

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Crecimiento de Tres Especies Forestales en Plantaciones con Enriquecimiento de
Acahual y Agroforestal en Pochutla, Oaxaca

Por:

MIRNA CRUZ MÉNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento de Tres Especies Forestales en Plantaciones con Enriquecimiento de
Achual y Agroforestal en Pochutla, Oaxaca

Por:

MIRNA CRUZ MÉNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

M.C. Celestino Flores López
Asesor Principal

DEPARTAMENTO FORESTAL

Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor

Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2013

Este proyecto de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No.13-30-3613-2192, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A DIOS por darme la oportunidad de existir y acompañarme en todo momento.

A MIS PADRES: Elva Guillermina Méndez Méndez y Javier Ignacio Cruz Teáhulos, por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado, por todos los esfuerzos realizados para que yo lograra terminar mi carrera profesional siendo para mí la mejor herencias, por sus sabios consejos que me dieron para no irme en el camino equivocado así como también por esa inmensa confianza que pusieron en mí. Gracias a ellos y a nuestro Dios padre soy lo que soy ahora.

A mis queridos HERMANOS Juan, Edgar, Sirenia y Griselda por compartir los más grandes momentos de felicidad y por darme esos ánimos de seguir adelante. A ti Goga que estuviste conmigo en esta última etapa de mi carrera, echándome porras, acompañándome en esos momentos de desesperación y por esa gran confianza que pusiste en mí, gracias por ser un gran compañero ese gran hermano y sobre todo un gran amigo.

A mis queridos ABUELOS por ese gran amor, confianza, y admiración que me brindaron, por sus sabios consejos que me daban a base de sus experiencias que han vivido.

A mis TIOS porque a pesar de las circunstancias, ellos siempre estuvieron dándome esos ánimos y sus sabios consejos para lograr salir adelante y llegar a tener una profesión.

A esos grandes AMIGOS N. del Carmen Zúñiga, Paola A. Cepeda, Víctor M. Rivas y J. Valentín Zúñiga que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, por el apoyo incondicional y esa enorme confianza que me brindaron, por cada uno de esos momentos maravillosos que vivimos.

AGRADECIMIENTOS

A mi *ALMA MATER* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por permitirme estudiar y desenvolverme y así poder enfrentarme al mundo laboral.

A todo el personal del Departamento Forestal por brindarme su apoyo y comprensión pero sobre todo por compartir sus conocimientos durante mi formación profesional.

Al M.C. Celestino Flores López por ser un gran profesor, por la ayuda desinteresada que mostró para lograr mis objetivos, por sus consejos y por su amistad.

Al Ing. Juan Morales Hernández por las atenciones y facilidades que brindó para que se llevara este trabajo.

Al Ing. Sergio Braham Sabag por su contribución en la revisión del presente trabajo así como también por su enseñanza para nuestra formación profesional.

Al Sr. José Luis López Pérez por haber puesto a nuestra disposición el sitio de trabajo así como también por el interés y apoyo que prestó al realizar las evaluaciones necesarias.

A Don Armando y a los demás trabajadores de las plantaciones, por ese gran apoyo, protección y la atención que nos brindó, al Ing. Bartolomé Santiago, Valentín Zúñiga, N. del Carmen Zúñiga por el apoyo que me brindaron en campo para el levantamiento de los datos.

A cada uno de mis COMPAÑEROS de la generación y de la carrera Forestal por permitirme convivir con ellos, por su comprensión, respeto y esa amistad que me brindaron, así como también por cada uno de esos momentos increíbles que pasamos dentro del aula y prácticas.

A Alonso quien pagó por todo, en mis momentos de desesperación, gracias por estar conmigo, por tu apoyo y los ánimos que siempre me diste cuando me veía derrotada, gracias por forma parte de mi vida, por ser mi compañero y sobre todo por ser mi amigo.

A Bere, Claudia, Lupita y al equipo de futbol rápido sobre todo al entrenador Emmanuel Palacios Urrutia por esa amistad y esos consejos que siempre me brindaron durante mi estancia en esta universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
2 REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Plantaciones forestales comerciales	4
2.2 Plantaciones con especies tropicales	4
2.2.1 Plantaciones con sistemas agroforestales	5
2.2.2 Enriquecimiento de acahuales	6
2.3 Descripción de especies estudiadas	8
2.3.1 <i>Cedrela odorata</i> L	8
2.3.2 <i>Swietenia macrophylla</i> King	8
2.3.3 <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	8
2.4 Crecimiento de especies tropicales	9
2.5 Modelos de crecimiento	9
2.6 Estudios sobre el crecimiento de especies forestales tropicales	10
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Descripción del área de estudio	12
3.1.1 Ubicación geográfica	12
3.1.2 Orografía	13
3.1.3 Hidrología	13
3.1.4 Edafología	13
3.1.5 Clima	14
3.1.6 Vegetación	14
3.1.7 Fauna	15
3.3 Antecedentes de las plantaciones.	15
3.3.1 Problemas fitosanitarios de las plantaciones	16

3.4	Diseño de muestreo	16
3.4.1	Establecimiento de los sitios permanentes	16
3.5	VARIABLES DASMÉTRICAS EVALUADAS	16
3.6	Modelos de crecimiento utilizados para diámetro y altura	17
3.6.1	Crecimiento en altura y diámetro promedio	17
3.6.2	Estadísticos de selección de los modelos	18
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1	Crecimiento en diámetro para <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	19
4.2	Crecimiento en altura promedio para <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	21
4.3	Crecimiento en área basal <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	23
4.4	Comparación de crecimientos en diámetro normal de <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose de estudios previos	25
4.5	Comparación de crecimientos en altura promedio de <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose de un estudio previo	26
5	CONCLUSIONES	29
6	RECOMENDACIONES	30
7	LITERATURA CITADA	31
	APÉNDICES	35

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro, altura y área basal para <i>Cedrela odorata</i> L, <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	18
Cuadro 2. Modelo Weibull como resultado de mejor ajuste en diámetro promedio para las tres especies tropicales diferentes	19
Cuadro 3. Modelos de Schumacher modificado por Bailey & Clutter y Weibull como resultado de mejor ajuste en altura promedio para las tres especies tropicales diferentes	21
Cuadro 4. Modelos de Schumacher modificado por Bailey & Clutter y Weibull como resultado de mejor ajuste en área basal promedio para las tres especies tropicales diferentes	24

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de <i>Cedrela odorata</i> L., <i>Swietenia macrophylla</i> King y <i>Tabebuia donnell smithii</i> Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	12
Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial “El Triunfo”, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca	13
Figura 3. Construcción de las curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y diámetro promedio, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca	20
Figura 4. Construcción de las curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y altura promedio, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca	22
Figura 5. Construcción de las curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para el área basal	25
Figura 6. Comparación de las curvas de ajuste de edad-diámetro normal promedio de dos evaluaciones diferentes con las especies <i>Cedrela odorata</i> (A) y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> (B)	26
Figura 7. Comparación de las curvas de ajuste de edad-diámetro normal promedio de dos evaluaciones diferentes con la especie <i>Swietenia macrophylla</i> King	27

Figura 8. Comparación de las curvas de ajuste de edad-altura promedio de dos evaluaciones diferentes con las especies *Cedrela odorata* L (A) y *Tabebuia donnell-smithii* Rose (B) 27

Figura 9. Comparación de las curvas de ajuste de edad-altura promedio de dos evaluaciones diferentes con la especie *Swietenia macrophylla* King 28

RESUMEN

La información sobre el crecimiento y rendimiento en las especies tropicales mexicanas es muy escasa, por lo tanto los resultados de manejo forestal presentan deficiencias, por esta razón el presente estudio se realizó para estimar el crecimiento en diámetro, altura y área basal de *Cedrela odorata* L. *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose establecidas en plantaciones de enriquecimiento de acahual y sistema agroforestal en San José Chacalapa, Municipio de San Pedro Pochutla y en Santiagola Galera, Municipio de Candelaria Loxicha, ambos del Distrito de Pochutla Oaxaca.

Se establecieron 40 sitios permanentes de forma circular de 250 m² en la cual se remidieron las variables diámetro normal y altura total, en base a los datos obtenidos previamente en el año 2008, 2009 y 2010 y con la evaluación del 2011, teniendo un total de 160 valores de sitios de muestreo, en base a éstos se determinó el crecimiento de las tres especies, utilizando los modelos Schumacher modificado por Bailey y Clutter, Chapman-Richards y Weibull. Se eligieron al obtener el valor más alto de coeficiente de determinación ajustado

El mejor modelo que ajustó para las diferentes variable, fue la de Weibull seguida por la de Schumacher modificado por Bailey & Clutter. De las especies evaluadas la que mostró el mejor crecimiento en diámetro normal, altura y área basal fue *Cedrela odorata* L, seguida *Tabebuia donnell-smithii* Rose, y por ultimo *Swietenia macrophylla* King, mostrando cada una de ellas una tendencia de crecimiento sigmoideal. Pero aún se trata de una plantación joven por lo tanto las especies estudiadas aún se encuentran en una fase de crecimiento, tanto en altura, diámetro y área basal.

Palabras claves: Plantaciones, modelos de crecimiento, *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, enriquecimiento de acahual.

ABSTRACT

Information on the growth and yield in Mexican tropical species is limited, therefore the results of forest management will be deficient, therefore this study was conducted to estimate the growth in diameter, height and basal area of *Cedrela odorata* L. *Swietenia macrophylla* King and *Tabebuia donnell-smithii* Rose established in acahual enrichment plantations and agroforestry system in San Jose Chacalapa, Municipality of San Pedro Pochutla and Santiago Galera Municipality of Candelaria Loxicha, both are Pochutla District of Oaxaca.

