

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento y Turno Absoluto en Plantaciones de *Cedrela odorata* L. y  
*Tabebuia donnell-smithii* Rose en San Pedro Pochutla, Oaxaca

Por:

**LIZETH AVENDAÑO LÓPEZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento y Turno Absoluto en Plantaciones de *Cedrela odorata* L. y  
*Tabebuia donnell-smithii* Rose en San Pedro Pochutla, Oaxaca

Por:

**LIZETH AVENDAÑO LÓPEZ**


TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO FORESTAL**

Aprobada por el Comité de Asesoría



  
Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal



Dr. Jorge Méndez González

Coasesor

  
Ing. Juan Morales Hernández

Coasesor

  
Dr. Gabriel Gallegos Morales

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2018

Este proyecto de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38111-425103001-2175, a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

## DEDICATORIA

A mi madre, Claudia López López por todo el amor y apoyo incondicional que me ha brindado y confiar en mí y ayudarme a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, porque siempre serás la persona más importante en mi vida. Por todo el esfuerzo que has hecho para poder terminar mi carrera profesional, por los consejos recibidos, por los ánimos, por nunca dejarme caer y estar ahí en los momentos difíciles.

A mis queridos hermanos, Esmeralda Avendaño López y Uriel Avendaño López, por todo el cariño y amor que me han dado, por todos los momentos vividos y estar ahí en las buenas y en las malas, apoyándonos incondicional, porque a pesar de la distancia, siempre los sentiré cerca.

A mis tíos, Alejandro López López y Cristina R. Sánchez Chávez por cuidarme, apoyarme en todo momento y por el amor que me han brindado, porque en ustedes encontré a mis segundos padres, porque este logro es gracias a ustedes. Por todos los consejos que me han dado, por guiarme, y hacer de mí una mejor persona y han confiado en mí.

A mis primos, Yesenia López Sánchez, Misael López Sánchez y Leonila López Sánchez porque para mí siempre serán mis hermanos, gracias por todos los momentos compartidos desde niños, por todo el cariño y consejos brindados.

A mi tío, Liborio López López, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado, por estar ahí en las buenas y malas, gracias por sus consejos y cariño, porque usted ha sido mi ejemplo a seguir.

A mi familia, extendiendo un agradecimiento infinito a todos mis tíos, primos, sobrinos y a mi abuelito Emilio M. López Cruz (†), porque sin ustedes no hubiera podido cumplir esta meta, porque son la parte más importante en mi vida, y han sido mi impulso día a día.

A mis amigos, Reina de J. Arredondo D., Jazmín Martínez V., Merari M. Velázquez C. María de Lourdes Mauro L., por apoyarme en todo momento durante la carrera, por la confianza y el cariño, por todos esos gratos momentos compartidos, porque ustedes son la familia que pude elegir.

## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente y brindarme los conocimientos necesarios.

Al Dr. Celestino Flores López, por su excelencia como profesor, por darme la oportunidad de realizar este trabajo, por la disponibilidad para las asesorías y por los conocimientos obtenidos y por todo el apoyo y consejos durante la carrera.

Al Dr. Jorge Méndez González, por todo el apoyo y los consejos brindados para mi formación profesional, por su amistad y contribución para realizar este trabajo.

Al Ing. Juan Morales Hernández, por su disposición y las facilidades para haber realizado la evaluación de las plantaciones para el presente trabajo y todo el apoyo durante los días de la evaluación.

Al M.C. José Aniseto Díaz Balderas, M.C. Héctor Darío González e Ing. José Jil Cabrera Hernández por todo su apoyo moral durante mi estancia en la universidad, por los consejos y por su amistad.

A todos los profesores del Departamento Forestal, por todos los conocimientos y experiencias transmitidas para mi formación profesional y por confiar en mí.

A mis queridos amigos Alejandro Gómez. G., Freddy Chipol. H., Alejandra Castro. A., Feliciano Senovio. P., Suriel Santiago. G., Pablo Garcés. V., Eli I. Calvo. V., Carlos A. Hernández. H., Flor I. García. L., y Jesús Pérez D. por todos los momentos compartidos en el transcurso de este tiempo, porque ustedes me han enseñado que se necesita tener mucha fortaleza y paciencia para alcanzar nuestras metas, porque con ustedes compartí grandes historias. Me llevo gratos recuerdos de ustedes, gracias por estar presentes en mi vida.

Jazmín Martínez. V., Merari M. Velázquez. C., Reina Arredondo D., Jesús Deceano S., Jonatan Sánchez T., Lorenzo Montalvo A., Lourdes Ortiz. O., y María de L. Mauro. J., por estar en todo momento conmigo, por enseñarme lo que es la verdadera amistad, gracias por confiar en mí y estar ahí en las buenas y en las malas.

Abraham Eleazar Beh, Daniel Anchevida, Elizabeth Estrada, Jetzabel Martínez, Daniela Sánchez H., Kevin Olvera, Hugo Vargas, Armando León, Juan P. De La Rosa, Cristian González y Saul Hernández, por apoyarme y hacer que mi Estancia en la Universidad Autónoma Chapingo fuera más agradable, por brindarme su amistad y su confianza.

A los trabajadores de las plantaciones a Leobardo Ambrosio V, Miguel Hernández P., y Javier Pedro R. así como a María de L. Mauro, Merari M. Velázquez y Saul Hernández por su disposición y apoyo para las evaluaciones.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Página	
ÍNDICE DE CUADROS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivo general .....	3
1.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 Hipótesis.....	4
1 REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
2.1 Situación de los bosques tropicales en México.....	5
2.2 Plantaciones forestales comerciales en el trópico mexicano .....	6
2.3 Descripción de las especies estudiadas .....	7
2.3.1 <i>Cedrela odorata</i> L. ....	7
2.3.2 <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	7
2.3 Crecimiento de árboles .....	8
2.4 Modelos de crecimiento en especies tropicales y determinación de turnos.....	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS .....	14
3.1 Localización del área de estudio.....	14
3.2 Aspectos ecológicos .....	15
3.3 Antecedentes de la plantación .....	18
3.3.1 Diseño de muestreo y establecimiento de sitios permanentes .....	18
3.4 Variables dasométricas evaluadas.....	19
3.5 Modelos de crecimiento y estadísticos de comparación .....	19

3.6 Determinación de turno absoluto .....	20
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Crecimiento y comparación en altura promedio para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	22
4.2 Crecimiento y comparación en diámetro para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	25
4.3 Crecimiento y comparación en área basal para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	28
4.4 Determinación de Turno absoluto en Altura, diámetro y área basal para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	32
4.4.1 Determinación del turno absoluto en altura para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	33
4.4.2 Determinación del turno absoluto en diámetro para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	36
4.4.2 Determinación del turno absoluto en área basal para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.....	39
5 CONCLUSIONES.....	42
6 RECOMENDACIONES .....	43
7 LITERATURA CITADA.....	44
APÉNDICES.....	49



## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Estudios en crecimiento y turno de especies tropicales. ....	12
Cuadro 2. Aspectos ecológicos de los predios estudiados en San José Chacalapa y Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca. ....	17
Cuadro 3. Modelos utilizados para la estimación del crecimiento en diámetro, área basal y altura para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose. ....	20
Cuadro 4. Ecuaciones para estimar incremento de altura, diámetro a 1.30 y área basal. ....	21
Cuadro 5. Modelos de mejor ajuste en altura promedio para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose. ....	22
Cuadro 6. Promedios de edad y altura de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-</i> <i>smithii</i> Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca. ....	24
Cuadro 7. Modelos de mejor ajuste en diámetro para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose. ....	25
Cuadro 8. Promedios de edad y diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca. ....	26
Cuadro 9. Modelos de mejor ajuste en área basal para <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose. ....	29
Cuadro 10. Promedios de edad y área basal de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca. ....	30
Cuadro 11. Comparación de la edad a la que se encontraron el ICA e IMA con trabajos realizados de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose, en diferentes periodos en plantaciones forestales en Pochutla, Oaxaca. ....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Localización geográfica de las plantaciones forestales comerciales de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose. en San Jose Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. ....	14
Figura 2. Localización geográfica de las plantaciones forestales comerciales de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose. en Santiago la Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.....	15
Figura 3. Comparación de altura y edad promedio de las plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose entre predios de Pochutla, Oaxaca.....	23
Figura 4. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y altura de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, San Pedro Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. ....	24
Figura 5. Comparación de diámetro y edad de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose entre predios de Pochutla Oaxaca. ....	27
Figura 6. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y diámetro de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. ....	28
Figura 7. Comparación de área basal y edad de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose entre predios de Pochutla Oaxaca.....	30
Figura 8. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y área basal de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca. ....	31
Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura para <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose (superior) y curvas de ICA e IMA altura (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentran el turno absoluto.....	34
Figura 10. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura para <i>Cedrela odorata</i> L.	

(superior) y curvas de ICA e IMA altura (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentran el turno absoluto.....	35
Figura 11. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro para <i>Cedrela odorata</i> L. (superior) y curvas de ICA e IMA en diámetro (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	37
Figura 12. Diagrama de dispersión de datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro para <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose (superior) y curvas de ICA e IMA en diámetro (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	38
Figura 13. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal para <i>Cedrela odorata</i> L. (superior) y curvas de ICA e IMA en área basal (inferior).La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	40
Figura 14. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal para <i>Tabebuia donell-smithii</i> Rose. (superior) y curvas de ICA e IMA en área basal (inferior).....	41

## RESUMEN

Este trabajo se realizó con el fin generar información sobre el crecimiento y turno absoluto de plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en plantaciones mixtas y bajo sistemas agroforestales en San José Chacalapa, Municipio de San Pedro Pochutla y en Santiago La Galera, Municipio de Candelaria Loxicha Oaxaca.

Se evaluaron 40 sitios permanentes de forma circular de 250 m<sup>2</sup>, de los cuales se remidieron las variables de altura total, diámetro a 30 cm y diámetro a 1.30 m del suelo, grosor de corteza y diámetro de copa.

De los datos obtenidos únicamente se utilizaron las variables de diámetro a 1.30 m, altura y área basal de los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2015 y 2017, en base a esto se determinó el crecimiento de las dos especies, utilizando los modelos de Chapman-Richards, Gompertz, Logístico, Schumacher modificado por Bailey & Clutter y Weibull. Se eligieron, para determinar el mejor modelo de ajuste.

El mejor modelo que ajusto para las variables de altura y diámetro para las dos especies fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter, y para la variable de área basal para las dos especies fue Weibull. De las especies evaluadas *Cedrela odorata* L. mostró un mejor crecimiento que *Tabebuia donnell-smithii* Rose., las dos especies mostraron un crecimiento sigmoideal. Para *Cedrela odorata* L. La mayoría de las variables alcanzaron su turno absoluto, el Incremento Medio Anual (IMA) máximo para altura fue a los 4 años, para diámetro a los 4 años y área basal 17 años. Para *Tabebuia donnell-smithii* Rose., en altura el IMA máximo para altura fue a los 6 años, para diámetro a los 5 años y para área basal aún no ha alcanzado el turno absoluto.

Palabras claves: Crecimiento, modelos de crecimiento, turno absoluto, *Cedrela odorata* L., *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

## ABSTRACT

This work was carried out in order to generate information on the growth and rotation age of plantations of *Cedrela odorata* L. and *Tabebuia donnell-smithii* Rose in mixed plantations and under agroforestry systems in San José Chacalapa, municipality of San Pedro Pochutla and in Santiago La Galera, municipality of Candelaria Loxicha Oaxaca.

40 permanent circular sites of 250 m<sup>2</sup> were evaluated, of which the variables of total height, diameter at 30 cm and diameter at 1.30 m of the soil, crust thickness and cup diameter were measured.

From the data obtained only the variables of diameter were used to 1.30 m, height and basal area of the years 2010, 2011, 2012, 2013, 2015 and 2017, based on this was determined the growth of the two species, using the models of Chapman-Richards, Gompertz, Logistical, Schumacher modified by Bailey & Clutter and Weibull. They were chosen to determine the best fit model.

The best model that I adjust for the variables of height and diameter for the two species was that of Schumacher modified by Bailey & Clutter, and for the variable of basal area for the two species was Weibull. Of the species evaluated *Cedrela odorata* L. Showed a better growth than *Tabebuia donnell-smithii* Rose. The two species showed a sigmoidal growth. For *Cedrela odorata* L. Most of the variables reached their rotation age, the maximum annual average increase (IMA) for height was at 4 years, for diameter at 4 years and basal area 17 years. For *Tabebuia Donnell-smithii* Rose., in height the maximum IMA for height was at 6 years, for diameter at 5 years and for basal area has not yet reached the rotation age.

Keywords: Growth, growth models, rotation age, *Cedrela odorata* L., *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

## 1 INTRODUCCIÓN

La actividad de las plantaciones forestales comerciales en México ha tomado gran importancia en las últimas décadas, esto debido a los beneficios obtenidos como son: derramas económicas, obtención de mayor volumen de madera a diferencia de los bosques naturales, restauración de áreas deforestadas, aprovechamiento racional, entre otros (Zárate, 2010).

México está considerado como uno de los países de gran potencial forestal; sin embargo la superficie forestal se ha visto disminuyendo en las últimas décadas, perdiendo así alrededor del 2% de la cubierta boscosa por año; las causas se deben principalmente a los incendios, desmontes, sobrepastoreo, plagas y enfermedades, y daños antropogénicos. Es por esto que las plantaciones forestales comerciales presentan características favorables ante la pérdida de áreas boscosas (Carlson, 2004).

Para eso 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. A demás 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).

Entre los tipos de plantación que existen podemos encontrar una clasificación de acuerdo a sus objetivos; como pueden ser plantaciones de protección y conservación, estas consisten principalmente en la conservación de suelo y agua, conservación de especies o genotipos, estabilización de pendientes y protección frente a vientos. Por otra parte están las plantaciones comerciales, éstas en su caso, los productos obtenidos son para fines industriales: como madera para aserrío, celulosa, fibras, árboles para navidad, entre otros; energéticas: para producción de leña; ornamentales: arquitectura de paisaje; y producción de semillas mejoradas (Carlson, 2004).

Por lo tanto, el desarrollo de las plantaciones forestales comerciales es complementario con el aprovechamiento sustentable del potencial que tienen los bosques y las selvas naturales esto debido a su ubicación geográfica lo cual hace que

las condiciones de suelo y clima sean favorables para del crecimiento y desarrollo de las especies arbóreas (Martínez *et al.*, 2006). En este sentido, en México los estados con mayor superficie de plantaciones forestales comerciales son Veracruz, Tabasco y Campeche, los cuales suman alrededor del 60% del total de la superficie plantada en el país. Los principales géneros plantados son *Eucalyptus* y *Pinus*, y junto con la especie de *Cedrela odorata* L. cubren una superficie de alrededor del 55% del total plantado. A demás de las especies de rápido crecimiento que generalmente se plantan son eucalipto (*Eucalyptus sp*), melina (*Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm) y la teca (*Tectona grandis* L.f.). Aunque también existen una gran variedad de especies tropicales que han sido plantados (CONAFOR, s.f.).

