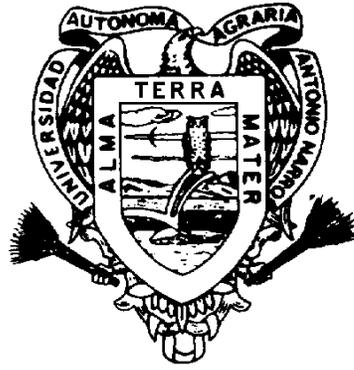


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA DE TRES ESPECIES TROPICALES DE
PLANTACIONES COMERCIALES EN POCHUTLA, OAXACA.

POR:

RUFINO SANDOVAL GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA DE TRES ESPECIES TROPICALES DE
PLANTACIONES COMERCIALES EN POCHUTLA, OAXACA.

POR:

RUFINO SANDOVAL GARCÍA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL


ASESOR PRINCIPAL
DEPARTAMENTO FORESTAL

APROBADA:


COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
AGRONOMÍA

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

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MAYO 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

CRECIMIENTO EN DIÁMETRO Y ALTURA DE TRES ESPECIES TROPICALES DE
PLANTACIONES COMERCIALES EN POCHUTLA, OAXACA.

POR:

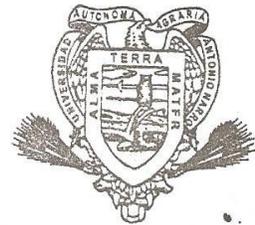
RUFINO SANDOVAL GARCÍA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:



ASESOR PRINCIPAL

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ DEPARTAMENTO FORESTAL

ASESOR

DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ

ASESOR

ING. JUAN MORALES HERNÁNDEZ

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MAYO 2010

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02-030207-2385. Este proyecto pertenece al Departamento Forestal y está a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mis padres:

Feliciana García Pérez por darme la vida, por cuidarme en mis primeros pasos y sobre todo por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

Isaías Sandoval Mendoza por ser el pilar de la familia y por su fortaleza para salir adelante ante cualquier situación.

A mis hermanos:

Celestino Sandoval García gracias por impulsarme a seguir adelante y por confiar en mí en todo momento. Severiana, Felipe, María y Carmela muchas gracias por todo el apoyo que me han brindado, que sin importar la distancia los siento muy cerca de mi, Dios los bendiga.

A mis tíos y tías:

Severiano, Prisciliana, Demetrio, Nicolás, y Alfonso, gracias por brindarme su apoyo durante mi proceso de formación como profesionista, ya que fueron pieza clave en muchos momentos.

A mis primos:

Para no omitir ningún nombre, quiero extender un agradecimiento en general a todos mis primos y primas que han compartido parte de su vida conmigo.

A mis abuelas:

Agustina y en especial a la memoria de mi abuelita Sebastiana[†], gracias por su cariño.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a **Dios** por todas las bendiciones que ha derramado sobre mi vida y sobre la vida de mi familia.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por darme las herramientas que me permitieron concluir mi formación como profesionista

Al M.C. Celestino Flores López por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su dirección y asesoría, por su amistad y en especial por su dedicación para lograr nuestra superación personal.

Al Dr. Miguel Ángel Capo Arteaga por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la universidad y sobre todo por su amistad.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo por su apoyo en todo momento durante mi formación profesional.

Al Dr. Jorge Méndez González, por sus valiosas contribuciones en la realización de este trabajo.

Al Ing. Juan Morales Hernández por depositar su confianza en mí, para la realización de este trabajo.

Al C. José Luís López Pérez, por permitirme realizar este trabajo en sus plantaciones establecidas en San José Chacalapa y Santiago La galera, Pochutla, Oaxaca.

A Jaime Cortes Martínez, Cristino Martínez Hernández, Vicente Venegas González, Armando Soto Cruz y Ciro González Villanueva por el apoyo brindado en la toma de datos en campo para la realización de este trabajo.

A todos los Profesores del Departamento Forestal, por la sabiduría y la experiencia que supieron transmitir durante nuestra formación en esta universidad.

Al Centro de Educación y Capacitación Forestal No. 2, "Gral. Lázaro Cárdenas del Río", en especial al Ing. Francisco Maldonado Robles, quien me apoyo en todo momento durante mi formación como Técnico Forestal.

A mis compañeros de la generación CVIII por amistad, en especial a Wendy, Jaime, Víctor Hugo, Antonio, Danny, Amanda, José Luis y a todos aquellos que me brindaron su amistad en la UAAAN.

Al Equipo Internacional de Identificación de Plantas de Pastizales (EIIPP), por darme la oportunidad de formar parte de la historia de logros y triunfos alcanzados a nivel internacional para UAAAN.

Al Dr. Juan Manuel Martínez Reyna, por su amistad y sus valiosas enseñanzas en la identificación de plantas de pastizales.

A Noemy Jurado Cruz por su amistad.

En especial agradezco a todas aquellas personas, que me apoyaron a culminar mis estudios de una manera exitoso, gracias por forman parte importante de mi vida, Dios los bendiga.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Plantaciones Forestales en el Mundo	5
2.1.1 Plantaciones Forestales en México.....	5
2.2 Justificación de plantaciones forestales comerciales.....	6
2.3 Plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> L. en México	6
2.4 Plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en México	7
2.5 Plantaciones de <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose en México.....	8
2.6 Especies tropicales utilizadas en plantaciones forestales en México	9
2.7 Crecimiento de árboles	9
2.7.1 Crecimiento en altura	10
2.7.2 Crecimiento en diámetro	10
2.7.3 Crecimiento en volumen.....	10
2.7.4 Anillos de crecimiento.....	11
2.8 Factores que intervienen en el crecimiento de los árboles	11
2.9 Modelos de crecimiento	11
2.10 Estudios sobre crecimiento de las tres especies.	12
3 MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Descripción del área de estudio.....	14
3.1.1 Localización.....	14
3.1.2 Orografía	14
3.1.3 Edafología	14
3.1.4 Hidrología	16
3.1.5 Clima	16
3.1.6 Vegetación	17

3.1.7 Fauna	17
3.2 Antecedentes de las plantaciones	17
3.2.1 Establecimiento de las plantaciones	18
3.2.2 Principales problemas fitosanitarios de las plantaciones.....	18
3.3. Diseño de muestreo.....	18
3.3.1 Establecimiento de sitios permanentes	19
3.4 Variables dasométricas evaluadas	20
3.5. Modelos de crecimiento utilizados para diámetro y altura	21
3.5.1 Incremento en altura y diámetro	21
3.5.2 Curvas de incremento en altura y diámetro	22
3.5.3 Modelo diámetro - altura.....	22
3.5.4 Crecimiento en altura dominante.....	22
3.5.5 Curva anamórfica para las tres especies	23
3.5.6 Estadísticos de selección de los modelos	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Crecimiento en diámetro y altura	24
4.1.1 Crecimiento en altura de las tres especies.....	24
4.1.2 Crecimiento en diámetro de las tres especies.....	26
4.1.3 Modelo diámetro- altura.....	27
4.1.4 Incremento en altura y diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L.	28
4.1.5 Incremento en altura y diámetro de <i>Swietenia macrophylla</i> King.....	29
4.1.6 Incremento en altura y diámetro de <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose..	30
4.3 Crecimiento en altura dominante de las tres especies	32
4.4 Curva anamórfica de calidad de sitio de las tres especies	34
5 CONCLUSIONES.....	37
6 RECOMENDACIONES	38
7 LITERATURA CITADA.....	39
APÉNDICES.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Estudios de crecimiento de las especies <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose realizados en México.	13
Cuadro 2. Predios evaluados, números de sitios correspondientes, especies y sistemas silvícolas en los que se encuentran establecidas las plantaciones.	19
Cuadro 3. Coordenadas geográficas de los sitios establecidos en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.	20
Cuadro 4. 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 edad comparativa de seis años.....	31
Cuadro 5. Modelos y estadísticos de regresión para altura dominante en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

- Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. 15
- Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial “La Galera”, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 15
- Figura 3. Diagrama ombrotérmico de las normales climáticas (1971-2000) de las estaciones meteorológicas Pochutla (A) y Pluma Hidalgo (B), Oaxaca. 16
- Figura 4. Curvas de crecimiento en altura promedio (A) y altura dominante (B) ajustadas mediante el modelo Weibull para *C. odorata* L, *S. macrophylla* King, y *T. donnell-smithii* Rose, establecidas en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 25
- Figura 5. Curvas de crecimiento en diámetro promedio (A) y dominante (B) ajustadas mediante el modelo Weibull para *C. odorata* L, *S. macrophylla* King, y *T. donnell-smithii* Rose, establecidas en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 27
- Figura 6. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para *Cedrela odorata* L. establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 28
- Figura 7. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para *Swietenia macrophylla* King establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. 29

Figura 8. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose, establecida en plantaciones de comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	31
Figura 9. Curva guía estimada con el modelo de Chapman-Richards, para las especies de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose en plantaciones comerciales San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.....	33
Figura 10. Curva guía estimada con el modelo de Schumacher, para las especies de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose en plantaciones comerciales San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.....	33
Figura 11. Curvas de índice de sitio para las especies de <i>C. odorata</i> L., <i>S. macrophylla</i> King, y <i>T. donnell-smithii</i> Rose, a la edad base de 10, en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.	34
Figura 12. Curva guía correspondiente al índice de sitio (12) y valores observados por predio y especie para plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.....	35

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de evaluar el crecimiento en diámetro y altura de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King) y primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) con edades que van desde un año hasta doce años, establecidas en plantaciones mixtas de enriquecimiento de acahuales y bajo sistemas agrosilvícolas, en el distrito de Pochutla, Oaxaca.

Se establecieron 40 sitios permanentes de forma circular con superficies de 250 m². Las variables medidas fueron diámetro y altura total, con las que se determinó la dinámica de crecimiento de las tres especies, empleando los modelos Schumacher, Weibull y Chapman-Richards. Se construyeron curvas anamórficas para determinar el índice de sitio, a partir de la altura dominante a la edad base de 10 años, utilizando el modelo de Chapman-Richards.

Las curvas de crecimiento se realizaron con el modelo Weibull, las cuales presentaron forma sigmoïdal e indicaron que el mejor crecimiento fue presentado por *Cedrela odorata* con un diámetro de 20.69 cm y una altura de 13.83 m, realizando la comparación a los diez años. En cuanto a las curvas de incremento *T. donnell-smithii* presentó incrementos superiores con respecto a *C. odorata* L. y *S. macrophylla*, incrementando hasta 4.25 cm/año en diámetro y 1.52 m/año en altura comparativo realizado a la edad de seis años. Se construyeron cinco curvas anamórficas a una equidistancia de tres años, usando el modelo Chapman-Richards debido a que presentó el mejor ajuste ($R^2=0.9598$); las mejores calidades de sitio de las plantaciones se presentaron en los predios "El Riego" y "El Carnizuelo".

Palabras claves: Crecimiento, plantaciones, modelos de crecimiento, índice de sitio, especies tropicales.

ABSTRACT

This work was carried out in order to evaluate the diameter and height growth of spanish cedar (*Cedrela odorata* L.), mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and gold tree (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) with ages ranging from one to twelve years, established in mixed plantations of acahuales enrichment and under agroforestry systems in the district of Pochutla, Oaxaca.

Forty circular permanent sites from 250 m² were established. Diameter at breast height and total height were used to determine the growth dynamics of the species. In order to determine site index, anamorphic curves were constructed in base of dominant height at 10 years using the Chapman-Richards model growth.

Diameter and height growth curves were performed using the Weibull model, which had a sigmoidal form and indicated that the best growth is shown by *Cedrela odorata* with a diameter of 8.14 in and a 45.37 ft of height, making the comparison to ten years. On increment curves, *T. donnell-smithii* had higher increases than *C. odorata* L. and *S. macrophylla*, increasing to 1.67 in/yr in diameter and 4.98 ft/ year in height comparisons made at the age of six years. Five anamorphic curves were constructed at an equidistance of three years using the Chapman-Richards model because it shows the best fit ($R^2 = 0.9598$), in the best site qualities in the plantations were presented in “El Riego” and “ El Carnizuelo” properties.

Keywords: Growth, plantations, growth models, site index, tropical species.

1 INTRODUCCIÓN

La orografía que posee México le ha permitido tener diferentes ecosistemas, en los cuales se encuentra una gran biodiversidad de especies, tanto de flora como fauna, permitiéndole así ocupar un lugar privilegiado en el mundo (Toledo, 1994).

Dentro de los diferentes ecosistemas con los que cuenta México, destacan los bosques con una superficie de 30, 433,893 ha y las selvas con una superficie de 26, 440,061 ha (SEMARNAT, 2006). Los principales beneficios de estos ecosistemas son los servicios ambientales en la regulación del ciclo hidrológico, el microclima, la captura de carbono y la generación de ingresos económicos importantes (Ordóñez y Masera, 2001; Torres y Guevara, 2002).

Sin embargo, estos recursos han sido sometidos a desmontes, sobrepastoreo, a explotación selectiva, a incendios forestales y a cambios de uso de suelo para fines agrícolas, ocasionado su deterioro (Rzedowski, 1983) y como consecuencia la formación de bosques secundarios que se caracteriza por la presencia de vegetación leñosa sucesional. El grado de recuperación de estos recursos dependerá en gran medida de la duración e intensidad del uso anterior por cultivos agrícolas o pastos, así como de la proximidad de fuentes de semillas para recolonizar el área dañada (Smith *et al.*, 1997).

El deterioro de los bosques y las selvas, implica la pérdida irreversible de organismos y genes, la desaparición de recursos forestales reales o potenciales, impactos en los sistemas hidráulicos y cambios climáticos de carácter global; dentro de estos problemas México ocupa el tercer lugar entre los países con mayores tasas de deforestación (Toledo y Ortiz-Espejel, 1998).

Las pérdidas forestales en el período 1976-2000 fueron de 0.25% para los bosques templados y 0.76% para los bosques tropicales, esto implica una pérdida anual de 86,718 ha de bosques templados y de 263,570 ha de bosques tropicales, que suman una pérdida total de 350,288 ha (UNAM, 2000).

Ante este panorama el 4 de abril de 2001 fue creada la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), como un organismo público descentralizado de la SEMARNAT con el objetivo de desarrollar, favorecer e impulsar las actividades productivas de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de planes y programas (CONAFOR-SEMARNAT, 2002).