Were established 40 permanent sites, circular of 250 m², where the variables remeasured were normal diameter and total height, based on the data obtained previously in 2008, 2009 and 2010 and the evaluation of 2011, obtaining a total of 160 values of sampling sites, based on these values was determined the growth of the three species, the models used were Shumacher modified by Bailey and Clutter, Chapman-Richards and Weibull. The model were chosen when the highest value of adjusted determination coefficient were obtained.

The best model that adjusted for the different variable was Weibull followed by Schumacher modified by Bailey & Clutter. The species tested that showed the best growth in average diameter, height and basal area was *Cedrela odorata* L, followed *Tabebuia donnell-smithii* Rose, and finally *Swietenia macrophylla* King, these species showed sigmoidal growth. This is a young plantation therefore studied species are still in a phase of growth, both in height and diameter basal area.

Keywords: Plantations, growth models, *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, acahual enrichment.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales han aumentado substancialmente a escala mundial, particularmente durante los dos últimos decenios. Éstos han sido objeto de elogio y de críticas. Cada vez tendrán más importancia como fuente de madera industrial, la que permite reducir potencialmente la extracción de madera en los bosques naturales (FAO, 1999).

Actualmente las plantaciones comerciales en el mundo alcanza aproximadamente 187 millones de hectáreas lo que representa el 4.8 % de la superficie forestal total, de las especies más plantadas el género *Pinus* ocupa el mayor porcentaje con poco más del 20%, le siguen los géneros *Eucalyptus* (10%), *Hevea* (5%), *Acacia* (4%) y *Tectona* (3%). Otras latifoliadas en conjunto ocupan un 18% y coníferas diferentes del género *Pinus* ocupan un 11% (Conafor, s.f.).

Para que México sea competitivo con relación a los países líderes en la actividad forestal Chile, Brasil, Uruguay, Argentina, Nueva Zelanda o china, necesita contar con cerca de un millón de ha de plantaciones comerciales (Monreal. 2005). Sin embargo, en México las superficies cubiertas alcanzan aproximadamente 117,479 ha, distribuidas principalmente en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche utilizando principalmente especies como cedro rojo y eucalipto (Conafor, s.f.).

El primer intento por desarrollar plantaciones forestales comerciales en México se llevó a cabo en 1932 por la Compañía Cerillera La Central, Chalco, Estado de México, se plantó álamo para la producción de palillos para la manufactura de cerillos. Esta plantación no se llegó a aprovechar para el fin originalmente previsto, debido a que no se obtuvo el permiso para cortarla; sola una parte de la plantación se utilizó para fines ornamentales y el resto fue aprovechado en 1975 y 1976 para producir astillas que se emplearon en la Fábrica de Papel de San Rafael, Estado de México (Monreal, 2005).

En Oaxaca unas de las plantaciones establecidas entre 1974 y 1983 fue en San Juan Cotzocón, Distrito Mixe, alrededor de 9 mil ha con el propósito de abastecer la fábrica de papel de Tuxtepec (FAPATUX), donde se emplearon especies como *Pinus caribaeavar. hondurensis*, (Sénécl) *P. oocarpavar. ochoterena* Martínez, *P. caribaeavar. caribaea* y *P. tropicalis* Morelet (Conafor, s.f.).

Existen diversos estudios relacionados con el crecimiento de especies tropicales sin embargo muy pocos se enfocan a las plantaciones con enriquecimiento de acahuales y sistemas agroforestales.

La riqueza de los acahuales en el sureste de México ha sido estudiada muy poco y en algunas regiones se desconoce el potencial y la diversidad florística que poseen. Esta surge con el abandono de actividades productivas, los suelos inician un proceso natural de regeneración de su vegetación y se convierte en acahual a partir de los cinco años (Pérez *et al.*, 2011).

En cambio los sistemas agroforestales se entiende tradicionalmente como todos aquellos sistemas donde hay una combinación de especies arbóreas, con especies arbustivas o herbáceas, generalmente cultivadas.

De los pocos trabajos que se tienen, uno de éstos es la plantación establecida en la región de la costa de Oaxaca en el Distrito de San Pedro Pochutla, con enriquecimiento de acahual y con especies de un alto valor comercial, *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* Bertol, *Ceiba pentandra* L. Gaertn, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. Este sistema se considera un método adecuado para generar bosques sobreexplotados, en donde la regeneración natural es insuficiente y se puede incrementar el volumen maderable (Galán *et al.*, 2008). En uno de los predios de esta misma se tiene el cultivo de sistema agroforestal que es la combinación del *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia donnell-smithii* Rose, con cultivos de *Coffea arabica* L.

El propósito de esta plantación localizada en la comunidad de San José Chacalapa, Distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, ubicada en cuatro diferentes predios denominados “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “El Mango”, “Arroyo Rico” y “El Riego”, es obtener información para predecir los principales problemas que en la actualidad enfrentan y atenderlas para mejorar y elevar la calidad de las plantas así mismo, obtener información y generar experiencias para el futuro desde la recolección de semillas hasta la cosecha de las plantaciones (García, 2005).

1.1 Objetivo general

Estimar el crecimiento en diámetro, altura y área basal de *Cedrela odorata* L. *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en plantaciones de enriquecimiento de acahual y sistema agroforestal en San Pedro Pochutla, Oaxaca.

2 REVISION DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales comerciales

Las plantaciones forestales, complementadas con otras prácticas culturales, representan una buena alternativa de solución a las problemáticas como la deforestación y degradación de los suelos entre otras actividades que dañan al medio ambiente. Además que sirven como materia prima con fines comerciales para disminuir la presión de los bosques naturales, aunque también se establecen como una alternativa para el mejoramiento integral del ambiente, a través de la captura de carbono entre otros (Prieto, 2006).

Las plantaciones forestales comerciales son proyectos con un plazo de maduración muy largo, comparándole con otras actividades económicas como la agricultura, ganadería. Aunque regularmente se establecen con especies de rápido crecimiento como los eucaliptos tropicales, cedro rosado y Melina (Monreal, 2005).

Al respecto, México es un país que tiene un excelente potencial biológico, físico y climático para el establecimiento de plantaciones por lo que es considerado como una opción viable para incrementar la productividad del sector. El país tiene ocho millones de hectáreas de terrenos preferentemente forestales, con aptitud para realizar plantaciones forestales (Arano *et al.*, 2006).

En el año de 1997 entra en vigor el Programa de Desarrollo de Plantaciones (PRODEPLAN), en la cual se incorporan proyectos como las plantaciones de Tehuantepec, con 3000 hectáreas plantadas de eucaliptos tropicales, realizándose entre 1999 y 2004 (Monreal, 2005).

2.2 Plantaciones con especies tropicales

Las plantaciones forestales en el trópico de México se iniciaron hace más de 40 años, a través del servicio forestal y de algunas empresas concesionarias de aprovechamientos forestales (Arteaga *et al.*, 2004).

Se estima que hasta 2008 las plantaciones forestales comerciales tropicales cubrirían una superficie de 83 mil hectáreas, que corresponde aproximadamente al 83%

del total de la superficie plantada. En donde los géneros, *Cedrela odorata* L., *Swietenia spp.*, *Gmelina arborea* Roxb., *Eucalyptus* spp., *Tectona grandis* L., y *Hevea brasiliensis* Müll., cubren la mayor superficie de las plantaciones forestales comerciales tropicales. Los dos primeros géneros antes mencionados son especies nativas más importantes de México por su valor en el mercado. En México el género *Eucalyptus* incluye más de diez especies que se han plantado tanto en la zona tropical como en la zona templada. *Eucalyptus urophylla* y *E. grandis* son las dos especies tropicales más importantes que cubren la mayor proporción de superficie plantada. *Tectona grandis* y *Gmelina arborea* son otras dos especies introducidas más populares para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Sin embargo, además de las especies mencionadas anteriormente, existe una amplia variedad de especies tropicales (más de 40) que se han plantado en las zonas tropicales en una superficie de alrededor del 15% del total (Conafor s. f.).

Un aspecto importante en México, en materia de plantaciones de árboles forestales tropicales son las que se han establecido con el propósito específico de producción de hule. Aunque existen diversas especies de árboles y arbustos que en alguna forma se utilizan para la extracción de hule, la que ha demostrado el máximo rendimiento de látex y que consecuentemente se cultiva en México, es *Hevea brasiliensis* (Caballero, 2000).

2.2.1 Plantaciones con sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra, en los cuales especies leñosas perennes, son utilizados en asociación deliberada con cultivos agrícolas y con animales. El objetivo es diversificar la producción, controlar la agricultura migratoria, aumentar el nivel de materia orgánica del suelo, modificar el microclima y optimizar la producción del sistema. El interés por este tipo de sistemas se debe a la necesidad de encontrar mejores opciones para los problemas de baja producción y degradación de la tierra en los trópicos (López, 2007).

Al clasificarse se toma en cuenta los componentes que los conforma y la distribución que tienen estos en el tiempo y en el espacio, de acuerdo a esto de los sistemas agroforestales que más se practican son:

1) Sistemas agroforestales secuenciales la cual se denominan así cuando existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos ósea que los cultivos anuales y las plantaciones suceden en el mismo tiempo. En esta categoría se encuentran el sistema agricultura migratoria y el sistema taugya.

En 1962 a través del campo experimental “El Tormento”, se introdujo el sistema taugya que es un tipo de sistema agroforestal, el cual es la combinación de cultivos agrícolas con forestales, este se había desarrollado con resultados positivos en cuanto a sobrevivencia e incrementos de diámetros y alturas con las especies: *Swietenia macrophylla*, y *Cedrela odorata* (Arteaga *et al.*, 2004).

