

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Crecimiento y Turno Absoluto de *Cedrela odorata* L. a 17 Años de Establecimiento en Plantaciones de Acahual, Pochutla, Oaxaca

Por:

CECILIA GUADALUPE RUIZ GONZALEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Crecimiento y Turno Absoluto de *Cedrela odorata* L. a 17 Años de
Establecimiento en Plantaciones de Acahual, Pochutla, Oaxaca

Por:

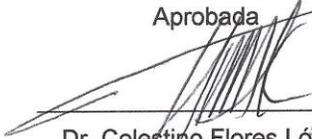
CECILIA GUADALUPE RUIZ GONZALEZ

TESIS

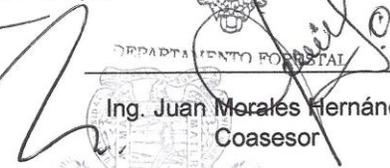
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada


Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal


Dr. Jorge Méndez González
Coasesor


Ing. Juan Morales Hernández
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo, 2015

Este proyecto de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave No. 38-111-3613-2192, a cargo del profesor investigador Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A DIOS por darme la fortaleza de querer superarme, por cuidarme y protegerme, gracias por darme la vida llena de cosas buenas y de bendiciones.

A mis PADRES: María del Carmen Gonzalez García y Guadalupe Ruiz Santis, por darme su amor incondicional, por todos los esfuerzos que hicieron para que llegaré a la meta final, me siento orgullosa de ser su hija y estar con ustedes, ambos me han demostrado cuanto me apoyan y me quieren ya que me han dado la mejor herencia que es el estudio, aparte toda la felicidad que siempre me ha rodeado, los amo. Gracias a ustedes soy lo que soy ahora, gracias por enseñarme a nunca rendirme ante los problemas, ustedes son los seres a quien más valoro en el mundo.

A mis HERMANOS: Carlos Miguel Ruiz Gonzalez y Samuel Rovelo Ruiz Gonzalez que siempre estuvieron cuando más lo necesite, por los momentos felices que he pasado junto a ustedes, los quiero mucho y todo en esta vida se puede recordar siempre. Gracias por ser los mejores hermanos y amigos.

A mis ABUELOS por darme los mejores consejos y fuerzas para seguir adelante, por el gran amor que me tienen y la confianza, gracias por ser parte de mi vida por estar conmigo cuando más lo necesito.

A mis TIOS y TIAS por darme su apoyo incondicional cuando más lo necesite, gracias por acordarse de mí y aconsejarme lo mejor para hacer las cosas bien, gracias por todo lo quiero. En especial a mis tías, Rosario Gonzalez García y Concepción Guadalupe Gonzalez García y a mi tío Manuel Raúl Sosa Huerta, quienes siempre confiaron en mí y me apoyaron incondicionalmente los quiero mucho.

A mi NOVIO Juan Carlos Montoya Jiménez, gracias por ser la persona que siempre está pendiente de mí. Por ser la que conjuntamente al transcurso de mi carrera me ha brindado su amistad y su cariño, por estar presente en los momentos de alegría y tristeza, que con sus consejos me ha hecho reflexionar por lo bueno y lo malo, por comprenderme y tenerme paciencia en los momentos difíciles TE AMO.

AGRADECIMIENTOS

A la escuela donde pase estos 5 años de carrera la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, gracias por cobijarme estos años y brindarme los conocimientos necesarios para poder desarrollarme.

Al Dr. Celestino Flores López por ayudarme a realizar la tesis y obtener conocimientos durante la carrera, gracias por ayudarme a terminar una etapa más, por apoyarme incondicionalmente y por brindarme su amistad.

Al Dr. Jorge Méndez González y su familia, por darme consejos tan valiosos y sobre todo darme su amistad, gracias Dr. Jorge por contribuir con mis estudios otorgándome conocimientos necesarios para mi profesión.

Al Ing. Juan Morales Hernández por haber puesto a nuestra disposición las plantaciones de evaluación del presente trabajo, también por el apoyo que nos brindó durante las evaluaciones en los predios.

A los señores Roberto Pablo Salinas López y Vicente Venegas González por prestarnos su tiempo durante el periodo evaluación de campo ya que gracias a su ayuda pude obtener los datos de campo, ellos nos guiaron por todos los sitio de evaluación ya que ellos son trabajadores de la plantación y conocen muy bien los lugares. También le agradezco a Juan Carlos, Claudia y Saúl por acompañarme y ayudarme a realizar la evolución en campo.

A todos los compañeros de la generación de Ingeniero Forestal por todos los momentos en los que convivimos ya sea en las aulas o en las prácticas, gracias por su amistad y respeto que nos tuvimos entre todos.

A mis Mejores amigos: Luis Reynaldo, Claudia Elizabeth, Saúl Alejandro, Librado, los quiero mucho y gracias por formar parte de mi vida y darme los mejores consejos y estar en momentos tristes y alegres son muy importantes.

A todos los maestros que me enseñaron nuevos conocimientos durante mi preparación.

A todas las personas que sin querer omití gracias por todos los consejos y apoyos brindados para poder terminar la carrera también a las personas que me brindaron incondicionalmente su amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	4
1.2 Objetivo general	5
1.3 Objetivos particulares.....	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Plantaciones forestales comerciales	6
2.2 Plantaciones de especies tropicales en México	7
2.3 Importancia de las plantaciones forestales	8
2.4 Crecimiento de especies forestales tropicales	8
2.4.1 Desarrollo e incremento del árbol en altura	9
2.4.2 Desarrollo e incremento del árbol en diámetro	10
2.4.3 Desarrollo e incremento del árbol en volumen.....	10
2.5 Descripción de <i>Cedrela odorata</i> L.....	11
2.6 Problemas fitosanitarios de las plantaciones	11
2.7 Modelos de crecimiento en especies tropicales y determinación de turnos	12
2.8 Enriquecimiento de acahuales	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 Descripción del área de estudio	16
3.1.1 Ubicación geográfica	16
3.1.2.1 Hidrología	17

3.1.2.2	Clima	18
3.1.2.3	Edafología	18
3.1.2.4	Vegetación.....	18
3.1.2.5	Fauna	19
3.3	Medición de variables a utilizar	20
3.4	Modelos de crecimiento	21
3.4.1	Modelos no lineales	21
3.4.2	Estadísticos de comparación	22
3.5	Determinación de turno.....	22
3.6	Comparación de curvas ajustadas de las variables diámetro y altura.....	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		24
4.1	Crecimiento e Incremento en diámetro	24
4.1.1	Determinación del turno absoluto en diámetro	25
4.2	Crecimiento e Incremento en altura	26
4.2.1	Determinación del turno absoluto en altura	27
4.3	Crecimiento e Incremento en área basal	27
4.3.1	Determinación del turno absoluto en área basal.....	28
4.4	Crecimiento e Incremento en volumen.....	28
4.4.1	Determinación del turno absoluto en volumen.....	29
4.5	Comparación entre estudios de incremento.....	34
4.6	Comparación de curvas de crecimiento en diámetro y altura de <i>Cedrela odorata</i> L., con otros estudios realizados en Oaxaca	35
5	CONCLUSIONES.....	39
6	RECOMENDACIONES	40
7	LITERATURA CITADA.....	41
APÉNDICES.....		49

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación y características de los turnos forestales para manejo de plantaciones o bosques.....	13
Cuadro 2. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro, área basal, altura y volumen para <i>Cedrela odorata</i> L.....	21
Cuadro 3. Ecuaciones utilizadas para determinar crecimiento e incremento de altura, diámetro a 1.30 m, área basal y volumen de <i>Cedrela odorata</i> L.....	23
Cuadro 4. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L., en Oaxaca.....	36
Cuadro 5. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en altura de <i>Cedrela odorata</i> L., en Oaxaca.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de <i>Cedrela odorata</i> L., en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.....	16
Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial “El Triunfo”, en Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.....	17
Figura 3. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	30
Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	31
Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable área basal (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	32
Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de volumen (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable volumen (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.....	33
Figura 7. Curvas de crecimiento en diámetro de <i>Cedrela odorata</i> L., para diferentes estudios en Oaxaca.....	36
Figura 8. Curvas de crecimiento en altura de la especie <i>Cedrela odorata</i> L., para diferentes estudios en Oaxaca.....	37

RESUMEN

Los estudios sobre crecimiento de *Cedrela odorata* L., que se han realizado en México son escasos, esto lleva a su vez a una falta de información objetiva sobre el estudio de la especie.

En este estudio se analizó el crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen en *Cedrela odorata* L., en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Municipio de San Pedro Pochutla y en Santiago La Galera, Municipio de Candelaria Loxicha, ambos del Distrito de Pochutla Oaxaca. Se evaluaron 40 sitios permanentes de forma circular de 250 m² cuyos árboles se les midió: altura total, diámetro a 30 cm y a 1.30 m del suelo, grosor de corteza, longitud y diámetro de copa.

De los datos obtenidos únicamente se utilizaron: diámetro a 1.30 m, altura, área basal y volumen de los años 2010, 2011, 2012 y 2013, sumando así un total de 160 valores de sitios levantados en 4 años de evaluación, con estas variables se determinó el crecimiento de *Cedrela odorata* L., utilizando los modelos Schumacher modificado por Bailey y Clutter, Chapman-Richards y Weibull para determinar el mejor modelo de ajuste.

Para diámetro, área basal y volumen, el modelo que más se ajustó fue el de Weibull presentando tendencias de crecimiento de forma sigmoideal. Para la altura el modelo que más se ajustó fue el modelo de Schumacher modificado por Bailey y Clutter. El incremento Medio anual Máximo para diámetro fue a los 9 años y 6 meses, en altura a los 7 años y medio, área basal a los 14 años y 8 meses y para el volumen a los 15 años y 6 meses, esto indica que las variables evaluadas ya llegaron al turno absoluto. Las diferencias que se obtuvieron en comparaciones entre estudios realizados en Oaxaca de diámetro y altura, para ambas variables el resultado fue que las curvas de crecimiento son iguales es decir obtuvieron la misma tendencia.

Correo Electrónico; Cecilia Guadalupe Ruiz Gonzalez, ceci_forestal@hotmail.com

Palabras claves: Modelos de crecimiento, *Cedrela odorata* L., turno absoluto, plantaciones y Oaxaca

ABSTRACT

Studies on growth of *Cedrela odorata* L., that have been conducted in Mexico are rare this takes into a need of objective information about studies like this.

This study analyzed the growth in diameter, height, basal area and volume in *Cedrela odorata* L., in acahual enrichment plantations of San Jose Chacalapa, municipality of San Pedro Pochutla in Santiago and La Galera, Municipality Candelaria Loxicha, both are in District of Pochutla, Oaxaca. Were evaluated 40 permanent circular plots of 250 m² where trees were measured: Total height, diameter at 30 cm and 1.30 m above ground, bark thickness, and diameter of tree crown.

From the data obtained in field only were used diameters at breast height 1.30 m, height, basal area and volume of the years 2010, 2011, 2012 and 2013, adding a total of 160 values of sites raised in four years of evaluation, with these variables growth of *Cedrela odorata* L., was determined using the Schumacher model modified by Bailey and Clutter, Chapman-Richards and Weibull to determine the best model fit.