La CONAFOR ante la necesidad de impulsar el establecimiento de plantaciones forestales crea el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), a través del cual se da impulso a éstas, con los principales fines: comerciales, generación de empleo, promover los servicios ambientales, incentivar los usos más rentables de la tierra, aumentar la captura y retención del carbono, y disminuir la presión ejercida sobre los bosques y las selvas (CONAFOR-SEMARNAT, 2002).

Las plantaciones forestales tropicales pueden cumplir con una variedad de servicios que incluyen el suministro de madera, acumulación del carbono, protección del suelo y aceleración de la regeneración natural (Parrotta, 1992; Lamb 1998), motivo por el cual las plantaciones forestales se consideran de gran importancia debido a que representan una alternativa económica y de beneficio social, al cumplir una función en bien de la protección del ambiente, al disminuir la presión existente sobre los bosques naturales; adicionalmente a esto las plantaciones contribuyen significativamente en el funcionamiento de los procesos ecológicos, paisajísticos, de protección y conservación de suelos, ciclo de nutrientes, recarga de mantos acuíferos (Alice *et al.*, 2004).

En México las plantaciones de cedro y caoba han mostrado que son una opción viable y prometedora, tanto por el uso productivo de la tierra, ya que resultan un negocio rentable en circunstancias favorables (Timonthy, 2007), así como de enriquecimiento de acahuals con el fin de aprovechar el potencial productivo y la protección que le brindan estos bosques secundarios ante las condiciones climáticas y necesidades de sombras de ciertas especies para su desarrollo en las etapas iniciales (INIFAP, 1999).

Las plantaciones pueden realizarse *in situ* mezclando especies de alto valor comercial con especies nativas, para regular las poblaciones de plagas y enfermedades y de esta forma tener un “seguro” contra el fracaso total (Wormald, 1995), ejemplo de estos son los sistemas agroforestales los cuales tienen como principal objetivo maximizar el uso del agua, nutrientes y luz, además de aumentar la biodiversidad vegetal y la protección al suelo (Amalia, 2009); desde el punto de vista de sostenibilidad, el sistema mantiene o aumenta la productividad del suelo, conserva la fertilidad del mismo y produce interacciones biológicas y ecológicas entre los componentes (Jiménez *et al.*, 2001).

Las plantaciones con especies de rápido crecimiento (ya sea en monocultivo o mixtas) contribuyen al retorno de la inversión en un menor tiempo, esto debido a que se produce más rápidamente el producto esperado y la especie alcanza su desarrollo en un menor tiempo lo que reduce los costos de mantenimiento (Beer *et al.*, 2003), además de que pueden intensificar el secuestro de carbono, proporcionar leña, estabilizar los suelos y proteger las tierras agrícolas (Aguirre, 2009).

Para que las plantaciones tengan éxito es necesario que estén apoyadas por una serie de estudios que permitan llegar a secuencias lógicas en la resolución de los principales problemas a los que se enfrentan (Bertoni y Juárez, 1980).

La evaluación de una plantación es una actividad dinámica y es necesario que se realice frecuentemente, para que a través de los estudios, se pueda conocer la sobrevivencia y dinámica de crecimiento (Torres y Magaña, 2001), así como el estado actual de sus recursos, pronósticos de la naturaleza, el tiempo óptimo de aprovechamientos futuros y estimaciones del aprovechamiento máximo sustentable (Vanclay, 1994).

El crecimiento representa el desarrollo en altura, diámetro y volumen de una árbol, en el caso de los árboles tropicales se presenta de manera anual, bianual o irregular sobre todo en los árboles jóvenes, ocasionando la formación de anillos completos, incompletos y falsos añillos, por lo cual resulta muy complicado la

realización de estudios para determinar el crecimiento de las especies tropicales utilizando los anillos de crecimiento (Bormann y Berlyn, 1983).

Ante esta situación se construyen modelos de predicción y simulación, utilizando la información del crecimiento. La importancia del presente estudio recae en la necesidad de conocer el crecimiento de las plantaciones y orientarlas hacia un manejo adecuado (Torres y Magaña, 2001)

1.1 Objetivo general

Describir la dinámica de crecimiento de las especies *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, establecidas en plantaciones de enriquecimiento de acahuales y bajos sistemas agrosilvícolas en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones Forestales en el Mundo

Las plantaciones forestales con mayor superficie en el Mundo se encuentran en China, la Federación de Rusia, Estados Unidos, la India y el Japón, donde se han establecido más de 10 millones de hectáreas en cada uno, representado en conjunto el 64.7% de los recursos mundiales de plantaciones (FAO, 2000), utilizando como principales especies *Pinus elliotti* Engelm, *P. taeda* L., *P. radiata* D. Don, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid, *E. saligna* Sm y *Populus spp* (Cozzo, 1995).

2.1.1 Plantaciones Forestales en México

Las plantaciones forestales comerciales (PFC) en México datan de la década de 1950, cuando se plantaron alrededor de 6,400 ha con varias especies de latifoliadas como el eucalipto, para la fabricación de tableros de fibra en el Estado de San Luis Potosí (SEMARNAT, 2001) y más de 7,500 ha de hule (*Hevea brasiliensis* Müll.), en la región del río Papaloapan, en el Estado de Oaxaca (Rojo-Martínez *et al.*, 2005a).

Entre los años 1974 y 1980 se establecieron 10,000 has de plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet en la región de la Sabana Oaxaca, para la producción de celulosa y papel; y en 1994 una empresa internacional da inicio a la plantación de 30,000 has de *Eucalyptus spp* en Veracruz y Tabasco (SEMARNAT, 2001).

En 1997 se establecieron PFC de *Eucalyptus spp.*, para celulosa y aserrío con un proyecto potencial de más de 20,000 has por parte de la empresa Plantaciones Tehuantepec, S. A de C. V., localizada entre los límites de Veracruz y Oaxaca (Telles *et al.*, 2008); un año más tarde dos empresas nacionales dan inicio a proyectos de plantaciones de *Eucalyptus spp.*, para los Estados de Sinaloa y Nayarit con 9,000 has y para Oaxaca y Veracruz con 21,000 has (SEMARNAT, 2001).

2.2 Justificación de plantaciones forestales comerciales

La necesidad del establecimiento de PFC recae en el potencial que tienen para mitigar la escasez de madera en el futuro y brindar una continuidad de abastecimiento de madera (FAO, 2000), así como proporcionar abrigo a la fauna e impedir la erosión (Wormald, 1995).

Por otro lado, debido a la pérdida de biodiversidad a causa de la utilización de técnicas agrícolas inapropiadas han producido la conversión, destrucción o modificación de los hábitats naturales, la fragmentación de los mismos, la pérdida de conectividad del paisaje y la invasión de especies exóticas, muchos ecosistemas se han ido deteriorando e incluso muchos han desaparecido (Harvey *et al.*, 2005).

Ante tal situación surge la necesidad de utilizar técnicas agrícolas de menor impacto como son los sistemas agroforestales los cuales consisten en la combinación en tiempo y espacio de plantaciones forestales asociadas con cultivos agrícolas o actividades pecuarias para obtener una cubierta vegetal rápida y consolidar o incrementar la productividad de la tierra (Cruz, 2003; Amalia, 2009).

Las plantaciones mixtas contribuyen a gestionar la fertilidad del suelo y la heterogeneidad de la hojarasca, favorece la descomposición de los residuos vegetales y por tanto, impide su acumulación en el suelo forestal, conservando así el contenido de materia orgánica de la capa superficial del suelo a fin de reducir el riesgo de erosión del viento o la lluvia, impidiendo de esta manera la insolación de la capa superficial que perjudica la microfauna y microflora del suelo (Wormald, 1995).

2.3 Plantaciones de *Cedrela odorata* L. en México

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es un árbol de hasta 35 m de altura, con diámetros de hasta 1.7 m, ramas ascendentes y gruesas, copa redondeada y densa; flores masculinas y femeninas en la misma inflorescencia, flores suavemente perfumadas, crece en selvas altas y medianas perennifolias que se distribuyen en la

vertiente del Golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luís Potosí hasta la península de Yucatán (Pennington y Sarukhán, 1998).

La madera de cedro es de excelente calidad, presenta muy buenas propiedades de trabajo, buen pulimento, encolado, cepillado, moldeado escopleado y lijado. Es utilizada en la construcción de edificios (puertas, ventanas, paneles, contrachapados y paredes), construcción de embarcaciones, ebanistería (piezas de madera tallada y torneada), esculturas, piezas para instrumentos musicales, entre otras (Toledo *et al.*, 2008), siendo valiosa, no sólo por su facilidad de trabajo sino por su resistencia a la polilla, termitas y pudrición (Cintrón, 1990).

La Sociedad de Producción Rural de R.L. y C.V (El Chaparral) desde 1992 inició el establecimiento de plantaciones con *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King, *Tectona grandis* L y *Gmelina arborea* Linn, en el municipio de Juchique de Ferrer, Veracruz, contando en el 2003 con 490 has (CONAFOR, 2009).

En Escárcega municipio de Carmen, Campeche, se establecieron plantaciones con las especies: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Lonchocarpus castilloi* Standl, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) griseb, *Spodias mombin* L., *Cordia dodecandra* D.C, *Platymiscium yucatanum* Standl, *Eucalyptus camaldulensis* Denh, *Gmelina arborea* Linn y *Afxelia pachyloba* S., con fines de investigación (Bertoni y Juárez, 1980) y en Doroteo Arango, municipio de González, Tamaulipas se establecieron como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial (Ramírez *et al.*, 2008).

2.4 Plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en México

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) es un árbol de hasta 70 m, de tronco recto ligeramente acanalado y con diámetros de hasta 3.5 m, con pocas ramas gruesas ascendentes y torcidas, con la copa abierta y redondeada. Hojas dispuestas en espiral, paripinnadas, de 12 a 40 cm de largo incluyendo el peciolo; foliolos 3-5 pares, lanceoladas u ovadas. Flores de ambos sexos en la misma inflorescencia; se distribuye

solamente en la vertiente del Golfo desde el norte de Puebla y Veracruz, hasta el sur de la península de Yucatán (Pennington y Sarukhán, 1998), su madera se emplea en construcciones de lujo, en decoración de interiores, trabajos de ebanistería fina, instrumentos musicales, chapa decorativa, trabajos de gabinete y construcciones marinas (Calvo *et al.*, 2000).

En las últimas décadas las poblaciones naturales de *Swietenia macrophylla* y *Cedrela odorata*, han sido afectadas por la deforestación, el ataque del barrenador (*Hypsiphylia grandella* Zeller) y la erosión genética causada por aprovechamiento selectivo de los mejores individuos (Marmillod *et al.*, 2007).

En la convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES) realizada en Santiago de Chile en noviembre del 2002, se aprueba que *Swietenia macrophylla* King, pasará del Apéndice III al Apéndice II de la lista de CITES para la Convención sobre Comercio Internacional de Especies en Peligro (CITES; 27 UST 1087, TIAS Nr 8249), considerando a esta especie amenazada en su supervivencia y que es necesario tomar medidas correctivas para evitar su extinción (Marmillod *et al.*, 2007).

En el Campo Experimental Huichihuayán, San Luis Potosí se establecieron plantaciones de *Swietenia macrophylla* en áreas afectadas por incendios y bajo un sistema agroforestal (Cruz, 2003), en el Campo Experimental "San Felipe Bacalar" en Quintana Roo, se establecieron 10 ha de *S. macrophylla* y *C. odorata* (García *et al.*, 1998) y la Agrupación Agropecuaria Forestal "Titatoka Mostahuita", SPR de RI de la Sierra Nororiental del estado de Puebla han establecido 214 ha de PFC con las especies de *S. macrophylla* y *C. odorata* (CONAFOR, 2009).

2.5 Plantaciones de *Tabebuia donnell-smithii* Rose en México

La primavera (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) es un árbol hasta 30 m de altura y hasta 70 cm de diámetro, el tronco es ligeramente acanalado, ramas ascendentes, copa alargada. Hojas digitado-compuestas, de 20 a 70 cm de largo incluyendo el peciolo,

compuestas de 7 foliolos, ocasionalmente 5, elípticos, oblongos u obovados. Flores en panículas terminales, piramidales, con ramas cimosas, de 15 a 35 cm de largo, pedicelo de 1.5 a 4 cm, cáliz amarillo verdoso, tubular de 2 a 2.5 cm de largo, papiráceo. El fruto es una cápsula cilíndrica rugosa de color verde-amarillento cuando está madura. Las semillas son delgadas, planas, rodeadas de un ala ligera; se distribuye desde el estado de Nayarit a través de los estados de Chiapas y Veracruz, y su madera se emplea en la fabricación de muebles (Pennington y Sarukhán, 1998)

La Sociedad Cooperativa Cerro de Cintepec, Veracruz estableció plantaciones comerciales agroforestales de cedro rojo, caoba y primavera junto con otras especies tropicales en una superficie de 1084 ha en la selva de los “Tuxtlas” (López-Sánchez y Musálem, 2007; CONAFOR, 2009).

2.6 Especies tropicales utilizadas en plantaciones forestales en México

Las especies tropicales más utilizadas para plantaciones son *Eucalyptus* spp., *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King., *Tectona grandis* L. F., *Gmelina arborea* Linn, *Tabebuia rosea* Bertol. y *Tabebuia donell-smithii* Rose (Niembro, 1986; Cozzo, 1995; SEMARNAT, 2001).

2.7 Crecimiento de árboles

El crecimiento es el desarrollo en altura, diámetro y por consiguiente en volumen, en un periodo de tiempo determinado, éste se manifiesta en varias fases: división, crecimiento, diferenciación y maduración de la célula y el incremento se manifiesta en el meristemo terminal (altura) y el crecimiento de los meristemos laterales se manifiesta en el incremento de diámetro. Durante el periodo de crecimiento, el incremento no es simultáneo para todas las partes del árbol, por lo general el crecimiento en altura se presenta antes que el crecimiento en diámetro, mientras que el crecimiento de las raíces se lleva a cabo en un periodo mucho más largo que el de las partes aéreas; en forma general la porción más grande del incremento en altura se presenta durante la noche (Klepac, 1983).

Las variación diurna de incremento en diámetro se debe al hecho de que la planta experimenta por transpiración una gran pérdida de agua que absorbe del suelo, lo que da lugar a una disminución del incremento en volumen; mientras que la absorción del agua durante la noche da lugar a un incremento en el diámetro del árbol (Klepac, 1983).