2) Sistemas agroforestales simultáneos, consiste en la siembra de cultivos, árboles y/o ganadería. En estos sistemas se incluyen asociaciones de árboles con cultivos perennes, árboles en franjas en asociación con cultivos anuales, huertos caseros y sistemas agrosilvopastoriles.

3) Cercas vivas y cortinas rompe vientos se llaman así a las plantaciones en líneas de árboles y arbustos en los límites de las parcelas, con el objetivo principal de impedir el paso de los animales, o delimitar una propiedad con la obtención de productos adicionales como forrajes, leña, madera, flores, frutos (López, 2007).

2.2.2 Enriquecimiento de acahuales

En muchas regiones de México se utiliza el término “acahual” para referirse a las comunidades secundarias en distintas etapas de regeneración, que sucede al abandono de un terreno que estuvieron bajo algún manejo ya sea pecuario o agrícola, cuando estas actividades quedan abandonadas el suelos comienza con un proceso natural de regeneración de vegetación esto regularmente sucede a partir de los cinco años. La riqueza de los acahuales en el sureste de México ha sido poco estudiada y en algunas regiones se desconoce el potencial y la diversidad florística que poseen (Pérez *et al.*, 2011).

En la región de la costa de Oaxaca, fueron establecidas plantaciones forestales comerciales de enriquecimiento de acahual, con especies de alto valor comercial. Estas plantaciones siguen una distribución sistemática regular y ordenada, en líneas, fajas o grupos dentro del bosque o acahual. Este método se considera importante o adecuado

para regenerar bosques sobreexplotados donde la regeneración natural es insuficiente (Galán *et al.*, 2008).

El método de enriquecimiento tiene muchas ventajas; al ser muy flexibles, se puede aplicar a todas las especies, bien sean exigentes a la luz, o a la sombra; también se puede aplicar en casi todas las situaciones topográficas, es decir, tanto en llanuras como en montañas. Existen diversos métodos de enriquecimiento, con sus diversas variantes que dependen de la forma en que se distribuyen las plantas y la condición bajo la cual se desarrollan. A continuación se mencionan los principales métodos de enriquecimiento

Enriquecimiento individual consiste en establecer la regeneración artificial, por plantío, o por siembra directa. Este método es importante realizarlo en las ventanas del techo de copas o en claros abiertos de la vegetación. Donde hay sombra muy profunda no se debe repoblar ni siquiera con especies exigentes de sombra. Antes de emplear el enriquecimiento individual, generalmente se suele chapear y ralear el sitio para así poder eliminar la competencia de las malezas. Este método tiene algunas desventajas sobre todo es difícil de controlar y el mantenimiento presenta bastantes dificultades.

Enriquecimiento por grupos, este método puede ser bajo sombra o al sol. Para aplicar este método se elige grupos sin maderas de valor económicos o con grupos de individuos más maduros, y toda la vegetación inútil se extrae, es importante tratar de evitar mezclar muchas especies en el mismo grupo, en general solo conviene aplicar una o dos especies. La repoblación se puede realizarse en forma de siembra directa o de plantío. En algunos suelos favorables este tipo de enriquecimiento probablemente pueda convenir también para algunas especies exóticas como para *Swietenia macrophylla*.

Enriquecimiento en líneas consiste en abrir en el bosque, líneas o corredores de distinto ancho, comúnmente de dos hasta unos 20 m que se repueblan artificialmente. El ancho de las líneas depende generalmente de la altura del bosque, las especies que se intentan plantar o sembrar, y la exuberancia de las malezas. Este método resulta apropiado para especies tolerantes a la sombra motivo por lo cual tiene muchas limitaciones, ya que su crecimiento es lento (Parraguirre, 1993).

2.3 Descripción de especies estudiadas

2.3.1 *Cedrela odorata* L.

Pertenece a la familia Meliaceae; su principal sinónimo es *Cedrela mexicana*. Este árbol puede llegar a medir hasta 35 m de altura y alcanzar un diámetro normal de 1.7 m. en ocasiones forman pequeños contrafuertes poco prominentes, sus ramas son ascendentes y gruesas, su copa es redonda y densa. Las hojas son dispuestas en espiral, paripinnadas o imparipinnadas, de 15 a 50 cm de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por 10 a 22 folíolos opuestos o alternos. Esta especie está ampliamente distribuida en América; forman parte de la flora autóctona de todos los países latinoamericanos, desde México hasta Argentina (con excepción de Chile). En México lo podemos encontrar desde el sur de Tampico hasta la península de Yucatán inclusive, en la vertiente del Golfo; y desde Sinaloa hasta Guerrero, en la del Pacífico (Betancourt, 1999).

2.3.2 *Swietenia macrophylla* King

La caoba es un árbol, perennifolio o caducifolio, de 40 a 50 m y posee corteza fisurada, sus hojas son grandes con 6 a 12 hojuelas glabras, paripinnadas, alternas, sin glándulas, raquis sin crecimiento terminal, con tres o más pares de hojuelas. Sus flores con color pardo amarillentas, pequeñas, con olor agradable. Sus frutos son cápsulas de ovoides o piriformes de 12 a 20 cm de largo, se abre en cinco válvulas de color café con semillas café. Esta especie se distribuye únicamente en la vertiente del golfo, desde el norte de Puebla y Veracruz hasta el sur de la península de Yucatán, en altitudes de 0 a 750 msnm. Es una de las maderas más finas del mundo debido a su trabajabilidad, fortaleza y belleza, utilizada para la fabricación de muebles finos, instrumentos musicales, artículos torneados, chapa, triplay, duela, artículos decorativos, artesanías y ebanistería (Navarro, 1999).

2.3.3 *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Es un árbol con tronco ligeramente acanalado, ramas ascendentes, copa alargada, con una altura de hasta 30 m y hasta 70 cm de diámetro. Hojas digitado-compuestas de 20 a 70 cm de largo. Flores en panícula terminales, piramidales, con ramas cimosas de 15 a 35 cm de largo. 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. Su madera es de color crema, se emplea en la fabricación de muebles (Pennington y Sarukhán, 1998).

2.4 Crecimiento de especies tropicales

La literatura registra la existencia de métodos directos e indirectos que pueden ser aplicados para la determinación de la edad de los árboles. En donde estos tratan de estimar, a costos relativamente altos, la edad de los árboles; sin embargo cuando se trata de árboles en el trópico, la estimación no siempre es fácil, los estudios sobre el crecimiento de los árboles aún son limitados, muchas veces por que no siempre presentan anillos de crecimiento visibles y continuos, por esto es obtenido por medio de mediciones y remediciones en parcelas permanentes. El crecimiento de los árboles individuales se refleja en el aumento de los tejidos (floema, xilema, tallo, parénquima) a través del tiempo. En consecuencia se puede definir el crecimiento como el resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas como el diámetro, altura, forma del tronco y volumen. El ritmo del crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo (Imaña y Encinas, 2008; Sampayo *et al.*, 2010).

2.5 Modelos de crecimiento

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).

Sin embargo, aún en México se tienen muchas carencias para el desarrollo, implementación y ejecución de estas herramientas, las cuales se han estudiado principalmente en especies arbóreas de bosques naturales en clima templado, como las coníferas (Galán, 2007).

Vanclay (1994) menciona los tres niveles en la que se pueden agrupar los modelos de crecimiento:

- 1) Los Modelos a nivel rodal son los más adecuados para rodales coetáneos y plantaciones, siendo las tablas y ecuaciones de rendimiento las técnicas más comunes. Se emplean como unidad básica de modelación las existencias, área basal, volumen del rodal y los parámetros que caracterizan la distribución diamétrica.
- 2) Los modelos de árboles individuales son tan complejos como aquellos que modelan ramas y las características internas del fuste.
- 3) Los modelos por clase de tamaño son una transición entre los modelos de rodal y los árboles individuales, emplean como unidad básica de modelación una clasificación de árboles la que puede ser por tamaño.

El uso de modelos matemáticos en el manejo forestal, permite describir en forma cuantitativa algunas relaciones de crecimiento, mediante funciones continuas de tipo sigmoideal, que proporcionan una valiosa ayuda en la toma de decisiones de manejo forestal, para la obtención de una producción sostenida y constante de las masas arboladas. Aunque los estudios de crecimiento tengan como objetivo primordial cuantificar la producción forestal, tiene una estrecha relación con la silvicultura de las especies en particular (García *et al.*, 1992)

Para la predicción del crecimiento hay una amplia variedad de modelos posibles a utilizar, pero las más manejadas han sido los modelos de Schumacher, Chapman - Richards y Weibull, principalmente al modelar altura dominante y curvas de índice de sitio (Ramírez, 1981). El factor limitante para la efectividad de los mismos, es la disponibilidad de datos acerca de las plantaciones en cuestión, que cubra una amplia gama de sitios, edades y densidades de los rodales (García *et al.*, 1992).