For diameter, basal area and volume, the model that was adjusted was Weibull, presenting growth trends of its sigmoidal shape. For height the model that was better adjusted was the model Schumacher modified by Bailey and Clutter. The maximum increment to diameter was at 9 years old and 6 months, in height at 7 and a half years, basal area was at 14 years and 8 months, for the volume was at 15 years and 6 months, this indicates that the variables already evaluated reached the rotation age. The differences that were obtained in comparisons between studies in Oaxaca in diameter and height for both variables the result was that the growth curves are equal ie they obtained the same trend

Keywords: Growth models, *Cedrela odorata* L., rotation age, plantations y Oaxaca.

1 INTRODUCCIÓN

Las plantaciones forestales comerciales en el mundo alcanzan aproximadamente una extensión de 187 millones de hectáreas (ha), que representan el 4.8% de toda la superficie forestal mundial, concentrándose principalmente en 10 países; las especies que más se plantan a nivel mundial, el género *Pinus* ocupa el mayor porcentaje con poco más del 20%, le siguen el género *Eucalyptus* (10%), *Hevea* (5%), *Acacia* (4%) y *Tectona* (3%), otras latifoliadas en conjunto ocupan un 18% y otras coníferas diferentes del género *Pinus* ocupan un 11% (Velázquez-Martínez, 2013).

La superficie en México, cubierta por plantaciones forestales comerciales de diversas especies a nivel nacional alcanza aproximadamente 117,479 ha, de las cuales las especies maderables representan un 85.2%, distribuidas básicamente en los estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, siendo el *Cedrela odorata* L., y el *Eucalyptus*, las especies que mayormente se han plantado, el resto de la superficie de plantaciones forestales comerciales corresponde a especies no maderable (Velázquez-Martínez, 2013). En México aproximadamente 22 millones de ha aptas para desarrollar plantaciones forestales comerciales, de las cuales la CONAFOR ha definido 13.9 millones de ha como prioritarias con calidad de suelos y climas favorables para obtener un crecimiento rápido, mano de obra disponible y un mercado interno que demanda más materias primas forestales cada día (CONAFOR, 2013).

Las zonas tropicales de México pueden considerarse como de gran potencial para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales, ya que considerando su posición geográfica, reciben grandes cantidades de energía solar, lo que junto con las condiciones favorables de suelo y clima que las caracterizan, permiten un crecimiento adecuado de las especies arbórea (Martínez-Ruiz *et al.*, 2006).

Las principales especies plantadas en México son eucalipto 25%, caoba 10%, cedro rojo 30%, melina 25% y pino 10% (COPARMEX, 2009). La selección de las especies a utilizar en una plantación forestal comercial debe ser acorde

con las características agroecológicas del área a plantar y con los productos que se espera obtener, las principales plántulas utilizadas en zonas de clima templado son los pinos y para los climas tropicales son: eucalipto, teca, melina, caoba, cedro y paraíso (Martínez-Ruiz *et al.*, 2006).

Durante los últimos años se ha impulsado fuertemente el uso de *Cedrela odorata* L., y *Swietenia macrophylla* King, con bastante éxito. Estas dos especies dominan la reforestación a través de incentivos, con 6500 ha y 3800 ha plantadas del género *Cedrela* y *Swietenia*, respectivamente (Mesén, 2006).

Un ejemplo es el estudio de estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de Cedro y Caoba en Oaxaca, México. Este estudio generó conocimientos técnicos y económicos en la plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en la región de Tuxtepec, Oaxaca es por eso la importancia que representan en el trópico mexicano ya que a través de los géneros *Cedrela* y *Swietenia* se puede contribuir localmente al desarrollo económico y social por lo tanto, es de suma importancia (Bravo-Medel, 2007).

Otro ejemplo es el análisis de crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales en plantaciones de enriquecimiento de acahual y agroforestal en Pochutla, Oaxaca con especies de *Cedrela odorata* L., *Swietenia Macrophylla* King, *Tabebuia donnell*, *Smithii* y así saber cómo es el crecimiento de las especies estudiadas o la sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de las plantaciones forestales comerciales (Santiago-García, 2012; Cruz-Méndez, 2013).

Además de que en México son pocas las investigaciones de enriquecimiento de acahual y agroforestal que se han realizado, para saber cuál es el crecimiento que tienen las plantaciones es por eso que se justifica el saber cuál es el estado de crecimiento de las plantaciones de San José Chacalapa y Santiago La Galera, Pochutla, Oaxaca mediante evaluaciones continuas que se han hecho, lo cual permitirá establecer criterios para el manejo de plantaciones de este tipo.

En México el género *Cedrela* se conoce solo una especie *Cedrela odorata* L., la cual es considerada por la Norma Oficial Mexicana NOM_059_SEMARNAT_2010, como especie Sujeta a Protección Especial (SEMARNAT, 2010). Una alternativa que ha surgido para frenar tal situación e incrementar tanto la superficie como la producción forestal, es el establecimiento de plantaciones forestales. El consumo mundial de madera se reparte entre las necesidades energéticas, leñas y carbón vegetal (más del 50%), la madera de aserrío, postes y construcción (20%), y la dedicada a la industria de la celulosa y el papel (17%). Por lo cual surge la necesidad de establecer plantaciones forestales, con el objetivo de satisfacer la demanda de productos forestales (Palomeque-Figueroa, 2011).

Debido al estatus de la especie *Cedrela odorata* L., es importante realizar monitoreo mediante sitios permanente y estudios para evitar el deterioro de las plantaciones existentes; los sitios permanentes forman una parte importante en la investigación forestal; su establecimiento se realiza con la finalidad de monitorear periódicamente los cambios en el desarrollo de las especies forestales, los cuales pueden darse bajo condiciones naturales o controladas (Olvera-Vargas *et al.*, 1996).

Para el género *Cedrela* en los trópicos, no existe información científica previa acerca de su crecimiento y rendimiento, esto lleva a su vez, a una falta de información objetiva sobre el análisis beneficio/costo y como consecuencia de un verdadero manejo en la mayoría de los bosques tropicales (Galán-Larrea *et al.*, 2008).

La capacidad productiva de una estación poblada por una especie dada y tratada a un turno conocido puede ser determinada directamente a través de mediciones repetidas o lo largo de todo el ciclo producto fijado, y contabilizando los volúmenes existentes y extraídos en las intervenciones silvícolas así como la mortalidad natural si se produce. Este procedimiento es lento y costoso en especies de turnos medios y largos (Ortega y Montero, 1988).

El turno absoluto corresponder con el momento del máximo valor económico de los productos a extraer de una especie, es importante ya que nos

dicta el tiempo medio que se debe esperar para un aprovechamiento maderable de calidad y varía en función de la estación forestal en la que se encuentre instaurada la repoblación (Angulo *et al.*, 2003).

Desde el punto de vista económico, el turno es un periodo de inversión, es por esto que deben considerarse los aspectos de rentabilidad para la determinación del turno. Para poder decidir cuál es el turno adecuado, se toman en cuenta factores de carácter biológico, estacional y socioeconómico que afectan la longitud del mismo (SARH, 1985).

Es por eso que en el estado de Oaxaca en las regiones de la costa fueron establecidas plantaciones forestales comerciales con enriquecimiento de acahual (Galán-Larrea *et al.*, 2008). La rehabilitación de la vegetación secundaria (acahuales), a partir de plantaciones forestales con especies nativas, es una de las principales estrategias para la preservación y recuperación de los ecosistemas en el trópico húmedo. El establecimiento de este tipo de plantaciones para la rehabilitación en áreas degradadas, puede facilitar la sucesión forestal al generar condiciones ambientales del sotobosque que favorecen el reclutamiento y el crecimiento de los árboles y arbustos nativos (Levy-Tacher y Castellanos-Albores, 2011).

La presente investigación permitirá evaluar la productividad en las plantaciones forestales establecidas en San José Chacalapa. Por todo lo antes mencionado se desarrolló la presente investigación, con el propósito de ofrecer información acerca del crecimiento que ha obtenido la plantación de *Cedrela odorata* L., en un sistema de enriquecimiento de acahual y si aún la plantación sigue siendo rentable.

1.1 Hipótesis

Ho: Las curvas de crecimiento de diámetro a 1.30 m, área basal, altura y volumen de *Cedrela odorata* L., alcanzan el turno absoluto a 17 años de establecimiento.

Ha: Las curvas de crecimiento de diámetro a 1.30 m, área basal, altura y volumen de *Cedrela odorata* L., no alcanzaron el turno absoluto a 17 años de establecimiento.

1.2 Objetivo general

Analizar a través de modelos no lineales los crecimientos de *Cedrela odorata* L., en diámetro a 1.30 m, altura, área basal y volumen y determinar el turno absoluto, para plantaciones de enriquecimiento de acahual a 17 años de establecidas en Pochutla, Oaxaca.

1.3 Objetivos particulares

- Determinar cuál es el mejor modelo de ajuste para las variables diámetro a 1.30 m, altura, área basal y volumen en *Cedrela odorata* L., para curvas en crecimiento mediante estadísticos.
- Derivar los incrementos: Incremento Corriente Anual (ICA) e Incremento Medio Anual (IMA) a partir de los modelos seleccionados para las variables diámetro a 1.30 m, altura, área basal y volumen de *Cedrela odorata* L.
- Determinar el turno absoluto para todas las variables a partir de las curvas de crecimiento incremento.
- Comparar curvas de crecimiento de *Cedrela odorata* L., con otros estudios de crecimiento en Oaxaca.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Plantaciones forestales comerciales

Actualmente las plantaciones forestales comerciales se consideran una alternativa para disminuir la presión que se ha ejercido sobre los bosques naturales, factor detonante del desequilibrio ecológico (Arteaga-Martínez y Pérez-Castillo, 2001).

El éxito del establecimiento de una plantación forestal está determinado por múltiples factores de tipo climático, edáfico y biótico (competencia, plagas y enfermedades, etc.) que pueden influir en el desarrollo de los árboles. A su vez, para las especies tropicales, cuyo ambiente natural son bosques muy diversos, existen otros factores que influyen en su desarrollo en sistemas de producción manejados, tales como la competencia intraespecífica, efecto de la luz, del viento, factores bióticos que actúan en forma particular en ambientes simplificados, etc. (Monge y Agüero, 2005).

Por lo que se refiere a México, es un país que tiene un excelente potencial biológico, físico y climático, para el establecimiento de plantaciones de árboles forestales, tanto de especies de coníferas, como de latifoliadas. Por lo que el establecimiento de plantaciones forestales comerciales es considerado como una opción viable para incrementar la productividad del sector, y reducir la presión de uso del bosque natural. El país tiene 8 millones de ha de terrenos preferentemente forestales, con aptitud para realizar plantaciones forestales (Arano-Santos *et al.*, 2006).

En relación con lo anterior en 1997 se crea el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales (PRODEPLAN), con el propósito de apoyar el establecimiento de plantaciones forestales comerciales para satisfacer la demanda interna de productos maderables y no maderables, también para crear alternativas de desarrollo sustentable y de diversificación productiva en el país mediante la reconversión al uso forestal de terrenos que anteriormente fueron desmontados con fines agropecuarios (Fierros-González, *et al.*, 2012).

2.2 Plantaciones de especies tropicales en México

En México las plantaciones forestales en el trópico se iniciaron hace más de 40 años, a través del servicio forestal y de algunas empresas concesionarias de aprovechamientos forestales (Arteaga-Martínez y Izaguirre-Rangel, 2004).