Los árboles caducifolios pierden sus hojas en un periodo relativamente corto y el árbol permanece sin follaje por un período largo, durante el cual tanto los retoños como el cambium parecen estar latentes; pero la latencia de los retoños precede a la latencia del cambium (Bormann y Berlyn, 1983) y presentan una fotosíntesis limitada en el periodo que brotan las nuevas hojas (Hocker, 1984).

2.7.1 Crecimiento en altura

El crecimiento en altura se produce a medida que las yemas apicales se expanden y se manifiestan en la primavera (Hocker, 1984), en algunas especies tropicales el crecimiento se presenta durante todo el año, contrario a lo que sucede en especies de climas frío, cuyo crecimiento se limita a dos meses (Klepac, 1983).

2.7.2 Crecimiento en diámetro

El crecimiento en diámetro se manifiesta con el incremento en la masa celular alrededor del cambium, el cual produce cada año las células xilemáticas hacia el interior del tallo y las células floemáticas hacia el exterior. Las capas nuevas del xilema se añaden en el exterior de los anillos del año anterior mientras que las capas de nuevas células floemáticas se ubican en el interior (Hocker, 1984).

2.7.3 Crecimiento en volumen

El incremento del volumen depende del crecimiento en altura, diámetro y del grado de conicidad del árbol. Para latifoliadas se utiliza comúnmente el volumen comercial que va desde el tocón hasta el comienzo de las ramas (Hocker, 1984).

2.7.4 Anillos de crecimiento

El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento, el cual no es igual a lo largo de todo el fuste. Los anillos de crecimiento son más anchos en la parte superior del fuste inmediatamente debajo de las primeras ramas; mas abajo el ancho de los anillos decrece (Klepac, 1983).

2.8 Factores que intervienen en el crecimiento de los árboles

El suelo y el clima desempeñan una papel esencial en el crecimiento y desarrollo de los árboles al proporcionarles agua, nutrientes y un medio de sostén (Pritchett, 1986). El crecimiento depende en gran medida la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año, la calidad de sitio en donde se pretenda establecer, la calidad de la semilla, la calidad de producción en vivero, tipo y frecuencia de manejo incluyendo fertilización, regímenes de limpia de malezas, raleo y la densidad de árboles (Wightman, 2005), siendo el factor genético el más importante a nivel individual, ya que bajo las mismas condiciones algunos árboles exhiben un incremento hasta 2 ó 3 veces mayor que otros; también cabe destacar que el incremento en altura es menor en los años de producción de frutos, ya que se emplea una parte de las sustancias de reserva en la fructificación (Klepac, 1983).

2.9 Modelos de crecimiento

Los modelos matemáticos son una de las herramientas analíticas más utilizadas en la actualidad para la generación de conocimientos en el área del crecimiento y reproducción de masas forestales sujetas a un régimen de cultivo. La selección de cualidades es fuertemente dependiente de los antecedentes con que se cuente en el momento, acerca del fenómeno en estudio y que pueda discriminar los componentes que son esenciales según los objetivos y propósitos de estudio. Las cualidades del patrón que se han seleccionado para formar al modelo se le conoce como parámetros o variables y a las condiciones que guarda el patrón en un momento determinado se le nombra estado (Mendoza, 1983).

Los modelos de crecimiento por si mismos son de uso limitado, ya que requieren auxiliarse de datos que proporcione información útil. Con un adecuado inventario y otros recursos de datos, los modelos de crecimiento proporcionan estimaciones confiables para realizar estudios silvícolas y obtener opciones de aprovechamiento, determinar la sustentabilidad de rendimiento de la madera y examinar los impactos de los manejos forestales y aprovechamientos sobre otros recursos valiosos de los bosques (Vanclay, 1994).

2.9.1 Modelos de predicción

Los modelos de predicción son aquellos en los cuales el crecimiento se predice directamente como una función de la edad, sin embargo la predicción del crecimiento en masas forestales irregulares a nivel de rodal resulta más difícil debido a que la edad de los árboles es variable, para lo tanto se utilizan los parámetros de área basal y volumen (Alder, 1981; Vanclay, 1994).

El área basal y volumen están en función del diámetro promedio, por lo cual éste puede ser utilizado también como variable predictora del crecimiento de rodales completos. El desarrollo y ajuste de los modelos matemáticos para predecir el crecimiento forestal están en función del diámetro promedio y el procedimiento se basa en el ajuste de funciones probabilísticas a las clases diamétricas (Návar *et al.*, 1996).

2.10 Estudios sobre crecimiento de las tres especies.

Existen diversos estudios relacionados con el crecimiento de las especies *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Cuadro 1), sin embargo, pocas se enfocan a las plantaciones con fines de enriquecimiento de vegetación secundaria (acahuales), situación que se presenta en muchos lugares, al utilizar sistemas agrícolas tradicionales como lo es la Roza-Tumba-Quema (Hernández *et al.*, 1994).

Cuadro 1. Estudios de crecimiento de las especies *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose realizados en México.

Especie	Lugar	Descripción del estudio	Autor y Año
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Experimental "San Felipe Bacalar", Quintana Roo.	Predicción de crecimiento promedio en altura y diámetro normal.	García <i>et al.</i> , 1992
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Experimental "San Felipe Bacalar", Quintana Roo.	Índice de sitio.	García <i>et al.</i> , 1998
<i>Swietenia macrophylla</i> King	En Selvas de Quintana Roo.	Evaluación de la regeneración y el tiempo de crecimiento de la caoba en las selvas.	Snook, 2000.
<i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Swietenia macrophylla</i> King	Campo Experimental Huichihuayán, San Luis Potosí.	Determinación de la productividad de las especies establecidas bajo sistema agroforestal.	Cruz y De la Garza, 2001.
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Campo Experimental Huichihuayán San Luis Potosí.	Determinación de la productividad de la caoba con la asociación de maíz y palma camedor.	Cruz, 2003
<i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Región de los Tuxtlas, Veracruz.	Análisis del diseño y manejo que se le da a las plantaciones forestales comerciales establecidas en sistemas agroforestales y determinar su productividad.	López-Sánchez y Musálem, 2007
<i>Cedrela odorata</i> L.	Experimental "San Felipe Bacalar", Quintana Roo.	Índice de sitio.	García <i>et al.</i> , 2007
<i>Cedrela odorata</i> L.	Doroteo Arango, González, Estado de Tamaulipas.	Determinación de la factibilidad de convertir terrenos agrícolas abandonados en plantaciones forestales comerciales.	Ramírez <i>et al.</i> , 2008
<i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.	Desarrollo de un sistema de medición del crecimiento y rendimiento maderable para las especies <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Galán <i>et al.</i> , 2008

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización

El presente estudio se realizó en plantaciones de enriquecimiento de acahuals establecidas en los predios “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “El Mango”, “Arroyo Rico” y “El Riego”, localizados en la comunidad de San José Chacalapa, 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 y en el predio denominado “La Galera” el cual se localiza en la comunidad de Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca, entre las coordenadas geográficas 15° 55 latitud norte y 96° 29’ longitud oeste (INEGI, 2000).

3.1.2 Orografía

Los predios ubicados en San José Chacalapa están conformados por lomeríos cuyas pendientes oscilan entre los 5 a 40% y una altitud que va desde 250 a 365 msnm. En cuanto al predio que se localiza en Santiago La galera, la pendiente oscila entre 70 a 85%, a una altitud promedio de 1190 msnm (INEGI, 1995).

3.1.3 Edafología

El tipo de suelo predominante en San José Chacalapa, corresponde a un Regosol éutrico característicos por ser claros y de profundidad moderada o alta; pero también se observan suelos feozem háplico ricos en materia orgánica que presentan un color oscuro y carecen de un horizonte cálcico. En Santiago La galera, se observa suelo Luvisol crómico que se caracteriza por presentar un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo y presentan colores rojos o amarillentos, son de fertilidad moderada así como suelos Feozem háplico (INEGI, 1995).

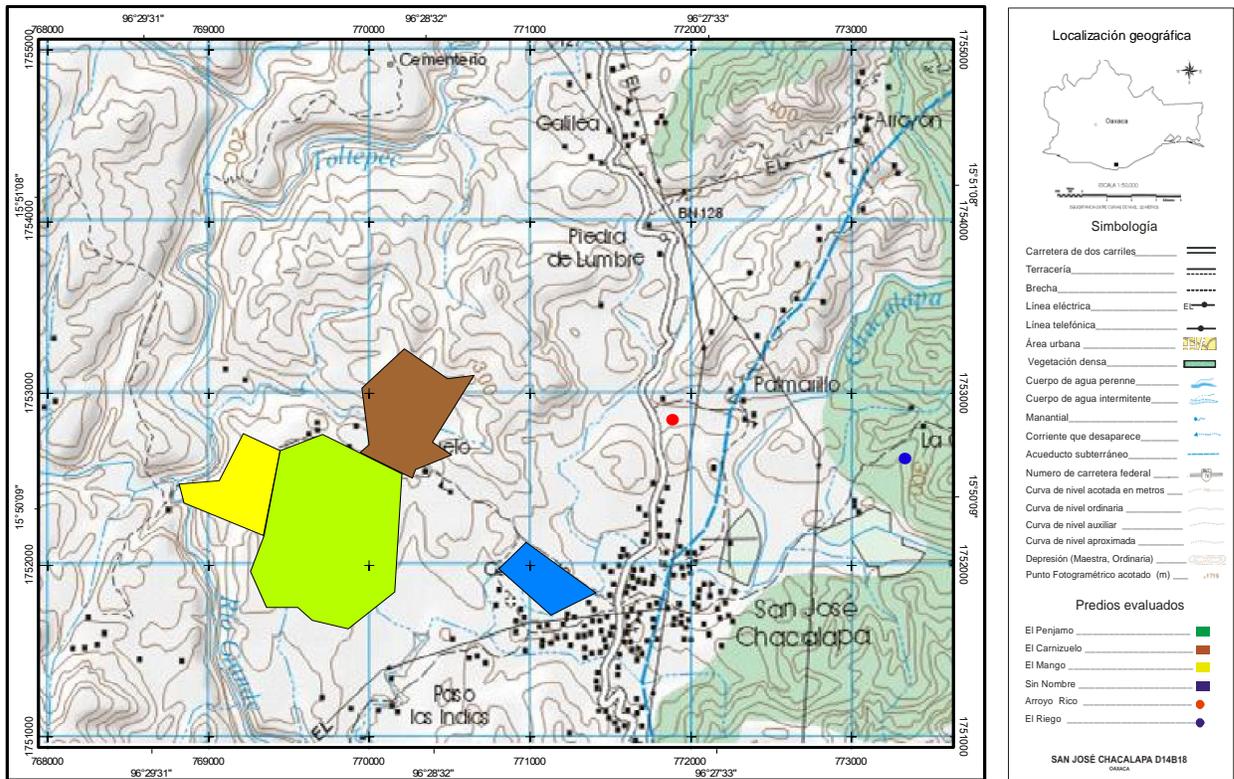


Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

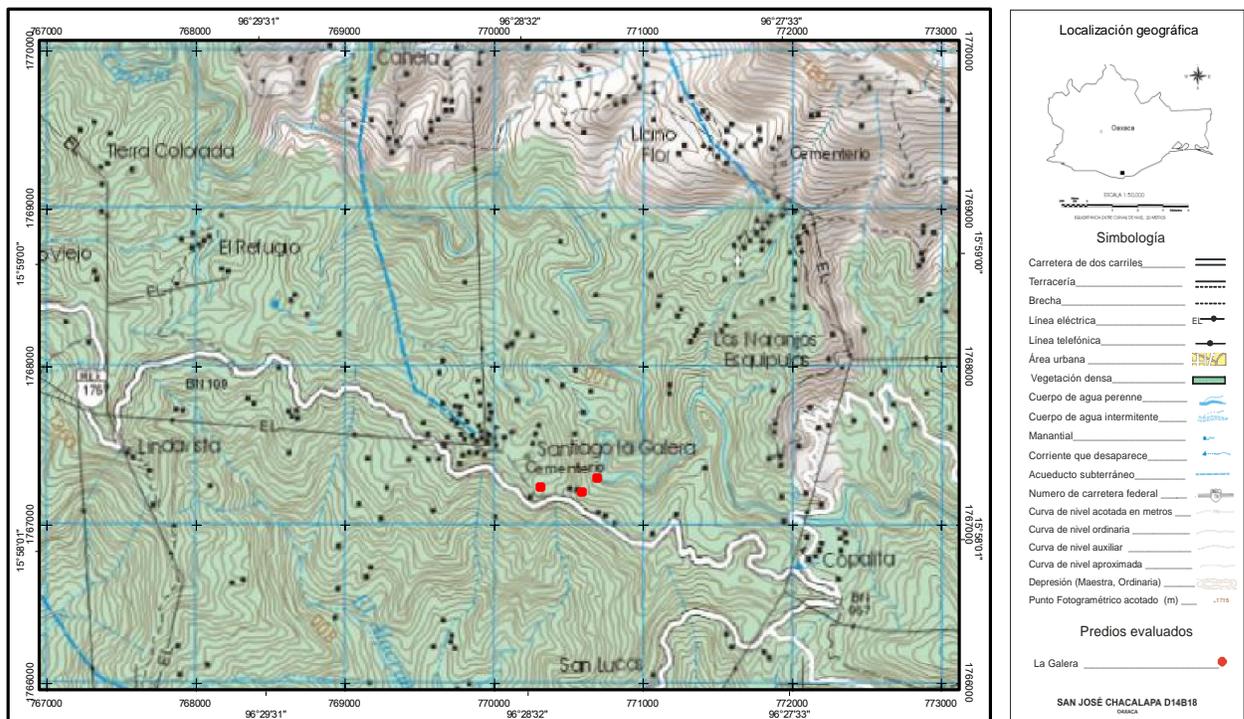


Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial "La Galera", en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

3.1.4 Hidrología

Los predios se encuentran dentro de la región hidrológica RH-11 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel); en la Cuenca C, correspondiente Río Copalita y en la Subcuenca C, del Río Tonameca (INEGI, 1995).

3.1.5 Clima

El clima característico en San José Chacalapa corresponde al grupo de climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano Aw_1 : el intermedio entre Aw_0 y Aw_2 , con una precipitación media anual de 872.0 mm y una temperatura media anual de 26.8 °C, los meses de mayor precipitación son de junio a septiembre y los meses de menor precipitación es de enero a abril; las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril a agosto (García, 1981; CNA, 2000a).