2.6 Estudios sobre el crecimiento de especies forestales tropicales

En el estado de Veracruz se realizó un estudio en donde se evaluó el crecimiento y desarrollo de una asociación de ocho especies forestales tropicales en sus primeros cinco años, bajo cuatro tratamientos: procedencia local sin fertilización, procedencia foránea sin fertilización, procedencia local con fertilización y procedencia foránea con

fertilización y un primer aprovechamiento de *Gmelinaarborea* al cuarto año. Se analizaron las variables: altura, diámetro normal y diámetro de copa, y se observó que, en general, la procedencia local con y sin fertilización registró los mayores valores promedio. La alta densidad favoreció el desarrollo de *Tabebuia donnell-smithii* y perjudicó el de las demás especies. El aclareo de *Gmelinaarborea* permitió que se extendiera notablemente la copa de *Tectonagrandisy* el diámetro normal de *Tabebuia donnell-smithii*, no así la altura en los otros taxa. Por último, las más sobresalientes fueron *Gmelinaarborea* (altura = 6.75 m; diámetro normal = 0.08 m; diámetro de copa = 3.56 m) y *Tabebuia donnell-smithii* (altura = 4.26 – 4.65 m; diámetro normal = 0.04 – 0.05 m; diámetro de copa = 2.15 – 2.34 m); las mayores tasas de crecimiento se verificaron en altura y diámetro normal promedio en *Gmelinaarborea* (4.23 m año⁻¹ y de 0.044 m año⁻¹) y *Tabebuia donnell-smithii* (1.47 m año⁻¹ y de 0.017 m año⁻¹) (López *et al.*, 2010)

Así mismo en el municipio de Soconusco del Estado de Chiapas, se evaluó el crecimiento de árboles de cedro rosado a los 18 meses de edad, en combinación con plantaciones de café a diferentes elevaciones. En junio de 2001, se plantaron 45 árboles en 12 parcelas distribuidas entre los 200 a 1400 msnm. En diciembre de 2002 se evaluaron los incrementos en diámetro (DAP), altura y la supervivencia. Mediante un análisis de varianza se encontró que los árboles con los mejores crecimientos se presentaron en las parcelas que se localizan en altitudes de 280 a 750 m, con alturas que variaron de 3 a 7.3 m y diámetros de 3 a 7.2 cm, a los 18 meses de edad (Reyes y Upton, 2003).

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

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación geográfica

El área de estudio se localiza en la comunidad de San José Chacalapa, Municipio y distrito de San Pedro Pochutla, Oaxaca, con coordenadas geográficas, latitud norte 15° 50' y longitud oeste 96° 28' con una altitud de 220 msnm (INEGI, 2000) dentro la cual se encuentran las plantaciones denominados “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “Arroyo Rico” y “El Riego” (Figura 1) esta última se encuentra bajo un sistema agroforestal con el cultivo del café. Otra de las plantaciones evaluadas fue “El Triunfo” igual que el predio anterior se encuentra bajo un sistema agroforestal, se ubica en la comunidad de Santiago la Galera, municipio de Candelaria Loxicha, distrito de san pedro Pochutla, Oaxaca, con las coordenadas geográficas 15° 55 latitud norte y 96° 29' longitud oeste, a una altitud de 1190 msnm (INEGI, 2000).

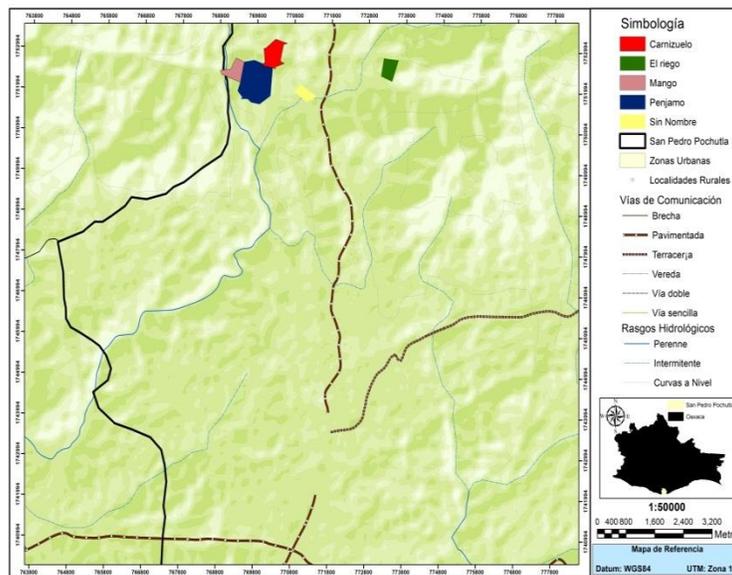


Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell smithii* Rose en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

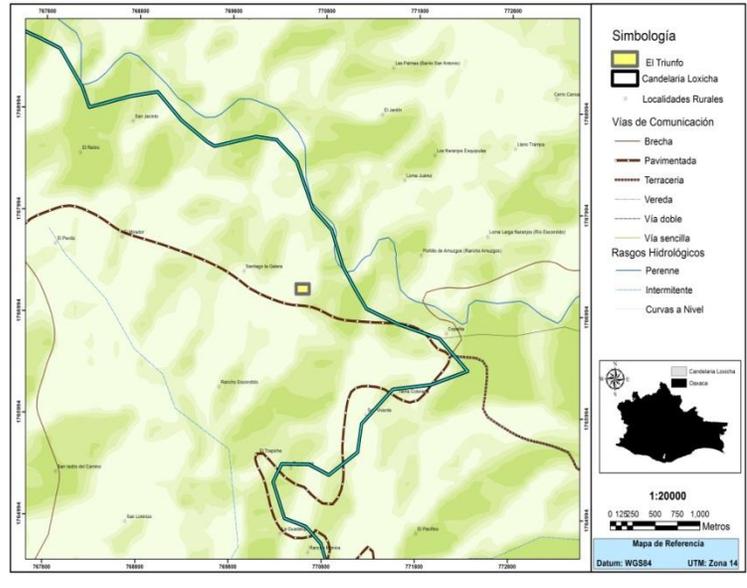


Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial “El Triunfo”, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

3.1.2 Orografía

Los predios de evaluación la cual se encuentran ubicados en san José chacalapa, se conforman por pequeños lomeríos, con unas pendientes que oscilan entre los 5 a 40% con elevaciones entre los 200 y 300 msnm, en cuanto al predio “la galera” que se localiza en el municipio de Candelaria Loxicha, cuenta con una pendiente entre 70% a 85%, con una altitud de 1190 msnm (INEGI, 1995; INEGI, 2005).

3.1.3 Hidrología

Los predios, en la cual fueron evaluados 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 (Dirección General de Geografía del Territorio Nacional e Informática, 1981).

3.1.4 Edafología

El suelo predominante en la comunidad de San José Chacalapa, corresponde a un regosol éútrico característicos por ser un color claro con una profundidad moderada

o alta; también se puede observar suelos feozem háplico ricos en materia orgánica, estas presentan un color oscuro y carecen de horizontes cálcicos. En Santiago la Galera, se observa suelo luvisol crómico, se caracteriza por presentar enriquecimiento de arcilla en el subsuelo (INEGI, 1995).

3.1.5 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, el clima característico en san José Chacalapa corresponde al grupo de climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano AW0(W) igw, 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; INEGI, 2005).

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

3.1.6 Vegetación

En los predios evaluados corresponden a un tipo de vegetación de selva baja caducifolia, en donde predominan las especies como *Enterolobiumcyclocarpum*(Jack.) Griseb. (parota, huanacastle), *Brosimunaliscastrum*Swartz. (ramón, capomo, ojoche), *Gliricidiasepium*Jack. (cocoite, cacahuananche), *Astroniumgraveolens*, Jack. (gateado), entre otras (INEGI, 1984), pero debido a prácticas agrícolas intensas practicadas, grandes extensiones de selva fueron eliminadas, generándose así una vegetación secundaria también conocida como acahuales.

En el predio “El Riego” aún se puede observar a sus alrededores vegetación característica de una selva mediana caducifolia, en donde las plantaciones fueron establecidas bajo el sistema agroforestal asociando con cafetales; en cuanto al predio “La Galera”, el tipo de vegetación corresponde a una selva mediana subperenifolia,

predominando las especies de *Enterolobiumcyclocarpum*(Jack.) Griseb. (Parota, huanacastle), *Guazumaulmifolia*Lam. (Guácima), *Leucaenas*sp. (guaje), *Acacia* sp. (subin), *Inga* sp. (cuajinicuil, chalahuite). Pero en esta zona se ha venido introduciendo otras especies como son cafetales y árboles frutales: guanábana,anona y plátano principalmente (INEGI, 1984).

3.1.7 Fauna

En San José Chacalapa se puede observar una variedad de fauna entre las que destacan: Armadillo (*Dasyponovemcinctus*L.), Conejo (*Silvilagus*cunicularisWaterhouse), Iguana prieta (*Ctenosaurasimilis*Gray), Nauyaca (*Porthidiumdunni*Hartweg y Oliver), Tlacuache (*Didelphismarsupialis*L.), Víbora de cascabel (*Crotalus*spp.) y Zorrillo (*Mephitismacroura*Lichtenstein) (INEGI, 1995).

3.3 Antecedentes de las plantaciones

Anteriormente en los predios en donde actualmente están establecidas las plantaciones, fueron destinados a la agricultura y ganadería extensiva, practicándose en ellos el sistema Roza-Tumba-Quema (RTQ), posteriormente fueron abandonados por unos años por la baja productividad que ya presentaban. A consecuencia de este se originó el establecimiento de la vegetación secundaria o también conocida como acahual. Por consiguiente la Secretaría de medio ambiente y Recursos Naturales autorizó tres programas de plantación que se ejecutaron durante tres etapas en los siguientes predios, en el año de 1997 El Pénjamo, para el año 2000 en efecto se realizaron las plantaciones en los predios de El Carnizuelo, El Mango y Sin Nombre por otra parte en el año 2004 de igual manera se efectuaron las plantaciones en los predios de El Riego, Arroyo Rico y El Triunfo.

Para establecimiento de la plantación se abrieron carriles de un metro de ancho dentro del acahual por tres metros entre carriles, eliminando a si la vegetación arbustiva y herbácea para evitar la competencia de las plantas. Después de esto se estableció la plantación a una distancia entre árboles de tres metros. Durante el transcurso del

tiempo el acahual ha ido creciendo por lo que se realizan las limpieas constantes entre carriles (García, 2005).