A pesar de las especies introducidas de rápido crecimiento, existen plantaciones forestales comerciales de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y la caoba (*Swietenia macrophylla* king) que son muy importantes, ya que son especies locales que se distribuyen de forma natural en las vertientes del pacifico y el golfo de México, además de que son especies de gran valor económico en el país, debido a que su madera es considerada una madera preciosa. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) también tiene una gran importancia ecológica, ya que se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo protección especial (CONABIO, s.f.).

Por otra parte, también existen plantaciones forestales comerciales en menor escala con especies como *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., *Tectona grandis* L.f., *Gmelina arborea* Robx ex Sm, *Tabebuia rosea* (Bertol) DC, *Ceiba pentandra* (L) Gaertn, *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb, entre otras y son importantes como maderas preciosas. A pesar de muchas plantaciones que se tienen en el país, no se tiene suficientes estudios y monitoreo de su crecimiento. En este sentido se pierde la experiencia y el conocimiento sobre los turnos de acuerdo a tratamientos y manejo silvícolas que se le dan. Para esto, se conoce que el turno absoluto como el momento del máximo valor económico de los productos a extraer de una especie y dado a esto se tiene el tiempo medio que se debe esperar para el aprovechamiento maderable de calidad (Angulo *et al.*, 2003). Por otra parte, desde el punto de vista económico, el turno es conocido como el periodo de inversión y por esto se consideran aspectos de rentabilidad para la determinación de turnos (SARH, 1985).

Es por esto que en el estado de Oaxaca se han establecido plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, en estas áreas por poseer selva baja, esto como una forma de enriquecer acahuales a través de las plantaciones forestales comerciales con especies nativas. Por lo tanto se pretende evaluar las especies de cedro rojo y primavera a 20 años de su establecimiento. Es por ello que la presente investigación permitirá evaluar la productividad en las plantaciones forestales comerciales establecidas en San José Chacala y con el propósito de brindar información acerca del crecimiento que ha obtenido la plantación de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

### 1.1 Objetivo general

Estimar y comparar el crecimiento y turno absoluto en diámetro a 1.30 m, altura y área basal a través de modelos de crecimiento para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose en plantaciones establecidas en diferentes periodos (a partir de 1997) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

### 1.2 Objetivos específicos

- Estimar el crecimiento en diámetro a 1.30 m, altura y área basal a través de modelos de crecimiento para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.
- Comparar las curvas de crecimiento en diámetro a 1.30 m, altura y área basal a través de modelos de crecimiento para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.
- Determinar el turno absoluto en diámetro a 1.30 m, altura y área basal para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.



### 1.3 Hipótesis

Ho. *Cedrela odorata* L. alcanzó el turno absoluto por lo menos en alguna de las tres variables a 21 años de establecidas las plantaciones.

Ha. *Cedrela odorata* L. no alcanzó el turno absoluto en ninguna variable a los 21 años de la plantación.

Ho. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. alcanzó el turno absoluto por lo menos en alguna de las tres variables a 19 años de establecidas las plantaciones.

Ha. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. no alcanzó el turno absoluto en ninguna variable a los 19 años de establecida las plantaciones.

## 2 REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Situación de los bosques tropicales en México

Se estima que los bosques tropicales originalmente cubrían una superficie de 29 millones de hectáreas, de las cuales a principios del siglo veinte quedaban 21 millones de hectáreas y casi 20 millones en 1950. Durante la década de los años cincuenta desaparecieron más de dos millones de hectáreas y otros dos y medio millones entre 1960 y 1975; por lo tanto durante 25 años el ritmo de deforestación fue constante de 200 mil hectáreas anuales. Posteriormente el ritmo aumentó a más de 350 mil hectáreas por año; para 1976 la extensión de bosques tropicales era de 15 millones de hectáreas y no más de 11.4 millones en 1986. Las causas de la pérdida de la cobertura vegetal antes señalada obedecieron a la intervención humana principalmente a través de los programas gubernamentales de colonización de las tierras forestales y las roturaciones individuales de la agricultura migratoria (FAO, 1993).

Para el año 2014 México contaba con una superficie de 138 millones de hectáreas de cubierta vegetal, de los cuales del 21.7% corresponde a la vegetación de selvas. Es importante mencionar que los ecosistemas terrestres naturales ha presentado grandes cambios debido a la presencia de factores de deterioro, como son el sobrepastoreo, los incendios forestales dañinos, la tala clandestina, la extracción de tierra de monte, la minería a cielo abierto, las plagas y enfermedades forestales, las prácticas de manejo inadecuadas, pero sobre todo, a los procesos de expansión de otros usos de suelo que se han registrado en el país con el fin de utilizar las superficies para desarrollar otras actividades productivas (SEMARNAT, 2014).

Tal es el caso de los bosques tropicales en el sureste del país, en donde aún se realizan las prácticas de tumba rosa y quema, para la agricultura, y después tienden a abandonar los terrenos, surgiendo así un proceso natural de regeneración de vegetación, el cual sucede a partir de los cinco años (Pérez *et al.*, 2011).

## 2.2 Plantaciones forestales comerciales en el trópico mexicano

De acuerdo con la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF, 2018) una plantación forestal comercial consiste en el establecimiento, cultivo y manejo de vegetación forestal en terrenos temporalmente forestales o preferentemente forestales, cuyo objetivo principal es la producción de materia prima destinada para su industrialización y/o comercialización.

El establecimiento de las plantaciones forestales permiten la restauración y recuperación de la diversidad biológica, esto al disminuir la presión sobre el uso de los recursos forestales naturales, mejorar los ciclos hidrológicos, la recarga de los mantos acuíferos, la calidad del agua y restablecen el hábitat de la fauna silvestre (CONAFOR, s.f.). México cuenta con muchas ventajas en cuanto a las plantaciones forestales comerciales por las condiciones de clima, suelo y posición geográfica (SEMARNAT, 2014).

En México las plantaciones forestales se iniciaron entre los años 60's, esto a través de algunas empresas concesionarias de aprovechamiento forestales (Arteaga e Izaguirre, 2004). Se estima que para el 2008 en México las plantaciones forestales comerciales en el trópico cubrían una superficie de 83 mil ha, que corresponde al 83% del total de la superficie plantada. De los cuales los géneros de *Cedrela* y *Swietenia*, *Eucalyptus*, *Tectona* y *Gmelina* cubren la mayor superficie en plantaciones forestales comerciales tropicales en el país. Sin embargo existen más plantaciones con especies tropicales pero en menor superficie (CONAFOR, 2006).

Las maderas preciosas siempre han tenido buena aceptación dentro de los mercados tanto nacionales como extranjeros y con precios elevados a diferencia de otras especies, teniendo una baja producción a nivel nacional provocando así una gran demanda de estas. Teniendo en cuenta que dentro de las maderas preciosas se encuentran el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) caoba (*Swietenia macrophylla* King), teca (*Tectona grandis* L.f.), ébano (*Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose, el nogal (*Juglans regia* L.) que son las más importantes (Rojas, 1995).

## 2.3 Descripción de las especies estudiadas

### 2.3.1 *Cedrela odorata* L.

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie arbórea de amplia distribución en las zonas tropicales, ya que crece principalmente en selvas altas y medianas perennifolias, su distribución en la vertiente del golfo de México, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí hasta la península de Yucatán. En la vertiente del pacífico, desde Sinaloa hasta Guerrero, y desde la depresión central hasta la costa de Chiapas. Esta especie tiene mejor crecimiento y desarrollo en lugares donde las precipitaciones van desde los 2,500 a 4,000 mm anuales (Salazar *et al.*, 2000).

Pertenece a la familia Meliaceae; su principal sinónimo es *Cedrela mexicana* M. Roem. Este árbol puede llegar a medir hasta 35 m de altura y alcanza 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 (Pennington y Sarukhán, 1998).

### 2.3.2 *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Pertenece a la familia de las Bignonaceae, *Tabebuia donnell-smithii* Rose. es conocido comúnmente como primavera. 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 digitadas 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 principalmente en la vertiente del pacífico desde el estado de Nayarit hasta Chiapas y en la vertiente del

golfo desde Tabasco y Veracruz. Su madera es de color crema, y es muy apreciada para la fabricación de muebles (Pennington y Sarukhán, 1998).

### 2.3 Crecimiento de árboles

El crecimiento puede definirse como el desarrollo que experimentan los árboles a lo largo de su vida, en otras palabras, se refiere al aumento de dimensiones de una planta de manera cuantitativa que se puede medir (Corral, 2004).

Se sabe que el ritmo del crecimiento en los árboles está influenciado por factores de tanto fisiológicos y ecológicos, así como por el tiempo por lo cual es importante conocer la edad de un árbol; el crecimiento de los árboles se refleja en el aumento de los tejidos como son: floema, xilema, tallo y parénquima, esto a través del tiempo, el cual se produce la suma de la división celular, elongamiento del meristema primario y engrosamiento de células del meristema secundario. Aunque un árbol puede presentar variaciones en sus dimensiones de altura, diámetro, volumen y área basal, esto en función de otros factores que no pueden ser controlados, como son los factores climáticos (temperatura, precipitación, viento, insolación, entre otros), pedológicos (características físicas, químicas y biológicas de los suelos), topográficos (inclinación, altitud y exposición del sitio), biológicos (plagas y enfermedades) y por competencia con otros árboles; también se consideran algunos factores antropogénicos como son la deforestación y los incendios (Imaña y Encinas, 2008).

El crecimiento en altura, también llamado crecimiento primario es el más notorio, especialmente en la edad juvenil, que es más fácil de observar en periodos cortos la rapidez de la modificación; esto debido a la actividad de la yema apical a través de la división celular. Existen registros bibliográficos que señalan que para algunos árboles tropicales el crecimiento en altura se produce el incremento de hasta 1 metro para cada centímetro de diámetro a la altura del pecho; el crecimiento en diámetro, también llamado crecimiento secundario, ya que después de crecer en altura, los árboles crecen en diámetro, este crecimiento está determinado principalmente por la actividad del cambium. El crecimiento en área basal está en función de la medición de un diámetro.

Cuando el crecimiento del área basal es constante por año, significa que el crecimiento en diámetro está disminuyendo (Imaña y Encinas, 2008).

Para los bosques templados los árboles desarrollan anillos de crecimiento anual, estos se forman en la latencia durante el invierno; a diferencia de los bosques tropicales esto ocurre cuando se presentan condiciones ambientales desfavorables (Rozendaal y Zuidema, 2011). También es importante señalar que algunas especies deciduas como son *Hura crepitans* L., *Cedrela odorata* L., *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Swietenia macrophylla* King y *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. sí presentan anillos anuales (Brienen, 2003).

De acuerdo a Klepac (1983) el crecimiento en altura en los árboles es menos influenciados por el ambiente, y se sabe que para el crecimiento de altura depende de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el durante el último año; a diferencia del crecimiento en diámetro depende más del ambiente. También menciona que al crecimiento que logra un árbol a lo largo de un año se le conoce como incremento corriente anual (ICA), y el promedio anual del incremento se le conoce como incremento medio anual (IMA).

#### 2.4 Modelos de crecimiento en especies tropicales y determinación de turnos

Las curvas de crecimiento son curvas que muestran incrementos acumulativos a una determinada edad y estas resultan de varios parámetros, y presentan una forma sigmoideal. El crecimiento de los árboles pueden conocerse a partir de este tipo de curvas (Klepac, 1983). Por lo tanto el crecimiento puede ser considerado como la suma de los incrementos anuales, y el incremento, como la tasa de cambio de ese crecimiento. Debido a lo anterior, la función del incremento corriente anual puede ser obtenida tomando la primera derivada de la función del crecimiento con respecto a la edad (Zeide, 1993).

Un modelo matemático consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficas que muestran las relaciones cuantitativas entre las variables. Los modelos de crecimiento son aplicados en muchos campos como son la biología, botánica, forestería y ecología. Las cualidades que determinan el alcance de utilización de los modelos de crecimiento son: la generalidad que es la medida en que un determinado modelo puede ser utilizado válidamente en el estudio; complejidad: es el resultado del número de variables en el

modelo, así como el número y el tipo de ecuaciones; realismo: se trata de una medida de similitud entre el modelo y el patrón; precisión, exactitud y confiabilidad: indican el grado de aproximación con que el modelo puede obtener los resultados de la realidad; validez: se designa a la longitud de tiempo para el cual un modelo puede generar resultados satisfactorios; y elasticidad: que representa una estimación de la versatilidad en las aplicaciones del modelo (Mendoza, 1983).

En México se tiene una gran carencia de información en cuanto al desarrollo, implementación y ejecución de modelos de crecimiento, aunque se sabe que existen series de investigaciones para generar técnicas para obtener un manejo óptimo de los recursos forestales, esto en los modelos de crecimiento. El turno forestal de una plantación se define como el tiempo que transcurre desde que el rodal es plantado hasta el momento de la cosecha, y da lugar a una nueva masa arbórea. Este tiempo va a variar de acuerdo a la especie, la producción del producto y de la calidad de sitio. Es por esto que existen varios tipos de turnos, de acuerdo a varios aspectos como son técnicos, biológicos, financieros, entre otros (Musalem, 2006).

Los turnos que se han utilizado en especies tropicales, como son *Tectona grandis* L.f. (Teca), *Nectandra kunthiana* (Nees) Kostem (Moena), *Swietenia macrophylla* King (Caoba) y *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake (Pino chuncho), esto en un estudio realizado por Fernández *et al* (2007) en la Provincia de Satipo, Perú donde determinaron el turno silvícola y turno financiero. Además de estos podemos encontrar más turnos, de acuerdo a otros autores (Díaz, 1997; Valdez, 2004; Musalem, 2006; y Gallardo, 2013) como son:

Turno físico: este coincide con el periodo de vida natural de una especie en un sitio dado.

Turno silvícola: este es el que asegura que la especie mantenga un vigor satisfactorio de crecimiento natural y determina la edad de producción de semilla.

Turno técnico: es en el cual la especie rinde mayor cantidad de material de una dimensión específica para un determinado.

Turno financiero: es en el que se obtiene cuando se produce la máxima capitalización del suelo y volumen de madera en pie.

Turno absoluto: se determina en base a la culminación del incremento medio anual en volumen, obteniendo la mayor producción promedio anual de madera.

Turno cultural: es aquel en que los árboles se mantienen con el propósito de mejorar el suelo y ser cortados solamente cuando estos ya hayan cumplido su función.

Turno económico: se obtiene a la edad de la masa cuando se produce el máximo rendimiento en precio por concepto de venta.

Turno comercial: se determina fijando una tasa de capitalización y considerando que se haya llegado al término de explotabilidad comercial. Garantizando el máximo ingreso medio neto por unidad de área árbol.

Turno legal: es aquel que está fijado por la ley y este se determina con el diámetro mínimo de corta.

