontrándose una diferencia de 0.72 cm en el incremento. En lo que se refiere al IMA para diámetro la especie presentó un incremento de 0.48 cm/año para la exposición norte y en la exposición sur el incremento fue de 0.42 cm/año, los resultados del IMA concuerdan con lo que mencionan Cordero y Boshier (2003), en su libro de Árboles de Centroamérica, ellos señalan que *Swietenia macrophylla* tiene un incremento de 0.4 cm/año para un bosque primario pero en el caso de las plantaciones los resultados de este trabajo no coinciden ya que ambos autores reportan que para las plantaciones los incrementos son de 1.2 a 1.4 cm/año por lo que el resultado de este estudio es muy inferior.

4.2.3 Incremento en diámetro y altura de *Tabebuia donnell-smithii* Rose

La curva de ajuste de incremento en diámetro (Figura 11A) para *Tabebuia donnell-smithii* toma la forma muy parecida a la de una campana, el máximo incremento en ICA se da cuando la especie presentó la edad de cinco a seis años, mientras que en el IMA el mayor incremento se da a los nueve años de edad misma en donde las dos curvas se interceptan. Después de los máximos incrementos que se dan en diámetro las dos curvas comienzan a descender, pero el IMA ha ido descendiendo de manera no muy significativa, mientras que el ICA descendió más drásticamente.

Comparando el incremento medio anual en diámetro con lo reportado por FHIA (2007), muestra que a la edad de once años *Tabebuia donnell-smithii* presentó un incremento de 4.0 cm/año, mientras en este trabajo el IMA fue de 1.26 cm/año, muy inferior con una diferencia de 2.74 cm.

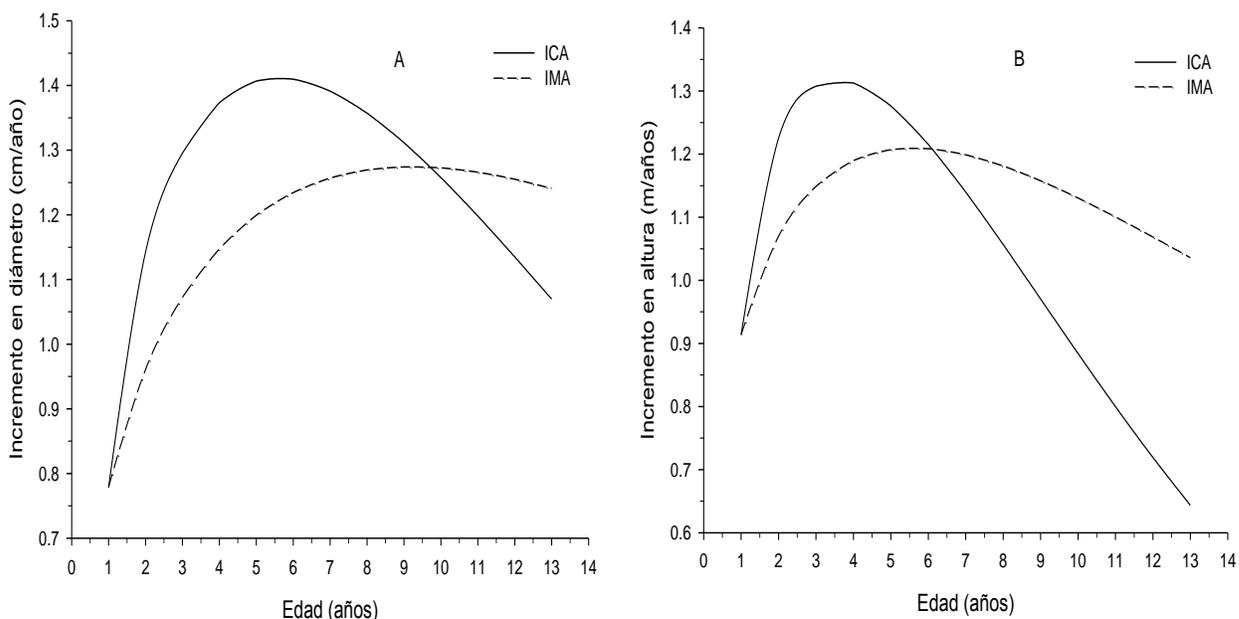


Figura 11. Curvas de incremento en diámetro ajustada por el modelo de Weibull (A) y altura promedio ajustada por el modelo de Chapman-Richards (B) para *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Para la altura promedio (Figura 11B), el Incremento Corriente Anual de esta especie obtiene su máximo punto de crecimiento a la edad de cuatro años, para después iniciar a descender, mientras tanto el IMA el máximo incremento se da a la

edad de cinco años y medio, lo cual el crecimiento presenta ligeramente una estabilización para empezar a descender levemente y es a la edad de seis años cuando las dos líneas de ICA e IMA se cruzan.