En Santiago La Galera el tipo de clima es $A(c)m(w)igw$, que por su temperatura son considerados semicálidos, con una temperatura media anual de 18 °C a 22 °C y se encuentra dentro del grupo de los húmedos con una precipitación media anual de 2,637.8 mm (García, 1981; CNA, 2000b).

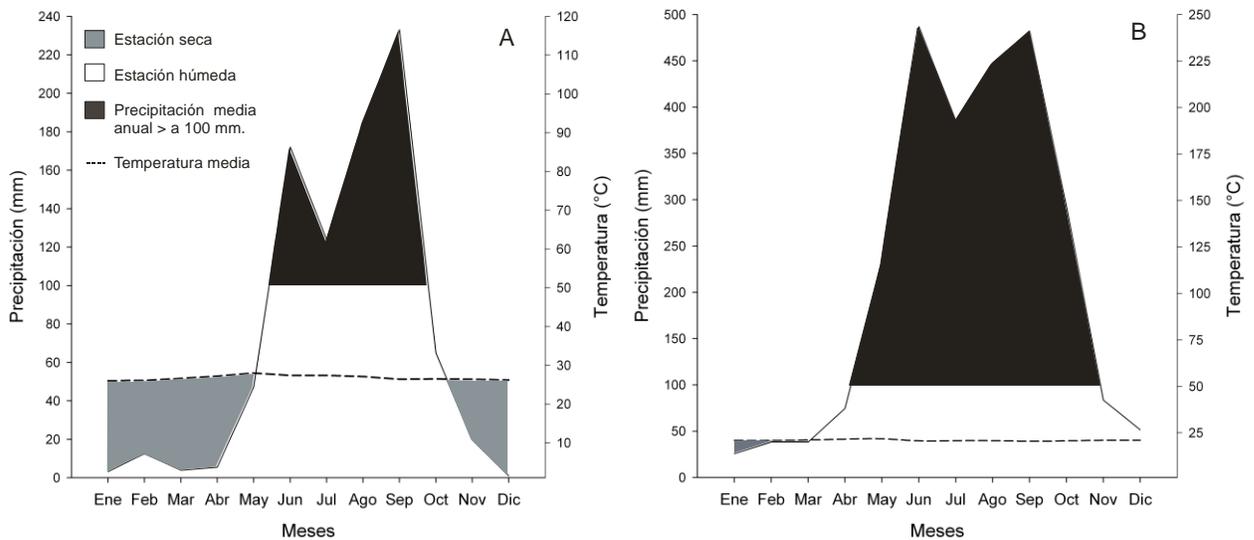


Figura 3. Diagrama ombrotérmico de las normales climáticas (1971-2000) de las estaciones meteorológicas Pochutla (A) y Pluma Hidalgo (B), Oaxaca.

3.1.6 Vegetación

En los predios “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “El Mango” y “Arroyo Rico”, existen relictos que permiten determinar que existió una vegetación correspondiente a una selva mediana caducifolia, pero debido a prácticas agrícolas muy intensas, grandes extensiones de selvas fueron eliminadas, generándose así una vegetación secundaria conocida como acahuales (Morales, 1997).

En el predio “El Riego” todavía se observa a sus alrededores vegetación característica de una selva mediana caducifolia, las plantaciones fueron establecidas bajo el sistema agrosilvícola con asociación de cafetales; en cuanto al predio “La Galera” corresponde a una selva baja caducifolia y las plantaciones están establecidas con asociación de platanales (Morales, 1997).

3.1.7 Fauna

En San José Chacalapa se puede observar una variedad de fauna entre las que destacan: Armadillo (*Dasyopus novemcinctus* L.), Conejo (*Silvilagus cunicularis* Waterhouse), Iguana prieta (*Ctenosaura similis* Gray), Nauyaca (*Porthidium dumni* Hartweg y Oliver), Tlacuache (*Didelphis marsupialis* L.), Víbora de cascabel (*Crotalus* spp.) y Zorrillo (*Mephitis macroura* Lichtenstein) (INEGI, 1995).

3.2 Antecedentes de las plantaciones

Los predios en los que actualmente están establecidas las plantaciones, fueron terrenos destinados a la agricultura y ganadería extensiva, practicándose en ellos el sistema Roza-Tumba-Quema (RTQ), posteriormente fueron abandonados al disminuir su productividad y con el paso del tiempo estos terrenos fueron cubiertos por acahuales, éstos aumentaron su tamaño conforme pasaron los años, creando así sombra para los doseles inferiores y por su situación caducifolia, la hojarasca da protección al suelo, favoreciendo así la sobrevivencia de las plantas en la temporada de sequía (Morales, 1997).

3.2.1 Establecimiento de las plantaciones

Las plantaciones fueron realizadas en los predios “El Pénjamo”, “El Mango”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “Arroyo Rico”, “El Riego” y “La Galera”, utilizando la mezcla de especies: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Tabebuia donell-smithii* Rose, la cual se estableció en los meses de junio-julio de 1997, durante las primeras lluvias antes del periodo conocido como “canícula” con una densidad de 1,111 plantas/ha a un espaciamiento de 3 x 3 m entre plantas e hileras (Morales, 1997).

3.2.2 Principales problemas fitosanitarios de las plantaciones

Entre los principales problemas que presenta la plantación destacan el ataque de barrenador de brotes *Hypsiphylia grandella* Zeller y del barrenado de tallo *Crhysobothris yucateensis* Van Dyke en estado larvario, siendo las principales especies afectadas, el cedro rojo y la caoba. El principal daño de *H. grandella*, se manifiesta en los tallos y brotes pero también puede alimentarse de hojas y frutos en cuando a *C. yucateensis* es una plaga de mayor impacto, porque a diferencia de *H. grandella* que por lo general no mata a los árboles; esta plaga si lo puede hacer (García, 2005, Wightman, 2005). Otros problemas a los que se enfrentan las plantaciones son los daños causados por la insolación, por las hormigas género *Pseudomyrmex* y manchas foliares (García, 2005).

3.3. Diseño de muestreo

El diseño de muestreo que se utilizó fue el sistemático con el primer sitio aleatorio que definió la distribución de sitios, la intensidad de muestreo fue de 0.5 % quedando los sitios distribuidos a una equidistancia de 140 m. Los sitios fueron de forma circular de 250 m² con un radio de 8.92 m (PRONARE-SEMARNAT, 2000).

El estudio se llevó a cabo del 25 al 28 de Marzo del 2008, en la cual se evaluaron siete predios con plantaciones forestales comerciales mixtas, establecidas como enriquecimiento de acahuales y bajo sistemas agrosilvícolas. Dichas plantaciones

muestran diferentes edades que van desde uno hasta doce años de edad; por lo cual se requirió del apoyo del personal encargado de las plantaciones, para ubicar los predios y conocer las diferentes edades de cada especie.

3.3.1 Establecimiento de sitios permanentes

Se establecieron un total de 40 sitios permanentes en los predios “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “El Riego”, “Arroyo Rico” y “La Galera”, colocando una placa metálica en la base del árbol, la cual indica el número del sitio y el predio al que pertenece, cada sitio fue georreferenciado y los árboles que se encontraban dentro del sitio fueron numerados con la finalidad de facilitar su localización y evaluación en mediciones posteriores.

Cuadro 2. Predios evaluados, números de sitios correspondientes, especies y sistemas silvícolas en los que se encuentran establecidas las plantaciones.

Población	Predios	Sitios N°	Especies establecidas	Sistema silvícola
San José Chacalapa	El Pénjamo	1-18	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Swietenia macrophylla</i> King <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Enriquecimiento de acahuales
	El Mango	19-22	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Enriquecimiento de acahuales
	El Carnizuelo	23-28	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Swietenia macrophylla</i> King <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Enriquecimiento de acahuales
	Sin Nombre	29-31	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Enriquecimiento de acahuales
	Arroyo Rico	32-34	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Enriquecimiento de acahuales
	El Riego	35-37	<i>Cedrela odorata</i> L. <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Agrosilvícola con asociación de cafetales
Santiago La Galera	La Galera	38-40	<i>Cedrela odorata</i> L.	Agrosilvícola con asociación de platanales

3.4 Variables dasométricas evaluadas

Las variables evaluadas fueron altura total, altura del fuste limpio, diámetro a 0.30 y 1.30 metros del suelo, longitud y diámetro de copa, para lo cual se requirió de dos cintas diamétricas (Jackson) para medir los diámetros y una pistola (Haga) para medir alturas de los árboles, una vara de tres metros para tomar la altura de los árboles más pequeños, una cuerda compensada para la delimitación de los sitios, placas para la identificación del sitio y un receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la georreferenciación, así como de un machete para limpiar el sitio y facilitar el desplazamiento en el acahual.

Cuadro 3. Coordenadas geográficas de los sitios establecidos en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Sitio N°	Latitud Norte	Longitud Oeste	Sitio N°	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	15°49'57.7"	96°28'44.4"	21	15°50'16.8"	96°29'05.6"
2	15°50'01.9"	96°28'44.9"	22	15°50'19.3"	96°29'08.6"
3	15°50'02.1"	96°28'50.2"	23	15°50'19.7"	96°28'42.9"
4	15°49'58.4"	96°28'50.5"	24	15°50'22.9"	96°28'41.9"
5	15°50'01.2"	96°28'56.7"	25	15°50'25.6"	96°28'40.9"
6	15°49'56.1"	96°28'57.9"	26	15°50'25.4"	96°28'37.0"
7	15°49'55.6"	96°29'03.9"	27	15°50'22.6"	96°28'36.5"
8	15°49'58.9"	96°29'04.5"	28	15°50'15.6"	96°28'34.6"
9	15°50'07.3"	96°28'47.9"	29	15°49'50.8"	96°28'11.3"
10	15°50'12.2"	96°28'50.4"	30	15°49'52.9"	96°28'07.8"
11	15°50'14.4"	96°28'44.4"	31	15°49'51.8"	96°28'02.9"
12	15°50'15.6"	96°28'49.7"	32	15°50'27.3"	96°27'42.1"
13	15°50'16.1"	96°28'55.6"	33	15°50'30.7"	96°27'39.2"
14	15°50'10.3"	96°28'55.6"	34	15°50'34.9"	96°27'39.4"
15	15°50'07.7"	96°28'57.3"	35	15°50'09.6"	96°26'51.8"
16	15°50'08.9"	96°29'00.4"	36	15°50'13.3"	96°26'53.0"
17	15°50'11.7"	96°28'58.6"	37	15°50'16.1"	96°26'51.7"
18	15°50'19.0"	96°28'58.7"	38	15°58'12.2"	96°28'18.7"
19	15°50'11.8"	96°29'07.8"	39	15°58'10.5"	96°28'18.6"
20	15°50'15.0"	96°29'07.9"	40	15°58'10.3"	96°28'21.0"

Del número total de sitios permanentes establecidos (40 sitios), se clasificaron por especies para saber en cuantos sitios se encontraban presentes: *Cedrela odorata* (33), *Swietenia macrophylla* (10) y *Tabebuia donnell-smithii* (21); a esta base de datos se le añadió la base de datos de García (2005) para contar un total de 78 sitios de *C. odorata*, 40 sitios de *S. macrophylla*. La información recabada para las variables diámetro y altura fue promediada por sitio y por especie.

3.5. Modelos de crecimiento utilizados para diámetro y altura

Las funciones más utilizadas para estimar crecimiento y rendimiento han sido los modelos de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull, principalmente al modelar altura dominante y construir curvas de índice de sitio (Aguilar, 1997), por lo anterior, se utilizaron dichos modelos para estimar el crecimiento en diámetro y altura de las especies con diferentes edades.

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

Donde: Y = DAP (diámetro a la altura del pecho en cm) ó altura promedio en metros, E = edad de la plantación en años, a , b , c = parámetros del modelo a estimar; \exp = función exponencial.

3.5.1 Incremento en altura y diámetro

El incremento medio anual (IMA) 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 Curvas de incremento en altura y diámetro

Con los incrementos anuales se construyeron curvas para cada variable, a través de las cuales es posible determinar el punto máximo de incremento de cada especie, así como la edad a la cual comienza el punto de inflexión des las curvas (Zepeda y Rivero, 1984).

3.5.3 Modelo diámetro - altura

Los árboles dominantes se seleccionaron utilizando como criterio individuos con mayor diámetro y altura por especie y sitio. A partir del diámetro promedio y la altura dominante, se evaluaron cuatro modelos para determinar el mejor ajuste y poder obtener la altura media para cada una de las especies (Valdez-Lazalde y Lynch, 2000; Montero *et al.*, 2007)

Modelo	Ecuación
1	$H = a D^b A^c$
2	$H = (a D) + (b D^2)$
3	$H = a (1 - \exp(-b D))$
4	$H = a D^b$

Donde: H = Altura media (m); A = altura dominante en m; a , b y c = parámetros del modelo; exp = función exponencial.

3.5.4 Crecimiento en altura dominante

Para clasificar los sitios forestales se utiliza el término calidad de sitio el cual nos permite conocer el grado de productividad (Zepeda y Rivero, 1984), para esto usamos la variable altura dominante, debido a que se considera como un buen indicador de la productividad total del sitio (Daniel *et al.*, 1982). Utilizando los modelos Schumacher y Chapman-Richards se realizaron los ajustes para seleccionar el mejor modelo, con el que se construyó una curva guía, con la que conoceremos el índice de sitio, presente en el área de estudio (García *et al.*, 1998).

Modelo	Ecuación
Schumacher	$H = a \exp(-b/E)$
Chapman-Richards	$H = a (1 - \exp(-b E))^c$

Donde: H = altura dominante (m); E = edad de la plantación (años), a , b , c = parámetros del modelo a estimar y \exp = función exponencial.

3.5.5 Curva anamórfica para las tres especies

A partir de la curva guía realizada con el modelo de Chapman-Richards, se construyeron 5 curvas anamórficas con la edad base de 10 años, a una equidistancia de 3 años, con la finalidad de conocer la calidad de estación de los diferentes predios (García *et al.*, 1998)

3.5.6 Estadísticos de selección de los modelos

El ajuste de todos los modelos se realizó con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 mediante el procedimiento de regresión no lineal (PROC NLIN). Los criterios de selección de los modelos 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 (Vanclay, 1994; Vivian, 1999).