Para la estimación y predicción del crecimiento hay una gran variedad de modelos que pueden utilizarse, aunque existen factores limitantes en la efectividad, como es el caso de la disponibilidad de datos (García *et al.*, 2007). Existe varios modelos de crecimiento para evaluar plantaciones de los cuales, los modelos más utilizados para predicción de crecimiento de árboles tropicales son los modelos logísticos Schumacher, Chapman-Richards, Gompertz, Logístico y Weibull (Torres y Magaña, 2001) (Cuadro 1).

Para poder realizar la comparación entre los modelos y afirmar son eficientes recomienda los criterios para la selección del mejor modelo son el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de determinación ajustada ( $R^2_{adj}$ ) y el cuadrado medio del error (CME), debido a que estos son considerados los mejores criterios de selección de modelos de acuerdo a Vanclay (1994).



Cuadro 1. Estudios en crecimiento y turno de especies tropicales.

Modelo	Ecuación	Especies	Variables	Autor y año
Shumacher modificado por Balley & clutter	$y=e^{a(1-\frac{b}{x^c})}$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Sandoval, 2010.
		<i>Swietwnia macrophyla</i> King	Diámetro	Santiago, 2012.
		<i>Tabebuia</i>	Área basal	Cruz, 2013.
		<i>donnell-smithii</i> Rose	Volumen	Ruiz, 2015. (Turno absoluto)
Chapman -Richard	$y=a(1-e^{-b(x^c)})$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Quintero, 2005
		<i>Swietwnia macrophyla</i> King	Diámetro	Sandoval, 2010
		<i>Tabebuia</i>	Área basal	Santiago, 2012.
		<i>donnell-smithii</i> Rose	Volumen	Cruz, 2013. Ruiz, 2015. (Turno absoluto) Domínguez <i>et al</i> 2017
Weilbull	$y=a(1-e^{-(b x^c)})$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Quintero, 2005
			Diámetro	Sandoval, 2010
		<i>Swietwnia macrophyla</i> King	Área basal	Santiago, 2012.
		<i>Tabebuia</i>	Volumen	Cruz, 2013. Ruiz, 2015. (Turno absoluto)
Gompertz	$y=ae^{-b e^{-cx}}$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Quintero, 2005
		<i>Swietwnia macrophyla</i> King	Diámetro	Domínguez <i>et al</i> 2017
			Área basal	
			Volumen	

Donde: y=variable de estudio; a,b,c,d=parámetros de regresión: x=edad; e=base de logaritmos naturales.

Cuadro 1. Estudios en crecimiento y turno es especies tropicales (Continuación).

Modelo	Ecuación	Especies	Variables	Autor y año
Logístico	$y = \frac{a}{(1 - ce^{-bx})}$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Quintero, 2005
			Diámetro	Domínguez <i>et al</i> 2017
		<i>Swietenia macrophylla</i> King	Área basal	
			Volumen	
Von Bertalanff y	$y = a(1 - e^{-bx})^3$	<i>Cedrela odorata</i> L.	Altura	Quintero, 2005
			Diámetro	Domínguez <i>et al</i> 2017
		<i>Swietenia macrophylla</i> King	Área basal	
			Volumen	

Donde: y=variable de estudio; a,b,c,d=parámetros de regresión: x=edad; e=base logaritmos de naturales.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

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  $15^{\circ} 50'$  y longitud oeste  $96^{\circ} 28'$  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” esta última se encuentra bajo un sistema agroforestal con el cultivo del café (*Coffea sp.*). 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  $15^{\circ} 55'$  latitud norte y  $96^{\circ} 29'$  longitud oeste, a una altitud de 1190 msnm (INEGI, 2000).

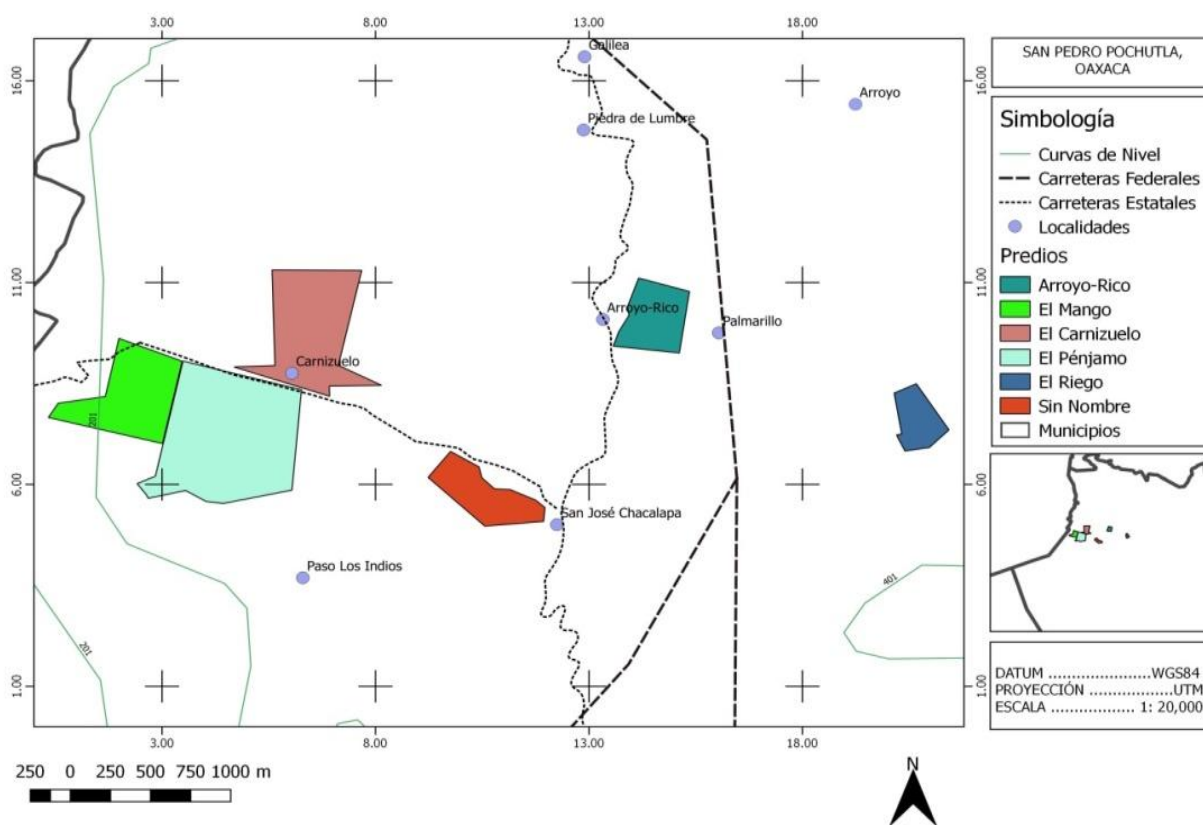


Figura 1. Localización geográfica de las plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donell-smithii* Rose. En San Jose Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

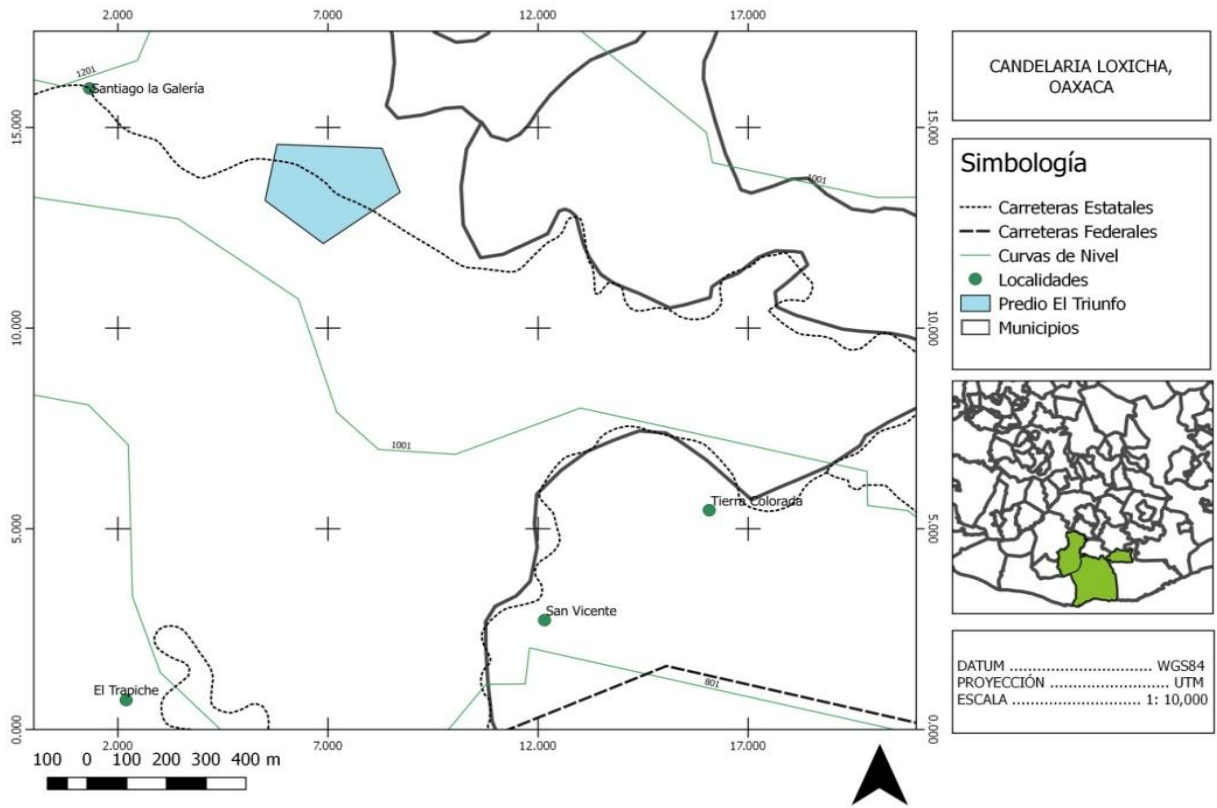


Figura 2. Localización geográfica de las plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donell-smithii* Rose. En Santiago la Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Los mapas se realizaron con la ayuda de las coordenadas de los estudios realizados anteriormente para los programas de manejos de dichos predios por Morales (1997).

### 3.2 Aspectos ecológicos

De los siete predios evaluados, hablando de orografía, el predio “El Triunfo” cuenta con pendientes que van desde 70 a 85% y con una altitud de 1190 msnm; a diferencia del resto de los predios evaluados, estos cuentan con pequeños lomeríos y con pendientes menores a 40% y elevación que van desde 200 a 400 msnm (INEGI 2005).

En cuanto a la hidrología los siete predios se encuentran dentro de la región hidrológica de RH-11 costa de Oaxaca (Puerto Ángel), en la cuenca C correspondiente a Copalita y en la subcuenca C del río Tonameca ( INEGI, 2000).

Edafología: para el predio de El Triunfo, el suelo dominante es Luvisol crómico, y se caracteriza por presentar enriquecimiento de arcilla en el suelo; a diferencia del resto de los predios, el suelo predominante corresponde a Regosol éutrico característico por ser un color claro con una profundidad moderada o alta, también se encuentran suelos Feozem háplico ricos en materia orgánica, presenta color oscuro y carecen de horizontes cálcicos (INEGI, 2000).

Clima: para el predio de “El Triunfo” el tipo de clima es A(c)m(w)igw, que por su temperatura se considera semicálido, presenta una temperatura media anual de 24.8 °C la cual se encuentra dentro del grupo de los húmedos con una precipitación media anual de 2,637.8 mm; en cambio para el resto de los predios hay grupo de climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano AW<sub>0</sub> (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 (INEGI, 2000; García, 1981).

Se puede entender que los predios como el Pénjamo, Arroyo Rico, El Carnizuelo, El Mango, El Riego y Sin Nombre cuentan con las mismas características en cuanto a los aspectos fisiográficos, esto debido a que se encuentran dentro de una misma localidad de San José Chacalapa, a diferencia de El Triunfo que se encuentra dentro del municipio de Candelaria Loxicha.

Cuadro 2. Aspectos ecológicos de los predios estudiados en San José Chacalapa y Candelaria Loxicha, Pochutla, Oaxaca.

Predios	Orografía	Hidrografía	Edafología	Clima
El Triunfo (Candelaria Loxicha)	Pendientes: 70 a 85%  Altitud: 1190 msnm	Región hidrológica RH- 11 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel);	Suelo dominante luvisol crómico,	A(c)m(w)igw,
El Pénjamo Arroyo Rico El Carnizuelo El Mango El Riego Sin Nombre	Pendientes: 5 a 40%  Altitud: 200 a 400 msnm	Ángel);	Suelo regosol éutrico feozem háplico	AW <sub>0</sub> (W) igw,

Fuente: INEGI (2000, 2005); CNA (2000a); Morales (1997); García (1981).

En los predios evaluados corresponden a un tipo de vegetación de selva baja caducifolia, en donde predominan las especies como *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (parota, huanacastle), *Brosimum aliscastrum* Swartz. (ramón, capomo, ojoche), *Gliricidia sepium* Jack. (cocoite, cacahuananche), *Astronium graveolens* Jack. (gateado), entre otras (INEGI, 1984), pero debido a prácticas agrícolas intensas practicadas, grandes extensiones de selva fueron eliminadas, generándose así una vegetación secundaria también conocida como acahual. 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 “El Triunfo”, el tipo de vegetación corresponde a una selva mediana subperenifolia, predominando las especies de *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (Parota, Guanacastle), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Guácima), *Leucaena* sp. (guaje), *Acacia* sp. (subin), *Inga* sp. (cuajinicuil, chalahuite). Pero en esta zona se han venido introduciendo otras especies como son cafetales y árboles frutales: guanábana (*Annona muricata* L.), naranjos (*Citrus* ×

*sinensis* (L.) Osbeck.), anona (*Annona sp.*) y plátano (*Musa paradisiaca* L.) principalmente (INEGI, 1984; Morales, 1997).

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

### 3.3 Antecedentes de la plantación

Las plantaciones se establecieron en el año de 1997 en los meses de junio-julio, en los predios de “El Pénjamo”, “El Mango”, “El Carnizuelo”, “Sin Nombre”, “Arrollo Rico” y “El Riego” en el municipio de San Pedro Pochutla y “El triunfo” en el municipio de Candelaria Loxicha, utilizando una mezcla de especies tropicales: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. y *Tabebuia donell-smithii* Rose. con una densidad de planta de 1,111 plantas/ha a un espaciamiento de 3 x 3 m entre planta e hileras (Morales, 1997).

#### 3.3.1 Diseño de muestreo y establecimiento de sitios permanentes

El diseño de muestreo que se utilizó fue sitios permanentes de forma 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 m<sup>2</sup> con un radio de 8.92 m (Sandoval, 2010).

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).

### 3.4 Variables dasométricas evaluadas

Las variables evaluadas fueron la altura total del árbol, diámetro a 30 cm y a 1.30 m del suelo, grosor de corteza y diámetro de copa para la medición se requirieron los siguientes 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.

### 3.5 Modelos de crecimiento y estadísticos de comparación

De la gran variedad de modelos utilizados para la predicción de crecimientos para árboles de especies tropicales se encuentran los modelos logísticos de Schumacher, Chapman-Richards, Logístico y Weibull (Ramírez, 1981; Torres *et al.*, 2001; García *et al.*, 2007).