Todos los países en conjunto poseen un total estimado de 67 millones de ha de plantaciones forestales tropicales, de las cuales casi el 80% se encuentran en la región de Asia-Pacífico, el 13% en América Latina y el Caribe, y solo el 7% en África. Sin embargo las plantaciones forestales tropicales tienen algunas ventajas comparativas posibles, ya que pueden alcanzar incrementos medios anuales que, en promedio son de 5 a 10 veces más que de los bosques naturales y a menudo son considerablemente mayores que los niveles alcanzados en las plantaciones no tropicales (Tomaselli, 2007.)

Se estima que en el 2008 en México las plantaciones forestales comerciales tropicales cubrían una superficie de 83 mil ha, que corresponden aproximadamente al 83% del total de superficie plantada. Los géneros *Cedrela*, *Swietenia*, (incluyen cedro rojo y caoba las dos especies nativas más importantes de México por su valor en el mercado), *Eucalyptus*, (incluye más de diez especies que se han plantado tanto en la zona tropical como en la zona templada. *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*, las dos especies tropicales más importantes cubren la mayor proporción de superficie plantada), *Tectona grandis* y *Gmelina* cubren la mayor superficie de las plantaciones forestales comerciales tropicales y son las especies introducidas más populares para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en México. 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.).

2.3 Importancia de las plantaciones forestales

En los últimos años, las plantaciones forestales han captado una gran atención a nivel nacional debido a su capacidad para producir diferentes productos y servicios ambientales, resaltando la producción de madera para cercos, muebles, construcción, leña, etc., y su uso como un medio de conservación del agua y protección de los suelos (FONAN, 2007).

El establecimiento de plantaciones forestales comerciales en nuestro país, se ha limitado principalmente a la protección de áreas degradadas, y pocos son los ejemplos de poblaciones establecidas con fines comerciales. Debe señalarse que en la actualidad muchas industrias y organizaciones ligadas a la actividad forestal, están estableciendo o planean establecer plantaciones para satisfacer parte de sus necesidades en materia prima, ante la inminente escasez y alejamiento de las fuentes productoras en algunas regiones del país (Martínez-Ruiz *et al.*, 2006).

Las plantaciones forestales permiten restaurar y recuperar la biodiversidad al disminuir la presión sobre el uso de los recursos forestales naturales, mejora el ciclo hidrológico, la recarga de los acuíferos, la calidad del agua y restablecen el hábitat para la fauna silvestre. Las plantaciones forestales comerciales son la mejor estrategia con que cuenta la humanidad para capturar el bióxido de carbono que provoca el calentamiento de la tierra por el efecto invernadero y, además de capturarlo, lo fijan y retienen en las fibras de madera, no importa que sean aprovechadas y empleadas por el hombre en forma de papel, cartón, muebles o construcciones (Correas, 2005).

2.4 Crecimiento de especies forestales tropicales

Una masa no es la suma simple de árboles, es una biocenosis formada por numerosos individuos comprendidos en un todo, en el cual rigen multitud de interrelaciones. Los individuos en una masa presentan diferentes ritmos de crecimiento; muchos son eliminados a través de la selección natural o artificial,

teniendo como consecuencia que el desarrollo e incremento de una masa es diferente al desarrollo e incremento de un árbol (Klepac, 1983).

El crecimiento de los árboles puede ser medido a través de la modificación, a un mayor valor, de la magnitud de cualquier característica mensurable, como el diámetro, la altura, el volumen y otros. El crecimiento de los árboles individuales se refleja en el aumento de los tejidos (floema, xilema, tallo, parénquima) a través del tiempo, en el cual se produce la suma de la división celular, elongamiento del meristema primario y engrosamiento de las células del meristema secundario. En consecuencia se puede definir el crecimiento de los árboles como el resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas como el diámetro, altura y volumen (Imaña y Encinas, 2008).

2.4.1 Desarrollo e incremento del árbol en altura

El incremento en altura se manifiesta en la primavera generalmente comienza con una gran intensidad, que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta septiembre u octubre. La variación en el incremento en altura en árboles individuales se debe probablemente a su diferente reacción al fotoperiodo. Es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles está 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, de ahí que sea comprensible que las raíces exhiben al principio un gran desarrollo. 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 en individuos producidos por semilla. Sin embargo el ritmo de incremento en brotes de cepa comienza a decrecer más pronto y disminuye de manera más rápida que el que sufren los provenientes de semilla (Klepac, 1983).

2.4.2 Desarrollo e incremento del árbol en diámetro

Para medir el crecimiento en diámetro se cuenta con varios instrumentos que difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional. El empleo de bandas dendrométricas es útil en inventarios forestales donde una proporción de árboles con diferentes diámetros se evaluadas a través del tiempo. Estas bandas se ajustan a la forma del tronco del árbol y detectan pequeños cambios en diámetro entre intervalos de medición. Se han usado principalmente en especies forestales de clima templado; su utilización en México es todavía incipiente. Las cintas diamétricas se han empleado en varios países para calcular el crecimiento en diámetro en especies arbóreas sobre todo en parcelas permanentes de muestreo (López-Ayala *et al.*, 2006).

2.4.3 Desarrollo e incremento del árbol en volumen

El crecimiento en volumen se refiere al aumento del volumen en un determinado período de tiempo y como en los casos anteriores, se evalúa calculando la diferencia de los volúmenes que el árbol tuvo al inicio y al final de período. El crecimiento en volumen es el resultado de los crecimientos del diámetro y de la altura, y depende de la forma del tronco. Por este motivo el cálculo de los volúmenes iniciales y finales se efectúa con base de las mediciones iniciales y finales de las variables citadas. El crecimiento en volumen está influenciado por los mismos factores mencionados para el crecimiento en altura y principalmente por la densidad del bosque. Los rodales forestales con mayor densidad de árboles por superficie, que presentan mayores valores medios de diámetro y área basimétrica individual, resultan en menor producción que los bosques con menor densidad. Las intervenciones silviculturales también pueden influir en la producción forestal, estimulando el crecimiento en volumen cuando son aplicadas con la intensidad correcta (Imaña y Encinas, 2008).

2.5 Descripción de *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-Barroso, 1999).

2.6 Problemas fitosanitarios de las plantaciones

Uno de los principales problemas que presenta la plantación de *Cedrela odorata* en Pochutla, Oaxaca es el ataque de barrenador de yemas, *Hypsiphylia grandella* Zeller, y barrenador de tallo *Chrysobothris yucateensis* en estado larvario, siendo las principales especies afectadas, al cedro rojo y la caoba. Otro de los problemas más notorios en la plantación de *Cedrela odorata* en Pochutla, Oaxaca son los daños causados por la insolación, por las hormigas (García-Pablo, 2005).

La principal plaga del cedro rojo es el llamado barrenador del cedro (*Hypsiphylia grandella*). La larva de este insecto barrena los brotes apicales aún no lignificados de los árboles jóvenes y consume la médula de arriba hacia abajo. El brote de la yema principal muere, provocando posteriormente su ramificación y achaparramiento (Ramírez-García *et al.*, 2008).

2.7 Modelos de crecimiento en especies tropicales y determinación de turnos

El ritmo del crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo. Este último siempre va asociado al crecimiento y es por este motivo que se procura conocer la edad de un árbol (Imaña y Encinas, 2008).

Los estudios de crecimiento de árboles y masas forestales son una herramienta de gran utilidad en 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, preservándolas y fomentándolas para futuras generaciones. Aunque los estudios de crecimiento tengan como objetivo primordial cuantificar la producción forestal, tienen una estrecha relación con la silvicultura de las especies en particular o con grupos de especies con requerimientos ecológicos similares (Cuevas-García *et al.*, 1992).

Un modelo es una abstracción o una representación simplificada de algunos aspectos de la dinámica natural de un rodal y puede involucrar el crecimiento, mortalidad y otros cambios de la estructura y composición (Vanclay, 1994).

A pesar de existir una serie de investigaciones encaminadas a generar nuevas técnicas para lograr un manejo óptimo de recursos forestales, en los modelos de crecimiento y rendimiento, en México aún se tienen muchas carencias para el desarrollo, implementación y ejecución de los modelos de crecimiento y rendimiento (Galán-Larrea, 2007).

Para la estimación del crecimiento hay gran variedad de modelos a utilizar aunque el factor limitante de la efectividad de los mismos, es la disponibilidad de datos acerca de las plantaciones en cuestión, que cubran una amplia gama de sitios, edades de los rodales. Pero los más utilizados han sido los modelos de Schumacher, Chapman–Richards y Weibull, principalmente al modelar altura

dominante y curvas de índice de sitio (Aguilar-Ramírez, 1981; Cuevas-García *et al.*, 1992).

De acuerdo a diversos trabajos realizados durante numerosos años de investigación en México, los modelos de crecimiento más utilizados para predecir el crecimiento en arboles tropicales son los modelos logísticos Schumacher, Chapman–Richards y Weibull (García-Cuevas *et al.*, 2007; Jiménez-Nehring, 2012).

El turno forestal de una plantación se define como el tiempo que transcurre desde que el rodal es plantado hasta que se cosecha y da lugar a una nueva masa. Este tiempo es variable para la producción de cada producto y especie y calidad de sitio. Existen varios tipos de turnos (Cuadro 1) de acuerdo con aspectos técnicos, biológicos, financieros, etc., que se aplican en condiciones específicas. El turno forestal define los ciclos de producción y su distribución (Musalem, 1989).

Cuadro 1. Clasificación y características de los turnos forestales para manejo de plantaciones o bosques.

Tipos de turno.	Definición.
Turno físico	Es aquel que coincide con el período de vida natural de una especie en un sitio dado (sitio o factor ambiental que impide el alcance de la madures ciclones, fuego, sequía, heladas, plagas, etc.)
Turno silvícola	Es aquel que asegura que la especie mantenga un vigor satisfactorio de crecimiento y reproducción. Cuando se desea regeneración natural y el turno determina la edad de producción de semilla.
Turno técnico	Es aquel en el cual una especie rinde la mayor cantidad de material de una dimensión específica para un uso determinado por un tamaño o tipo de producto para un uso.
Turno financiero	Es aquel que se obtiene en aquella edad de la masa, cuando se produce el máximo porcentaje de capitalización del suelo y

	del volumen de madera en pie.
Turno absoluto (máximo)	Es aquel que se obtiene en aquella edad de la masa cuando ésta produzca la mayor cantidad de material leñoso, sin tomar en cuenta la naturaleza o calidad de los productos. En general el turno absoluto se determina en base a la culminación del IMA en volumen obtiene la mayor producción promedio anual de madera.
Turno cultural	Es aquel en que los árboles o las masas forestales se mantienen con el propósito de mejorar el suelo y ser cortados solamente cuando hayan cumplido su función.
Turno económico	Es aquel que se obtiene en aquella edad de la masa cuando se produce el máximo rendimiento en precio por concepto de venta.
Turno comercial	Es aquel que se determina fijando previamente una tasa de capitalización y considerando que se ha llegado al término de explotabilidad comercial, cuando el estado de la inversión es el más ventajoso, es decir es aquel que garantiza el máximo ingreso medio neto por unidad de área árbol.
Turno legal	Es el que está fijado por la ley y éste se determina con el diámetro mínimo de corta, este tipo de turno se aplica en los bosques irregulares.

Fuente: Díaz-Balteiro, 1997; Gallardo-Sánchez, 2013; Valdez-Hernández, 2004.