Una vez obtenidos los ajustes para cada variable se construyeron las gráficas utilizando el programa Sigma Plot ® 10.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Crecimiento en diámetro y altura

4.1.1 Crecimiento en altura de las tres especies

En relación a la altura promedio de las tres especies, el modelo que presentó el mejor ajuste fue el de Weibull, al obtener el valor más alto de coeficiente de determinación (R^2); para mayor detalle de los modelos y sus estadísticos los resultados se presentan en el Apéndice 1.

El comportamiento en el ajuste del modelo concuerda con los obtenidos por Rojo-Martínez *et al.* (2005b) en su estudio para determinar el índice de sitio para *Hevea brasiliensis* Müll. Arg., en el norte de Chiapas, en donde el modelo de Weibull obtuvo el valor más alto del coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9723$); Sosa (2001) en su estudio de crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* en rodales localizados al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León encontró que el modelo de Chapman-Richards, presentó el valor más alto en el coeficiente de determinación R^2 (0.9253), sin embargo el modelo de Weibull mostró mucha similitud R^2 (0.9253); y por su parte López (2009) en su trabajo para determinar el crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en poblaciones naturales de México, el modelo Weibull obtuvo el mejor ajuste para la variable altura R^2 (0.6909).

El ajuste en la altura dominante arrojó diferentes resultados, esto debido a que los tres modelos presentaron superioridad en R^2 comparadas entre las tres especies, por lo que se tomó la decisión utilizar el coeficiente de determinación ajustada (R^2_{adj}) y el cuadrado medio del error (CME) como criterios de selección, resultando el mejor modelo el de Weibull al presentar los valores más altos en R^2_{adj} y los valores más bajos en CME (Apéndice 2). El comportamiento en ajuste de los modelos Weibull y Schumacher para la altura dominantes, se debe a que estos modelos tienden a presentar buenos ajustes a diferentes etapas de crecimiento (Aguilar, 1991).

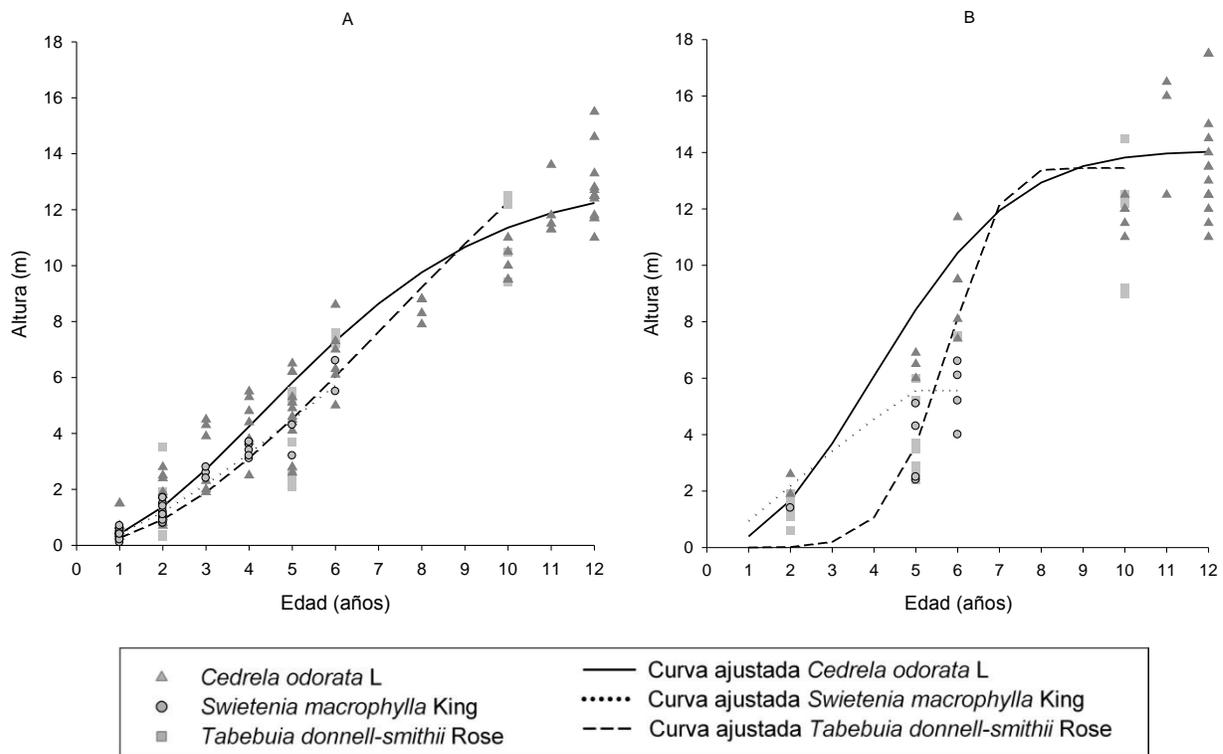


Figura 4. Curvas de crecimiento en altura promedio (A) y altura dominante (B) ajustadas mediante el modelo Weibull para *C. odorata* L., *S. macrophylla* King, y *T. donnell-smithii* Rose, establecidas en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

El crecimiento en altura promedio (Figura 4A) para las tres especies, tiene una forma casi lineal, con una pequeña inflexión a los nueve años y en relación a la altura dominante (Figura 4B) tiene forma sigmoideal “S”.

Cedrela odorata en este estudio presentó un ritmo de crecimiento en altura menor a lo reportado por Ramírez *et al.* (2008), quien menciona que esta especie a la edad de tres años tiene a una altura promedio de 4.4 m y nuestro estudio fue de 2.7 m. Este resultado se debe a que la mayoría de las plantaciones fueron establecidas como de enriquecimiento de acahuals, bajo un dosel protector, lo cual, le da una desventaja de competencia por nutrientes y luz con las demás especies ya establecidas (Wightman, 2005); y en el estudio de Ramírez *et al.* (2008) antes de realizar el establecimiento de las plantaciones se preparó el sitio realizando una quema, lo que permitió que la plantación creciera sin competencia alguna con otras especies.

El crecimiento *S. macrophylla* se encuentra por debajo de los resultados presentados por Cruz (2003), quien reporta que a la edad de cinco años alcanzan una altura de 7.2 m y en el presente estudio el crecimiento fue de 4.5 m de altura a esa misma edad. Al igual que *C. odorata* esta especie se encuentra establecida bajo un dosel protector y en el estudio de Cruz (2003) fueron establecidos bajo un sistema agroforestal intercalada en surcos de maíz, hasta los tres años y en el cuarto año se realizó la siembra de palma camedor.

Realizando un comparativo a la edad de seis años *T. donnell-smithii* presentó un crecimiento en altura de 6.0 m, lo cual es inferior al crecimiento de *C. odorata* que fue de 7.3 m, pero superior a *S. macrophylla* quien alcanzó 5.7 m a esa edad.

4.1.2 Crecimiento en diámetro de las tres especies

El diámetro promedio así como el diámetro dominante, mostraron un comportamiento similar al presentado en la altura, resultando como el mejor modelo una vez más el de Weibull al presentar los valores más altos en R^2 (0.9270), siendo mínima la diferencia con modelo de Schumacher (Apéndice 3 y 4). El comportamiento del modelo Weibull en las variables diámetro y altura se debe a que el modelo mostró un buen ajuste en la relación edad-altura, por lo tanto el modelo tiende a manifestarse de forma similar la misma situación en otros tipo de relaciones como edad-diámetro, diámetro-altura (Aguilar, 1991).

Los modelos utilizados en este estudio también resultaron tener buen ajuste el estudio de Corral y Návar (2005) en el análisis del crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México, en donde los modelos de Chapman-Richards y Weibull mostraron los valores más altos en R^2 para la variable diámetro.

El crecimiento tanto en diámetro promedio (Figura 5A) como en diámetro dominante (Figura 5B), presentan una curva sigmoideal, sobresaliendo a los seis años edad *C. odorata* con 9.2 cm seguida por *T. donnell-smithii* quien presentó 7.5 cm y al ultimo *S. macrophylla* con 6.8 cm, a los siete años *T. donnell-smithii* mostró un

crecimiento de 12.0 cm siendo superior a *C. odorata* con 11.3 cm, sin embargo en los años siguientes *C. odorata* recuperó su superioridad por encima de las otras dos especies.

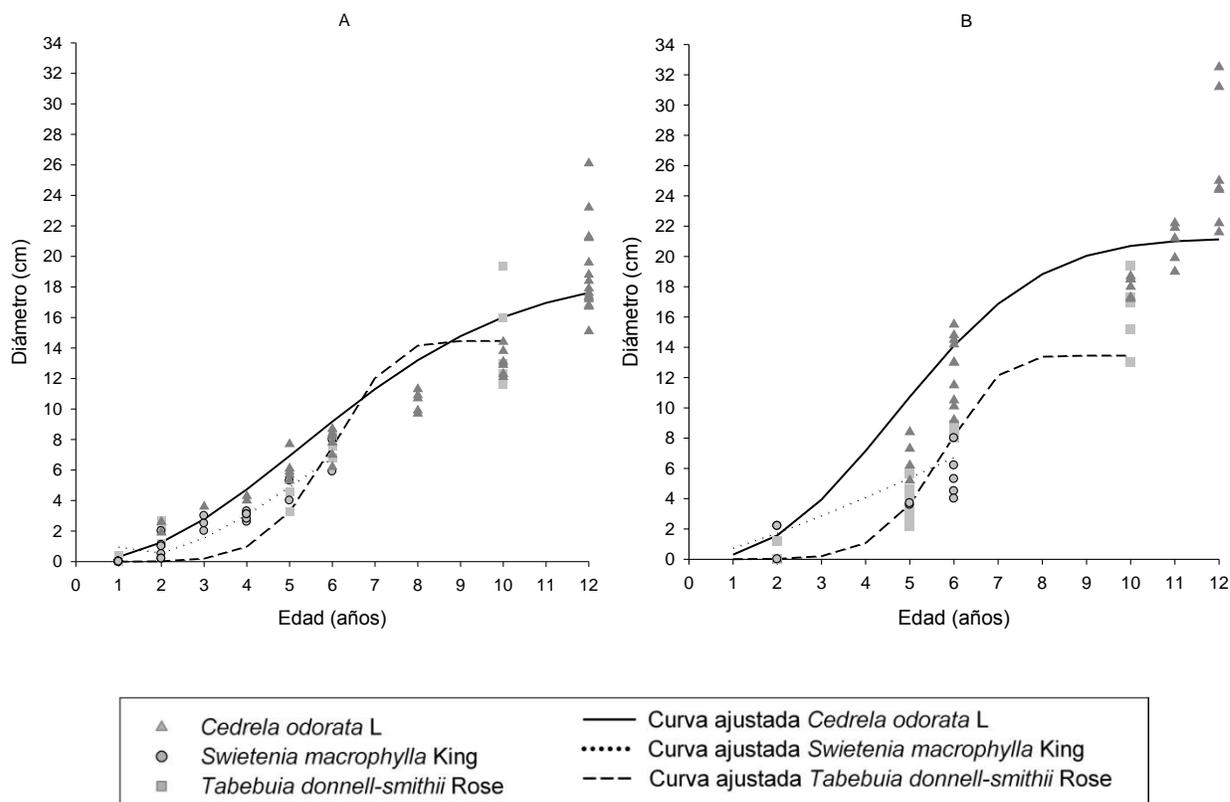


Figura 5. Curvas de crecimiento en diámetro promedio (A) y diámetro dominante (B) ajustadas mediante el modelo Weibull para *C. odorata* L, *S. macrophylla* King, y *T. donnell-smithii* Rose, establecidas en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

4.1.3 Modelo diámetro- altura.

La construcción del modelo diámetro-altura, nos permite compensar la posible falta de algunas alturas a diferentes edades y poder construir un curva de crecimiento de altura promedio la cual nos permitirá observar de una manera más detallada el comportamiento de las especies (Montero *et al.*, 2007). De los cuatros modelos utilizados para determinar la altura promedio el modelo presentó el más alto valor de R^2 para las tres especies fue el número 1, esto se debe a que utiliza la variable altura dominante (Apéndice 5).

4.1.4 Incremento en altura y diámetro de *Cedrela odorata* L.

El incremento en altura (Figura 6A) y en diámetro (Figura 6B) de *C. odorata*, presenta una curva en forma sigmoïdal y el punto de inflexión se manifiesta antes en la altura que en el diámetro, esto se debe a varios factores entre los que destacan: genotipo, calidad de estación, medio ambiente (Klepac, 1983), pero sin duda el factor más importante es la competencia a la que se ve expuesta ya que al encontrarse entre acahuales y bajo sistemas agrosilvícolas tiene la necesidad de crecer más rápido en altura que en diámetro por la demanda de luz de esta especie (Toledo *et al.*, 2008).

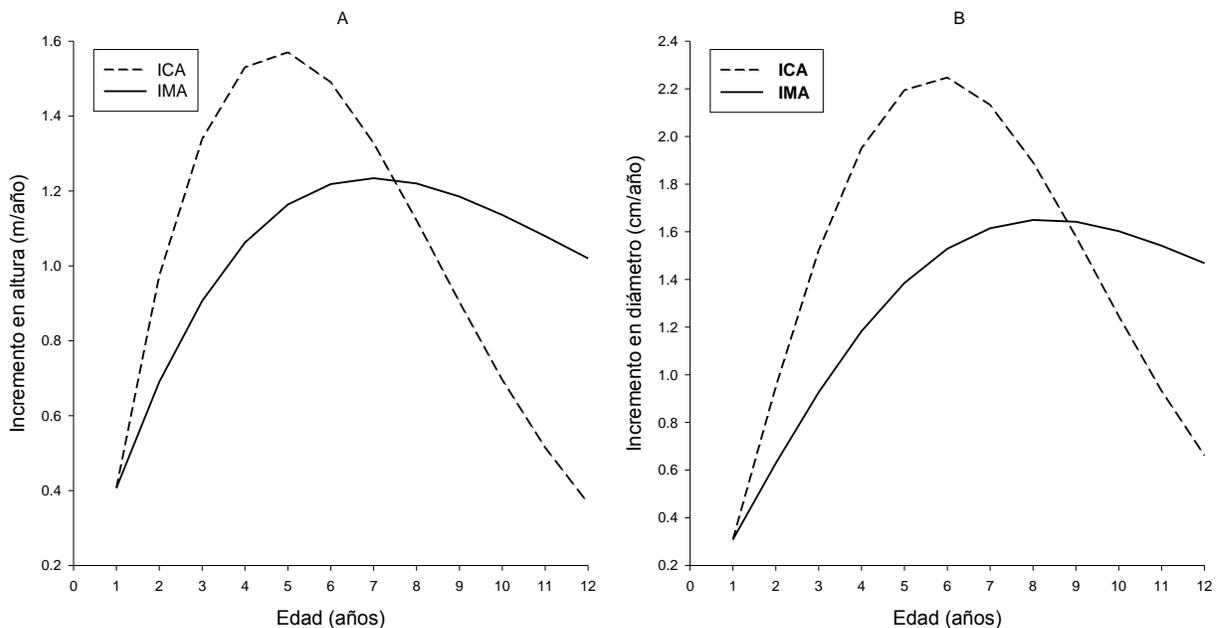


Figura 6. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para *Cedrela odorata* L. establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

El ICA para la variable altura presentó su punto máximo de incremento a la edad de cinco, después comienza su descenso y el IMA presentó su punto máximo a los siete años, y es a principio del año ocho cuando se interceptan las dos curvas de incremento (Figura 6A); el diámetro se comporta de una manera similar alcanzando el ICA su punto máximo a la edad de seis años y el IMA a los ocho años presentando el cruce entre ambos incrementos a los nueve años (Figura 6B).