Para el análisis de las variables diámetro normal, altura, y área basal se utilizó cinco modelos diferentes de crecimiento (Cuadro 3), para el procesamiento y ajustes de los modelos se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0. para la selección de modelos existen varios criterios de comparación se realizó de acuerdo al 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.



Cuadro 3. Modelos utilizados para la estimación del crecimiento en diámetro, área basal y altura para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donell-smithii* Rose.

Modelos de crecimiento utilizados	Ecuación
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$y = e^{-\frac{bx}{E}} \left( a - \frac{b}{Ex^c} \right)$
Chapman- Richards	$Y = a(1 - e^{-(b \cdot x)^c})$
Gompertz	$y = a e^{-e^{-(b-c)x}}$
Logístico	$y = \frac{a}{1 + ce^{-b}}$
Weibull	$y = a(1 - e^{-bx^c})$

x= Edad de la plantación (años). a, b, c= coeficientes del modelo a estimar, e= base de logaritmos naturales.

### 3.6 Determinación de turno absoluto

Para la determinación, del turno absoluto, se eligió el mejor modelo ajustado a los datos, a partir de esto se calculó el Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento corriente Anual (ICA) utilizando las fórmulas presentadas en el Cuadro 4. Donde se sustituyeron los valores de los coeficientes de regresión, obteniendo así los valores predichos para cada variable (altura, diámetro y área basal) evaluado. Posteriormente se graficaron los valores de ICA e IMA calculados de cada variable teniendo así la intersección de ambas líneas del cual se obtiene el turno absoluto.

Cuadro 4. Ecuaciones para estimar incremento de altura, diámetro a 1.30 y área basal.

Variable	Ecuación ICA	Ecuación IMA
Altura	$ICA = \frac{\text{Altura2} - \text{Altura1}}{\text{Edad2} - \text{Edad1}}$	$IMA = \frac{\text{Altura}}{\text{Edad}}$
Diámetro	$ICA = \frac{\text{Diámetro2} - \text{Diámetro1}}{\text{Edad2} - \text{Edad1}}$	$IMA = \frac{\text{Diámetro}}{\text{Edad}}$
Área basal	$ICA = \frac{\text{Área basal2} - \text{Área basal1}}{\text{Edad2} - \text{Edad1}}$	$IMA = \frac{\text{Área basal}}{\text{Edad}}$

Donde ICA= Incremento corriente anual e IMA= Incremento medio anual

Fuente: Imaña y Encinas (2008).

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Crecimiento y comparación en altura promedio para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Para *Cedrela odorata* L. para la variable en altura el mejor modelo obtenido resultó ser Schumacher modificado por Bailey & Clutter, obteniendo los parámetros de regresión más ajustados, teniendo así un  $R^2_{adj}$  de 0.8210 y un CME de 19.3393, al igual que para *Tabebuia donnell-smithii* Rose con un  $R^2_{adj}$  de 0.9112 y un CME de 30.8866 (Cuadro 5). A comparación con los otros modelos se puede decir que no presentan gran variación (Apéndice 1).

Cuadro 5. Modelos de mejor ajuste en altura promedio para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros		
		$R^2$	$R^2_{adj}$	CME	a	b	c
<i>Cedrela odorata</i> L.	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.9115	0.9112	19.3393	4.6766	4.8620	0.3599
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.8231	0.8210	30.8866	4.2750	4.9188	0.5593

$R^2$ =coeficiente de determinación,  $R^2_{adj}$ =coeficiente de determinación ajustado  
CME=cuadrado medio del error y a b c= parámetros de modelo

En este estudio se muestra que ambas especies presentan un crecimiento en altura similar (Figura 4), y se puede observar las curvas de crecimiento normal (sigmoideal) con un comportamiento de crecimiento continuo de ambas especies. En los primeros años *Cedrela odorata* L. presentaba un mayor crecimiento a comparación de *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Para el crecimiento de las plantaciones en la variable de altura se pueden observar puntos con alturas y edades muy variables alejados de los promedios (Cuadro 6), esto debido a las diferentes condiciones en las que se encuentran las plantaciones (cuadro 2). De acuerdo a Quintero (2005) en su trabajo realizado en las mismas plantaciones, encontró existen efectos de exposición, como es el caso de *Cedrela odorata* L. que muestra un mayor crecimiento en la exposición norte así como los predios de El Triunfo y El Riego se encuentran bajo sistemas agroforestales combinados con café (*Coffea sp.*) lo cual hace que el crecimiento de las plantaciones sean diferentes (Figura 3); todos estos factores hacen que la calidad de sitio entre predios sean diferentes. Es importante mencionar que dentro de las plantaciones se han llevado a cabo una serie de actividades de aclareo y replante de árboles en áreas afectadas por el huracán Manuel en el año 2013 (Bravo, 2013).

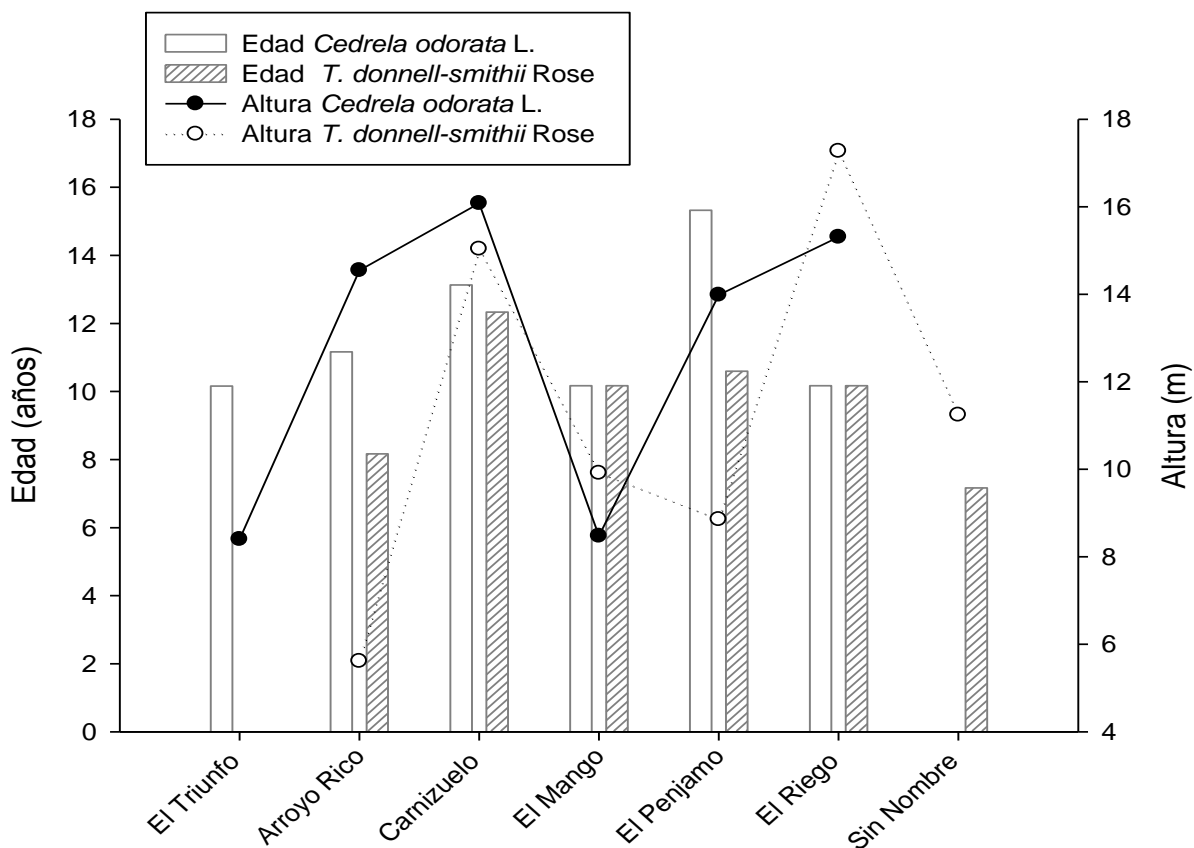


Figura 3. Comparación de altura y edad promedio de las plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose entre predios de Pochutla, Oaxaca.

Cuadro 6. Promedios de edad y altura de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca.

Especie	Edad promedio (años)	Altura promedio (m)
<i>Cedrela odorata</i> L.	12.92	13.80
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	10.17	11.97

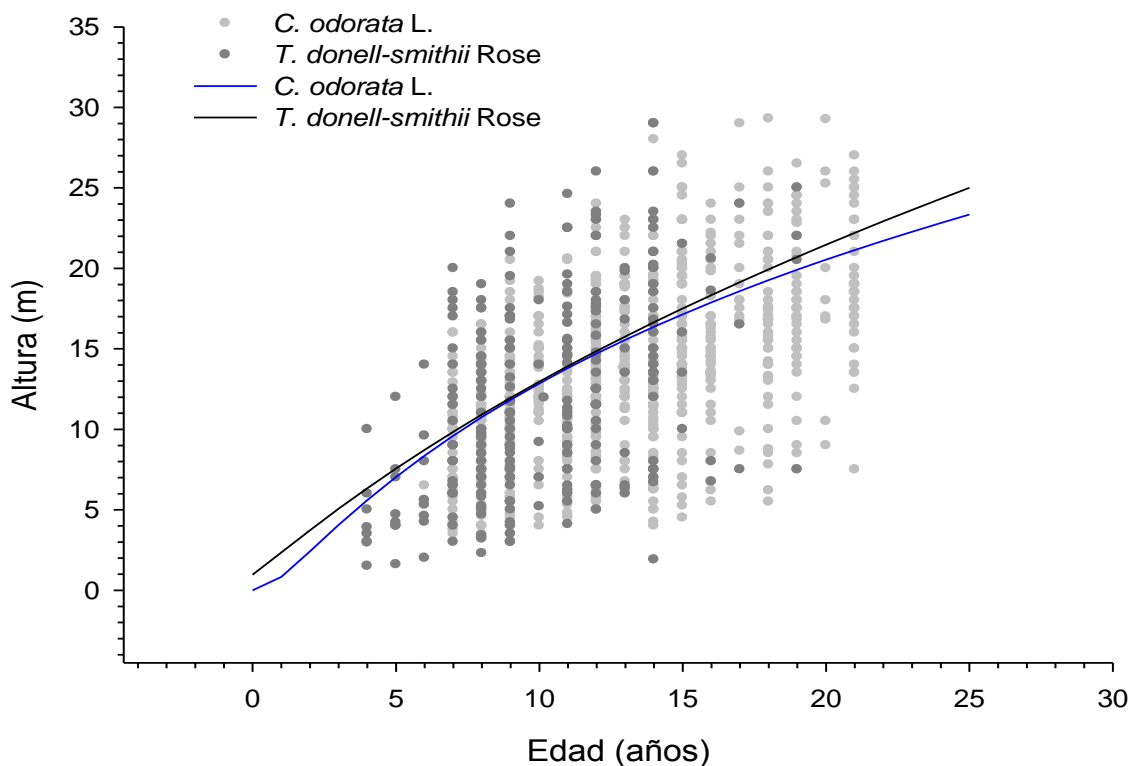


Figura 4. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y altura de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, San Pedro Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Comparando el trabajo realizado por Cruz (2013) con los mismos sitios en la misma plantación, muestra que el mejor modelo ajustado para altura fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter para *Cedrela odorata* L. presentó un  $R^2_{adj}$  de 0.9560 y para *Tabebuia donnell-smithii* Rose el modelo con mejor ajuste fue Weibull con un  $R^2_{adj}$  de 0.8272 y muestran que el crecimiento es constante en altura. Otro trabajo similar realizado por Santiago (2012) en las mismas plantaciones muestra que

para la especie de *Cedrela odorata* L. el modelo con mejor ajuste fue Chapman-Richards con un  $R^2_{adj}$  de 0.9563 y para *Tabebuia donnell-smithii* Rose el modelo con mejor ajuste fue Weibull con un  $R^2_{adj}$  de 0.8146. Por otro lado Ruiz (2015) muestra que el modelo con mejor ajuste fue Schumacher modificado por Bailey & Clutter con un  $R^2_{adj}$  0.9379 para la especie de *Cedrela odorata* L. Por lo tanto el actual estudio muestra resultados similares con los trabajos anteriores realizados para la especie de *Cedrela odorata* L., a diferencia de *Tabebuia donnell-smithii* Rose los el modelo obtenido fue diferente, aunque de acuerdo a los resultados de los estadísticos de comparación no hay mucha diferencia entre el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter, por lo tanto se puede decir que ambos modelos se pueden utilizar.

#### 4.2 Crecimiento y comparación en diámetro para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

En el caso de la variable en diámetro para *Cedrela odorata* L. el mejor modelo obtenido resultó ser Schumacher modificado por Bailey & Clutter, obteniendo los parámetros de regresión más ajustados, obteniendo así un  $R^2_{adj}$  de 0.8771 y un CME de 48.5064, y el mismo modelo para *Tabebuia donnell-smithii* Rose presentó un  $R^2_{adj}$  de 0.8053 y un CME de 37.8892 (Cuadro 7) (Apéndice 2).

Cuadro 7. Modelos de mejor ajuste en diámetro para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Especie	Modelo	Estadísticos		Parámetros			
		$R^2$	$R^2_{adj}$	CME	a	b	c
<i>Cedrela odorata</i> L.	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.8827	0.8771	48.5064	5.1313	5.0895	0.3218
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.8031	0.8053	37.8892	6.5584	6.5925	0.2187

$R^2$ =coeficiente de determinación,  $R^2_{adj}$ =coeficiente de determinación ajustado, CME=cuadrado medio del error y a b c= parámetros del modelo

En este estudio se muestra que el crecimiento en diámetro es menor para la especie de *Tabebuia donnell-smithii* Rose a comparación de *Cedrela odorata* L. (Figura 6), a diferencia del crecimiento en altura donde se observa que *Tabebuia donnell-smithii* Rose en cierto periodo sobrepasa a *Cedrela odorata* L. Se puede observar las curvas de crecimiento normal (sigmoideal) y continuo.

El crecimiento de las plantaciones en la variable de diámetro se pueden observar (Figura 5) algunos puntos con diámetros y edades muy alejados a los promedios (Cuadro 8), esto debido a ciertas condiciones encontradas en campo, por ejemplo: dentro de las plantaciones se han llevado a cabo una serie de actividades de aclareo ya que de acuerdo a Ávila *et al.* (2012) señalan que estas actividades son necesarias a partir del momento en el que se observan árboles altos y con diámetros pequeños, esto indica que dentro de las plantaciones empieza a haber competencia entre árboles, así como los predios de El Triunfo y El Riego se encuentran bajo sistemas agroforestales combinados con café (*Coffea sp.*) lo cual hace que el crecimiento de las plantaciones tengan un comportamiento diferente como se puede observar en la Figura 6.

Cuadro 8. Promedios de edad y diámetro de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donell-smithii* Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca.