Según CONAFOR, (2007), el crecimiento y el turno de la especie *Cedrela odorata* L., suceden más rápido cuando el árbol mide 15-35 cm de diámetro a la altura del pecho, ya que después se hace más lento. Los árboles en plantaciones se pueden aprovechar cuando alcanzan 45 cm de diámetro a la altura del pecho. La edad aproximada en que alcanzan estas dimensiones es a los 20-25 años. Los árboles que crecen en espaciamientos mayores pueden mostrar mayor incremento diamétrico y alcanzar tamaños comerciales más rápidamente.

2.8 Enriquecimiento de acahuales

Un acahual se llama a la vegetación secundaria en diferentes grados de madurez originado por la agricultura migratoria, y que según la lógica campesina, en el mediano o largo plazo volverá a convertirse en milpa, y así sucesivamente, en rotaciones (Soto-Pinto *et al.*, 2011). En México la deforestación ocurre a una tasa de 350 mil ha por año. Estos datos y los impactos observados en distintas áreas, han generado el interés de buscar alternativas entre las cuales figuran el sistema tipo taungya y el acahual mejorado (Soto-Pinto *et al.*, 2011).

Un acahual mejorado o enriquecido es definido como un sistema rotacional que combina especies maderables de alto valor con las especies colonizadoras naturales de la sucesión secundaria. Las especies maderables se establecen en la primera fase del acahual antes de los cinco años y a largo plazo el acahual se reconvertirá en cultivo, una vez que los árboles alcanzan su primer turno (son cosechados) o bien se reconvertirá en un sistema permanente en el mediano plazo (Soto-Pinto *et al.*, 2011).

En la región de la costa de Oaxaca, fueron establecidas plantaciones forestales de enriquecimiento de acahual, con especies de valor comercial. Estas plantaciones siguen una distribución sistemática, regular y ordenada, en líneas, fajas o grupos dentro del bosque o acahual y se consideran un método adecuado para generar bosques sobre explotadores donde la regeneración natural es insuficiente y se puede incrementar el volumen maderable con especies de alto valor comercial (Galán-Larrea *et al.*, 2008).

El enriquecimiento de acahual se define como el establecimiento de especies forestales maderables y no maderables de importancia económica en los acahuales, el enriquecimiento de acahual minimiza el riesgo de desmonte, garantiza la protección del suelo, además de ofrecer una fuente complementaria de ingresos. Las especies maderables utilizadas son el cedro rojo, la caoba, hormiguillo, melina, teca, palo rosa y la primavera; y las no maderables son la palma camedor, la vainilla y la palma pita (Morteo-Montiel, 2011).

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, 15° 50' latitud norte y 96° 28' longitud oeste con una altitud de 220 msnm (INEGI, 2000) dentro la cual se encuentran las plantaciones denominadas “El Pénjamo”, “El Carnizuelo”, “El Mango”, “Sin Nombre”, “Arroyo Rico” y “El Riego” (Figura 1) ésta última se encuentra bajo un sistema agroforestal con el cultivo del café. Otra de las plantaciones evaluadas fue “El Triunfo” (Figura 2) 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).

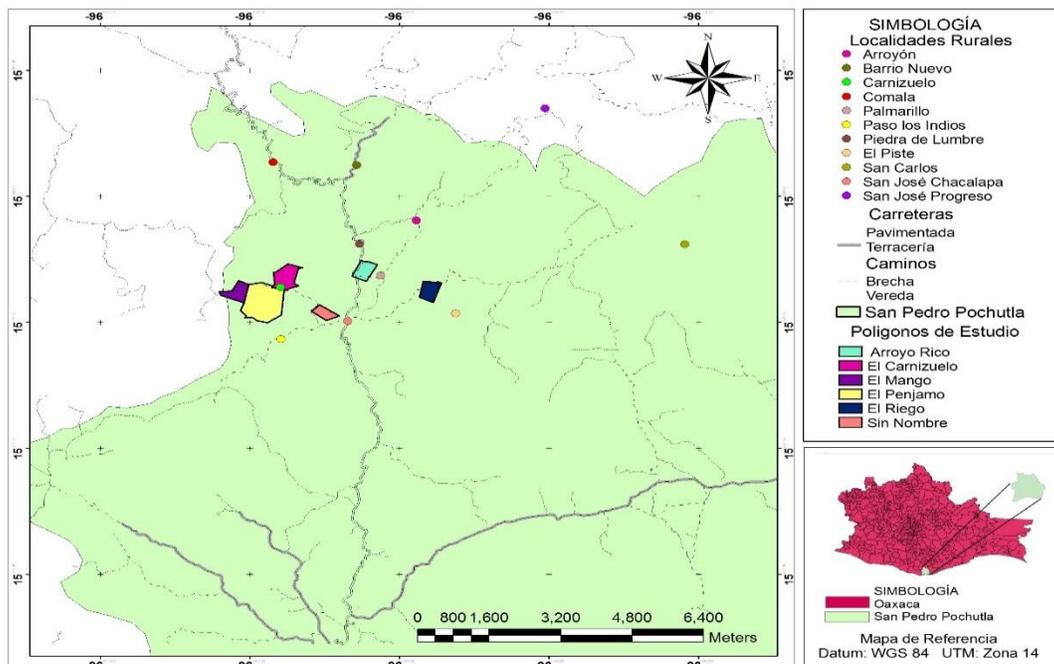


Figura 1. Localización geográfica de plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L., en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

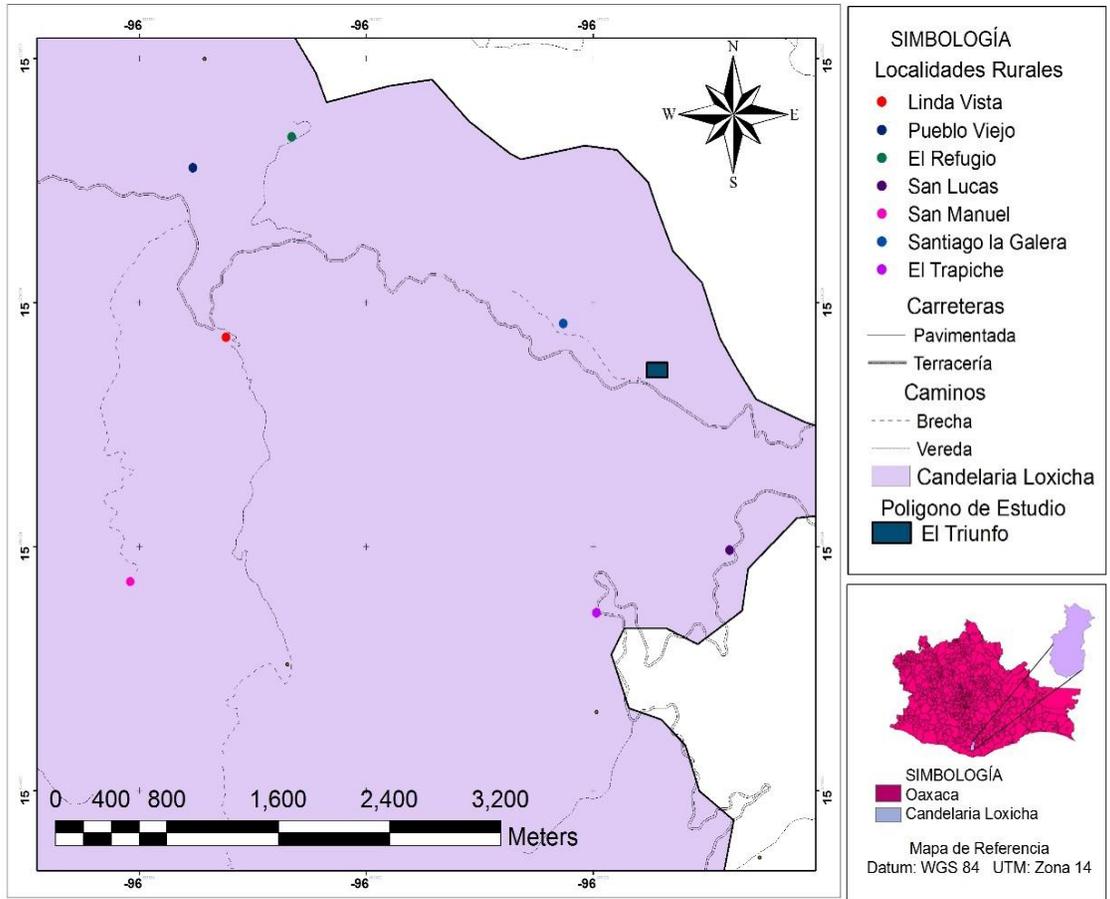


Figura 2. Localización geográfica de la plantación forestal comercial “El Triunfo”, en Santiago la Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

3.1.2 Aspectos ecológicos

3.1.2.1 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 (H. Ayuntamiento Constitucional, 2008; INEGI, 2005b).

3.1.2.2 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, el clima característico en san José Chacalapa en las áreas de evaluación: El Pénjamo, El mango, Carnizuelo, Sin Nombre, Arroyo Rico y El riego 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 son de enero a abril; las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril a agosto (García, 1973).

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, 1973).

3.1.2.3 Edafología

El suelo predominante en la comunidad de San José Chacalapa donde se encuentran las áreas de evaluación: El Pénjamo, El mango, Carnizuelos, Sin Nombre, Arroyo Rico y El riego corresponde a un regosol éutrico característicos por ser un color claro o pobres en materia orgánica con una profundidad moderada o alta (INEGI, 2004).

En Santiago la Galera, se observa suelo luvisol crómico, se caracteriza por presentar enriquecimiento de arcilla en el subsuelo son frecuentemente rojizo amarillentos aunque presentan tonos pardos (INEGI, 2004).

3.1.2.4 Vegetación

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, 1995; Rzedowski, 2006).

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 *Enterolobium cyclocarpum* (Jack.) Griseb. (Parota, huanacastle), *Guazuma ulmifolia* Lam. (Guácima), *Leucaena* 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, 2005a; Rzedowski, 2006).

3.1.2.5 Fauna

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

3.2 Muestreo y establecimiento de sitios permanentes

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-García, 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-García, 2010).

3.3 Medición de variables a utilizar

Las variables evaluadas, para poder realizar el presente trabajo fueron: altura total, diámetro a 30 cm y a 1.30 m del suelo, grosor de corteza, longitud y diámetro de copa. Para obtener las medidas necesarias se necesitaron los siguientes materiales: dos cintas diamétricas (Jackson) para medir los diámetros, una pistola (Haga) para medir alturas de los árboles, una vara de tres metros para tomar la altura de los árboles más pequeños, un calibrador sueco para la medición del grosor de la corteza de los árboles, 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 se realizó del 15 al 19 de julio del 2013 en cada uno de los sitios establecidos. Aparte de los datos recabados en esta evaluación se anexaron los datos obtenidos en el 2010, y 2011, 2012 evaluados por Santiago-García, (2012) y Cruz-Méndez, (2013) sumando así un total de 160 valores de sitios evaluados. Para el levantamiento de los datos se contó con el apoyo de unos de los trabajadores de la plantación para la ubicación de cada uno de los sitios.

Para el caso del volumen se tomará de la tabla de 2 entradas ya validada del siguiente trabajo: Tablas de Volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca a través de la siguiente ecuación (Hernández-Santiago, 2013).

$$VT = \text{Exp}(-7.3165 + 3.2288 \text{Log}_{10}(\text{DN}) + 2.1332 \text{Log}_{10}(\text{H}))$$

Donde:

VT=Volumen total m³.

H=Altura Total m.

DN=Diámetro normal cm.