El crecimiento de *C. odorata* es lento durante los primeros cuatro años de edad, esto se debe a que se encuentra en la etapa de brinzal (Citrón, 1990), una vez superada esta etapa, es rápido, presentando un incremento promedio de 1.02 m/año en altura y 1.47 cm/año en diámetro, siendo superior al incremento mostrado en las plantaciones mixtas establecidas en el norte de Costa Rica que fueron de 0.47 m/año en altura y 0.86 cm/año en diámetro (Piotto, 2001) y también superiores al incremento presentado en el sitio experimental “San Felipe Bacalar”, Quintana Roo, que fue de 0.66 m/año en altura en los sitios con mejores sustratos (García *et al.*, 2007).

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

Para *S. macrophylla* aún no observa un punto de inflexión en las curvas de incrementos, esto debido a que la plantación es relativamente joven y se encuentra en una etapa de crecimiento acelerado (Figura 7A y 7B); este resultado concuerda con los obtenidos por García *et al.*, (1992), en su estudio modelo de crecimiento para una plantación de *Swietenia macrophylla* King en donde la especie a una edad de 28 años presenta una curva de crecimiento acelerada, considerándose aun como joven.

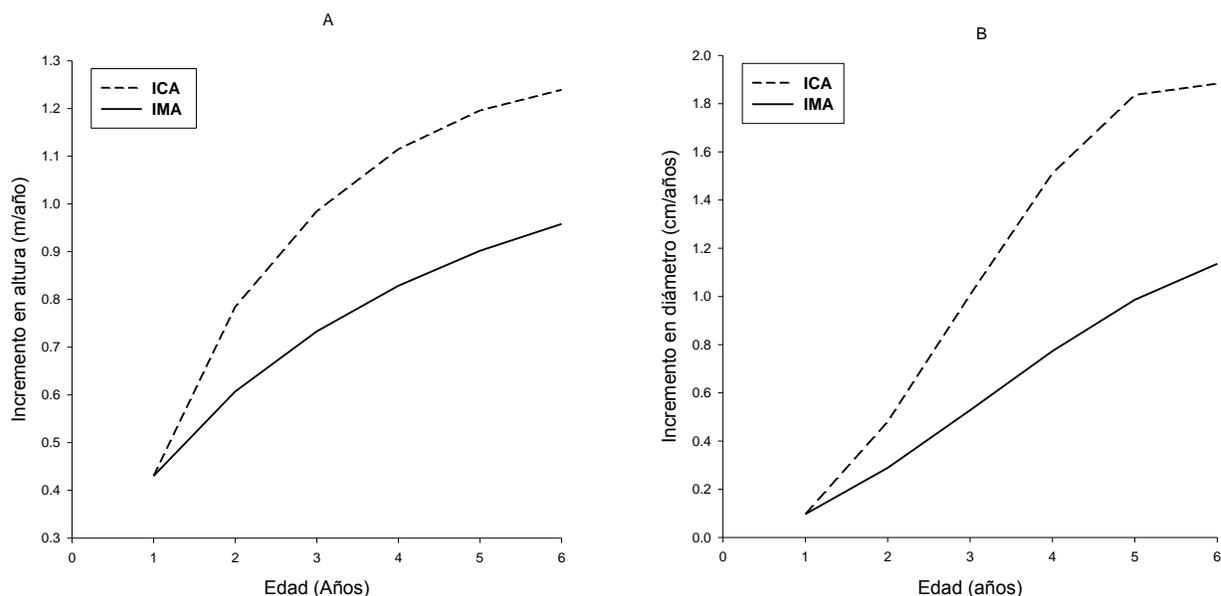


Figura 7. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para *Swietenia macrophylla* King establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Swietenia macrophylla presentó un crecimiento lento los primeros 3 años, después incrementó en promedio 0.90 m/año en altura y 1.14 cm/año en diámetro (Figura 7), siendo inferior en altura pero superior en diámetro de los resultados presentados por Rodríguez (1999) en un su estudio análisis de crecimiento de *S. macrophylla* asociada con *Inga spp.*, en la región tropical húmeda de Costa Rica reportando un crecimiento promedio de 1.25 m/año en altura y 0.80 cm/año en diámetro; así también los valores obtenidos son superiores a los resultados reportados por Piotto (2001) en plantaciones mixtas establecidas en el norte de Costa Rica con un incremento de 0.52 m/año en altura y 1.1 cm/año en diámetro.

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

El ICA en altura (Figura 8A) de *Tabebuia donnell-smithii* tiene su punto máximo a los ocho años y a partir de ahí comienza a descender, en cuanto al IMA su punto máximo de incremento es a los diez años observándose que continua su incremento, por lo cual aun no existe intercepción entre las curvas de incremento, lo que no sucede con la variable diámetro (Figura 8B) el cual presenta su punto máximo en ICA a principios del año siete, posteriormente comienza a descender drásticamente y el punto máximo en el IMA ocurre a los ocho años, edad a la cual se interceptan las dos curvas de incremento.

En condiciones normales el incremento de los árboles es pequeño al principio, lo cual sucede en los primeros dos años de esta especie, después aumenta hasta alcanzar una fase de alta actividad, presentando un incremento máximo de hasta 1.59 m/año en altura y 4.53 cm/año en diámetro y posteriormente disminuye gradualmente (Klepac, 1983). Sin embargo, esta especie presenta un buen incremento promedio de 1.23 m/año en altura y 1.45 cm/año en diámetro (Figura 8), lo cual concuerda con Francis (1989), quien menciona que en sitios de buena calidad, es posible incrementos de 1.5 a 2 m/año en altura y de 1 a 3 cm/año en diámetro y por Galán (2007) quien reporta que *T. donnell-smithii* presentó un periodo de crecimiento más largo y un crecimiento intranual más alto que *C. odorata*.

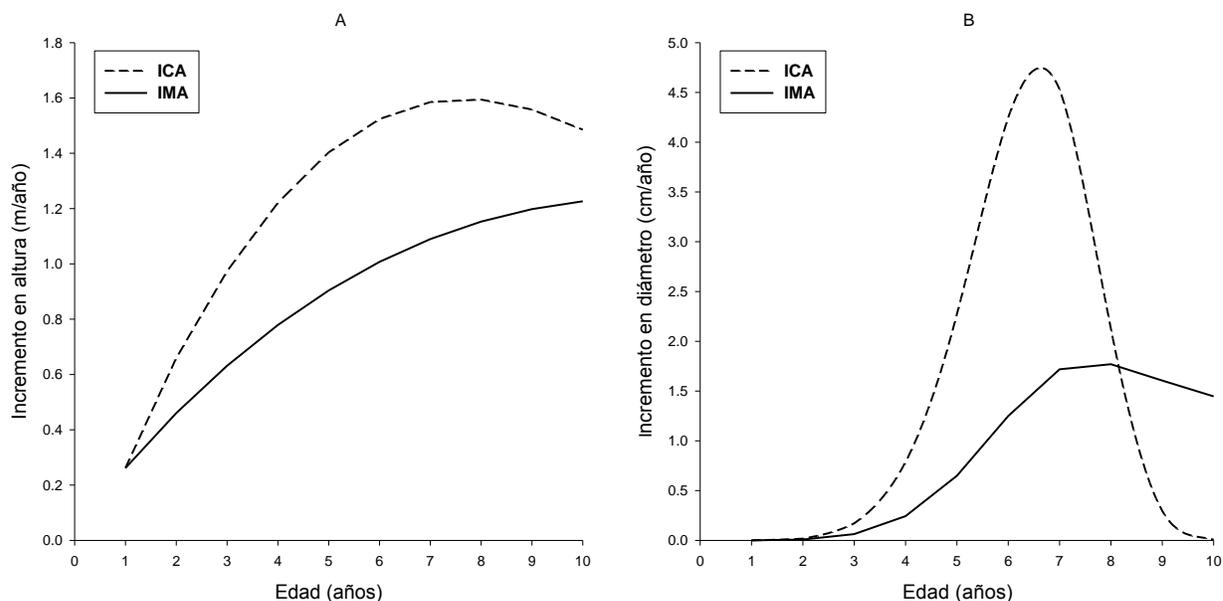


Figura 8. Curvas de incremento en altura (A) y diámetro (B) promedio, ajustada por el modelo Weibull para *Tabebuia donnell-smithii* Rose, establecida en plantaciones de comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Para determinar cual de las tres especies presenta un mayor incremento se realizó un comparativo a la edad de seis años (Cuadro 4), obteniendo como resultado que *Tabebuia donnell-smithii* Rose presentó los valores más alto en ICA tanto en diámetro como en altura, mientras que *Cedrela odorata* L., mostró los valores más altos en IMA.

Cuadro 4. 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 edad comparativa de seis años.

Especie	Diámetro [¶] (cm)	ICA (cm)	IMA (cm)	Altura (m)	ICA (m)	IMA (m)
<i>Cedrela odorata</i> L.	9.17	2.25	1.53	7.31	1.49	1.22
<i>Swietenia macrophylla</i> King	6.81	1.88	1.14	5.75	1.24	0.96
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	7.49	4.25	1.25	6.04	1.52	1.01

[¶] Diámetro tomado a 1.3 m de altura

4.3 Crecimiento en altura dominante de las tres especies

De los dos modelos utilizados el de Chapman-Richards presentó el valor más alto de R^2 (0.9598), siendo similar al comportamiento presentado por García *et al.* (1998) en su estudio índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México, en el cual los modelos de Chapman-Richards y Weibull en su versión anamórfica presentaron los mejores ajustes.

Cuadro 5. Modelos y estadísticos de regresión para altura dominante en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca[¶].

Modelo	Ecuación	R^2	SCE	CME	Prob>T	P	VE	EE
Schumacher	$H = a \exp(-b/E)$	0.9561	313.3	4.2915	<.0001	a	21.7316	1.3623
						b	5.7044	0.5202
Chapman-Richards	$H = a (1 - \exp(-b E))^c$	0.9598	286.7	3.9817	<.0001	a	22.4024	9.2443
						b	0.0988	0.0779
						c	1.3184	0.4074

[¶] Simbología de los cuadros. H = altura dominante (m), E = edad de la plantación (años), a , b y c = parámetros del modelo a estimar y \exp = función exponencial, R^2 = Coeficiente de determinación, SCE=Suma de Cuadrado del Error, CME = Cuadrado medio del error, P=Parámetros, VE= Valores estimados de los parámetros, EE=Error estándar de los parámetros.

La curva guía representa los promedios de todos los datos usados, que muestra el comportamiento del crecimiento en altura dominante de las plantaciones establecidas bajo los sistemas silvícolas de enriquecimiento de acahuales y en asociación con cafetales y platanales. La curva guía tiene una forma sigmoïdal extendida (Figura 9).

Otro modelo que tuvo buen ajuste fue el modelo de Schumacher, sin embargo, no se utilizó para definir la curva guía esto debido a que el valor de R^2 fue ligeramente inferior al valor obtenido para el modelo de Chapman-Richards (Figura 10).

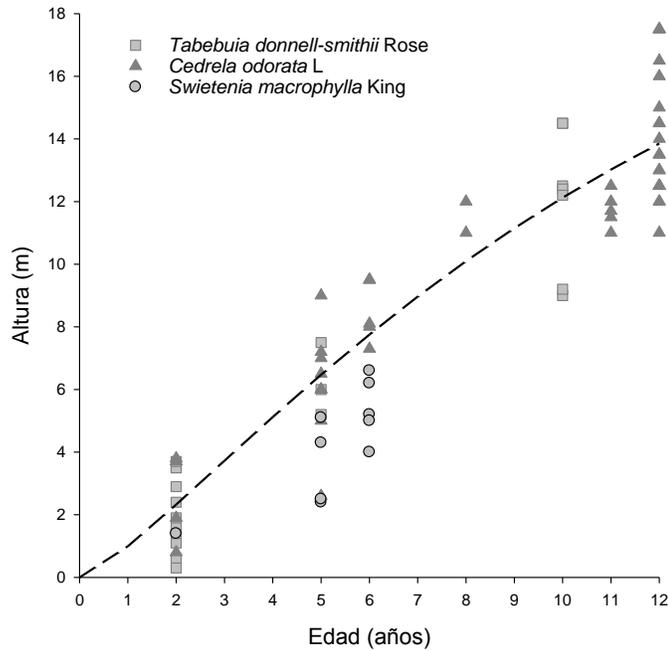


Figura 9. Curva guía estimada con el modelo de Chapman-Richards, para las especies de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en plantaciones comerciales San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.