Especie	Edad promedio (años)	Diámetro promedio (cm)
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	10.17	12.23
<i>Cedrela odorata</i> L.	12.95	18.18

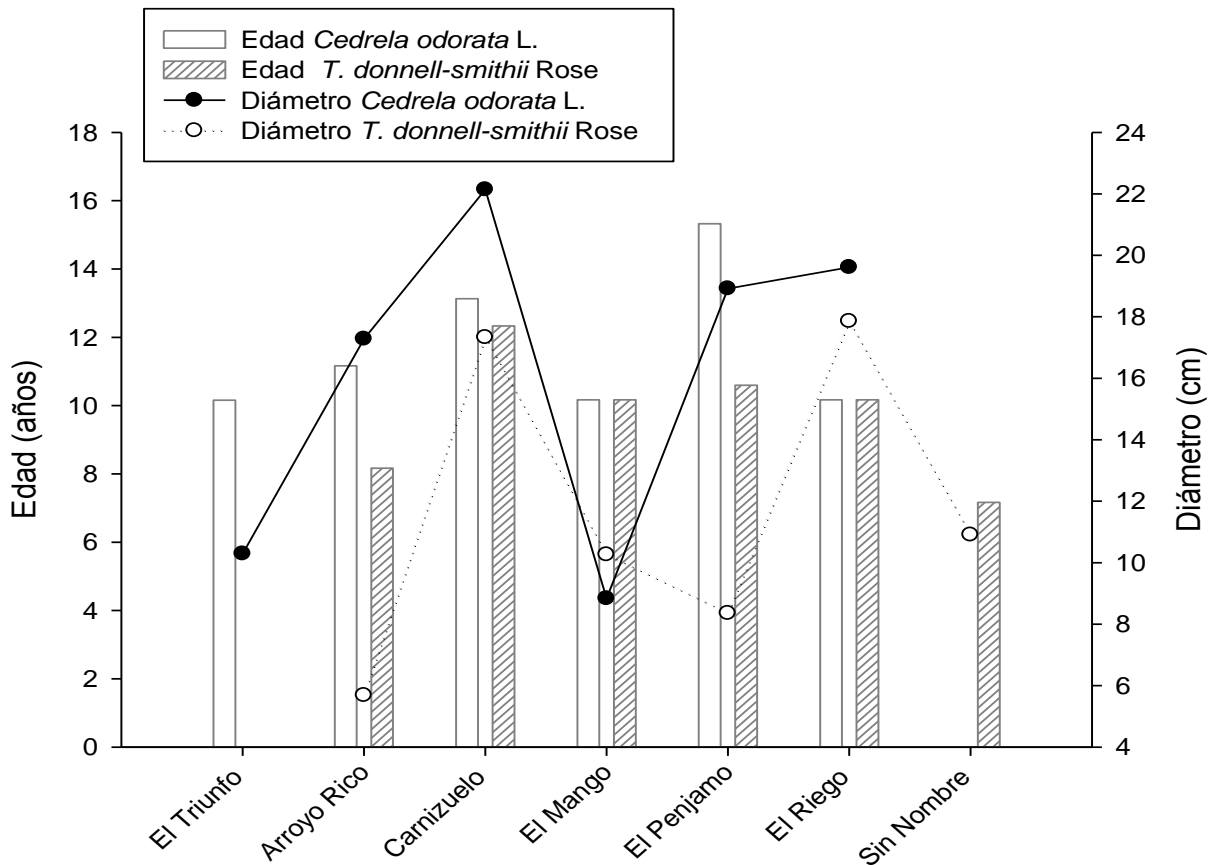


Figura 5. Comparación de diámetro y edad de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose entre predios de Pochutla Oaxaca.

Comparando con trabajos realizados en las mismas plantaciones, Cruz (2013) muestra que el modelo de Weibull para ambas especies presentó un mejor ajuste con un  $R^2_{adj}$  para *Cedrela odorata* L. de 0.9195 y para *Tabebuia donnell-smithii* Rose de 0.7892 y muestran que el crecimiento es constante. Otro trabajo realizado por Santiago (2012) para *Cedrela odorata* L. muestra que el modelo con mejor ajuste fue Schumacher modificado por Bailey & Clutter con un  $R^2_{adj}$  de 0.9214 y para *Tabebuia donnell-smithii* Rose de 0.7701. En otro trabajo, Sandoval (2010) obtuvo que el modelo con mejor ajuste para *Cedrela odorata* L. es Weibull con un  $R^2_{adj}$  de 0.9270 al igual que para el trabajo de Ruiz (2015) con el mismo modelo, el  $R^2_{ajus}$  de 0.9170.

Al igual que en la variable de altura, los resultados encontrados para diámetro para las dos especies el modelo con mejor ajuste es Schumacher modificado por Bailey & Clutter, aunque al igual que los otros trabajos el modelo de Weibull y



Chapman-Richard no muestran gran diferencia en los estadísticos de comparación (Apéndice 2), por lo tanto también se pueden utilizar.

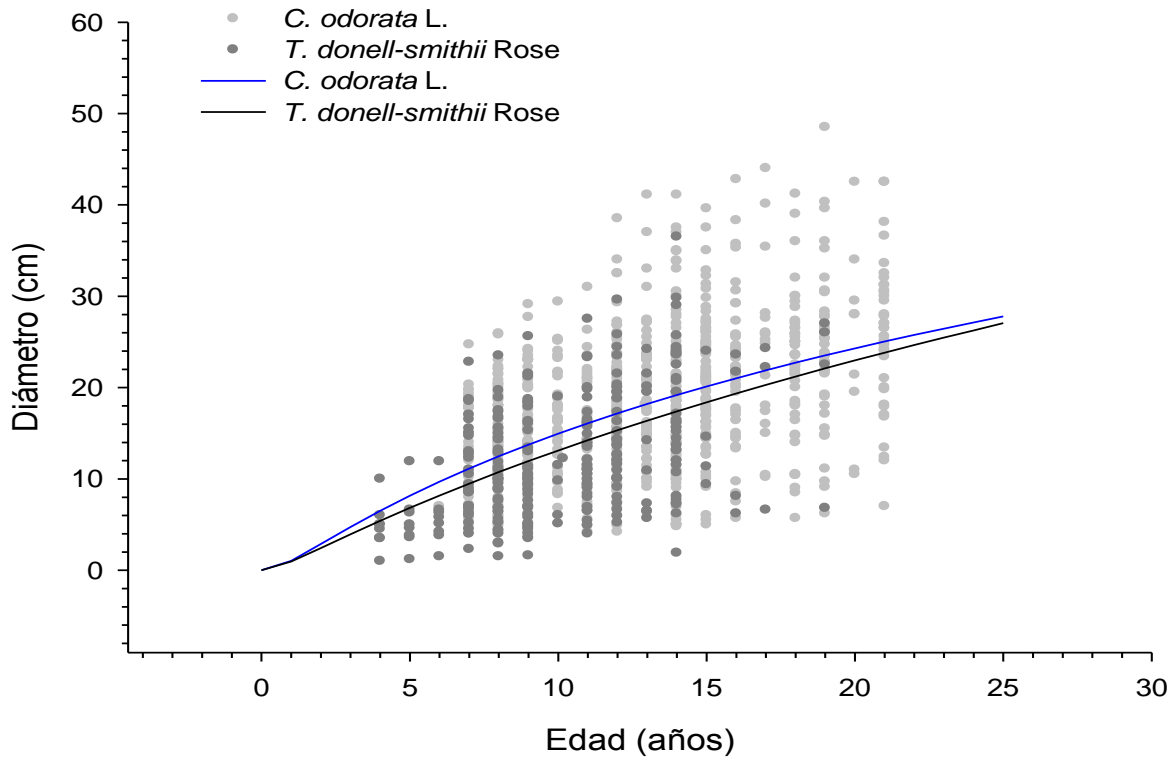


Figura 6. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y diámetro de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

#### 4.3 Crecimiento y comparación en área basal para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

De los 5 modelos utilizados para área basal para las dos especies el modelo con mejor ajuste fue Weibull, obteniendo los parámetros de regresión más ajustados; para *Cedrela odorata* L. un  $R^2_{adj}$  de 0.6652 y un CME de 0.000556 y para *Tabebuia donnell-smithii* Rose. un  $R^2_{adj}$  de 0.5804 y un CME de 0.000203 (Cuadro 9). A comparación de

los otros modelos se puede decir que se pueden utilizar ya que no presentan gran variación en los estadísticos de comparación para *Cedrela odorata* L. y para la especie de *Tabebuia donnell-smithii* Rose no presenta diferencia en los estadísticos de comparación (Apéndice 3).

Cabe mencionar que los 5 modelos pueden ser utilizados para esta variable, ya que no presentan diferencias significativas en los estadísticos de comparación para ambas especies (Apéndice 3).

Cuadro 9. Modelos de mejor ajuste en área basal para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros		
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	CME	a	b	c
<i>Cedrela odorata</i> L.	Weibull	0.6664	0.6652	0.000556	0.0812	0.00572	1.8142
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Weibull	0.5754	0.5804	0.000203	0.1230	0.00398	1.6634

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación. R<sup>2</sup>adj=coeficiente de determinación ajustado. CME=cuadrado medio del error. a, b, c= parámetros del modelo.

En este caso, haciendo la comparación con las dos especies, se muestra que el crecimiento en área basal es mayor para la especie de *Cedrela odorata* L. a diferencia de *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Figura 8), Se puede observar que para cedrela odorata L. presenta una curva de crecimiento normal (sigmoideal), a diferencia de *Tabebuia donnell-smithii* Rose que presenta una curva de crecimiento de forma exponencial. Ya que después de los dos años ambas tienden a tener un crecimiento ascendente.

Hablando del crecimiento en área basal de las plantaciones se pueden observar algunos puntos muy alejados del promedio (Figura 8, Cuadro 10), esto está directamente relacionado con la variable de diámetro, y de la diferencia de crecimiento de las plantaciones por predios, como se muestra en la Figura 7.

Cuadro 10. Promedios de edad y área basal de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose de las plantaciones forestales de Pochutla, Oaxaca.

Especie	Edad promedio (año)	Área basal promedio(m <sup>2</sup> )
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose	10.17	0.01528466
<i>Cedrela odorata</i> L.	12.95	0.03086733

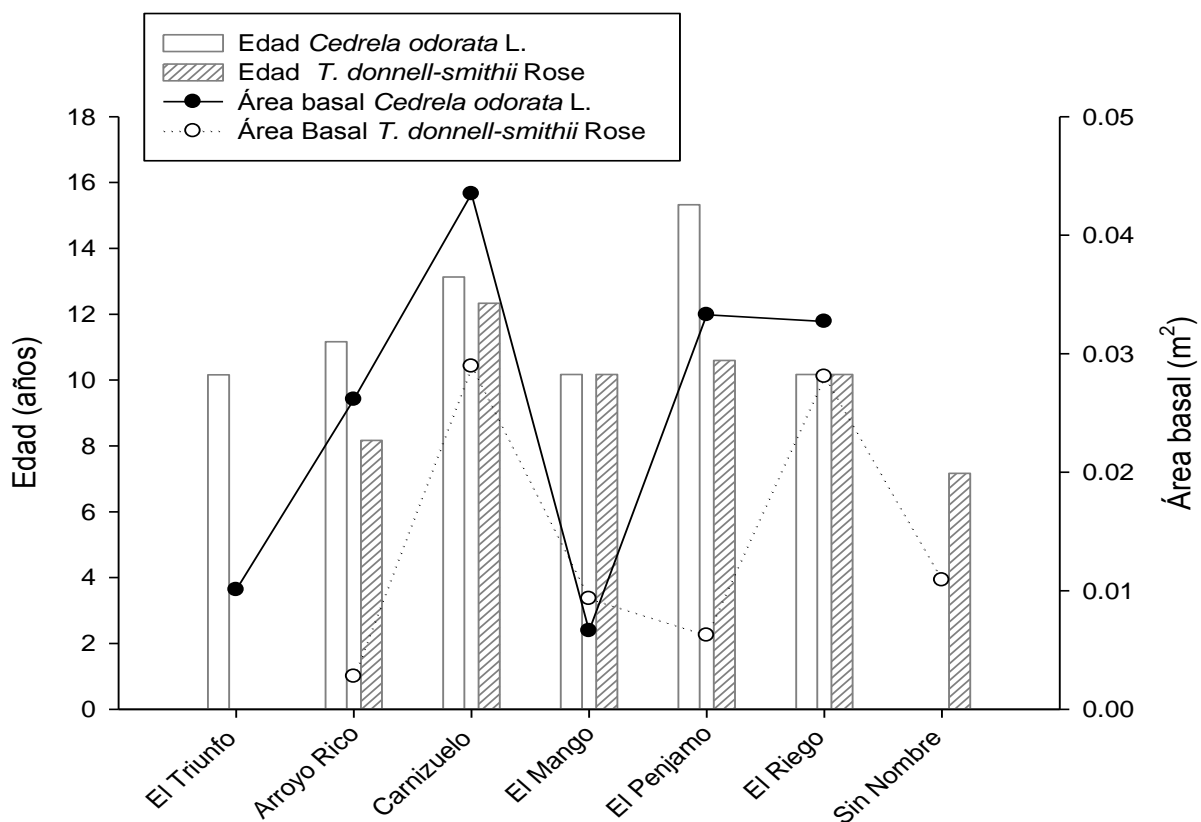


Figura 7. Comparación de área basal y edad de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose entre predios de Pochutla Oaxaca.

Comparando con trabajos realizados en las mismas plantaciones, Cruz (2013) muestra que el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter para *Cedrela*

*odorata* L. presentó un  $R^2_{adj}$  de 0.7563, cabe mencionar que en dicho trabajo los estadísticos de comparación para los 3 modelos utilizados no presentaron diferencias y para *Tabebuia donell-smithii* Rose el modelo con mejor ajuste fue Weibull con un  $R^2_{adj}$  de 0.5887 y muestran que el crecimiento es constante. Por otro lado Ruiz (2015) obtuvo que el modelo con mejor ajuste fuera el de Weibull con un  $R^2_{adj}$  de 0.07193. Otro trabajo similar realizado en Durango por Hernández (2012) haciendo el estudio con *Pinus montezumae* Lamb obtuvo que el modelo con mejor ajuste fue Korf con un  $R^2_{adj}$  de 0.8354 y el segundo modelo con mejor ajuste fue Schumacher modificado por Bailey & Clutter con un  $R^2_{adj}$  de 0.8339.