Para altura *Tabebuia donnell-smithii* registra un incremento medio anual de 1.12 m/año, crecimiento que aún está por abajo con lo señalado por FHIA (2007), quien indica que un árbol con buen crecimiento es aquel que presenta un incremento igual o superior a 1.20 m/año y al tener este incremento contribuye a reducir los costos de mantenimiento como el control de la maleza, pero debemos de tener en cuenta que las plantaciones evaluadas de este estudio están bajo condiciones de enriquecimiento de acahual. Siendo así, este crecimiento es aceptable para este tipo de plantaciones.

Cotejando el incremento medio anual en altura para esta especie con el trabajo de FHIA (2007), a la edad de once años nuestro trabajo reporta un IMA de 1.10 m/año, mientras que los incrementos reportados por FHIA (2007), muestran un IMA de 1.5 m/año siendo superior el crecimiento a nuestra investigación, lo cual es indiscutible por que las plantaciones de enriquecimiento los factores que afectan el crecimiento adecuado de los árboles es la luz y existe una fuerte competencia con la vegetación ya establecida en la zona de enriquecimiento (Quintero, 1995).

Con el objeto de determinar cuál de las tres especies presenta los mejores incrementos en diámetro como en altura se efectuó una comparación a la edad de 5 años que es unas de las etapas conocidas como juvenil en donde el crecimiento es muy acelerado (Imaña y Encinas, 2008), para el caso de *Swietenia macrophylla* se tomaron los datos de la exposición norte (N, NE y NW) debido a que estos valores son más comparables con las de otras dos especies (Cuadro 2), los resultados revelan que para el diámetro el valor más alto en ICA fue para *Cedrela odorata* y para altura el ICA más alto fue para *Swietenia macrophylla* mientras que en el IMA de la misma forma *Cedrela odorata* fue el superior para diámetro como en altura.

Cuadro 2. Crecimiento e incremento (ICA e IMA) de las especies *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en diámetro y altura a una comparación de cinco años de edad.

Especie	Diámetro promedio (cm)	Incremento en diámetro		Altura promedio (m)	Incremento en altura	
		ICA (cm)	IMA (cm)		ICA (m)	IMA (m)
<i>Cedrela odorata</i> L.	7.08	1.73	1.41	6.30	1.29	1.26
<i>Swietenia macrophylla</i> King.	3.18	1.67	0.63	3.75	2.34	0.75
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	5.99	1.40	1.19	6.03	1.27	1.20

5 CONCLUSIONES

De los modelos ajustados el modelo de Weibull fue el que tuvo mejor ajuste para las variables diámetro y altura, siguiéndole el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter.

Cedrela odorata L. presentó el mejor crecimiento en diámetro y en altura.

El crecimiento de *Swietenia macrophylla* en la exposición norte fue donde mostró los mejores crecimientos en diámetro y altura.

Tabebuia donnell-smithii fue la especie que alcanzó un crecimiento e incremento medio entre *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla*.

Los resultados de crecimiento obtenidos para las tres especies evaluadas son buenos debido a que las plantaciones corresponden a enriquecimiento de acahual y a la condición agroforestal.

6 RECOMENDACIONES

Para conocer la madurez de la plantación, el efecto del acahual, así como el turno absoluto de las especies es importante conservar, aumentar y seguir monitoreando las parcelas permanentes de muestreo y realimentar la información obtenida de años anteriores.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R, M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roehl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal*. 22 (81): 41-70.
- Álvarez O, P. A. y J. C. Varona T. 1988. *Silvicultura*. Ed. Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 354 p.
- Bodero A., N Revelo y L. Hernández. 2007. Propuesta Nacional para el manejo sostenible de la *Swietenia macrophylla* King "Caoba" en Ecuador. CIFOP. Colegio de Ingenieros Forestales de Pichincha. Quito, Ecuador. 49 p.
- Borman, F. H. y G. Berlyn. 1983. Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos - CECOSA. México, D. F. 143 p.
- Bravo M, A., M. Gonzales G, H. de los Santos P, M. Hernández de la R, J. Rene, Valdez L y R. Acosta M, M. 2007. Evaluación financiera de plantaciones forestales de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) y Cedro (*Cedrela odorata* L.) en la región de Tuxtepec, Oaxaca. *In: Memoria del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. 28-31 de Octubre. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Mich., México. 413 p.
- Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Tomo I. 1° Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 275 p.
- Calvillo G, J. C., H. E, Cornejo O, S. Valencia M y C. Flores L. 2005. Estudio epidémico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Ciudad Hidalgo Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*. 7 (001): 5-10.
- Carlson K., A. 2004. Guías silviculturales de árboles nativos en plantaciones forestales comerciales y agroforestales del trópico húmedo de México. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México. 743 p.
- Colak, A. 2003. Effects of microsite conditions on scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in high-elevations plantings. *Fortswissenschaftliches Centralblatt*. 122(1): 36-46.
- Cordero, J y D, H Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica. Un manual para extensionistas. Oxford Forestry Institute- CATIE. 1079 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000a. Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020090. [En línea]. San Pedro Pochutla, Oaxaca. [Fecha de consulta: 31 de Mayo 2011]. Disponible en:

<http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75>.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000b. Servicio Meteorológico Nacional. Normas Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020089. [En línea]. Pluma Hidalgo, Oaxaca. [Fecha de consulta: 31 de Mayo 2011]. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75>.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2006. Desarrollo forestal sustentable en México. Avances 2001-2006. Zapopán, Jalisco. México. 179 p.

Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. [En línea]. México. [Fecha de consulta: 23 de Enero 2012] Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/plantaciones>.

Dirección General de Geografía del Territorio Nacional e Informática. 1981. Carta Hidrológica Aguas Superficiales México. Escala 1: 1, 000, 000.

FAO. 2000. Perspectivas mundiales del suministro futuro de madera procedente de plantaciones forestales. Dirección de políticas y planificación forestales. FAO. Roma, Italia. 151 p.

Fierros G., A. M. 2010. Subsidios y otros apoyos para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales. *In*. Memoria de la primera reunión nacional de plantadores forestales (AMEPLANFOR). Villahermosa, Tabasco, México. 37 p.

Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). 2007. Uso de especies maderables tropicales latifoliadas como sombra del cacao. Programa de cacao y agroforestería. Hoja técnica No 1. Lima, Cortes, Honduras. 5 p.

Fredericksen T., F Contreras y W. Pariona. 2001. Guía de Silvicultura para Bosques Tropicales de Bolivia. Proyecto de manejo forestal sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 77 p.

Gadow K V., S. Sánchez O. y J. G, Álvarez G. 2007. Estructura y crecimiento del bosque. IUFRO. 140 p.

Galán L. R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuals en el sur de Oaxaca. Tesis maestría. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D. F. 217 p.

- García, C. X., C. Parraguirre L y B. Rodríguez S. 1992. Modelo de crecimiento para una plantación de *Swietenia macrophylla* King. *Ciencia Forestal*. 17 (71): 87-102.
- García, C. X., H. Ramírez M, C. Rodríguez F, J. Jasso M y C. A. Ortiz S. 1998. Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. *Revista Ciencia Forestal en México*. 23 (84): 09–18.
- García P., V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 92 p.
- García, C. X., F, J. G. Flores G y J. de D. Benavidez S. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (Cedro rojo) en Quintana Roo, México. *Revista Ciencia Forestal en México*. 32 (101): 71-92.
- Hughell A., D. 1990. Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Glicicidla sepium*, *Guazuma olmifolia* y *Leucaena leucocephala* en América Central. Boletín Técnico No 22. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 55 p.
- Imaña E, J. y O. Encinas B. 2008. Epidometría forestal. 1^{ra} Edición. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. 69. p.
- INEGI. 1984. Carta de uso del suelo y vegetación. Puerto Escondido. D14-3. Escala 1:250,000. Oaxaca, México.
- INEGI. 1995. San Pedro Pochutla, Estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 127 p.
- INEGI. 2000. Carta topográfica. San José Chacalapa. D14B18. Escala 1:50,000. Oaxaca, México.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Pochutla, Oaxaca. Clave geoestadística 20324.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 365 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. UACH. Chapingo, México. 365 p.