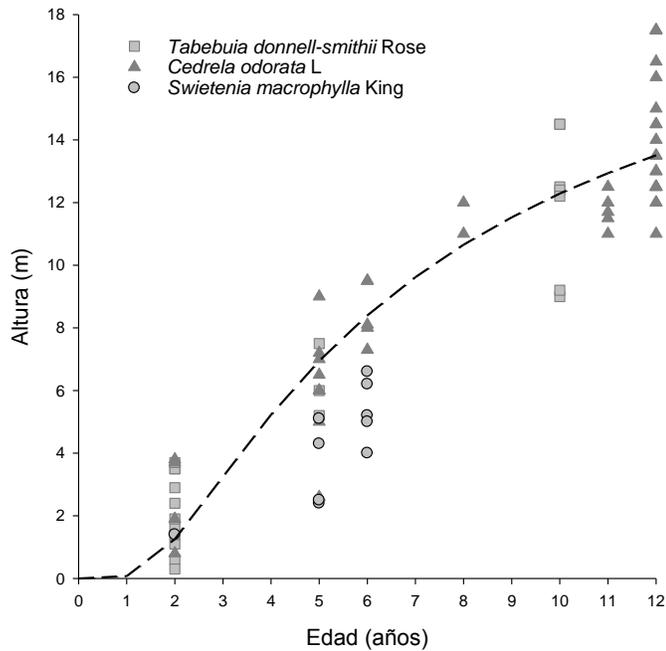


Figura 10. Curva guía estimada con el modelo de Schumacher, para las especies de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en plantaciones comerciales San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.

4.4 Curva anamórfica de la calidad de sitio de las tres especies

A partir de la curva guía se construyeron cinco curvas anamórficas para los Índices de Sitio (IS) de 6, 9, 12, 15, 18 a una edad base de 10 años (Figura 11), que fue determinada considerando la edad a la que presentaron su punto máximo de incremento las especies de *C. odorata* y *T. donnell-smithii*, también considerando que *S. macrophylla* es relativamente joven y aún no ha alcanzado su punto máximo de incremento (Figura 11).

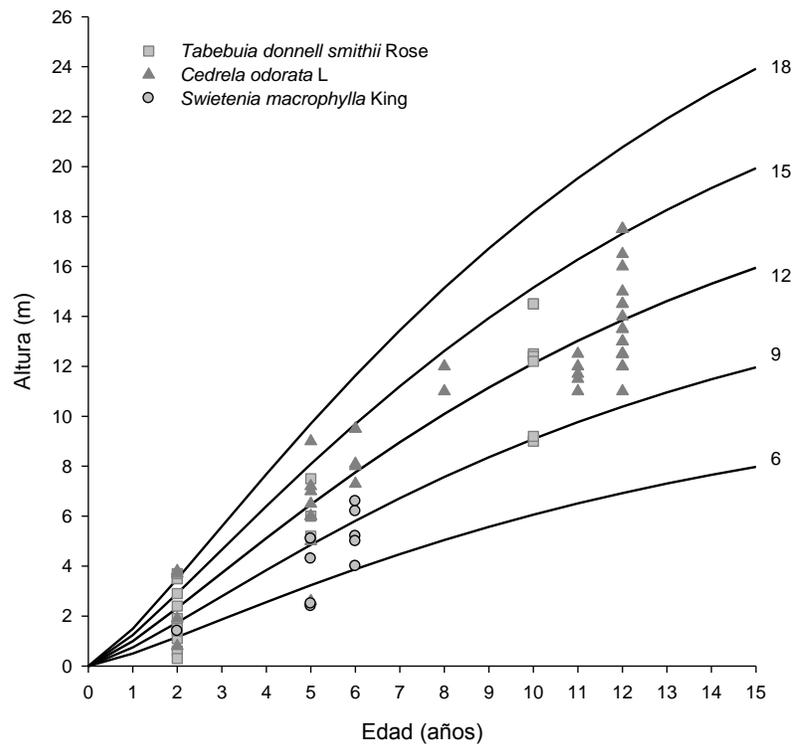


Figura 11. Curvas de índice de sitio para las especies de *C. odorata* L., *S. macrophylla* King, y *T. donnell-smithii* Rose, a la edad base de 10, en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.

El motivo por el cual se decidió construir curvas anamórficas se debe a que son proporcionales entre sí, siendo prácticas en su manejo, lo que permite conservar la pendiente en altura a cualquier edad, lo cual no sucede con las curvas polimórficas, en donde la pendiente varía y no se conservan paralelas entre sí y sus puntos de inflexión ocurren a diferentes edades (Zepeda y Rivero, 1984).

Las curvas polimórficas sobreestiman el crecimiento en altura de los árboles con IS de mayor calidad a edades tempranas y lo subestiman en calidades de sitio pobre (García *et al.*, 2007).

Las curvas anamórficas presentan intervalos cada tres años como resultado de la variabilidad de los valores observados proyectándose a 15 años (Figura 11).

El crecimiento presentado, se debe en gran medida al sistema en el que están establecidas las plantaciones, la mayoría de los sitios se encuentran en acahuals, los demás sitios bajo sistemas agrosilvícolas en asociación con cafetales y platanales.

Los predios que presentaron mejor calidad de sitio son “El Riego” y “El Carnizuelo” esto debido a que la mayoría de sus valores observados se encuentran por encima de la curva guía, que corresponde al IS=12 (Figura 12).

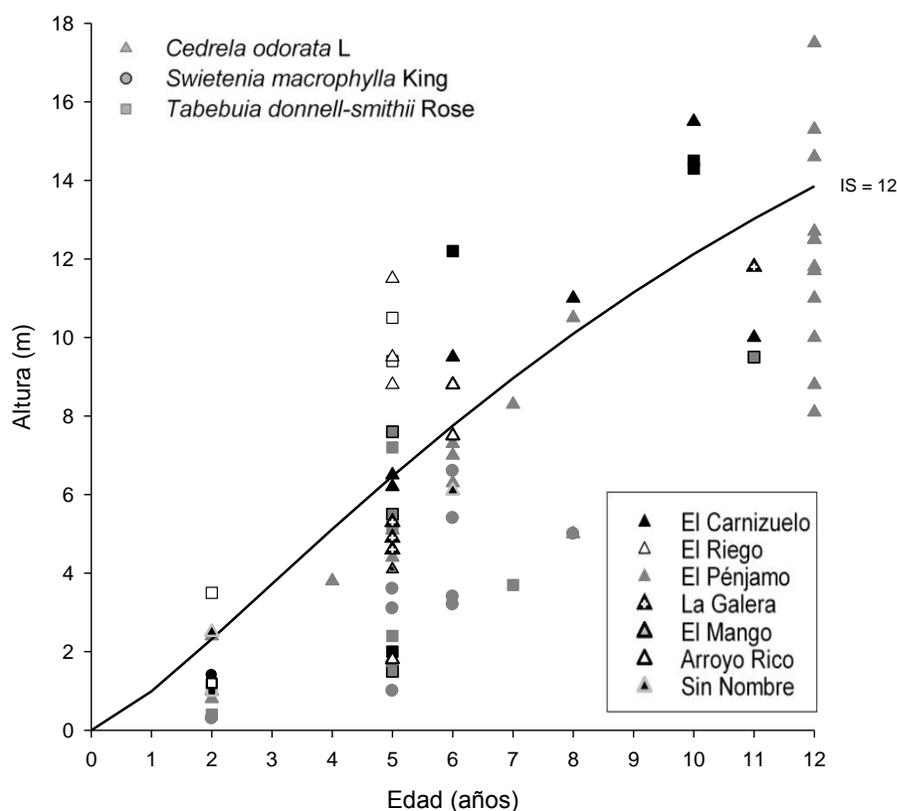


Figura 12. Curva guía correspondiente al índice de sitio (12) y valores observados por predio y especie para plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, y Santiago La galera, Candelaria Loxicha Oaxaca.

La plantación del “El Riego” fue establecida con asociación de cafetales (Apéndice 6) lo que influye en gran medida al crecimiento debido a que las plantaciones asociadas en sistemas agrosilvícolas (maderas preciosas como cedro rojo, caoba y primavera con cultivos agrícolas) incrementan la productividad de la tierra (Cruz y De la Garza, 2001) teniendo beneficios mutuos y muestran mayores beneficios financieros comparados con los cultivos monoespecíficos, convirtiéndose en una buena alternativa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (López-Sánchez y Musálem, 2007); además reducen el ataque de plagas al soportar una mayor diversidad de enemigos naturales (Perfecto *et al.*, 2004).

En cuando al predio “El Carnizuelo”, la plantación esta establecida como enriquecimiento de acahuales (Apéndice 6) esto le permitió tener protección contra la insolación y la sequía durante los primeros años de crecimiento y poderse establecer de una manera favorable. Le siguen en orden de importancia los predios “El Pénjamo”, “Arroyo rico”, “El Mango”, “La Galera” y por último “Sin Nombre”.

5 CONCLUSIONES

El modelo de Weibull mostró el mejor ajuste en las variables altura y diámetro, al presentar los más altos valores en coeficiente de determinación (R^2) en la mayoría de las especies.

Tabebuia donnell-smithii Rose y *Cedrela odorata* L. presentaron curvas de crecimiento en diámetro y altura en forma sigmoideal y *Swietenia macrophylla* King presentó una tendencia casi lineal, como respuesta a su estado relativamente joven.

De las tres especies la única que ha alcanzado su IMA máximo tanto en diámetro como en altura fue *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose sólo alcanzó su IMA máximo en diámetro.

El mejor crecimiento en diámetro y altura fue presentado por *Cedrela odorata* L.

Los predios “El Riego” y “El Carnizuelo” presentaron la mejor calidad de sitio.

6 RECOMENDACIONES

Recabar información de las condiciones climáticas presentadas en los últimos años, para determinar su influencia en el crecimiento de las especies.

Realizar análisis físicos y químicos de los diferentes tipos de suelos presentes en los predios, para conocer la productividad y la influencia que ejercen los sistemas agrosilvícolas o la vegetación secundaria.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R, M. 1991. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Ciencia Forestal*. 16 (70): 87-108.
- Aguilar R, M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roezl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal*. 22 (81): 41-70.
- Aguirre V., R. R. 2009. Introducción y análisis en la temática de plantaciones forestales en el departamento de santa cruz. Centro de Investigación Agrícola Tropical. Santa Cruz. Bolivia. 6 p.
- Alder, D. 1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. Commonwealth Forestry Institute, Reino Unido. FAO: Montes 22/2. Roma, Italia. 198 p.
- Alice, F., F. Montagnini y M. Montero. 2004. Productividad en plantaciones puras y mixtas de especies forestales nativas en la estación biológica la selva, Sarapiquí. San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 28 (2): 61-71.
- Amalia R, G. M. 2009. Beneficios económicos de los Sistemas Agroforestales en las comunidades Pindoi y Zanja Cora, del Distrito de San Juan Nepomuceno, departamento de Caazapa, Paraguay. Tesis profesional. Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay. 96 p.
- Beer, J., M. Ibrahim, E. Somarriba, A. Barrance y R. Leakey. 2003. Establecimiento y manejo de arboles en sistemas agroforestales. Manual árboles de Centroamérica OFI/CATIE. pp. 197- 242.
- Bertoni, V. R y V. M. Juárez.1980. Comportamiento de nueve especies forestales tropicales plantadas en 1971 en el campo experimental forestal tropical "El Tormento". *Revista Ciencia Forestal*. 25 (5): 3-40.
- Borman, F. H. y G. Berlyn. 1983. Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. INIREB-CECSA. México, D. F. 143 p.
- Calvo C, J., R. Bolaños, V. Watson y H. Jiménez. 2000. Diagnóstico de la caoba en Mesoamérica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. 74 p.
- Cintrón, B. B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. *In*: Burns, Russell M.; Honkala, Barbara H., eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Washington, D C. pp. 250-257.

- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000a. Normales Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020090. [En línea]. San Pedro Pochutla, Oaxaca. [Fecha de consulta: 15 Febrero 2010]. Disponible en: <<http://smn.conagua.gob.mx/climatología/normales/estación/oax/NORMAL20090.TXT>>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000b. Normales Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020089. [En línea]. Pluma Hidalgo, Oaxaca. [Fecha de consulta: 15 Febrero 2010]. Disponible en: <http://smn.conagua.gob.mx/climatología/normales/estación/oax/NORMAL20089.TXT>.
- CONAFOR. 2009. Merito Nacional Forestal. [En línea] México. [Fecha de consulta: 10 Marzo 2010]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/galarmerito.doc>.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2002. Informe de actividades 2002 [En línea]. México. [Fecha de consulta: 20 Febrero de 2010]. Disponible en: www.conafor.gob.mx
- Corral, S y J. J. Návar C. 2005. Análisis de crecimiento e incremento de cinco pináceas de los bosques de Durango, México. *Madera y Bosques* 11(1): 29-47.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de plantaciones maderables I. Orientación gráfica. Buenos Aires, Argentina. 423 p.
- Cruz F, M y J. A. De la Garza N. 2001. El sistema agroforestal en la Sierra Huasteca de San Luis Potosí. INIFAP. CIRNE. Campo experimental Huichihuayán. Folleto para productores N° 1. San Luis Potosí. México. 25 p.
- Cruz F, M. 2003. La caoba, una alternativa para áreas deforestadas de la Huasteca Potosina. Campo experimental Huichihuayán. Folleto para productores N° 4. San Luis Potosí. INIFAP. México. 15 p.
- Daniel, P. W., U. E. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw Hill. México. 492 p.
- FAO, 2000. Perspectivas mundiales del suministro futuro de madera procedente de plantaciones forestales. Dirección de Políticas y Planificación Forestales, Roma. 151 p.
- Francis J, K. 1989. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. SO-ITF-SM-25. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 p.
- Galán L, R. 2007. Crecimiento y rendimiento maderable de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.

- Galán L, R., H. M. De los Santos P y J. I. Valdés H. 2008. Crecimiento y rendimiento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Madera y Bosques*. 14 (2): 65-82.
- García P, V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 110 p.
- García, C. X., C. Lezama P. y B. Santiago R. 1992. Modelo de crecimiento para una plantación de *Swietenia macrophylla* King. *Ciencia Forestal*. 17 (71): 87-102.
- García, C. X., H. M. Ramírez, F. C. Rodríguez, M. J. Jasso y S. C. A. Ortiz. 1998. Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. *Ciencia Forestal*. 32 (101): 9–18.
- García, C. X., J. G. Flores G y J. de D. Benavides S. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en Quintana Roo, México. *Ciencia Forestal*. 23 (84): 71-92.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriqueta García de Miranda. México 18, D. F. 217 p.
- Harvey, C., Alpizar, F, Chacón, M, Madrigal, R. 2005. Assessing Linkages between Agriculture and Biodiversity in Central America: Historical Overview and Future Perspectives. Mesoamerican & Caribbean Region, Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC). San José, Costa Rica.
- Hernández, X. E., L. M, Arias y L. Pool. 1994. El sistema agrícola de roza-tumba-quema en Yucatán y su capacidad de sostenimiento. Primer Coloquio sobre Agricultura Indígena: Pasado y Presente. Ediciones de la Casa Chata. México, D.F. pp: 343-357.
- Hocker, H. K. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor, S.A. México, D.F. 446 p.
- INEGI. 1995. San Pedro Pochutla, Estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 127 p.
- INEGI. 2000. Carta topográfica. San José Chacalapa. G14 B18. Escala 1:50,000. Oaxaca. México.
- INIFAP. 1999. Establecimiento de plantaciones de enriquecimiento en acahuales. 500 Tecnologías. INIFAP-SAGAR. División Forestal: 91-92.
- Jiménez, F., Muschler, R. Köpsell, E. 2001. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Turrialba, CR: CATIE. 187p.

- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. UACH. Chapingo, México. 365 p.
- Lamb, D. 1998. Large scale ecological restoration of degraded tropical forest lands: the potential role of timber plantations. *Restoration Ecology* 6(3): 271-279.
- López L, D. 2009. Crecimiento de *Picea mexicana* Martínez en las poblaciones naturales de México. Tesis profesional. Universidad Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 68 p.
- López-Sánchez, E y M. A. Musálem. 2007. Sistemas Agroforestales con Cedro Rojo, Cedro Nogal y Primavera, una alternativa para el desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 13 (1): 59-66.
- Marmillod, D., T. de la Roza, Y. Panduro, C. Cornejo y V. Correa. 2007. Diagnóstico para evaluar estrategias de manejo de la caoba. Documento técnico. BIODAMAZ, Perú – Finlandia. 28 p.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático. En: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. SARH-INIF. Publicación especial. México, D. F. 4: 35-45.
- Montero M, M., H. De los Santos P y M. Kanninen. *Hyeronima alchorneoides*. 2007. Ecología y silvicultura en Costa Rica. Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no. 354 Turrialba, C.R. 50 p.
- Morales H, J. 1997. Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Agrosilvícola San José S. P. R. de R. I. Pochutla, Oaxaca. 32 p.
- Návar, J., J. Jiménez, P.A. Domínguez, O. A. Aguirre, M. Galván y A. Páez. 1996. Predicción del crecimiento de masas forestales irregulares en base a las distribuciones diamétricas en el sureste de Sinaloa, México. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestal* 5(2): 213-229.
- Niembro R. A. 1986. Árboles y arbustos útiles en México. Limusa. UACH. México. D.F. 206 p.
- Ordóñez, J. A. y O. Masera. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3-12.
- Parrotta, J. A. 1992. The role of plantation forests in rehabilitating degraded tropical ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41.pp: 115-133.
- Pennington, T. D y J. Sarukhán K. 1998. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Fondo

de la Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 521 p.

- Perfecto, I., J. H. Vandermeer, G. López-Bautista, G. Ibarra-Núñez, R. Greenberg-Bichier y P. Langridge S. 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology*. 85(10): 2677–2681.
- Piotto, D. 2001. Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua: Comportamiento de las especies y preferencias de los productores. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba Costa Rica. 153 p.
- Pritchett, W. L. 1986. Suelos forestales. Limusa. México. 634 p.
- PRONARE-SEMARNAT. 2000. Metodología para la evaluación técnica de la reforestación. Manuales técnicos PRONARE. México. 97 p.
- 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.
- Rodríguez C, L. 1999. Análisis de crecimiento de caoba *Swietenia macrophylla* King asociada con tres diferentes especies de *inga spp.* en la región tropical húmeda de Costa Rica. Tesis profesional. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Guácimo, Costa Rica. 60 p.
- Rojó-Martínez., G. E., J. Jasso-Mata, J. Vargas-Hernández, D. J. Palma-López y A. Velázquez-Martínez. 2005a. Biomasa aérea en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.), en el estado de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 449-456.
- Rojó-Martínez, G. E., J. Jasso-Mata, X. Zazueta-Angulo, C.R. Porrás-Andujo y A. Velázquez-Martínez. 2005b. Modelos de índice de sitio para *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. del clon IAN-710 en el norte de Chiapas. México. *Ra Ximhai*. 1(1): 153-166.
- Rzedowski, J. 1983. Vegetación de México. Editorial Limusa. México. 432 p.
- SEMARNAT, 2001. Las plantaciones forestales en México. [En línea]. Documento Informativo. Dirección General Forestal. [Fecha de consulta: 4 Septiembre 2009]. Disponible en: <http://www.beta.semarnat.gob.mx/snif/>. 9 p.
- SEMARNAT, 2006. Anuario Estadístico de la Producción Forestal, 2004. México, DF.
- Smith, J., C. Sabogal, W. De Jong y D. Kaimowitz. 1997. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. CIFOR. Indonesia. 31 p.

- Snook, L. K. 2000. Regeneración y crecimiento de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en selvas de Quintana Roo. *Ciencia Forestal*. 25 (87): 59-76.
- Sosa A, M. A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl et Cham en rodales localizados al Sureste de Coahuila y Sur de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 75 p.
- Telles M, E., M. J. González G, H. M. De los Santos P, A. M. Fierros G, R. J. Lilieholm; A. Gómez G .2008. Rotación óptima en plantaciones de eucalipto al incluir ingresos por captura de carbono en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31: 173-182.
- Timothy J., S. 2007. Evaluación de plantaciones forestales en el área Sian Ka'an – Calakmul. CONABIO. México. 69 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.
- Toledo, V. M. y B. Ortiz-Espejel.1998. Tendencias en la deforestación de la selva Lacandona (Chiapas, México): El caso de las cañadas. *Interciencia*. México. 23 (6): 318-327.
- Toledo, V. M. 1994. La diversidad biológica de México. *Ciencias*. 34: 43-57.
- Torres R, J. M. y O. S. Magaña. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa. México, D. F. 472 p.
- Torres R, J. M y A. Guevara S. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. INE. *Gaceta ecológica*. México. 63: 40-59.
- UNAM. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México. *Boletín del Instituto de Geografía* 43: 183-203.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Uk. 312 p.
- Vivian, J. 1999. Stand Growth Estimation. J.S. Thrower & Associates Ltd. Vancouver-Kamloops BC. 12 p.
- Wightman, K. 2005. Reforestación con caoba y cedro. Serie técnica. Manual técnico/CATIE. 58. Turrialba, Costa Rica. 650 p.
- Wormald, T. J. 1995. Plantaciones forestales mixtas y puras de zonas tropicales y subtropicales. FAO. Roma. 162 p.

Valdez-Lazalde, J. R. y T. B. Lynch. 2000. Ecuaciones para estimar volumen comercial y total en rodales aclareados de pino *patula* en Puebla, México. *Agrociencia* 34: 747-758.

Zepeda, B. E. M. y D. P. Rivero, B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. *Ciencia Forestal* 51 (9): 3-36.

APÉNDICES

Apéndice 1. Modelos utilizados, parámetros y estadísticos de ajustes para alturas promedios, en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca [¶].

Cedrela odorata L. (n= 78 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	3.3497	5.1025	0.7288	0.9479	0.9458	3.1325
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	50.5815	0.0119	2.0000	0.9437	0.9422	3.3431
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	12.9213	0.0320	1.8198	0.9496	0.9475	3.0331

Swietenia macrophylla King (n = 40 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	9.4026	10.3336	0.1670	0.9757	0.9737	0.1333
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-2.4860	-0.0509	4.0000	0.9722	0.9707	0.1482
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	22.0569	0.0197	1.5235	0.9753	0.9733	0.1352

Tabebuia donnell-smithii Rose (n = 21 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	33.7824	34.7431	0.0457	0.9506	0.9424	2.8425
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-5.7074	0.0574	-2.0000	0.9475	0.9441	2.7579
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	21.5858	0.0122	1.7717	0.9509	0.9427	2.8250

[¶] Simbología de los cuadros. Y = Altura (m), E = edad de la (años), a, b, c = parámetros del modelo a estimar y exp = función exponencial, R² = Coeficiente de determinación, R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado y CME = Cuadrado medio del error.

Apéndice 2. Modelos utilizados, parámetros y estadísticos de ajustes para alturas dominantes, en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca [¶].

Cedrela odorata L. (n = 33 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	2.8192	7.5171	1.5133	0.9607	0.9567	6.4434
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	17.3737	0.0697	2.0000	0.9589	0.9563	6.5028
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	14.0561	0.0284	2.1586	0.9617	0.9579	6.2622

Swietenia macrophylla King (n= 10 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	4.4984	4.5531	0.3049	0.9875	0.9822	0.3772
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	25.9738	0.0238	2.000	0.9879	0.9842	0.3333
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	22.0569	0.0197	1.5235	0.9877	0.9825	0.3708

Tabebuia donnell-smithii Rose (n = 21 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	-9.7233	-9.0462	-0.1292	0.9574	0.9503	3.0836
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-4.7477	0.0310	-4.0000	0.9572	0.9527	2.9354
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	454444	8.28E-7	1.4917	0.9573	0.9528	2.9265

[¶] Simbología de los cuadros. Y = Altura (m), E = edad de la (años), a, b, c = parámetros del modelo a estimar y exp = función exponencial, R² = Coeficiente de determinación, R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado y CME = Cuadrado medio del error.

Apéndice 3. Modelos utilizados, parámetros y estadísticos de ajustes para diámetros promedios, en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca [¶].

Cedrela odorata L. (n = 78 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	3.6791	6.91500	0.8665	0.9264	0.9235	8.4412
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-48.1743	-0.00663	4.0000	0.9185	0.9164	9.2285
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	18.7448	0.01660	2.0656	0.9270	0.9241	8.3750

Swietenia macrophylla King (n = 40 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	4.5134	7.93830	0.6217	0.9468	0.9425	0.3069
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-0.5685	-0.1092	4.0000	0.9273	0.9235	0.4082
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	11.3546	0.00855	2.6091	0.9444	0.9399	0.3209

Tabebuia donnell-smithii Rose (n= 21 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	2.7586	1330.80	4.1834	0.9582	0.9512	3.0996
Chapman-Richards	$Y = a(1 - \exp(-(bE)^c))$	-2.5356	0.09550	-2.0000	0.9447	0.9389	3.8856
Weibull	$Y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	14.4615	0.00002	5.7852	0.9583	0.9514	3.0922

[¶] Simbología de los cuadros. Y = Diámetro (cm), E = edad de la plantación (años), a, b, c = parámetros del modelo a estimar y exp = función exponencial, R² = Coeficiente de determinación, R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado y CME = Cuadrado medio del error.

Apéndice 4. Modelos utilizados, parámetros y estadísticos de ajustes para diámetros dominantes en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca [¶].

Cedrela odorata L. (n = 33 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	3.1799	22.2157	2.0767	0.9300	0.9230	25.1475
Chapman-Richards	$Y = a (1 - \exp(-(b E)^c))$	-34.6389	0.03970	2.0000	0.9263	0.9216	25.6005
Weibull	$Y = a (1 - \exp(-(b E^c)))$	21.1867	0.01450	2.4144	0.9308	0.9239	24.8447

Swietenia macrophylla King (n= 10 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	-0.7786	-1.0406	-0.5407	0.9814	0.9735	0.5560
Chapman-Richards	$Y = a (1 - \exp(-(b E)^c))$	-8.3647	-0.0511	2.0000	0.9809	0.9761	0.5005
Weibull	$Y = a (1 - \exp(-(b E^c)))$	373337	0.0000021	1.2228	0.9803	0.9754	0.5156

Tabebuia donnell-smithii Rose (n= 21 sitios)

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(a - (b/E^c))$	2.6385	4951.1	5.0976	0.9142	0.9000	8.3705
Chapman-Richards	$Y = a (1 - \exp(-(b E)^c))$	-2.6090	0.0455	-4.0000	0.9081	0.8985	8.4956
Weibull	$Y = a (1 - \exp(-(b E^c)))$	13.4508	0.000021	5.9696	0.9143	0.9000	8.3660

[¶] Simbología de los cuadros. Y = Diámetro (cm), E = edad de la plantación (años), a, b, c = parámetros del modelo a estimar y exp = función exponencial, R² = Coeficiente de determinación, R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado y CME = Cuadrado medio del error.

Apéndice 5. Estadísticas y parámetros del modelo ajustado para calcular altura media en función de diámetro y la altura dominante para plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla y en Santiago La galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca [¶].

Cedrela odorata L. (n = 33 sitios)

Modelo	Formula	CME	R ²	R ² _{adj}
1	$H = a D^b A^c$	0.6440	0.9947	0.9942
2	$H = (a D) + (b D^2)$	0.7428	0.9935	0.9931
3	$H = a (1 - \exp(-b D))$	0.7668	0.9933	0.9928
4	$H = a D^b$	0.9228	0.9928	0.9916

Swietenia macrophylla King (n = 10 sitios)

Modelo	Formula	CME	R ²	R ² _{adj}
1	$H = a D^b A^c$	0.0473	0.9977	0.9967
2	$H = (a D) + (b D^2)$	0.1326	0.9925	0.9906
3	$H = a (1 - \exp(-b D))$	0.1247	0.9930	0.9912
4	$H = a D^b$	0.1016	0.9943	0.9928

Tabebuia donnell-smithii Rose (n = 21 sitios)

Modelo	Formula	CME	R ²	R ² _{adj}
1	$H = a D^b A^c$	0.2647	0.9974	0.9958
2	$H = (a D) + (b D^2)$	0.3780	0.9940	0.9925
3	$H = a (1 - \exp(-b D))$	0.3683	0.9942	0.9927
4	$H = a D^b$	0.2283	0.9973	0.9955

[¶] Simbología de los cuadros. H = Altura media (m), A = altura dominante (m), a, b y c = parámetros del modelo, CME = Cuadrado medio del error, R² = Coeficiente de determinación, R²_{adj} = Coeficiente de determinación ajustado

Apéndice 6. Panorama de los predios evaluados en Pochutla y Candelaria Loxicha, Oaxaca.



El Pénjamo



El Mango



Arroyo Rico



El Carnizuelo



Sin Nombre



El Riego



La Galera

Apéndice 7. Vista de las especies evaluadas.



Tabebuia donnell-smithii Rose



Swietenia macrophylla King

Cedrela odorata L.

Apéndice 8. Vista de las actividades realizadas durante el establecimiento y la evaluación de los sitios.



Delimitación



Numeración



Medición de diámetro



Medición de altura