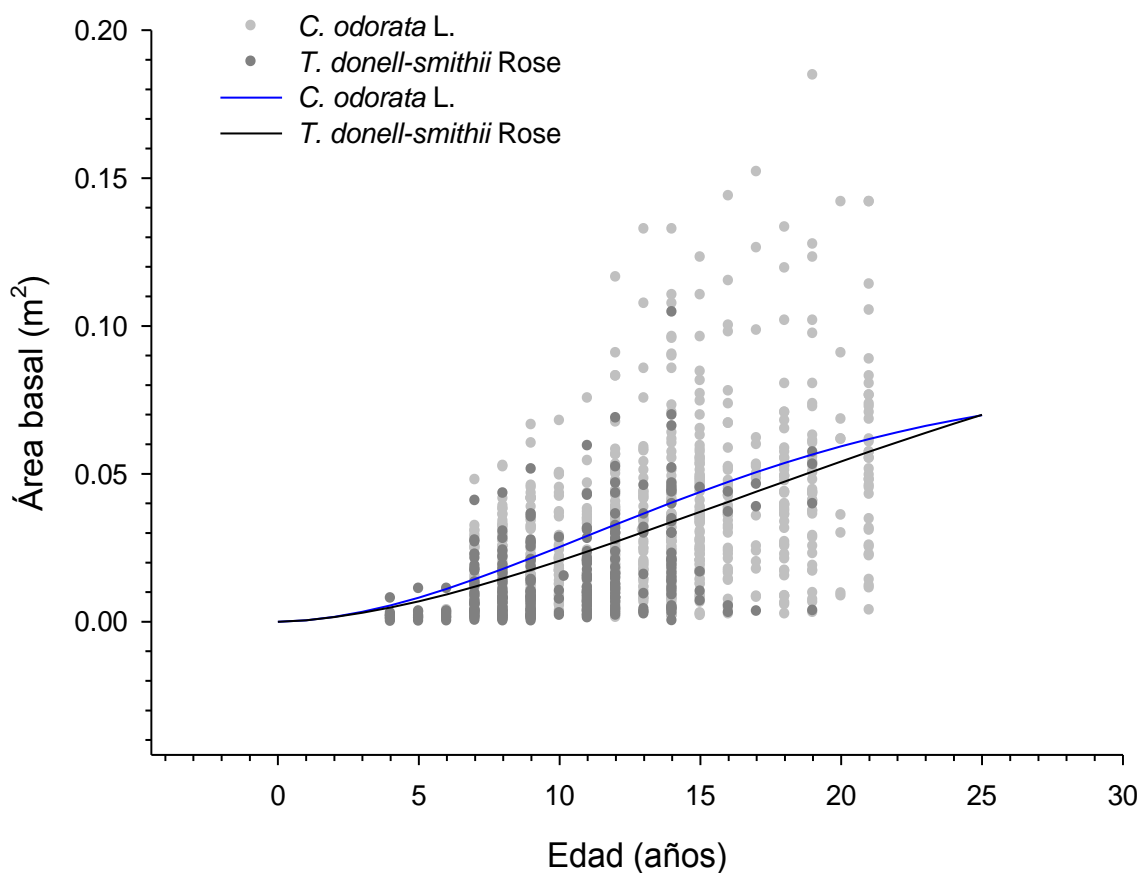


Figura 8. Curvas de ajuste por especie en el diagrama de distribución general para edad y área basal de los sitios permanentes en las plantaciones San José Chacalapa, Pochutla y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos para este estudio, se muestra que en los modelos utilizados para la variable de área basal para *Tabebuia donnell-smithii* Rose los estadísticos de comparación presentan diferencias mínimas y son similares a los trabajos anteriores, al igual que para *Cedrela odorata* L. la diferencia es mínima y los resultados son similares a los obtenidos por Cruz (2013), con un  $R^2_{adj}$  de 0.5887.

Aunque cabe mencionar que si el trabajo se realizara a partir de la separación de las especies por predios, los resultados que se tendrían serían más exactos ya que en el presente trabajo se está realizando a nivel región.

#### 4.4 Determinación de Turno absoluto en Altura, diámetro y área basal para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Para los resultados obtenidos en el presente trabajo se compararon la edad a la que se encontraron los incrementos con la de trabajos similares realizados en las mismas plantaciones.

Cuadro 11. Comparación de la edad a la que se encontraron el ICA e IMA con trabajos realizados de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose, en diferentes periodos en plantaciones forestales en Pochutla, Oaxaca.

Autores	<i>Cedrela odorata</i> L.						<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose					
	ICA (años)			IMA (años)			ICA (año)			IMA (años)		
	A	D	AB	A	D	AB	A	D	AB	A	D	AB
Sandoval (2010)	5	7		7	8		8	7		10	8	
Santiago (2012)	3	5		5	10		4	6		6.5	9	
Ruiz (2015)	4	7	10	7	9	14						

En donde: ICA= Incremento corriente anual, IMA= Incremento medio anual, A= Altura, D= Diámetro y AB= Área basal.

#### 4.4.1 Determinación del turno absoluto en altura para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Los incrementos máximos obtenidos para las dos especies en altura se dan en los primeros años de establecimiento de la plantación como se muestra en las curvas de crecimiento obtenidos con el modelo elegido (Figura 9 y 10), la cual presenta un crecimiento sigmoideal y comparando esta curva con el diagrama de dispersión como se muestra en la Figura 4, se puede observar que existe un ajuste adecuado para dichos datos.

Los resultados obtenidos para el crecimiento de *Cedrela odorata* L. en la variable de altura son que el ICA máximo se alcanzó pasando de los 2 años de edad de la plantación con un valor de 1.65 m/año, para después empezar a decrecer y el IMA alcanzó su máximo crecimiento a una edad de 4 años con un valor de 1.40 m/año para luego empezar a decrecer, dando lugar así, al punto de intersección con las curvas del ICA e IMA a los 4 años de edad como se muestra en la Figura 6 con una altura de 5 m, es ahí donde se obtiene el turno absoluto.

El comportamiento en la variable de altura de la plantación para *Tabebuia donnell-smithii* Rose presenta un ICA e IMA que muestran periodos cortos con incremento, ya que a los 2 años de la plantación el ICA alcanza su máximo crecimiento, después de este año empieza a decrecer, dando lugar así, al punto de intersección con la curva del IMA casi en los 6 años de edad como se muestra en la Figura 5 con una altura de 10 m, con valores de ICA de 2.4 m/año y valores de IMA máximo de 1.85 m/año, para después empezar a decrecer junto con el ICA, es ahí donde se obtiene el turno absoluto.

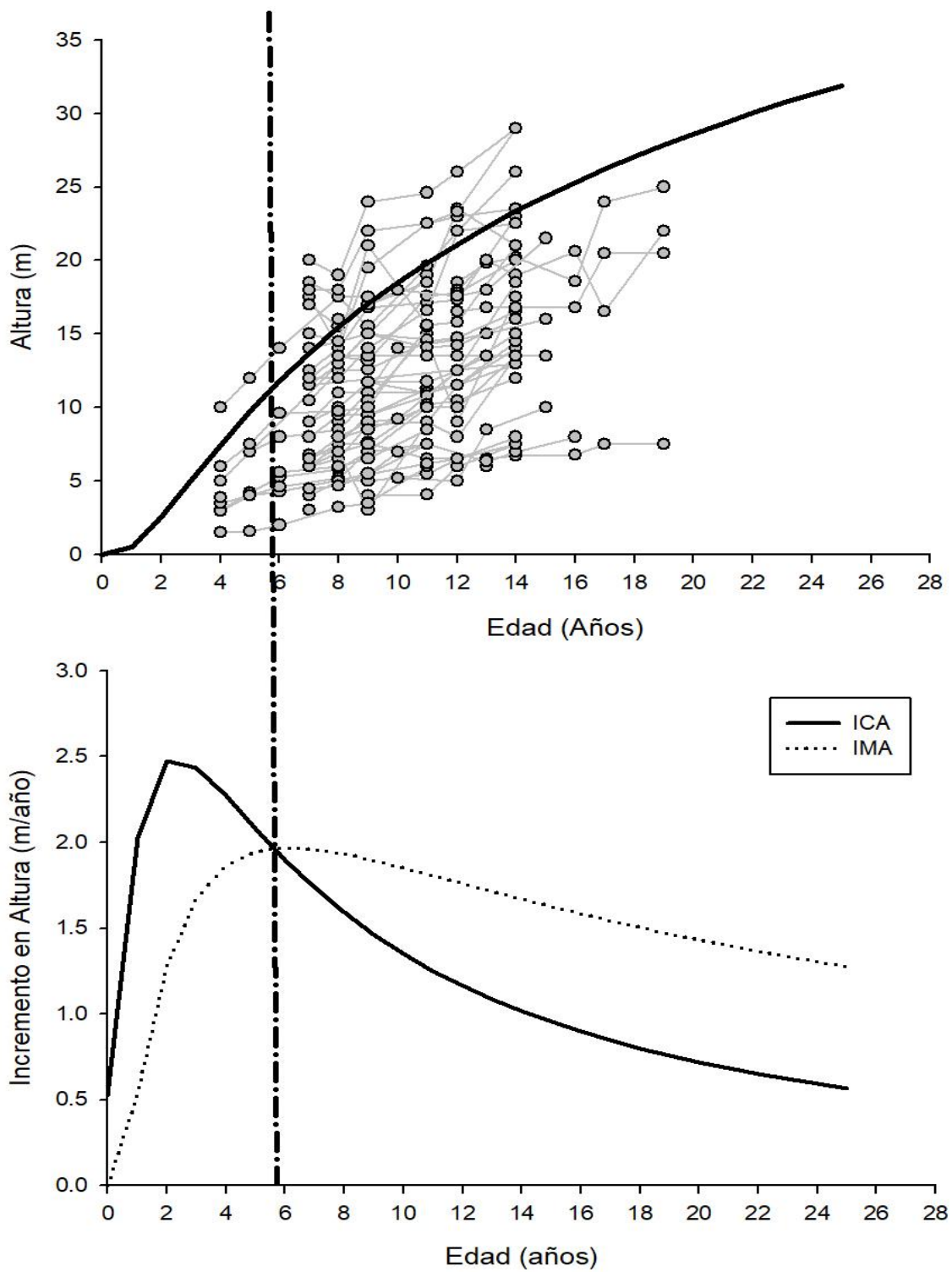


Figura 9. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura para *Tabebuia donell-smithii* Rose (superior) y curvas de ICA e IMA altura (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentran el turno absoluto.

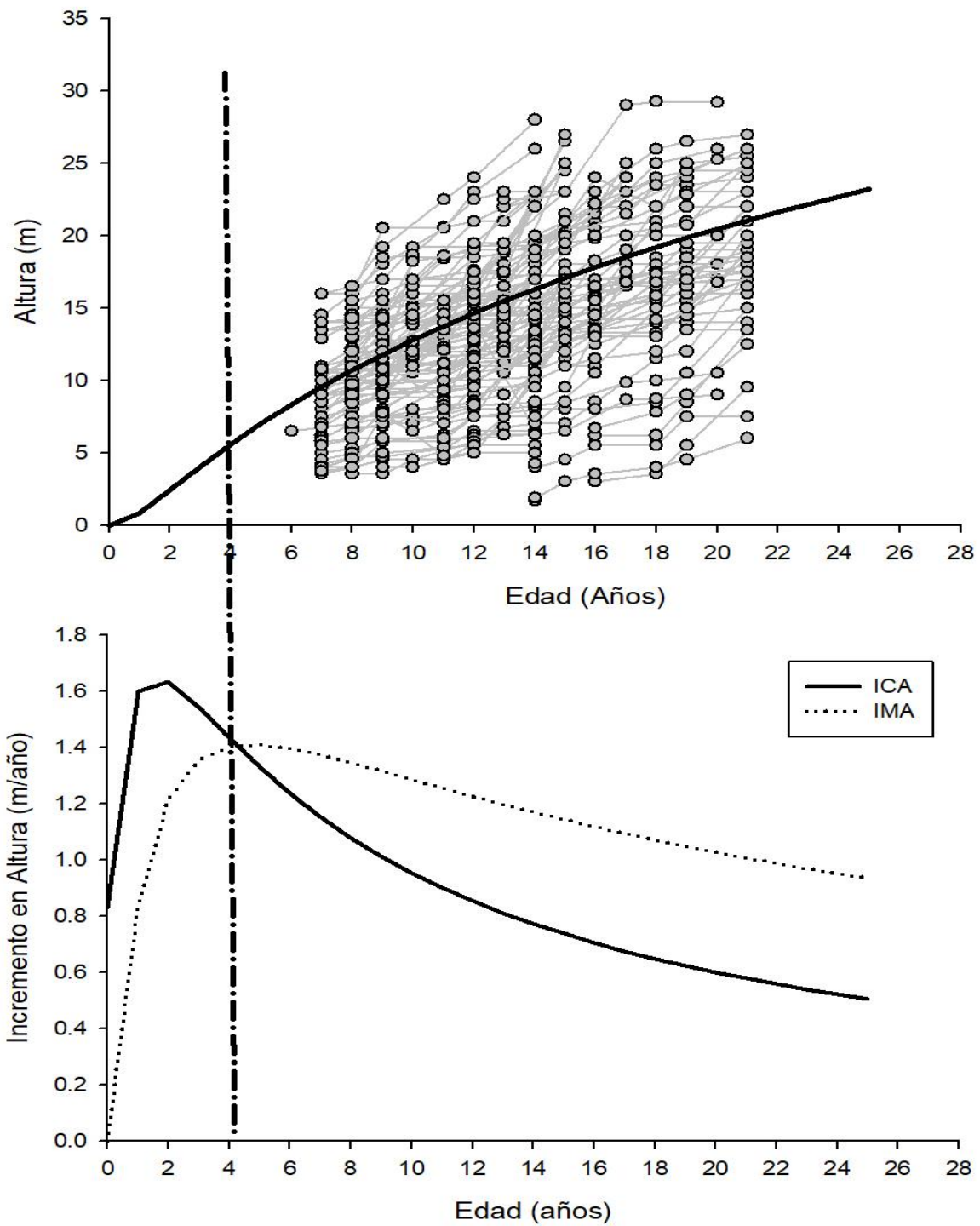


Figura 10. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura para *Cedrela odorata* L. (superior) y curvas de ICA e IMA altura (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentran el turno absoluto.



Comparando este trabajo con el estudio realizado (Cuadro 11) se puede observar diferencia en los resultados, esto se debe a la competencia entre árboles dentro de las plantaciones, al igual que el estudio realizado por Santiago (2012) las plantaciones contaban con una mayor densidad por sitio antes de que el huracán Manuel azotara las costas del pacífico en el año 2013, y con esto el crecimiento de los árboles en las plantaciones tiende a ser de una manera diferente y que el turno absoluto cambie un poco. Por lo tanto, se puede decir que las plantaciones siguen creciendo de una forma continua, ya que se trata de una plantación joven.

#### 4.4.2 Determinación del turno absoluto en diámetro para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose.

Respecto a los incrementos obtenidos para *Cedrela odorata* L. en la variable de diámetro, el ICA en los primeros años tuvo un crecimiento considerable alcanzando su máximo crecimiento a la edad de 2 años con un valor de 1.9 cm/año para después empezar a decrecer y con el mayor incremento de IMA a los 4 años y 2 meses con un valor de 1.60 cm/año, para después empezar a decrecer, obteniendo así al punto de intersección con las curvas del ICA e IMA pasando de los 4 años y 2 meses de edad con un valor de 5 cm como se muestra en la Figura 9 y es ahí donde se obtiene el turno absoluto.