3.3.1 Problemas fitosanitarios de las plantaciones

Uno de los principales problemas que presenta la plantación destaca el ataque de barrenador de yemas, *Hipsiphylagranda*Zeller, y barrenador de tallo *Crhysobothrisyucataensis*Van Dyke en estado larvario, siendo las principales especies afectadas, al cedro rojo y la caoba. Otro de los problemas más notorios en la plantación son los daños causados por la insolación, por las hormigas género *Pseudomyrmex* manchas foliares (García, 2005).

3.4 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 (Sandoval, 2010).

3.4.1 Establecimiento de los 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 “El Triunfo”, 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 (Sandoval, 2010).

3.5 Variables dasométricas evaluadas

Las variables evaluadas para el presente trabajo fueron la altura total del árbol, altura del fuste limpio, diámetro a 30 cm y a 1.30 m del suelo, longitud y diámetro de

copa. Para la medición se requirieron los siguientes los materiales: 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, placas metálicas para la identificación de los sitios, una cuerda compensada para la delimitación de las parcelas de muestreo y un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para la georreferenciación de las parcelas de muestreo.

La evaluación de las plantaciones se realizó en una medición del 27-29 de junio del 2011 en cada uno de los predios que conforma la plantación forestal comercial. Aparte de los datos recabados en esta evaluación se anexaron los datos levantados en el 2009 y 2010 por Santiago y los de Sandoval en el año 2008, sumando así un total de 160 valores de sitios levantados. Para el levantamiento de los datos se contó con el apoyo de unos de los trabajadores de dicha plantación para la ubicación de cada uno de los sitios.

3.6 Modelos de crecimiento utilizados para diámetro y altura

De los modelos utilizados para el presente estudio, son las más manejadas para la estimación el crecimiento. Para la predicción del crecimiento hay una amplia variedad de modelos posibles a utilizar, pero las más manejadas han sido Schumacher, Chapman-Richards y Weibull principalmente al modelar altura dominante y curva de índice de sitio (Ramírez, 1981).

A través de las ecuaciones siguientes (Cuadro 1) se ajustaron a los datos obtenidos de las evaluaciones realizadas edad-diámetro promedio, edad-altura promedio y edad- área basal, la cual fue a través de curvas promedio en base a los valores de los sitios.

3.6.1 Crecimiento en altura y diámetro promedio

El crecimiento como el resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas como el diámetro, altura, área bisimétrica, forma del tronco y volumen. El ritmo del crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo (Imaña y Encinas, 2008;

Sampayo *et al.*, 2010). Para obtener los crecimientos para ambas variables y para cada una de las especies, se realizó utilizando el mejor modelo ajustado, de los modelos utilizados fueron Schumacher, Chapman-Richards y Weibull.

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

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

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

3.6.2 Estadísticos de selección de los modelos

Para el análisis de las variables diámetro normal, altura promedio y área basal se realizó utilizando tres diferentes modelos de crecimiento, para el procesamiento y ajuste de los modelos se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0, con la metodología PROC-NLIN siendo esta una regresión no lineal. Se ingresaron las ecuaciones de los modelos, ajustando los parámetros de los modelos a cada una de las especies (*Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose). La 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), de acuerdo a Vanclay(1994) son considerados como los mejores criterios de selección. Obteniendo los ajustes para cada una de las variables y para cada una de las especies se construyeron las gráficas, utilizando el programa Sigma Plot ® 10.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

En la especie *Cedrela odorata* L. para la variable diámetro promedio por sitio, el modelo que presentó el mejor ajuste fue el de Weibull (Cuadro 2) al obtener el valor más alto de coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) de 0.9195. Así mismo para las especies *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii*, ajustó el mismo modelo Weibull R^2_{adj} que para la primera especie fue de 0.8369 y la segunda fue de 0.7892. De los tres modelos utilizados para el ajuste edad-diámetro promedio la variación estadística entre cada una de ellas son muy similares por lo que también se pueden utilizar (Apéndice 1).

Cuadro 2. Modelo Weibull como resultado de mejor ajuste en diámetro promedio para las tres especies tropicales diferentes

Especie	Ecuación	Parámetros de regresión			R^2	R^2_{adj}	CME
		a	b	c			
<i>Cedrela odorata</i> L.	Weibull	41.3771	0.0230	1.3044	0.9209	0.9195	20.4432
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Weibull	6.2297	0.00090	3.8332	0.08505	0.8369	4.7177
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Weibull	20.4219	0.0267	1.5694	0.7976	0.7892	24.1019

R^2 =coeficiente de determinación, R^2_{Adj} =coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.

Comparando el trabajo realizado por Santiago (2012), con los mismos sitios de la misma plantación, muestran los mismos modelos para *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii* que es la de Weibull, sin embargo para *Cedrela odorata*, el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter fue el de mejor ajuste R^2_{adj} de

0.9214 la cual muestra que el crecimiento sigue constante y de una forma ascendente (Figura 3).

Para este estudio cada una de las especies muestra un crecimiento diferente, en el caso de *Cedrela odorata*, el crecimiento es el más acelerado, seguida de *Tabebuia donnell-smithii* y por ultimo *Swietenia macrophylla* con un crecimiento mucho más lento que las dos anteriores (Figura 3). Observando el comportamiento de la curva de crecimiento normal (sigmoide), indica que cada una de las especies se encuentra en un crecimiento constante. Y las diferencias se deben al tipo de plantación ya que para este estudio las plantaciones están establecidas bajo enriquecimiento de acahual y agroforestal, donde el bajo rendimiento se debe a la falta de un buen mantenimiento y apertura del dosel, así como también de algunos factores ecológicos. García *et al.* (1992) menciona que el crecimiento e incremento en diámetro depende más del medio ambiente que la altura; y dentro de ciertos límites, el desarrollo del diámetro es mayor cuando hay más luz y espacio de crecimiento.

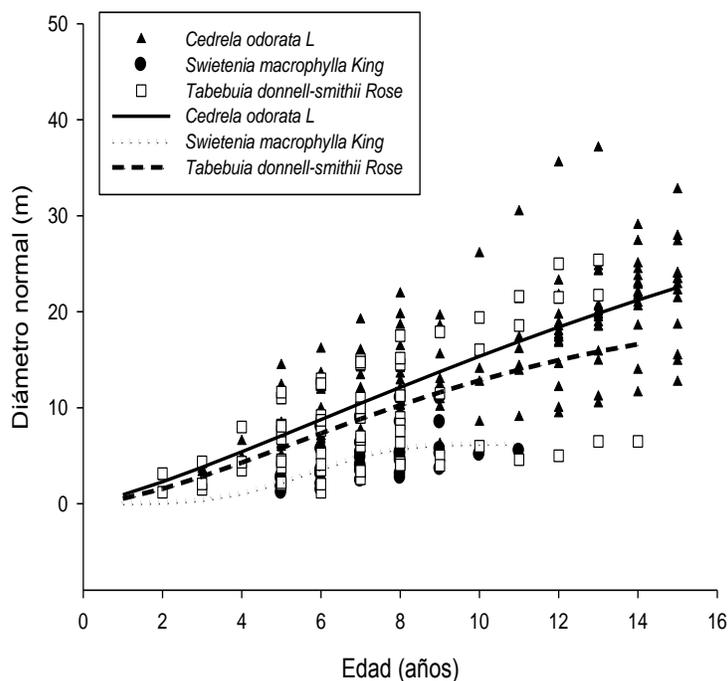


Figura 3. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y diámetro promedio, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

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

Para el crecimiento en altura promedio, en la especie de *Cedrela odorata* el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter fue el que presentó el mejor ajuste al obtener los valores más altos en el coeficiente de determinación R^2_{adj} 0.9560 y para *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii* el modelo de Weibull fue el que presentó una mejor bondad de ajuste, obteniendo los valores más altos de coeficiente de determinación R^2_{adj} para la primera especie fue de 0.8759 y la segunda de 0.8272 (Cuadro 3). Es importante mencionar que para cada una de las especies los tres modelos presentan poca variación en sus estadísticos (Apéndice 2).

Cuadro 3. Modelos de Schumacher modificado por Bailey & Clutter y Weibull como resultado de mejor ajuste en altura promedio para las tres especies tropicales diferentes.

Especie	Ecuación	Parámetros de regresión			R^2	R^2_{adj}	CME
		a	b	c			
<i>Cedrela odorata</i> L	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	4.315	4.52960	0.3758	0.9567	0.956	5.3049
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Weibull	5.8399	0.0122	2.4848	0.8863	0.8759	2.9892
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Weibull	16.1012	0.0426	1.4751	0.8342	0.8272	16.1015

R^2 =coeficiente de determinación, R^2_{Adj} =coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.

A diferencia del diámetro promedio, en la altura promedio *Cedrela odorata* mostró un crecimiento mayor los primeros años, pero a la edad de los seis años *Tabebuia donnell-smithii* alcanzó la misma altura que *Cedrela odorata* en donde se mantuvo así hasta la edad de los ocho años cuando empezó acelerar su crecimiento, a los 14 años

empezó nuevamente a estandarizarse al igual que la *Cedrela odorata*. Para *Swietenia macrophylla* su crecimiento es de la misma proporción que el diámetro promedio, en los primeros años tuvo un crecimiento acelerado, pero a la edad de seis años empezó estandarizar su crecimiento (Figura 4).