Log₁₀=Logaritmo en base 10

3.4 Modelos de crecimiento

3.4.1 Modelos no lineales

El ritmo del crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo, es evidente la existencia de una correlación biológica y matemática entre parámetros del crecimiento y la productividad, ya sea el incremento en altura, diámetro, volumen o de cualquier otra índole biológica, a través de la integración de modelos de crecimiento (Sampayo *et al.*, 2010). Para obtener los crecimientos para las variables a evaluar, se utilizó el modelo mejor ajustado, de los modelos utilizados fueron Schumacher, Chapman-Richards y Weibull (Cuadro 2) (Poulin-Costello y Siéntese, 1994).

Cuadro 2. Modelos utilizados para estimar el crecimiento en diámetro, área basal, altura y volumen para *Cedrela odorata* L.

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

Donde: Y= DAP (diámetro a la altura del pecho en cm), altura en metros, volumen y área basal E=edad de la plantación en años, a, b, c, =coeficiente del modelo a estimar, exp= función exponencial.

3.4.2 Estadísticos de comparación

Para el análisis de las variables diámetro a 1.30 m, área basal, altura y volumen 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 (Cruz-Méndez, 2013). Se ingresaron las ecuaciones de los modelos. La selección de los modelos fue acorde al coeficiente de determinación (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el cuadrado medio del error (CME). Debido a que estas variables son considerados como los mejores criterios de selección (Vanclay, 1994). Obteniendo los ajustes para cada una de las variables se construyeron las gráficas, utilizando el programa Sigma Plot® versión 10.0.

3.5 Determinación de turno

Para la determinación del turno se realizó a través del Incremento Medio Anual (IMA) e Incremento Corriente Anual (ICA) que a continuación se describirá. El valor del incremento o crecimiento medio anual (IMA) expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. Expresa por tanto la media anual del crecimiento para cualquier edad. El IMA es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad a partir del tiempo cero (Cuadro 3) (Imaña y Encinas, 2008).

Este crecimiento también es conocido como crecimiento acumulado, Incremento Corriente Anual (ICA) o simplemente como Incremento Anual (IA), correspondiendo a lo que el árbol creció en el periodo de un año (Cuadro 3) (Imaña y Encinas, 2008).

Cuadro 3. Ecuaciones utilizadas para determinar crecimiento e incremento de altura, diámetro a 1.30 m, área basal y volumen de *Cedrela odorata* L.

Variable	Ecuación ICA	Ecuación IMA
Altura	$ICA = \frac{\text{Altura 2} - \text{Altura 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$IMA = \frac{\text{Altura}}{\text{Edad}}$
Diámetro	$ICA = \frac{\text{Diámetro 2} - \text{Diámetro 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$IMA = \frac{\text{Diámetro}}{\text{Edad}}$
Área basal	$ICA = \frac{\text{Área basal 2} - \text{Área basal 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$IMA = \frac{\text{Área basal}}{\text{Edad}}$
Volumen	$ICA = \frac{\text{Volumen 2} - \text{Volumen 1}}{\text{Edad 2} - \text{Edad 1}}$	$IMA = \frac{\text{Volumen}}{\text{Edad}}$

Fuente: Imaña y Encinas, 2008; Velarde-Ramírez, 2002.

3.6 Comparación de curvas ajustadas de las variables diámetro y altura

Para conocer si existe similitud entre las curvas ajustadas de crecimiento de las variables altura y diámetro de la plantación de *Cedrela odorata* L., se realizó la comparación de parámetros estimados para los modelos no lineales (Ratkowsky, 1983). Consiste en: a) examinar las diferencias entre la suma de cuadros residuales (SCR) y de los grados de libertad del error (GL) de los modelos ajustados, b) obtener el cuadrado medio residual (CMR), dividiendo la diferencia por los grados de libertad, c) Obtener el valor de F, dividiendo el paso b con el cuadrado medio residual del modelo comparado y d) Obtener la significancia utilizando una tabla de la distribución de F.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Crecimiento e Incremento en diámetro

En cuanto al diámetro de la especie de estudio *Cedrela odorata* L., se examinaron los tres modelos de crecimiento que mejor se ajustan a la variable diámetro, de los cuales no presentó gran variabilidad en cuanto a los estadísticos, cabe mencionar que el mejor modelo de ajuste fue el de Weibull presentando el mayor coeficiente de determinación (R^2_{adj}) de 0.9170, destacando que el modelo Chapman-Richards también presentó el mismo coeficiente de determinación pero se eligió el de Weibull ya que tiene el menor Cuadrado Medio del Error (CME) es de 30.2262 (Apéndice 1).

El crecimiento que tiene la especie de estudio en los sitios permanentes, es en forma ascendente y en forma continuo hasta los 17 años que tiene la plantación (Figura 3). El crecimiento de la curva (sigmoideal), se puede apreciar que sigue teniendo un crecimiento. Cabe destacar que en las evaluaciones anteriores hubo datos incorrectos al evaluar y como no son evaluaciones de una sola persona se tuvieron datos fuera de lo normal es por eso que en la Figura 3 hay datos de diámetro que no corresponde y no se eliminaron debido a que no se quiere sobreestimar el crecimiento.

Si se compara el trabajo realizado por Sandoval-García, (2010) en esta plantación y con esta especie podemos encontrar que el mejor modelo que se ajustó fue el de Weibull con un R^2_{adj} de 0.9270 estos datos concuerdan con el mismo modelo de ajuste para este trabajo en edad-diámetro pero obteniendo un R^2_{adj} de 0.9172.

En el trabajo de Santiago-García (2012) realizado en las mismas plantaciones, el modelo que más se ajustó para la variable edad-diámetro fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter presentando un R^2_{adj} de 0.9214, cabe mencionar que el modelo no es el que mejor se ajustó para este trabajo debido a que las especies sigue creciendo.

Otro trabajo más realizado en las mismas plantaciones con *Cedrela odorata* L., se obtuvo que el mejor modelo en edad-diámetro fue el de Weibull al obtener el valor más alto del R^2_{adj} de 0.9195 (Cruz-Méndez, 2013).

4.1.1 Determinación del turno absoluto en diámetro

Respecto al mayor incremento en ICA e IMA en diámetro para *Cedrela odorata* L., fue en los primeros 6 años, el ICA en los primeros años creció de manera considerada manteniéndose estable a los 7 años para luego decrecer y ya no tener un incremento formidable. En el caso del IMA durante los primeros 9 años, el incremento fue ascendente mientras que el mayor incremento lo obtuvo a los 10 años después de este año empezó a decrecer continuamente, no obstante el turno absoluto, se obtuvo cuando el ICA e IMA se interceptan a los 9 años y seis meses, así pues es importante mencionar que a esta edad el potencial del crecimiento en diámetro es el máximo en la especie *Cedrela odorata* L., (Figura 3).

El turno absoluto se obtiene cuando se interceptan las curvas de incremento en este caso *Cedrela odorata* L., ya obtuvo el turno absoluto debido a que las variables evaluadas empezaron a decrecer. Para la variable diámetro las curvas de incremento se interceptaron a los 9 años y 6 meses, es decir la especie obtuvo el turno absoluto (máximo) como podemos observar la línea punteada (Figura 3), se muestra el turno absoluto a la edad mencionada anteriormente.

Según Ávila-Ayala *et al.*, (2012) señalan que los aclareos se inician cuando en la plantación se observan árboles altos y de troncos delgados, con diámetros entre 10 y 20 cm. Esta situación indica que entre árboles existe competencia por luz, como consecuencia del ensanchamiento de las copas y por ello comienzan a tocarse entre sí impidiendo el paso de luz y el crecimiento.

4.2 Crecimiento e Incremento en altura

Para el crecimiento en altura, se corrieron los tres modelos que más se utilizan para modelar altura en *Cedrela odorata* L., de acuerdo a la literatura citada; el cual el resultado obtenido es que un modelo resultó ser el más adecuado y fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter obteniendo los parámetros de regresión más ajustados, presentando el mayor R^2_{adj} de 0.9379 y un CME de 12.5771, para los otros 2 modelos se puede decir que si se pueden utilizar ya que no tuvieron gran variación en los parámetros de selección del mejor modelo ajustado (Apéndice 2).

El crecimiento de la plantación es de forma ascendente como se ve en la curva de ajuste (sigmoideal) de la gráfica de los sitios permanentes que se evaluaron (Figura 4). En esta figura se ve que hay alturas a edades que no corresponden esto se debe a que hubieron datos incoherentes al ser evaluados en campo ya que no solo una persona ha evaluado en la plantación. Para la variable edad-altura el mejor modelo fue el 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 coincidiendo con este trabajo (Cruz-Méndez, 2013).

En el trabajo realizado por Calvillo-García *et al.*, (2005) en el estudio epidométrico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Ciudad. Hidalgo, Michoacán, México se realizó el estudio de crecimiento e incremento donde se seleccionó el modelo de Chapman-Richards para la relación edad-altura ya que presentó el valor más alto de R^2_{adj} (0.9845) para estimar el crecimiento, el cual no concordó con este estudio esto se debe al 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 aunque también se puede deber al manejo de la plantación, ya que en ocasiones el productor no cumplió con las recomendaciones sobre el manejo que les debía proporcionar a los árboles (Reyes-Reyes y López-Upton, 2003).

En el estudio realizado por Montiel-Oscura y Zamudio-Valencia (2007) caracterización de un plantación de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) en el municipio de Teziutlán, Estado de Puebla ajustaron los modelos de Schumacher y Chapman-Richards con la información proveniente de los análisis troncales y obtuvieron que el modelo que más se ajustó fue el de Champan-Richards para las siguientes variables: edad-altura se obtuvo el siguiente R^2_{adj} de 0.9561.

4.2.1 Determinación del turno absoluto en altura

El comportamiento en altura de la plantación en ICA e IMA para esta variable, los resultados muestran un período prolongado con incrementos, a los 4 años de la plantación el ICA alcanza su máximo crecimiento, después de este año empieza a decrecer; llegando a los 7 años y medio y se intercepta con la curva del IMA para luego empezar a decrecer junto con el ICA es allí donde alcanza el turno absoluto y este coincide con el punto de la curva ajustada de crecimiento. En este caso el turno absoluto para la variable altura en *Cedrela odorata* L., lo obtuvo cuando el ICA e IMA se cruzan en este caso fue a los 7 año y medio donde se puede observar el incremento máximo.

4.3 Crecimiento e Incremento en área basal

El crecimiento en área basal fue estudiado con los tres modelos que más significancia tienen para la especie de *Cedrela odorata* L., mostrando los siguientes resultados, el modelo que más se ajustó a los datos de área basal que fue modelo de Weibull presentando el mayor R^2_{adj} de 0.7193 y un CME de 0.000348, que ayudaron a determinar que este era el mejor ya que los otros dos modelos presentaron un coeficiente de determinación más bajo (Apéndice 3). La curva de ajuste se construyó a partir del modelo seleccionado con la ecuación de Weibull y esta curva ajustada es de forma ascendente ya que la mayoría de los datos está por arriba de la curva de crecimiento esto se debe a la ubicación de las plantaciones y la orientación en la que se encuentra la plantación (Figura 5).