En cuanto al ICA e IMA para la variable en diámetro para *Tabebuia donnell-smithii* Rose el punto de intersección se observa a la edad de 5 años (Figura 11) con un diámetro de 6 cm, de donde el ICA alcanza su punto máximo a la edad de 2 años con un valor de 1.50 cm/año, después de este año tiende a decrecer, y el IMA alcanza su punto máximo a una edad de 5 años con un valor de 1.35 cm/año y después empieza a decrecer, es ahí donde se obtiene el turno absoluto a la edad de 5 años.

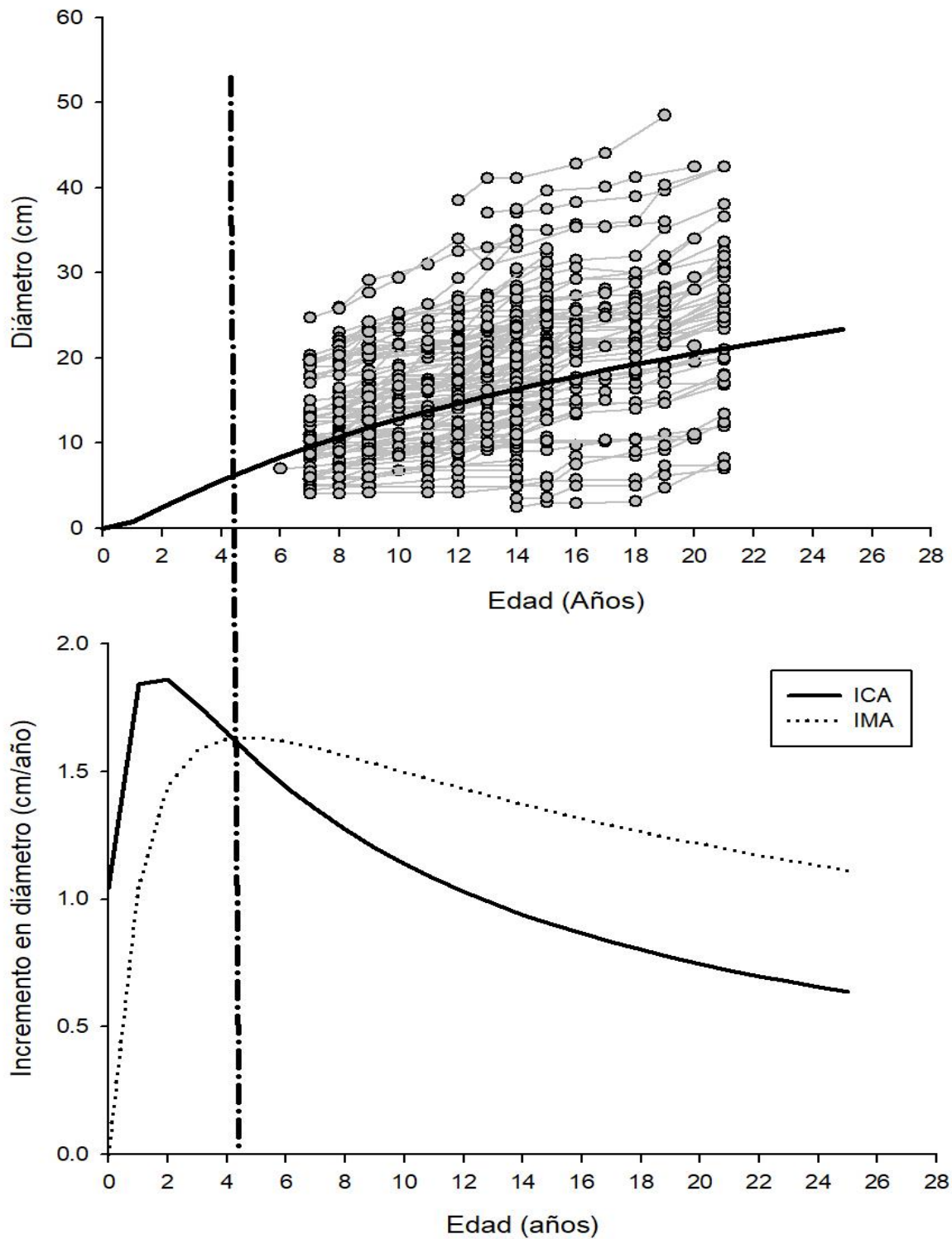


Figura 11. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro para *Cedrela odorata* L. (superior) y curvas de ICA e IMA en diámetro (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

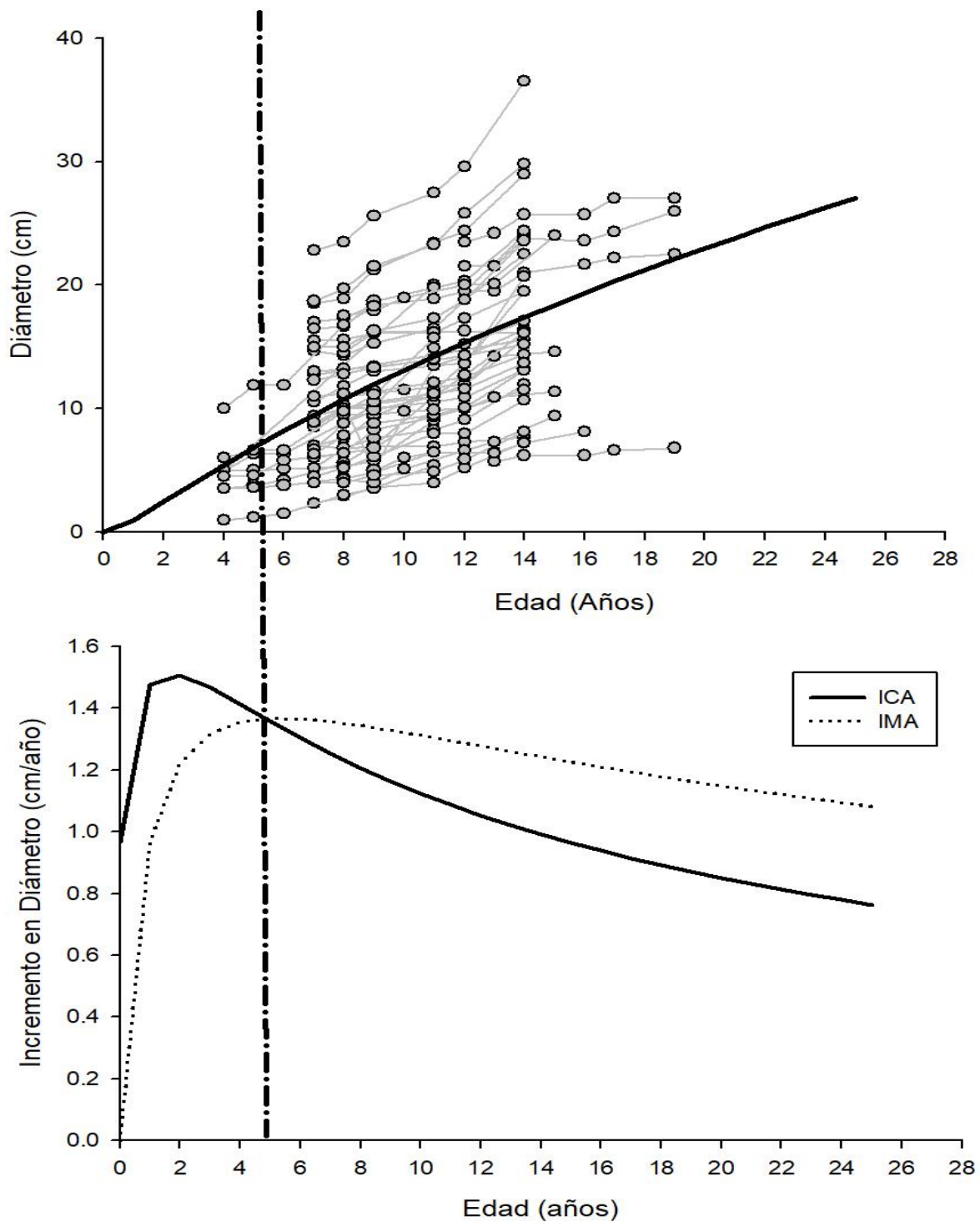


Figura 12. Diagrama de dispersión de datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro para *Tabebuia donell-smithii* Rose (superior) y curvas de ICA e IMA en diámetro (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

Observando y comparando los resultados del comportamiento de incremento de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose (Cuadro 12) estas tienden a cambiar principalmente por la diferencia de condiciones ambientales en las que se encuentran las plantaciones y por las actividades de aclareos en algunos predios que se han estado realizando en los últimos años, dando así a los árboles mayor espacio para su desarrollo. De acuerdo a García *et al.* (1992) mencionan que el crecimiento e incremento en diámetro depende más del medio ambiente que de la altura; y dentro de ciertos límites, el desarrollo del diámetro es mayor cuando hay más luz y espacio de crecimiento.

#### 4.4.2 Determinación del turno absoluto en área basal para *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose

Los incrementos para *Tabebuia donnell-smithii* Rose, para la variable de área basal aún no ha alcanzado el turno absoluto (Figura 14).

A diferencia de *Cedrela odorata* L. donde el punto de intersección de las curvas de ICA e IMA (Figura 13) tiene lugar 17 años y 10 meses con un valor de  $0.055 \text{ m}^2/\text{año}$  para área basal, teniendo su máximo valor de ICA a la edad de 9 años con un valor de  $0.0038 \text{ m}^2/\text{año}$  y el IMA presenta su máximo crecimiento a los 17 años y 10 meses de edad con un valor de  $0.0029 \text{ m}^2/\text{año}$ .

. Estos resultados varían con los resultados obtenidos por Ruiz (2015) (Cuadro 11) y el turno absoluto no es igual, ya que tiende a cambiar por las condiciones en las que se encuentran las plantaciones. Dado a que son escasos los trabajos realizados para especies tropicales con la variable de área basal. Se puede decir que el crecimiento para ambas especies es más lento para esta variable.

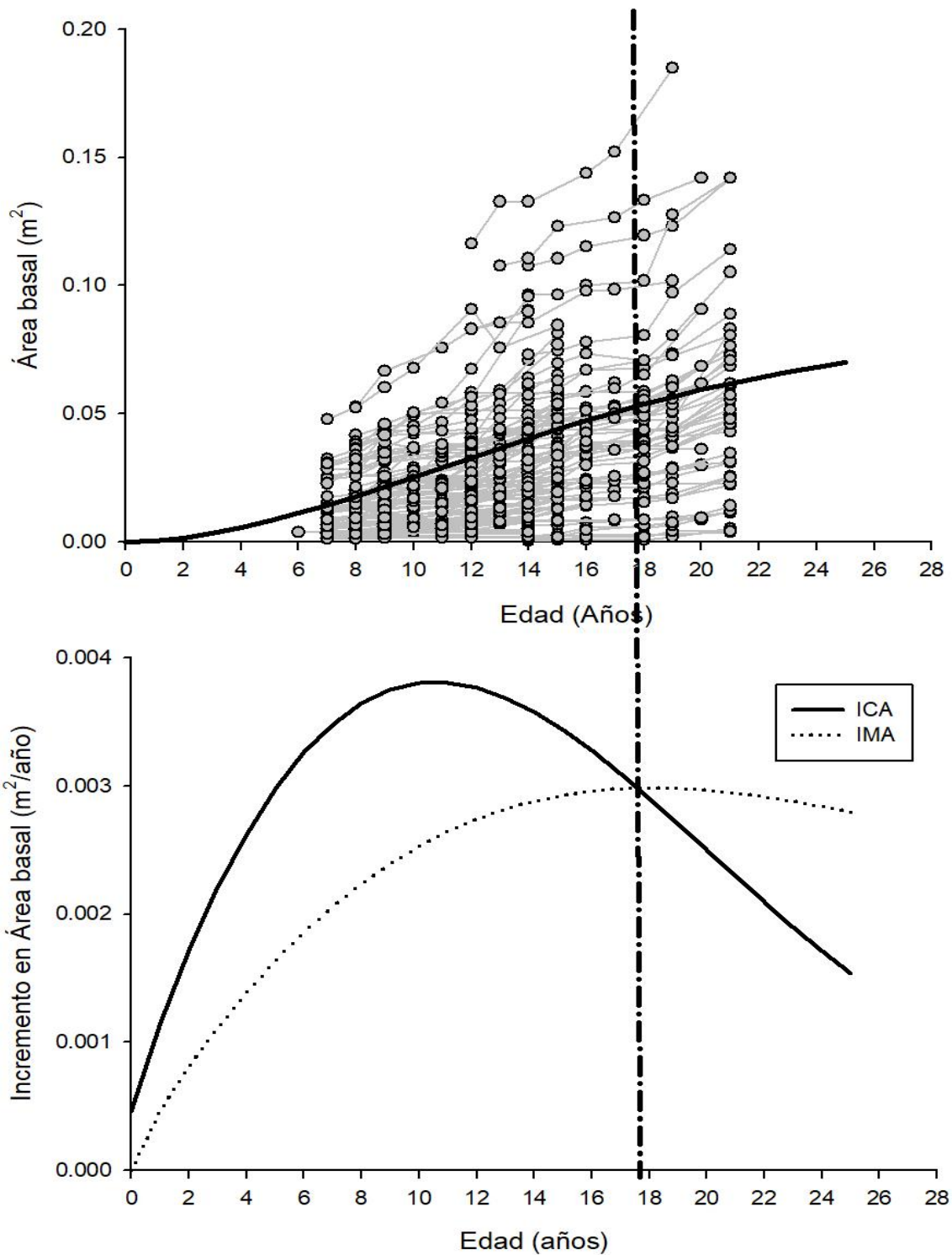


Figura 13. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal para *Cedrela odorata* L. (superior) y curvas de ICA e IMA en área basal (inferior). La línea punteada vertical representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