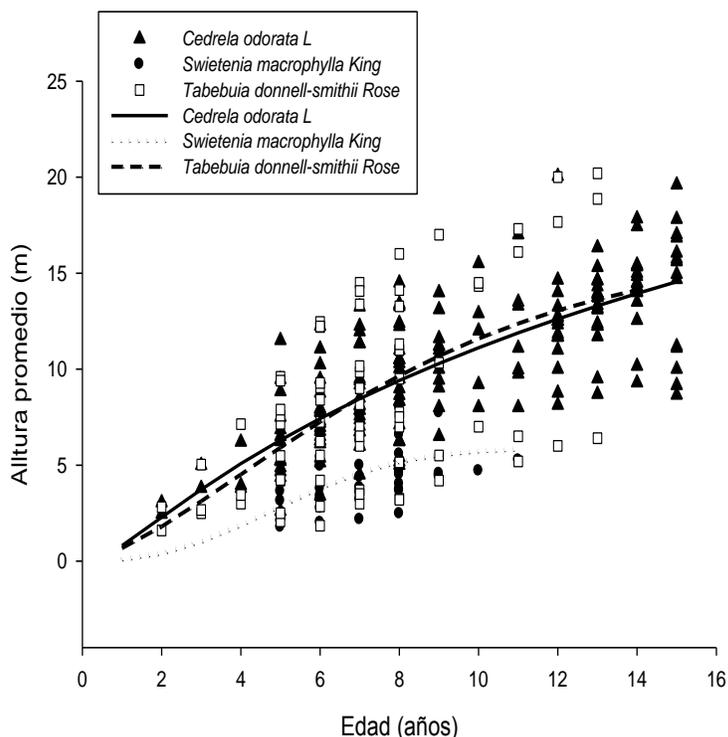


Figura 4. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y altura promedio, en las plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Comparando el estudio de Santiago (2012) en la especie de *Cedrela odorata* el modelo Chapman-Richards, mostró ser eficiente para modelar la altura promedio teniendo un coeficiente de determinación R^2_{adj} de 0.9563 mostrando en la curva de crecimiento ligeramente sigmoideal similar a este estudio, lo cual significa que el crecimiento para esta especie entre un año y otro no existe mucha diferencia. Por otra parte Reyes (2003) evaluó el crecimiento *Cedrela odorata* a los 18 meses de edad, en combinación con plantaciones de café a diferentes elevaciones en el Soconusco, Chiapas, en donde se encontró que los árboles con los mejores crecimientos se presentaron en las altitudes de 280 a 750 msnm, con alturas que variaron de 3 a 7.3 m

la especie manifiesta buen potencial de crecimiento a las condiciones edáficas y climáticas de la región. Comparado con este estudio a la misma edad la especie presentó una altura promedio de 2.5 m inferior a lo señalado por Reyes (2003), sin embargo, es importante señalar que los dos trabajos de investigación se realizaron en plantaciones de enriquecimiento de acahual, lo que nos indica que esta especie tiene un buen crecimiento. Reyes (2003) menciona que el crecimiento de los árboles de cedro se relaciona con la altura sobre el nivel del mar, con un mayor crecimiento en altura y diámetro a menor elevación.

4.3 Crecimiento en área basal *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Para poder obtener el mejor modelo de cada una de las especies se eligió en base al que presenta el mejor ajuste con el mayor coeficiente de determinación, en la especie *Cedrela odorata*, no hubo ni una sola diferencia en sus estadísticos de cada uno de los modelos. De acuerdo a Ramírez (1981) para la predicción del crecimiento hay una amplia variedad de modelos posibles a utilizar, pero el más manejado ha sido el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter, principalmente al modelar altura dominante y curvas de índice de sitio, en base a esto se decidió por este modelo la que presenta un R^2_{adj} 0.7563 (Cuadro 4). Para las especies *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia donnell-smithii* tampoco mostraron mucha variación en cada una de los modelos, pero se decidió por el mejor ajuste que fue la de Weibull con un (R^2_{adj}) de 0.5339 para *Swietenia macrophylla* y 0.5887 para *Tabebuia donnell-smithii* (Apéndice 3)

Los tres modelos de mejor ajuste para el crecimiento, por lo general es utilizado para árboles maduros de poblaciones naturales sin embargo se pueden utilizar en plantaciones bajo manejo 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 y el área basal de las especies con diferentes edades.

Cuadro 4. Modelos de Schumacher modificado por Bailey & Clutter y Weibull como resultado de mejor ajuste en área basal promedio para las tres especies tropicales diferentes.

Especie	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c			
<i>Cedrela odorata</i> L.	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.0926	12.11260	0.5057	0.7607	0.7563	0.000181
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Weibull	0.00349	0.000027	5.4159	0.5766	0.5339	0.0000049
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	Weibull	0.0265	0.0203	1.2068	0.6051	0.5887	0.000085

R²=coeficiente de determinación, R²_{Adj}=coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.

Al comparar las tres curvas de ajuste de cada especie en estudio, establecidas bajo las mismas condiciones de clima y de suelo. Se observó mediante una curva de crecimiento una clara superioridad para *Cedrela odorata*, con respecto a *Tabebuia donnell-smithii* y *Swietenia macrophylla* estas muestran un crecimiento estandarizado y más lento que *Cedrela odorata*.

En la (Figura 5) se puede observar que *Cedrela odorata* es la especie que muestra el mejor crecimiento encontrándose disperso muy arriba de la línea de ajuste, esto se debe a que algunos sitios se encuentran en terrenos con una exposición norte (N, NE Y NW). Debido a que son exposiciones donde se concentra mayor humedad y temperaturas menores creando así las mejores condiciones para el desarrollo y crecimiento, situación inversa a lo que sucede en la exposición sur (Colak, 2003). También se puede mencionar que el crecimiento para las otras dos especies estudiadas no es la más favorable, comparada con el cedro, por lo que están establecidas bajo un sistema de acahual y agroforestal, donde el bajo rendimiento puede deberse por la falta de un buen mantenimiento y apertura del dosel, las cuales no soportan la baja intensidad lumínica y la competencia con otras especies.

Montagnini *et al.*, (2006) menciona que es necesario la realización de ajustes en los tratamientos silviculturales para el establecimiento de la plantación y desarrollo de la regeneración entre las líneas.

Pero aún se trata de una plantación joven por lo tanto las especies estudiadas aún se encuentran en fase de crecimiento, tanto en altura, diámetro y área basal, la cual se puede observar en las curvas de ajuste que es casi lineal y conforme aumenta la edad de la plantación la curva sigue la misma tendencia (Figura 5).

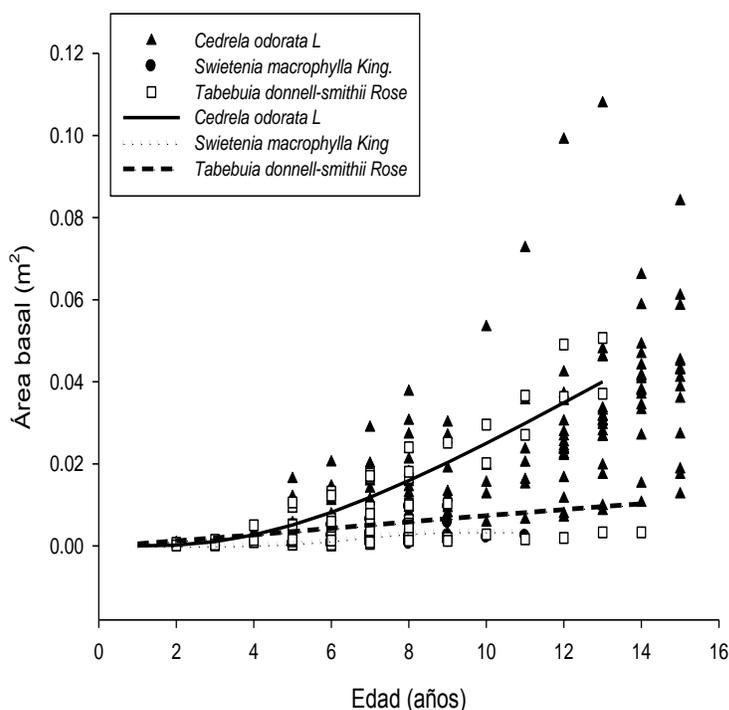


Figura 5. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para el Área basal.

4.4 Comparación de crecimientos en diámetro normal de *Cedrela odorata L.*, *Swietenia macrophylla King* y *Tabebuia donnell-smithii* Rose de un estudio previo.

En el crecimiento del diámetro normal de *Cedrela odorata* del año 2010 y 2011 tuvo la misma tendencia en ambas evaluaciones en cada uno Figura 6(A), comparado con *Tabebuia donnell-smithii* el crecimiento en los primeros cuatro años fue un poco mayor para la evaluación del 2010 pero a la edad de cinco años se empieza a

normalizar para ambas evaluaciones y a si muestran el mismo crecimiento hasta la edad actual Figura 6(B).