Al realizar una comparación con el trabajo ejecutado por Cruz-Méndez, (2013) para la variable edad-área basal en la especie *Cedrela odorata* L., no hubo ni una sola diferencia en sus estadísticos de comparación de cada uno de los modelos ya que todos se ajustaron muy bien para esta variable pero el más manejado ha sido el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter es por eso que se decidió por este modelo ya que presenta un R^2_{adj} de 0.7563. En este presente estudio el mejor modelo de ajuste para esta variable fue el de Weibull obteniendo un R^2_{adj} de 0.7193. En el estudio realizado por Montiel-Oscuro y Zamudio-Valencia (2007) caracterización de un plantación de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) en el municipio de Teziutlán, estado de Puebla se obtuvo el siguiente R^2_{adj} de 0.8081.

4.3.1 Determinación del turno absoluto en área basal

El punto en el cual la recta punteada (Figura 5) toca la curva estimada coincide con el punto en que las curvas del ICA e IMA se interceptan para el área basal en el ICA, en los primeros años tuvo gran parte de su incremento llegando a los 10 años se mantuvo estable hasta los 11 años, posteriormente a este año empezó a decrecer durante varios años. En el IMA el crecimiento fue de forma rápida durante los primeros años y alcanzó su incrementó máximo a los 14 años y ocho meses para luego el interceptarse al ICA y es ahí donde los dos incrementos empiezan a decrecer, es en ese periodo fue donde alcanzo el turno absoluto ya que las curvas de incremento se interceptaron alcanzando un área basal de 0.003 m^2 a la edad mencionada (Figura 5).

4.4 Crecimiento e Incremento en volumen

El crecimiento en volumen es de gran importancia ya que nos indica si ya se puede aprovechar alguna plantación y así pueda ser rentable, es por eso que se corrieron los tres modelos de crecimiento para predecir el volumen y saber cuál es el que más se ajusta a la especie *Cedrela odorata* L., es importante

mencionar que los modelos mostraron gran similitud ya que no fue muy grande la variabilidad de los estadísticos de selección; el modelo que más se ajustó fue el de Weibull presentando un el mayor R^2_{adj} de 0.7214 y CME de 0.1108 es por eso que fue el mejor modelo de selección para estimar el crecimiento de la especie de interés. En la distribución de los datos la curva de ajuste se encuentra en medio de los datos, entonces la plantación sigue creciendo en volumen ya que la curva va en ascenso (Figura 6).

Montiel-Oscura y Zamudio-Valencia, (2007) encontraron que el modelo de Chapman-Richards es el que mejor estima el volumen de *Pinus patula* Schl. et Cham., registrando un ajuste de 0.8663 de R^2_{adj} , resultados que no coinciden con nuestro estudio, al observar que el modelo de Weibull predice mejor el crecimiento en volumen de *Cedrela odorata* L.

4.4.1 Determinación del turno absoluto en volumen

El incremento en volumen para *Cedrela odorata* L., fue rápido ya que creció de manera ascendente, a los 11 años llegó al ICA máximo ya que tuvo un volumen de 0.08 m^3 después de este año empezó a decrecer para intersectarse con IMA este alcanzó su mayor incremento a los 15 años y seis meses para luego empezar a decrecer.

La variable volumen es de gran importancia, ya que esta variable indica la cantidad de volumen que la especie está produciendo, período tras período, a los 15 años y seis meses la especie llegó al turno absoluto debido a que las curvas de incremento se han interceptado y han dejado de crecer esto indica que se tiene que realizar un aclareo para que la especie siga creciendo (Figura 6).

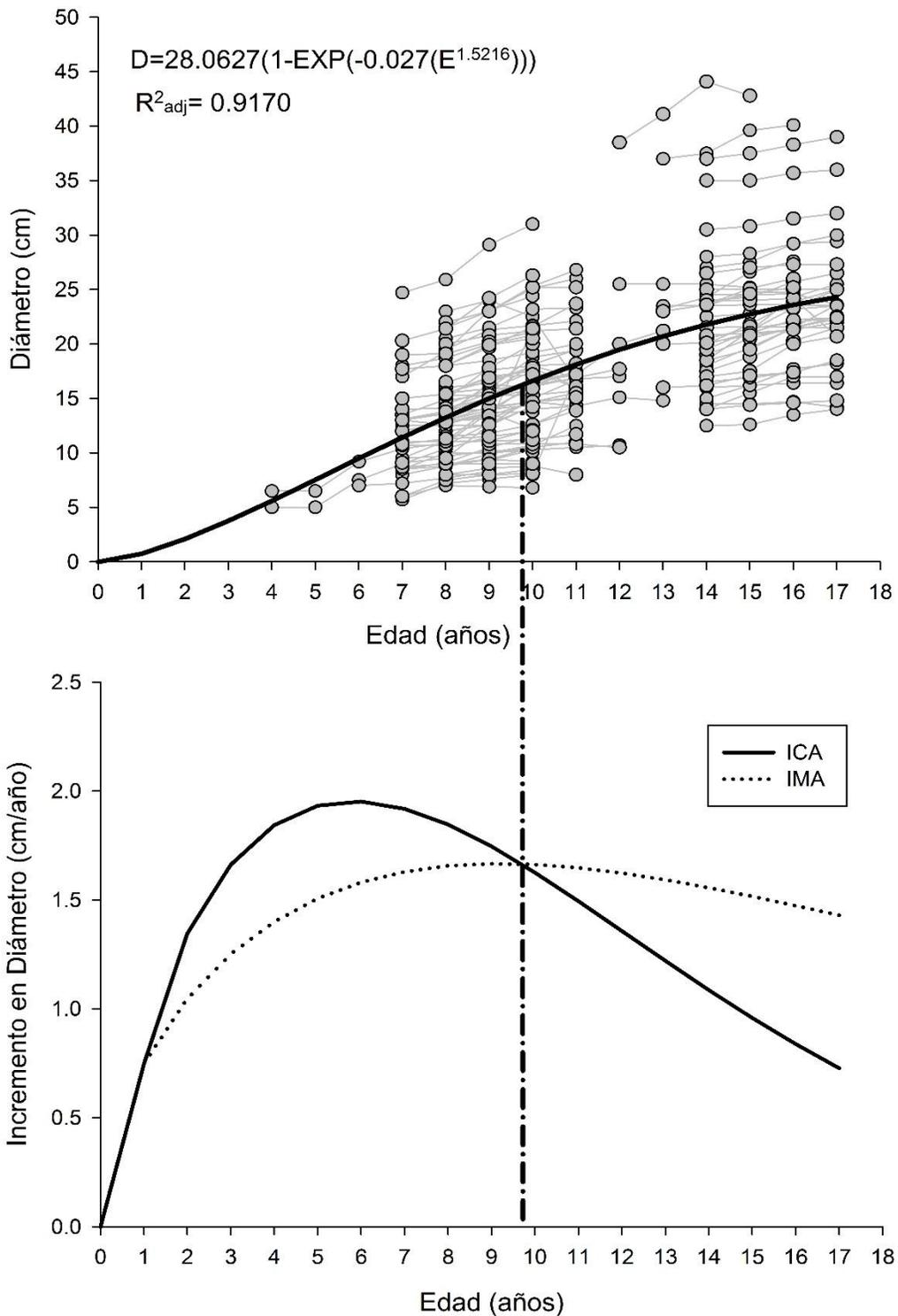


Figura 3. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de diámetro (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable diámetro (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

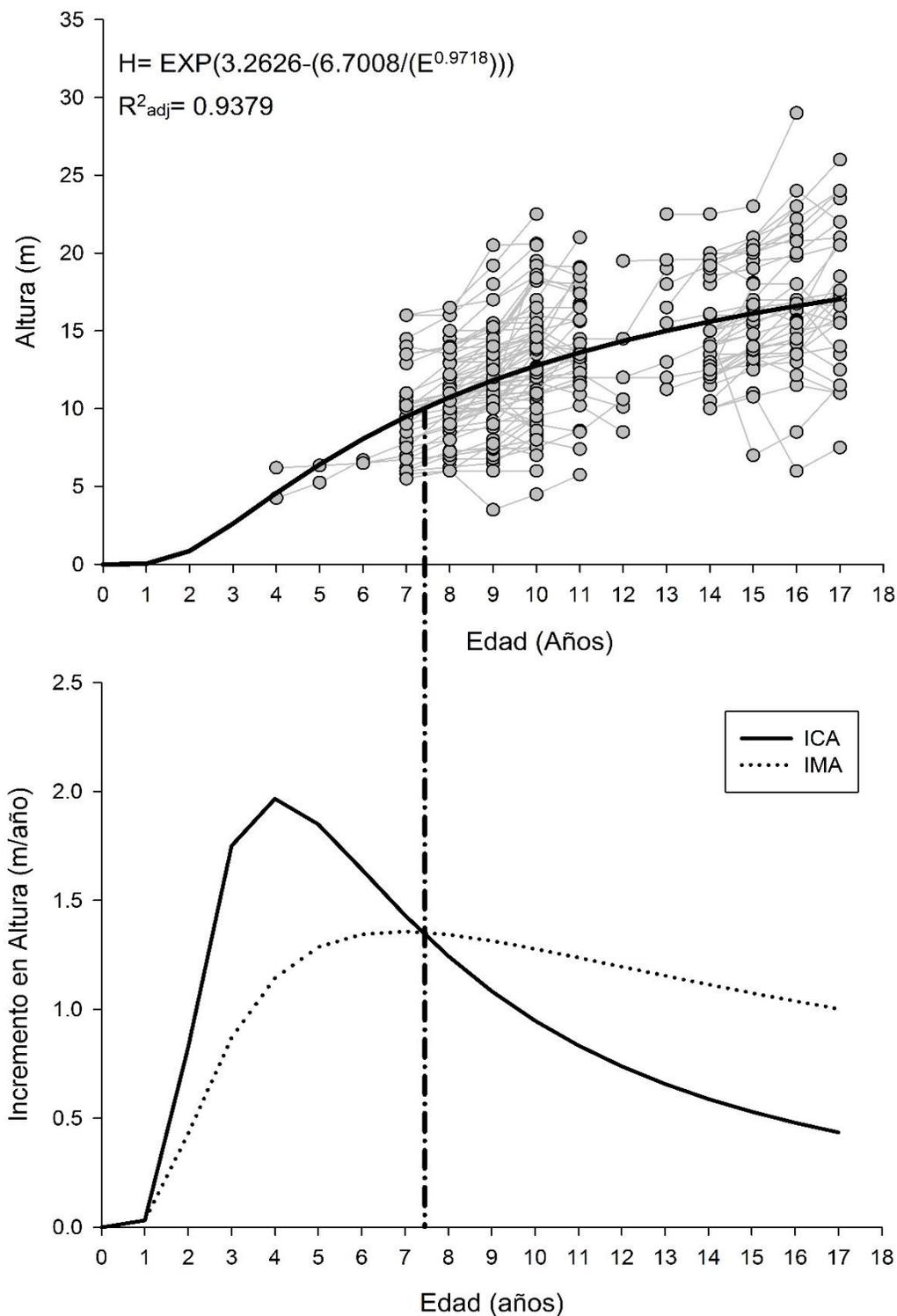


Figura 4. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de altura (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable altura (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