- López-Ayala, J. L., J. I. Valdez, H. Juan, T. Terrazas y J. R. Valdez L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva baja subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40: 139-147.
- Lozada J, R., J. Moreno y R. Suescun. 2003. Plantaciones en fajas de enriquecimiento experiencias en cuatro unidades de manejo forestal en la Guyana Venezolana. *Interciencia*. 28 (010): 568-575.
- Macario M, P. A y L. C. Sánchez P. 2010. Sistemas de reforestación. Colegio de la frontera sur. Chetumal-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Red de espacios de innovación socioambiental. Quintana Roo, México. 10 p.
- Merino L., J Rodríguez, G. Ortiz y A. García. 2008. Estudio estratégico sobre el sector forestal mexicano. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A. C. México. 215 p.
- Monreal R, S, B. 2005. Las plantaciones forestales comerciales, una alternativa real para el campo mexicano. *In*. Memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. 26-28 de Octubre. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua Chih., México. p 516.
- Montero M, M., H. De Los Santos P. y M, Kanninen. 2007. *Hyeronima alchorneoides* Ecología y silvicultura en Costa Rica. CATIE. Departamento de Recursos Naturales y Ambiente. Serie Técnica. Informe Técnico No 354. Turrialba, Costa Rica. 50 p.
- Montagnini, F., M. Brewer, B. Eibl y R. Fernández. 2006. Estrategias para la restauración de paisajes forestales. Experiencias en Misiones, Argentina. *In*: Memoria del II Congreso Forestal Latinoamericano. IUFRO. Talca, Chile. 13 p.
- Moreno R. D. 2003. Evaluación de la reforestación en bacadillas con caoba (*swietenia macrophylla* King.), y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) para el Ejido Noh Bec, Quintana Roo. Tesis profesional. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. D.F. 69 p.
- Niembro R, A. 1986. Árboles y arbustos útiles en México. Limusa. Universidad Autónoma Chapingo. México. D.F. 206 p.
- Parraguirre L. C. 1993. Métodos de enriquecimiento de las selvas de Quintana Roo. *Ciencia Forestal*. 18 (74): 65-79.
- Pennington, T. D y J. Sarukhán K. 1998. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Fondo 43 de la Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 521 p.

- Prodan M., R. Peters, F. Cox y P. Real. 1997. Mensura forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible. Proyecto IICA/GTZ sobre agricultura, recursos naturales y desarrollo sostenible. San José, Costa Rica. 503 p.
- Quintero C, J. A. 1995. Análisis silvicultural y ecológico del método de plantación enriquecimiento en fajas, establecido en los llanos occidentales de Venezuela. *Ciencia e investigación forestal*. 9 (2): 279-289.
- Ramírez A., H. 1981. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Revista Ciencia Forestal en México*. 16(70):87-108.
- Ramírez C, A y D. A. Rodríguez T. 2004. Efecto de la calidad de la planta, exposición y micrositio de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Serie de ciencias forestales y del ambiente*. 10 (001): 5-11.
- Ramírez G, C., G. Vera C, F. Carrillo A y O. S. Magaña T. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como una alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*. 34 (2): 243-250.
- Rueda S, A., A. Gallegos R, D. Gonzales E, J. de D. Benavides S, J. A. Ruíz C y E. López A. 2007. Evaluación dasométrica de plantaciones forestales de especies tropicales en Jalisco, Nayarit y Colima. *In: Memoria del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. 28-31 de Octubre. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. p. 414.
- Sáenz-Reyes, J.T., J. Anguiano C, H. J. Muñoz F, F. J. Villaseñor R, A. Rueda S y J. J. García M. 2007. Áreas potenciales para plantaciones forestales comerciales con *Pinus michoacana* var. *cornuta* en la Meseta Purépecha de Michoacán. *In: Memoria del VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. 28-31 de Octubre. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México. p. 394.
- Samek, V. 1974. Elementos de silvicultura de los bosques latifolios. *Ciencia y Técnica*, Instituto Cubano del Libro, La Habana, Cuba. 273 p.
- Sampayo M, S., J. González Q y M. M Silvia S. 2010. Dinámica de crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, en río Bravo, Tamaulipas. *In: Memoria del V Reunión Nacional de Innovación Forestal*. 22-27 de Noviembre. Campeche, México. 78 p.
- Sandoval G., R. 2010. Crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales de plantaciones comerciales en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 46 p.