A)B)

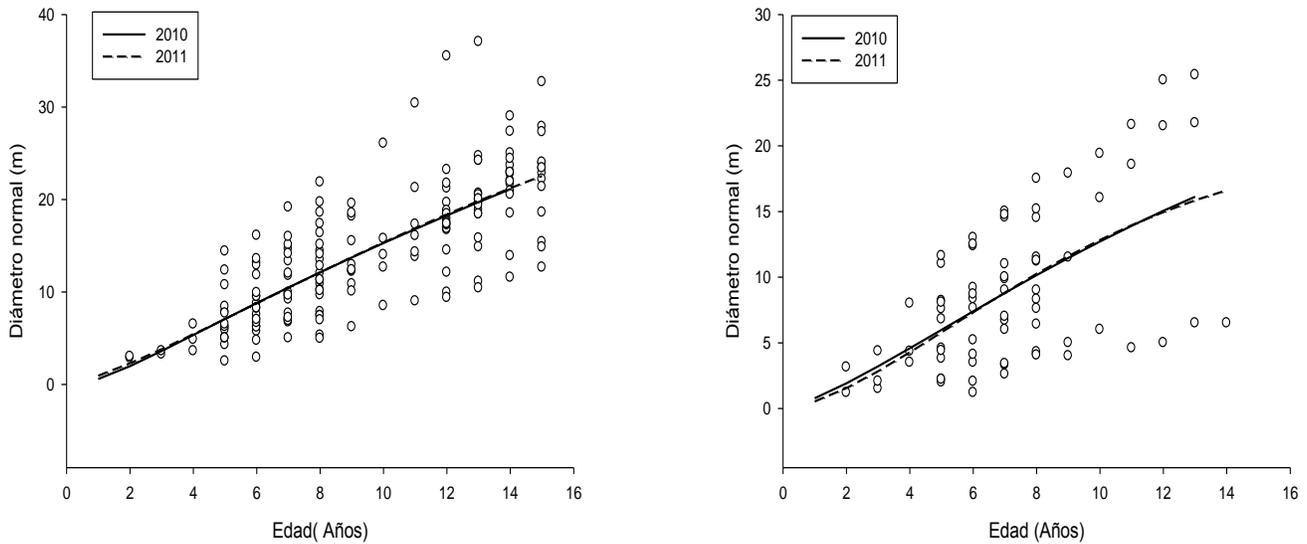


Figura 6. Comparación de las curvas de ajuste de edad-diámetro normal promedio de dos evaluaciones diferentes con las especies *Cedrela odorata*(A) y *Tabebuia donnell-smithii*(B).

La especie *Swietenia macrophylla* es la que mostró un crecimiento sigmoideal, variando en los diferentes años de edad, para los dos años, el estudio del 2011 es la que mostraba un crecimiento mayor hasta los seis años, que fue en donde ambos se emparejaron hasta los ocho años de edad, después de esto, nuevamente el estudio del 2011 presentó mayor crecimiento (Figura 7).

4.5 Comparación de crecimientos en altura promedio de *Cedrela odorata* L, *Swietenia macrophylla* King y *Tabebuia donnell-smithii* Rose de un estudio previo.

Para la especie *Cedrela odorata*, su crecimiento en ambas evaluaciones los primeros seis años mostró un crecimiento de tendencia normal, pero de los seis a los 12 años de edad el estudio del 2010 aceleró su crecimiento, en donde después de los 12 años volvió ajustarse nuevamente como en los primeros años Figura 8(A). Comparando con la especie *Tabebuia donnell-smithii* muestra un crecimiento contrario, en donde los primeros cinco años el estudio 2010 el crecimiento es mayor pero para la edad de seis

a ocho años se estandarizan las dos evaluaciones, después de los ocho años el estudio del 2011 sobrepasa su crecimiento Figura 8(B).

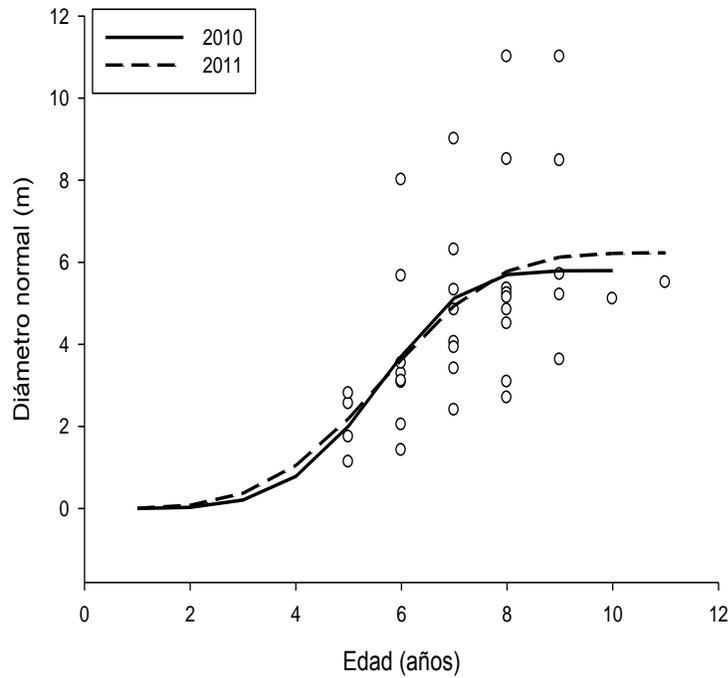


Figura 7. Comparación de las curvas de ajuste de edad-diámetro normal promedio de dos evaluaciones diferentes con la especie *Swietenia macrophylla* King.

A)B)

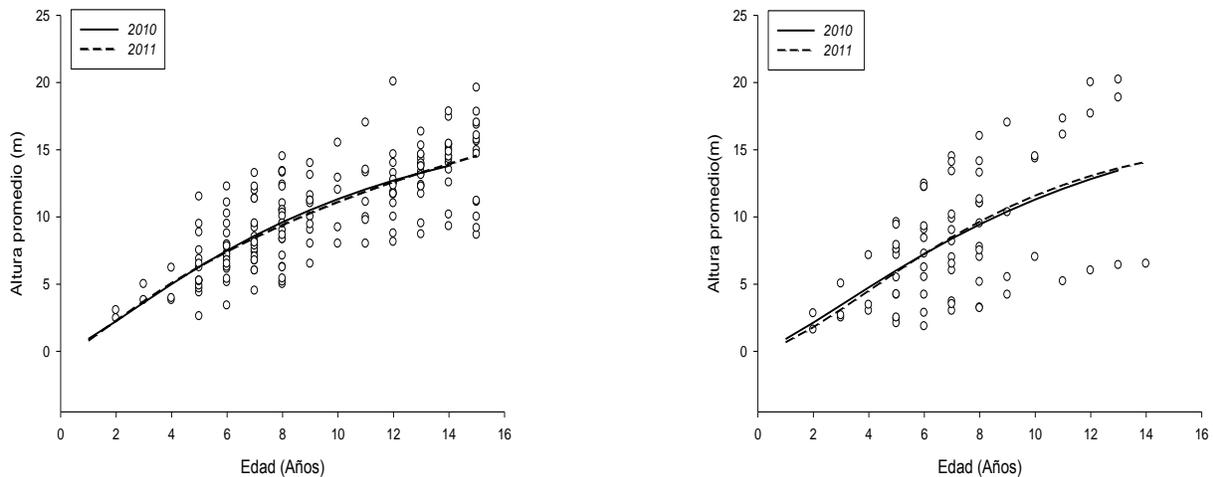


Figura 8. Comparación de las curvas de ajuste de edad-altura promedio de dos evaluaciones diferentes con las especies *Cedrela odorata* L (A) y *Tabebuia donnell-smithii* Rose (B).

En comparación con la especie *Swietenia macrophylla* el crecimiento es similar al de una curva ligeramente sigmoideal, al principio el estudio 2011 presentó un crecimiento mayor hasta los seis años de edad, en donde por dos años se mantuvo normal, para los ocho años nuevamente elevó su crecimiento hasta la edad actual (Figura 8). Klepac (1976) menciona que es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles esta menos influenciado por el medio ambiente que en diámetro. Para el incremento en altura es de gran importancia la cantidad de reservas materiales que acumula el árbol durante el último año, es importante mencionar que la culminación del incremento en altura ocurre más pronto en brotes de cepa que en los árboles provenientes de semilla, y la altura es más grande en brotes de cepa que individuos producidos por semillas. Sin embargo el ritmo de incremento en brotes de cepas comienza a decrecer más pronto y disminuye de manera más rápida que el proveniente de semilla. Pero el crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del medio ambiente, que el crecimiento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz.

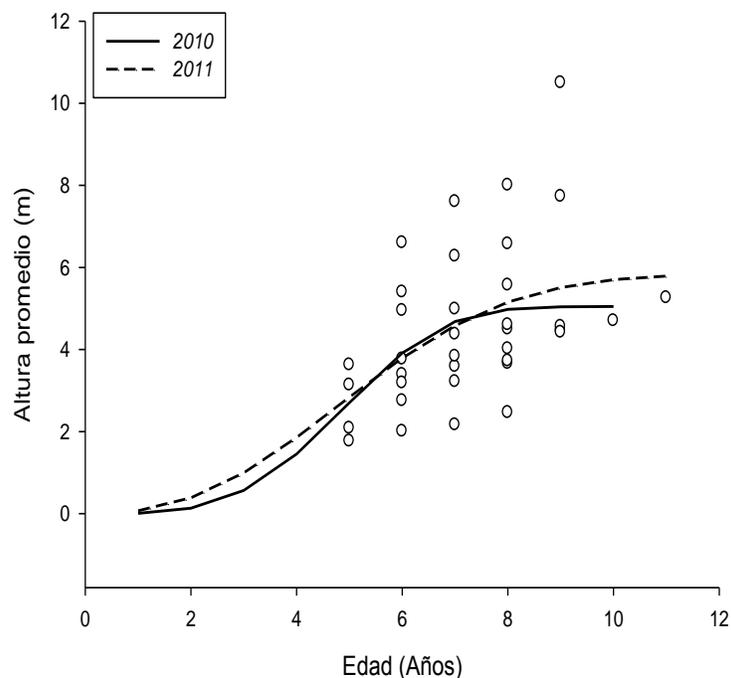


Figura9.Comparación de las curvas de ajuste de edad-altura promedio de dos evaluaciones diferentes con la especie *Swietenia macrophylla King*

5 CONCLUSIONES

De los modelos ajustados el modelo de Weibull fue el que presentó el mejor ajuste para las variables diámetro y área basal y para la variable altura el modelo que presentó el mejor ajuste fue la de Schumacher modificado por Bailey & Clutter. Sin embargo, los valores de los estadísticos de comportamiento entre cada uno de los modelos son similares.