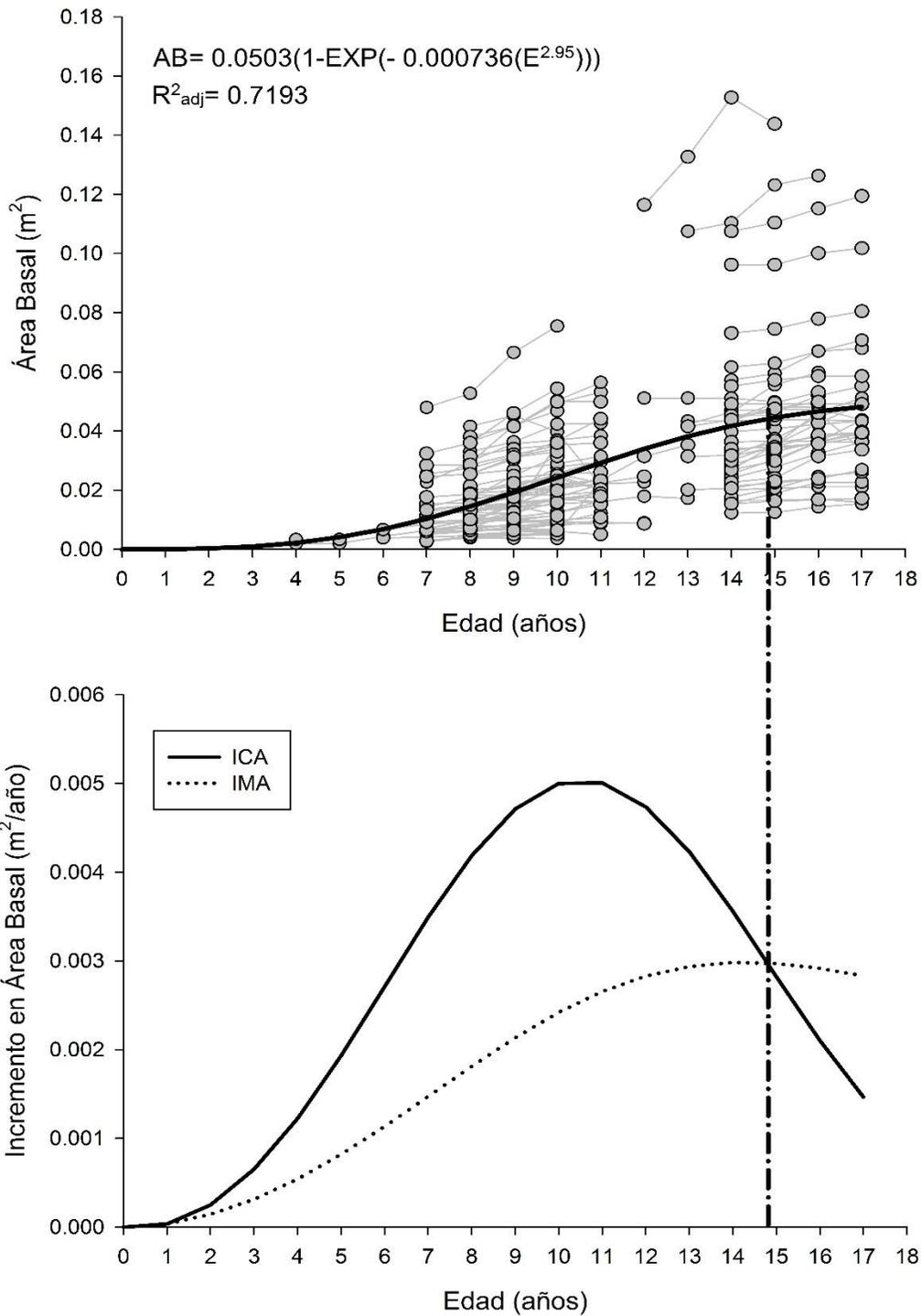


Figura 5. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de área basal (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable área basal (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

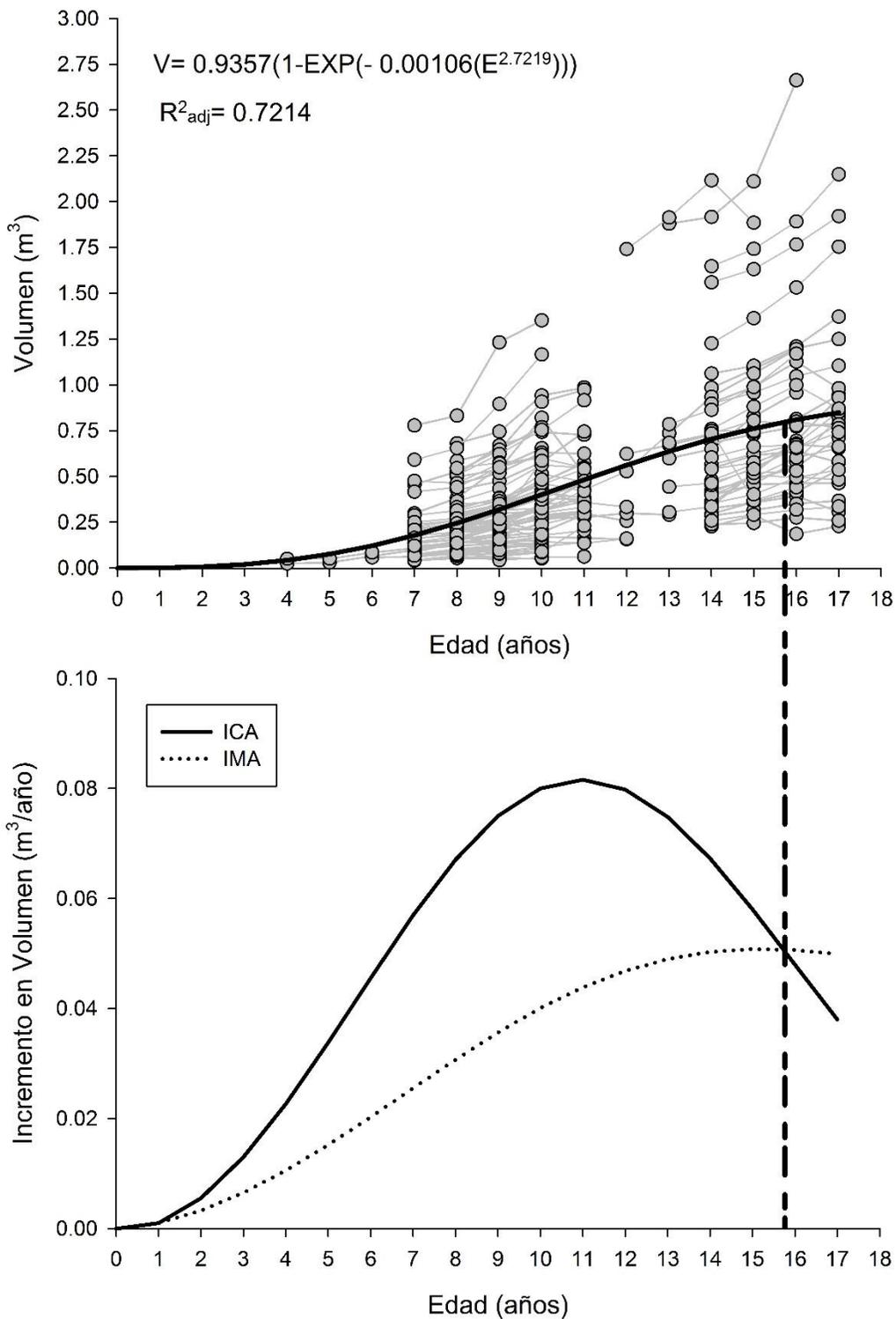


Figura 6. Diagrama de dispersión de los datos con la curva de ajuste del mejor modelo para la variable de volumen (arriba) y curvas de ICA e IMA en relación a la variable volumen (abajo). La línea punteada representa el punto en que se encuentra el turno absoluto.

4.5 Comparación entre estudios de incremento

En plantaciones mixtas los periodos de cortas deben ser largos para permitir el desarrollo óptimo de los árboles, los turnos de aprovechamiento para la especie *Cedrela odorata* L., es de 18 a 25 años con aclareos cada 5, 10 y 15 años (Ávila-Ayala *et al.*, 2012). Este estudio concordó con este trabajo ya que podemos observar que el turno absoluto se encuentra en este rango de aprovechamiento de *Cedrela odorata* L.

El tiempo de vida de un árbol de cedro es por lo menos de 120 años, la edad de rotación suele ocurrir entre los 30 y 40 años de edad. Sin embargo, si se controlan los ataques del insecto barrenador de brotes se puede cosechar entre 16 a 18 años, si se ha entremezclado con cultivos agrícolas. La cosecha de cedro rojo en plantaciones puede ser a los 20 años, si se busca madera para aserrío, con un volumen total promedio de 360 m³/ha (Muñoz-Flores *et al.*, 2012).

Respecto al turno de corta para Cedro en bosques naturales en 113 años, superior, al de Brienen y Zuidema, (2003) de 80-90 años, aunque en bosques húmedos en recuperación, el turno de corta puede llegar a 60 años de edad. Esto está influenciado por la competencia, con o sin ella, en los primeros años el incremento el incremento se mantiene estático; sin embargo cuando el árbol logró una altura significativa, el incremento diametral se acelera, aunque el IMA se mantiene constante en bosque clímax (Becerra-Montalvo y Zevallos-Pollito, 2014)

Según Becerra-Montalvo y Zevallos-Pollito, (2014) considerando los datos de un inventario y las proyecciones realizadas del crecimiento promedio de Cedro, afirman que los ciclos de corta son de 10, 20 y 30 años, en Perú el ciclo recomendado para planes de manejo es de 20 años

La producción de madera se mide por el volumen de madera (m³) que alcanza cada árbol por año. En la Huasteca Potosina árboles de *Cedrela odorata* L., de seis años de edad presentan un fuste de 3.4 m de altura y 11.5 cm de grosor a la altura de pecho. Esta especie se maneja con turnos de aprovechamiento a 20 años y con dos raleos, a los 12 y a los 16 años. La cantidad de árboles a extraer en cada raleo es del 50% de los arboles presentes,

después del segundo raleo se espera hasta llegar a la cosecha total de los árboles (Cruz-Fernández, 2005).

4.6 Comparación de curvas de crecimiento en diámetro y altura de *Cedrela odorata* L., con otros estudios realizados en Oaxaca

El cedro es un árbol de crecimiento muy rápido, creciendo 2.5 cm o más en diámetro y 2 m de altura al año bajo buenas condiciones. La curva de crecimiento en diámetro de este estudio sigue en constante crecimiento como se ve en la línea continua de la Figura 7, se puede distinguir como la plantación sigue creciendo debido a que es una plantación en etapa joven.

Comparando con otros estudios realizados en la misma plantación, periodo tras periodo se ve como cada año sigue creciendo. Uno de los factores más importantes que pueden repercutir en el crecimiento de la especie son los ataques de barrenadores que existen en la plantación, este factor puede ser de gran importancia en el crecimiento de *Cedrela odorata* L.

Para generar las curvas de crecimiento en edad-diámetro se tomaron datos de los trabajos realizados por Cruz-Méndez, (2013) y Santiago-García, (2012) tomando los valores de los parámetros estimados del mejor modelo de ajuste para el primero el mejor modelo que se ajustó fue el de Weibull y en el trabajo de Santiago-García, (2012) fue el modelo de Schumacher modificado por Bailey & Clutter.

Al realizar la prueba de F para la comparación de las curvas de crecimiento en diámetro para los modelos no lineales que se han realizado en Oaxaca, las curvas ajustadas de los tres trabajos realizados, fueron distintas entre ellas al 0.01 de nivel de significancia (Cuadro 4). Es decir, el crecimiento en diámetro de cada plantación tiene forma distinta ya que en algunas ecuaciones no lineales no se encuentra significancia entre las curvas de ajuste esto significa que no son iguales las curvas, en este estudio la curva de ajuste de crecimiento (B) del estudio realizado por Cruz-Méndez, (2013) resultó ser diferente entre la curva de crecimiento (A) del presente estudio ya que mostro significancia, mientras que el

estudio de crecimiento (C) realizado por Santiago-García, (2012) resultó ser igual a la curva de crecimiento (A) obtenida en este trabajo.