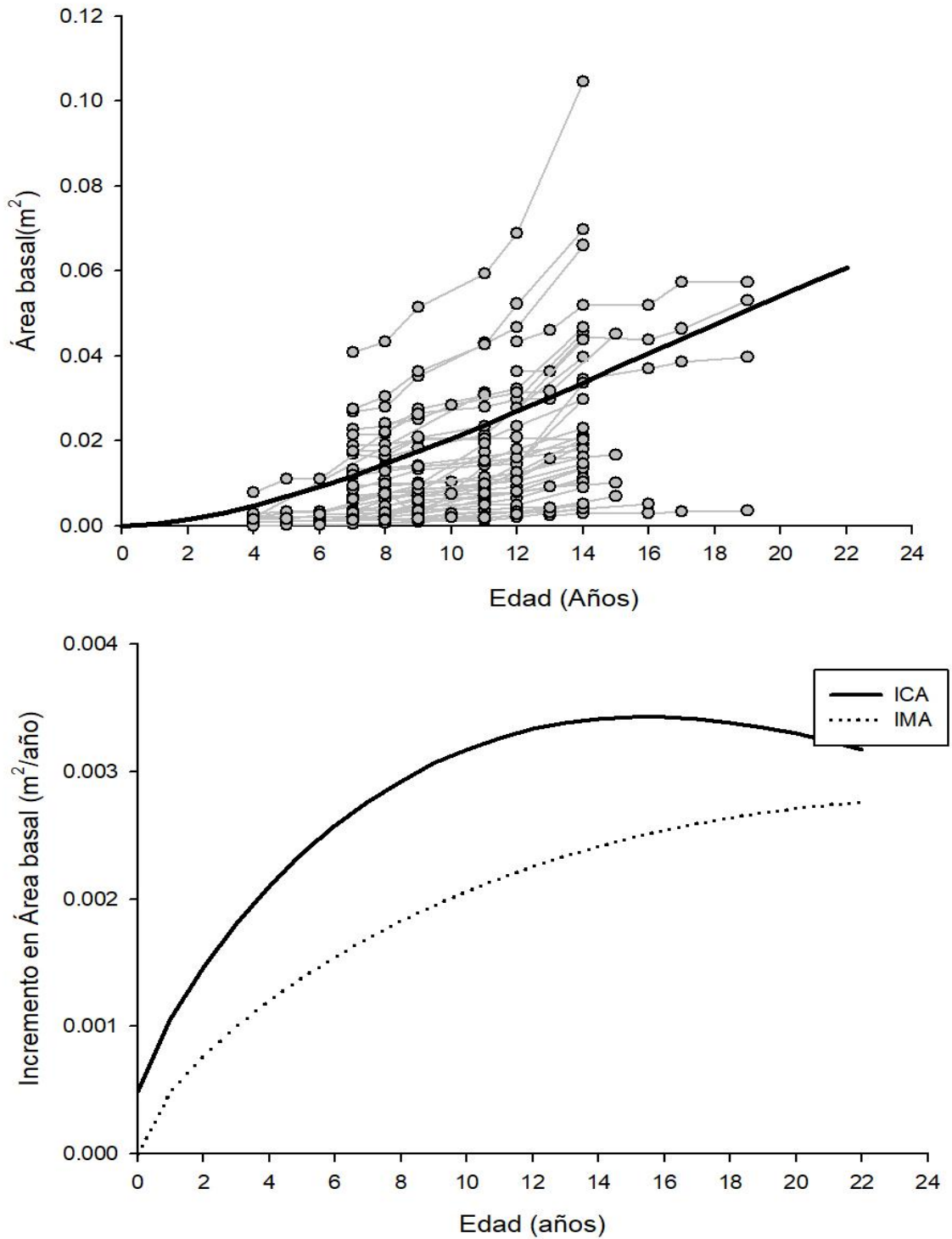


Figura 14. Diagrama de dispersión de los datos por árbol (líneas) con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal para *Tabebuia donell-smithii* Rose. (superior) y curvas de ICA e IMA en área basal (inferior).

## 5 CONCLUSIONES

Se aprueba la hipótesis nula, ya que los valores de incremento medio anual (IMA) para las variables de altura diámetro y área basal ya alcanzaron su máximo incremento y turno absoluto para *Cedrela odorata* L. a 21 años de establecidas las plantaciones.

Se aprueba la hipótesis nula ya que *Tabebuia donnell-smihii* Rose., ya han alcanzado su máximo incremento en IMA, y el turno absoluto únicamente las variables de altura y diámetro a 19 años de establecida las plantaciones.

Los modelos que mejor se ajustaron a las variables de para altura y diámetro para las dos especies fue Schumacher modificado por Bailey & Clutter. Y para la variable de área basal el modelo que se ajustó mejor para las dos especies fue Weibull. Cabe mencionar que los modelos empleados no presentan mucha diferencia en los resultados de los estadísticos de comparación.

El crecimiento de *Cedrela odorata* L. muestra un crecimiento constante en las tres variables de una forma sigmoideal y para *Tabebuia donnell-smihii* Rose en altura y diámetro el crecimiento es constante (sigmoideal) a excepción de área basal que tiene una curva de crecimiento de tipo exponencial.

*Cedrela odorata* L. presentó un mayor crecimiento en diámetro y área basal a diferencia de *Tabebuia donnell-smihii* Rose., para la variable de altura ambas especies tienden a tener un crecimiento similar.

Los turnos obtenidos son respuestas principalmente a la topografía del terreno, pendiente, exposición y los cambios en la estructura las plantaciones, como consecuencia de los tratamientos silvícolas que se han aplicado y los disturbios naturales por huracanes Esto ha ocasionado que los arboles cuenten con más espacio para un mejor desarrollo.

## 6 RECOMENDACIONES

Seguir evaluando los árboles de los sitios permanentes y registrar los nuevos árboles replantados dentro de los sitios con el fin de conocer la tendencia de crecimiento de las plantaciones, así como los efectos que tienen bajo los sistemas agroforestales y el manejo de las plantaciones con enriquecimiento de acahual.

Recabar información sobre las condiciones climáticas presentadas en la región, para verificar si influyen en el crecimiento de las especies en las plantaciones, así como las intervenciones silvícolas que se han aplicado.

Realizar estudios sobre el comportamiento de crecimiento por predios, así como índices de sitio y efectos de exposición en las plantaciones.



## 7 LITERATURA CITADA

- Arteaga M., B. y C. Izaguirre R. 2004. Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación. *Foresta Veracruzana*, 6(1): 45-51.
- Angulo, A. de M., L. Touriño G., I. Manzano M. y M. Domínguez P. 2003. Técnicas de gestión forestal sostenible en la repoblación forestal. *Silvanus España y Silvanus Galicia*. España. 173 p.
- Ávila A.R., L. Muños G. y E. Mireles R. 2012. Manejo de una plantación forestal mixta en la planicie Huasteca. INIFSP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. Folleto para productores Número MX-0-310602-52-03-17-10-55. San Luis Potosí. 32 p.
- Brienen, R. y P. A. Zuidema, P. 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: Su potencial para el manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB/IGEMA, Informe Técnico No. 7, Riberalta, Bolivia. 33 p.
- Bravo, L.C. 2013. Reseña del huracán Manuel del océano Pacífico obtenido de CONAGUA, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, Temporada 2013 de ciclones tropicales. Disponible en: <http://smn1.cna.gob.mx/ciclones/tempo2013/pacifico/Manuel-p013.pdf>
- Carlson K., A. 2004. Guías silviculturales de árboles nativos en plantaciones comerciales y agroforestales del trópico húmedo de México. Tesis profesional de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 743 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2010. Servicio Meteorológico Nacional. Normas Climatológicas 1951-2010. Estación 00020061 [En línea] San Pedro Pochutla, Oaxaca. [Fecha de consulta 23 de mayo 2018] disponible en: <<http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=oax> >
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (s.f.) Situación actual y perspectiva de las plantaciones forestales comerciales en México. CONAFOR. Zapopan, Jalisco. 472 p.

- Corral, R. S. 2004. Apuntes de Epidometría. Instituto Tecnológico Forestal No. 1. DGETA. SEP. El Salto. Pueblo Nuevo Durango. México. 113 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2006. Desarrollo forestal sustentable en México. Avances 2001-2006. Zapopán, Jalisco. México. 179 p.
- Cruz, M. M. 2013. Crecimiento de tres especies forestales en plantaciones con enriquecimiento de acahual y agroforestal en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 38 p.
- Díaz, B. L, 1997, Turno forestal económicamente óptimo: Una Revisión. Revista Española de Economía Agraria. 180: 181-224.
- DOF. (2018). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento. Nueva ley publicada en el Diario Oficial de la Federación en 2003, D.F., México. Última reforma publicado DOF 05-05-2018. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5525247&fecha=05/06/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525247&fecha=05/06/2018)
- Domínguez, C. P. A., F. J. Rodríguez, F., L. Lizárraga M., M.A. Jiménez, G. y J. Návar. 2007. Aplicación y ejemplo de modelos de crecimiento en diámetro para árboles tropicales. Ecosistema y Recursos Agropecuarios. México 4(11): 265-274.
- FAO. 1993. Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical. Estudio FAO Montes 101. Roma, Italia. 158 p. avances
- Fernández, S.A., P. A. Zevallos P., C. Chuquicaja S. y G. Pérez H. 2007. Determinación preliminar del turno silvicultural y financiero de cuatro especies utilizadas para reforestación en Satipo, Perú. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/266388085\\_Determinacion\\_preliminar\\_del\\_turno\\_silvicultural\\_y\\_financiero\\_de\\_cuatro\\_especies\\_utilizadas\\_para\\_reforestacion\\_en\\_Satipo\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/266388085_Determinacion_preliminar_del_turno_silvicultural_y_financiero_de_cuatro_especies_utilizadas_para_reforestacion_en_Satipo_Peru)
- Gallardo, S. J. A. 2013, Programa de manejo forestal nivel simplificado del Ejido Ingenio del Rosario. Trabajo de experiencia profesional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. 41 p.

- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriqueta García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D. F. 217 p.
- García, C. X., C. Parraguirre L. P. y B. Rodríguez S. 1992. Modelo de crecimiento para una plantación de *Swietenia macrophylla* King. Revista Ciencia Forestal en México.. 17 (71): 87-102.
- García C. X., J. Flores G. y J. de D. Benavides S. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (Cedro rojo) en Quintana Roo, México. Revista Ciencias forestal en México. 39(101): 71-92
- Imaña E. J. y Encinas B. O. 2008. Epidometría forestal. Primera Edición. Copyring. Mérida, Venezuela. 72 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. 9 p.
- Klepac, D.1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México.365 p.
- Martínez-Ruiz, H., S. Azpíro R., J.L. Rodríguez de la O., V.M. Centina A. y M. A. Gutiérrez-E. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. RA XIMHAI. Revista de Sociedad, Cultura y desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma Indígena de México. 2(3):815-846.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático *In*: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. SARH-INIF. Publicación especial No. 4. México, D. F. pp. 35-45.
- Musalem, S., M. A. 2006. Silvicultura de Plantaciones Forestales. Primera Edición. Universidad Autónoma Chapingo. México. 314 p.
- Morales H., J. 1997. Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla y Candelaria Loxicha, Oaxaca. Agrosilvícola San José S.P.R. de R.I. Pochutla, Oaxaca. 32 p.

- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 1998. Árboles tropicales de México: manual para identificación de 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. Folleto técnico 26. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Pecuarías (INIFAP), 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. *Ciencia Forestal en México*. 16(70): 87-108.
- Rojas M., G. 1995. Experiencias de plantaciones comerciales de *Cedrela odorata* L. en sistema agroforestales de la región de los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 114 p.
- Rozendaal, D.M. y P.A. Zuidema. 2011. Dendroecology in the tropics: a review. *Trees* 25(1):3-16.
- Ruiz G. C. G. 2015. Crecimiento y turno absoluto de *Cedrela odorata* L. a los 17 años de establecimiento en plantaciones de acahual, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. México, 51 p.
- Salazar, R., D. Joker and L. Schmidt. 2000. *Cedrela odorata* L.: Seed leaflet CATIE-DFSC. No. 20 Turrialba, Costa Rica. 2 p.
- Sandoval G. R. 2010. Crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales de plantaciones comerciales en Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de licenciatura.

- 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 de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México 55 p.
- SEMARNAT. 2013. Programa Nacional Forestal 2014-2018. CONAFOR.SEMARNAT. Guadalajara, Jalisco. México. 140 p
- Torres, R. J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Limusa S. A. México, D. F. 472 p.
- Valdez. H. J. I. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. Maderas y Bosque. 10(2): 93-104.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: Applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Uk. 312 p.
- Zárate, S. A. 2010. Plantación Forestal “La Sabana”, Memoria de Experiencia Profesional de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. México, México 10 p.
- Zeide; B. 1993. Analysis of Growth Equations. Forest Science, 39(3):594–616.

## APÉNDICES

Apéndice 1. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose. en las plantaciones forestales comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros		
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	CME	a	b	c
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Chapman-richards	0.82300	0.82098	30.8981	24.6230	0.0672	1.1031
	Gompertz	0.82284	0.82081	30.9272	20.6400	0.8687	0.1436
	Logistico	0.82265	0.82062	30.9606	19.0691	1.7126	0.2167
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.82307	0.82104	30.8866	4.275	4.9188	0.5593
	Weibull	0.82300	0.82098	30.8981	24.6221	0.0509	1.1032
<i>Cedrela odorata</i> L.	Chapman-richards	0.91152	0.91120	19.3395	29.9837	0.0461	0.8811
	Gompertz	0.91151	0.91119	19.3418	23.1450	0.6105	0.1011
	Logistico	0.91150	0.91118	19.3439	21.4081	1.2942	0.1501
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.91152	0.91120	19.3393	4.6766	4.862	0.3599
	Weibull	0.91152	0.91120	19.3395	29.9834	0.0664	0.8811

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup>Adj=coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 2. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para diámetro de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose. en las plantaciones forestales comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros		
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	CME	a	b	C
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Chapman-richards	0.8030	0.8053	37.8939	44.5099	0.0314	1.0054
	Gompertz	0.8029	0.8051	37.9259	25.9120	0.8931	0.1146
	Logístico	0.8027	0.8049	37.956	22.6136	1.8211	0.1920
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.8031	0.8053	37.8892	6.5584	6.5925	0.2187
	Weibull	0.8030	0.8053	37.8939	44.5074	0.0309	1.0054
<i>Cedrela odorata</i> L.	Chapman-richards	0.8776	0.8771	48.5001	39.6663	0.0475	0.9459
	Gompertz	0.8776	0.8772	48.4838	31.5088	0.6858	0.1020
	Logístico	0.8777	0.8772	48.4706	28.7386	1.4301	0.1566
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.8827	0.8771	48.5064	5.1313	5.0895	0.3218
	Weibull	0.8776	0.8771	48.5001	39.6658	0.0560	0.9459

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup>adj=coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.

Apéndice 3. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para área basal de *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia donnell-smithii* Rose. en las plantaciones forestales comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Especie	Modelo	Estadísticos			Parámetros		
		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> adj	CME	a	b	C
<i>Tabebuia donnell-smithii</i> Rose.	Chapman-richards	0.5754	0.5804	0.000203	0.133	0.0270	1.6734
	Gompertz	0.5754	0.5706	0.000203	0.0718	1.4833	0.0991
	Logistico	0.5754	0.5803	0.000203	0.0458	3.2153	0.2374
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.5754	0.5803	0.000203	9.3622	17.7884	0.2254
	Weibull	0.5754	0.5804	0.000203	0.123	0.00398	1.6634
<i>Cedrela odorata</i> L.	Chapman-richards	0.6664	0.6652	0.000556	0.0831	0.0498	1.7342
	Gompertz	0.6665	0.6652	0.000556	0.0833	1.3850	0.1077
	Logistico	0.6666	0.6652	0.000556	0.0651	2.8735	0.2137
	Schumacher modificado por Bailey & Clutter	0.6663	0.6652	0.000556	50.4885	57.6377	0.0252
	Weibull	0.6664	0.6652	0.000556	0.0812	0.00572	1.8142

R<sup>2</sup>=coeficiente de determinación, R<sup>2</sup>adj=coeficiente de determinación ajustado y CME=cuadrado medio del error.