- Sit, V. y M. Poulin-Coello. 1994. Catalogue of curves for curve fitting. Biometrics information. Handbook series No 4. Ministry of forest research program. Province of British, Columbia, Canadá 110. p.
- Snook L. K., P. Negreros C y J. O'Connor. 2004. Supervivencia y crecimiento de plántulas de caoba en aperturas creadas en la Selva Maya de Belice y México. Informe especial caoba en la selva maya. Recursos Naturales y Ambiente. 4: 91-99.
- Téllez M., E. 2006. Edad óptima de cosecha en plantaciones forestales comerciales de eucalipto, considerando ingresos por madera y captura de carbono en Oaxaca, México. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, México. p. 76.
- Tobar, A. 1997. Acciones demostrativas con fines de manejo forestal, con referencia especial para la región de los Andes. Programa Regional de Bosques Nativos Andinos. Quito, Ecuador. 34 p.
- Toledo M., B. Chevallier, D. Villarroel y B. Mostacedo. 2008. Ecología y silvicultura de especies menos conocidas Cedro, Cedrela spp. WWF, Fabiola Clavijo (TNC). Santa Cruz de la Sierra-Bolivia. 30 p.
- UANL-Facultad de Ciencias Forestales. 2004. Evaluación externa, programa para el desarrollo plantaciones forestales comerciales. Ejercicio fiscal 2003, Informe final. Universidad autónoma de Nuevo León. Linares N.L., México. 120 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Uk. 312 p.
- Villa S, A. B. 2010. Plantaciones forestales comerciales en México: Desarrollo histórico, logros y perspectivas. *In*. Memoria de la primera reunión nacional de plantadores forestales (AMEPLANFOR). Villahermosa, Tabasco, México. 18 p.
- Wadsworth H., F. 2000. Producción forestal para América tropical. Manual de agricultura. Departamento de agricultura de Estados Unidos. IUFRO-SPDC Texbook Project No 3. Washington, DC. 563 p.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees – A review. IAWA. Journal 16: 337–351.
- Zamudio S, F. J., J. L. Romo L y J. O. A. Cervantes C. 2010. Evaluación financiera y de riesgo de una plantación forestal comercial en Zihuateutla, Puebla. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 16(1): 69-78.

APÉNDICES

Apéndice 1. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de *Cedrela odorata* L, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla y Agroforestal en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	6.2824	6.8168	0.2827	0.9231	0.9214	17.6918
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	44.8481	0.0628	1.4084	0.9231	0.9213	17.6975
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	39.5070	0.0240	1.3110	0.9231	0.9213	17.6998

Apéndice 2. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de *Swietenia macrophylla* King, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	1.8203	5169.5	5.2108	0.8332	0.8123	4.7139
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	5.9777	0.9580	136.2	0.8339	0.8131	4.6932
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	5.7968	0.000182	4.8204	0.8355	0.8150	4.6453

Apéndice 3. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	7.0492	7.4661	0.2186	0.7824	0.7700	23.6289
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	33.9870	0.0678	1.3909	0.7824	0.7701	23.6216
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	27.7158	0.0285	1.3337	0.7825	0.7701	23.6188

Apéndice 4. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de *Cedrela odorata* L, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla y Agroforestal en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	3.7429	4.3515	0.5170	0.9573	0.9563	4.9012
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	17.6550	0.1304	1.3995	0.9573	0.9563	4.8970
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	16.8327	0.0619	1.2581	0.9573	0.9563	4.8977

Apéndice 5. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de *Swietenia macrophylla* King, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	1.6587	2516.1	5.0969	0.9006	0.8882	2.3081
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	5.1409	0.9470	75.0952	0.9007	0.8883	2.3055
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	5.0504	0.00214	3.6547	0.9008	0.8884	2.3033

Apéndice 6. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	4.3423	4.8152	0.3984	0.8245	0.8145	15.4183
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	19.4013	0.1129	1.3862	0.8245	0.8146	15.4144
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	17.8621	0.0525	1.2806	0.8245	0.8146	15.4138

Apéndice 7. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de *Swietenia macrophylla* King, de la exposición norte (N, NE y NW) en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	3.9033	15.6835	1.0827	0.9509	0.9263	3.7393
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	26.1073	0.206	4.7076	0.9508	0.9262	3.749
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	23.2644	0.00238	2.6002	0.9506	0.9260	3.7578

Apéndice 8. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de *Swietenia macrophylla* King, de la exposición norte (N, NE y NW) en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	2.1029	278.5	3.6522	0.9816	0.9724	1.0379
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	7.7104	0.7222	25.9932	0.9815	0.9722	1.0453
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	7.4878	0.00556	3.0376	0.9812	0.9718	1.0615

Apéndice 9. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de *Swietenia macrophylla* King, de la exposición sur (S, SE y SW) en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	1.777	85.5784	2.6439	0.9471	0.9365	0.7787
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(b E)^c))$	5.1639	0.5377	15.3242	0.9474	0.9369	0.7745
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(b E^c)))$	4.6875	0.00181	3.4526	0.9478	0.9373	0.7686

Apéndice 10. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de *Swietenia macrophylla* King, de la exposición sur (S, SE y SW) en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	2.2715	7.0703	0.9977	0.9725	0.9670	0.3989
Chapman- Richards	$Y = a (1 - \exp(-(b E)^c))$	6.277	0.2254	2.5084	0.9725	0.9670	0.3988
Weibull	$Y = a (1 - \exp(-(b E^c)))$	5.7075	0.0321	1.7437	0.9725	0.9670	0.3988