El crecimiento de las especies estudiadas muestran una tendencia constante, es decir de una forma sigmoideal en las diferentes variables, como respuesta de una plantación joven.

Cedrela odorata L. fue la especie que presentó el mejor crecimiento en diámetro, altura y área basal, siguiéndole *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Swietenia macrophylla* King.

Las diferencias en crecimiento que se obtuvieron con el estudio realizado en el 2010 y con respecto al 2011 en las variables diámetro normal y altura total en las especies *Cedrela odorata* L y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, prácticamente tuvieron la misma tendencia en ambas evaluaciones, a excepción de *Swietenia macrophylla* que mostró un crecimiento ligeramente sigmoideal, en donde se notó la diferencia del crecimiento en cada una de las evaluaciones para cada una de las variables.

6 RECOMENDACIONES

Para poder conocer la tendencia de crecimiento hasta el turno de aprovechamiento, los efectos del acahual, sistemas agroforestales y los disturbios así como el manejo de la plantación es importante seguir monitoreando los sitios de muestreo permanentes.

Remarcar los sitios, y renumerar los árboles de cada una de las especies para llevar un mejor control al realizar las evaluaciones correspondientes.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar R, M. 1997. Estudio de crecimiento de *Pinus douglasiana* Martínez y *Pinus lawsonii* Roetzl en la región central de Michoacán. *Ciencia Forestal*. 22 (81): 41-70.
- Arano S., G., J. A. Torres P., B. Arteaga M. y J. Santillán P. 2006. Evaluaciones de las Plantaciones establecidas por el PRODEPLAN en el sur de Veracruz (1998-2003). Maestría en Ciencias en Forestales. Colegio de Postgraduados. México. 20 p.
- Arteaga M., B. y C. Izaguirre R. 2004., Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación., *Foresta veracruzana*, 6(1): 45-51.
- Betancourt A., B., 1999. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. p.427+ 4 imágenes.
- Caballero D., M. 2000. La actividad forestal en México. Tomo I. 1° Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 275 p.
- Colak, A. 2003. Effects of microsite conditions on scots pine (*Pinussylvestris*L.) seedlings in high-elevations plantings. *FortswissenschaftlichesCentralblatt*. 122(1): 36-46.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000a. Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020090. [En línea]. San Pedro Pochutla, Oaxaca. [Fecha de consulta: 31 de Mayo 2011]. Disponible en:<http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75>.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2000b. Servicio Meteorológico Nacional. Normas Climatológicas 1971-2000, Estación: 00020089. [En línea]. Pluma Hidalgo, Oaxaca. [Fecha de consulta: 31 de Mayo 2011]. Disponible en: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75>.
- Conafor. (s.f.). Situación actual y perspectivas de las Plantaciones Forestales Comerciales en México Conafor. Zapopan, Jalisco.472p.

- Dirección General de Geografía del Territorio Nacional e Informática. 1981. Carta Hidrológica Aguas Superficiales México. Escala 1: 1, 000, 000.
- FAO. Situación de los bosques del mundo 1999. En línea [Fecha de consulta: 05 julio 2012]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w9950s/w9950s00.htm>.
- 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.
- Galán L. R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuals en el sur de Oaxaca. Tesis maestría. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.
- García P., V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 92 p.
- García, C. X., C. Lezama P. y B. R Santiago R. 1992. Modelo de crecimiento para una plantación de *Swieteniamacrophylla* 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, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D. F. 217 p.
- Imaña E, J. y O. Encinas B. 2008. *Epidometría forestal*. 1ra Edición. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. 69. p.
- INEGI. 1984. Carta de uso del suelo y vegetación. Puerto Escondido. D14-3. Escala 1:250,000. Oaxaca, México.
- INEGI. 1995. San Pedro Pochutla, Estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 127 p.
- INEGI. 2000. Carta topográfica. San José Chacalapa. D14B18. Escala 1:50,000. Oaxaca, México.
- INEGI. 2005. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Pochutla, Oaxaca. Clave geoestadística 20324.

- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 365 p.
- López J., L. A., V. Sánchez M., y E. Hernández M., 2010. Crecimiento inicial de una plantación mixta de especies tropicales en Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Pecuarias, Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC), Campo Experimental del Palmar. 16p.
- López T., G. 2007. Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla, Puebla. 8 p.
- Monreal R., S., B. 2005. Las plantaciones forestales comerciales, una alternativa real para el campo mexicano. *In* Memoria del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales (memorias). 26-28 de Octubre. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih., México. P. 516.
- Montagnini, F., M. Brewer, B. Eibl y R. Fernández. 2006. Estrategias para la restauración de paisajes forestales. Experiencias en Misiones, Argentina. *In*: Memoria del II Congreso Forestal Latinoamericano. IUFRO. Talca, Chile. 13 p.
- Navarro, C. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla King*) en Mesoamérica, Silvicultura-Genética. Centro Científico Tropical. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo. 30 p.
- Parraguirre L., C. 1993. Métodos de enriquecimiento de las selvas de Quintana Roo. *Ciencia Forestal en México*. 18 (74): 65-79.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 1998. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Fondo 43 de la Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 521 p.
- Pérez J, F., I. Contreras R., A. Sol S. y V. Calderón B. 2011. Manejo y uso actual de acahuals en los Municipios de Centro y Macuspana, Tabasco. *In* memoria del X Congreso Mexicano de Recursos Forestales (memorias). 22-25 Noviembre. Pachuca, Hidalgo, México. P.8.
- Prieto R., J.A. 2006. Establecimiento de plantaciones forestales. 26. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle Del Guadiana Durango. 47 p.

- Ramírez A., H. 1981. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Revista Ciencia Forestal en México*. 16(70):87-108.
- Reyes R., J. y J. Upton J., 2003. Crecimiento del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Am.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del Soconusco, Chiapas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 9(2):137-142.
- Sampayo M, S., J. González Q y M. M Silvia S. 2010. Dinámica de crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, en río Bravo, Tamaulipas. *In: Memoria del V Reunión Nacional de Innovación Forestal*. 22-27 de Noviembre. Campeche, México. 78 p.
- Sandoval G., R. 2010. Crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales de plantaciones comerciales en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 46 p.
- Santiago G., B. 2012. Análisis de crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales en plantaciones de enriquecimiento en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 68p.
- Sosa C., V. E. 2008 Programa estratégico forestal del estado de Oaxaca 2007-2030. Gobierno del estado de Oaxaca, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional Forestal. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, México. 253p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Uk. 312 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro promedio de tres especies tropicales, en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Cedrela odorata L

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	6.7941	7.2183	0.2494	0.9208	0.9195	20.4492
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	-312.1	-0.00118	4.0000	0.9206	0.9197	20.3823
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	41.377 1	0.0230	1.3044	0.9209	0.9195	20.4432

Swietenia macrophylla King

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	1.9153	911.1	4.1045	0.8499	0.8363	4.7353
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	8.256	0.654	3.220	0.8361	0.8264	5.0215
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	6.2297	0.000909	3.8332	0.8505	0.8369	4.7177

Tabebuia donnell-smithii Rose

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	5.0097	5.9841	0.3841	0.7970	0.7885	24.1737
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	593.5	0.00104	2.0000	0.7920	0.7803	24.356
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	20.421	0.0267	1.5694	0.7976	0.7892	24.1019

Apéndice 2. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura promedio de tres especies tropicales, en plantaciones con enriquecimiento de acahual y agroforestal en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca

Cedrela odorata L

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	4.3150	4.5296	0.3758	0.9567	0.9560	5.3049
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	21.302	0.0828	1.1271	0.9567	0.9559	5.3049
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	20.805	0.0620	1.0924	0.9567	0.9559	5.3083

Swietenia macrophylla King

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	1.8672	73.05	2.7593	0.8862	0.8759	2.99
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	17.873	-0.0323	-1.256	0.8835	0.8767	2.9699
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	5.8399	0.0122	2.4818	0.8863	0.8759	2.9892

Tabebuia donnell-smithii Rose

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	3.9043	4.8728	0.5213	0.8336	0.8266	16.1538
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	33.923	0.0289	1.3862	0.8316	0.8270	16.0187
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	16.101	0.0426	1.4751	0.8342	0.8272	16.1015

Apéndice 3. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para el área basal de tres especies tropicales, en plantaciones con enriquecimiento de acahual y agroforestal en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Cedrela odorata L.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	0.0926	12.1126	0.5057	0.7607	0.7563	0.000181
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	0.1034	0.0936	3.2244	0.7607	0.7563	0.000181
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	0.0630	0.00144	2.4426	0.7607	0.7563	0.000181

Swietenia macrophylla King

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	-5.5786	9783.8	5.1147	0.5740	0.5311	0.000004
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	0.0036	0.8467	160.8	0.5740	0.5320	0.000004
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	0.0034	0.000027	5.4159	0.5766	0.5339	0.000004

Tabebuia donnell-smithii Rose

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado Por Bailey & Clutter	$y = \exp(a(b/E^c))$	-2.0590	16.5945	0.9069	0.5987	0.5838	0.000086
Chapman-Richards	$y = a(1 - \exp(-(a(bE^c)))$	0.0403	0.1976	5.9232	0.6006	0.5838	0.000086
Weibull	$y = a(1 - \exp(-(bE^c)))$	0.0265	0.0203	1.2068	0.6051	0.5887	0.000085