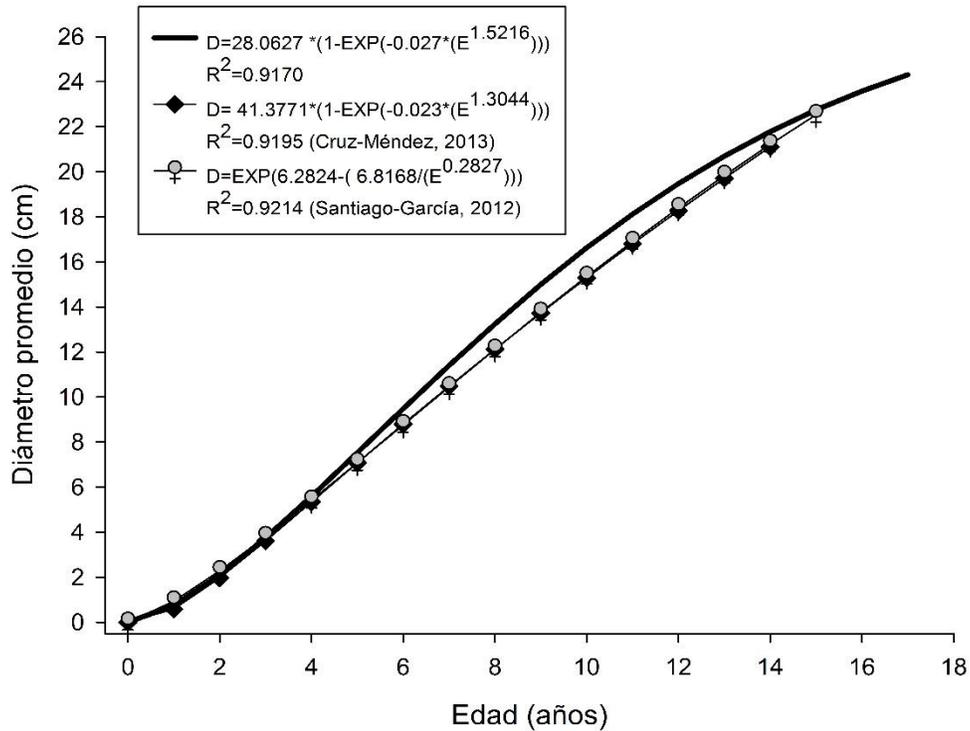


Figura 7. Curvas de crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* L., para diferentes estudios en Oaxaca.

Cuadro 4. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* L., en Oaxaca.

Modelos para la variable Altura	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados Residuales (SCR)	Cuadrado Medio Residual (CMR)		
(A) Weibull	445	13450.7	30.2262		
(B) Weibull	176	934.2	5.3081		
(C) Schumacher modificado por Bailey y Clutter	131	2317.6	17.6918		
	GL	Cambio en SCR	CMR	Rango de varianza, F	Valor de F de tabla 0.01
(A)-(B)	269	12516.5	46.5297	8.7658**	3.9328
(A)-(C)	314	11133.1	35.4557	2.0041 ^{N/S}	3.8944
(B)-(C)	45	1383.4	30.7422	1.7377 ^{N/S}	3.8278

**p ≥ 0.01 y ^{N/S}p < 0.01

El crecimiento en altura es de gran importancia debido a que nos proporciona información acerca de los posibles productos que podemos obtener de una plantación deseada, al comparar esta variable con otros estudios de crecimiento nos podemos dar cuenta de que la plantación evaluada está en etapa temprana y sigue creciendo (Figura 8).

Para realizar las curvas de crecimiento y ver el comportamiento edad-altura de las plantaciones de *Cedrela odorata* L., en Oaxaca se tomaron datos de estadísticos de selección del mejor modelo de ajuste para el trabajo realizado por Cruz-Méndez (2013) el modelo que más se ajustó fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter, para el trabajo de Santiago-García (2012) el mejor modelo fue el de Champan-Richards.

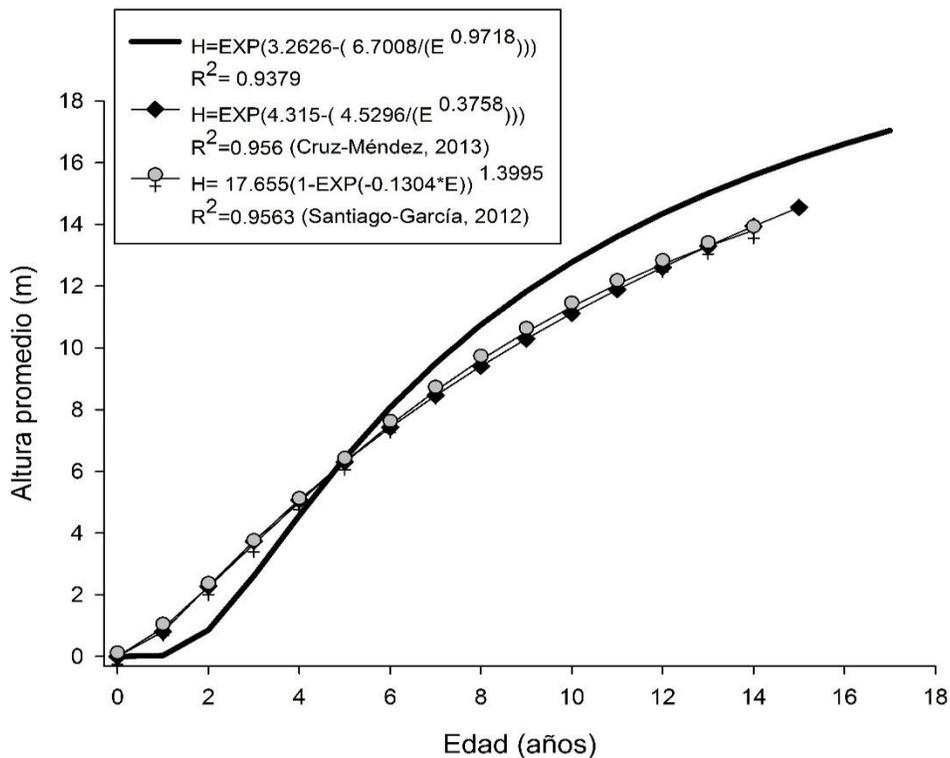


Figura 8. Curvas de crecimiento en altura de la especie *Cedrela odorata* L., para diferentes estudios en Oaxaca.

Al realizar la prueba de F para la comparación de las curvas de crecimiento en altura para los modelos no lineales que se han realizados en estudios anteriores, muestra que para las curvas ajustadas de los tres trabajos realizados,

son distintas entre ellas al 0.01 de nivel de significancia (Cuadro 5). Es decir, el crecimiento en altura de cada plantación tiene forma diferente debido que al comparar las curvas de ajuste obtuvimos que la curva de crecimiento (B) del trabajo de Cruz-Méndez, (2013) resultó ser igual a nuestro estudio curva de crecimiento (A) mientras que la investigación realizada por Santiago-García, (2012) muestra las curvas de crecimiento (C) son diferentes comparado con el presente trabajo.

Cuadro 5. Prueba de F para los modelos seleccionados del crecimiento en altura de *Cedrela odorata* L., en Oaxaca.

Modelos para la variable Altura	Grados de Libertad (GL)	Suma de Cuadrados Residuales (SCR)	Cuadrado Medio Residual (CMR)		
(A) Weibull	445	13470.8	30.2715		
(B) Weibull	172	3517.3	20.4492		
(C) Schumacher modificado por Bailey y Clutter	131	641.5	4.8970		
	GL	Cambio en SCR	CMR	Rango de varianza, F	Valor de F de tabla 0.01
(A)-(B)	273	9953.5	36.4597	1.7829 ^{N/S}	3.9328
(A)-(C)	314	12829.3	40.8576	8.3434 ^{**}	3.8968
B)-(C)	41	2875.8	70.1415	14.3234 ^{**}	3.8278

**p ≥ 0.01 y ^{N/S}p < 0.01

Se encontró el estudio realizado por Gómez-López, (2007) donde utilizaron la prueba estadística de F al 0.01 de nivel de significancia para la comparación de curvas de crecimiento en diámetro y altura de *Picea martinezii* T. F. Patterson de Nuevo León, donde al comprar los parámetros estimados de los modelos no lineales, muestra que las curvas ajustadas de las tres poblaciones fueron diferentes entre ellas para las dos variables. Lo cual no concordó con en el presente estudio debido a que se encontraron curvas iguales y diferentes entre las evaluaciones realizadas para la comparación de curvas de crecimiento.

5 CONCLUSIONES

La hipótesis nula planteada fue aceptada debido a que la plantación de *Cedrela odorata* L., ya alcanzó el turno absoluto para la variable diámetro, altura, área basal y volumen.

El modelo de mejor ajuste para las variables diámetro, área basal y volumen fue el modelo de Weibull y para la variable altura el modelo que más se ajustó fue el de Schumacher modificado por Bailey & Clutter. Sin embargo los estadísticos de comportamiento entre los modelos utilizados presentan muy poca diferencia.

Los valores de IMA máximo para diámetro, altura, área basal y volumen en una plantación de *Cedrela odorata* L., se alcanzaron durante los 17 años de establecida.

El turno absoluto para la variable diámetro lo alcanzó a los 9 años y 6 meses, en altura a los 7 años y medio, área basal a los 14 años y 8 meses y para el volumen a los 15 años y 6 meses.

Las diferencias en crecimiento que se obtuvieron con estudios realizados en el 2012 y 2013 para las variables diámetro y altura de *Cedrela odorata* L., prácticamente las curvas de crecimiento para ambas variables obtuvieron la misma tendencia.

6 RECOMENDACIONES

Para poder conocer la tendencia de crecimiento hasta el (los) turno (s) de aprovechamiento se recomienda seguir evaluando los árboles de los sitios permanentes ya que puede cambiar la tendencia de crecimiento debido a los efectos de competencia, en el acahual, efectos de sistemas agroforestales, condiciones climáticas, topográficas y posibles disturbios.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar-Ramírez, H. 1981. Comparación de cuatro modelos matemáticos aplicados al crecimiento forestal. *Revista Ciencia Forestal en México*. 16(70):87-108.
- Angulo, A. De. M., L. Touriño-Guerra., I. Manzano-Maceira y M. Domínguez-Peteiro. 2003. Técnicas de gestión forestal sostenible en la repoblación forestal. *Silvanus España y Silvanus Galicia*. España. 173 p.
- Arano-Santos, G., J. A. Torres-Pérez., B. Arteaga-Martínez y J. Santillán-Pérez. 2006. Evaluaciones de las plantaciones establecidas por el PRODEPLAN en el sur de Veracruz (1998-2003). Maestría en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados. México. 20 p.
- Arteaga-Martínez, B. Y A. Pérez-Castillo. 2001. *Pinus maximinoi* H.E. Moore: Una especie prometedora para plantaciones forestales comerciales en el Trópico. *Foresta Veracruzana*. 3(2): 63-70.
- Arteaga-Martínez., B. y C. Izaguirre-Rangel. 2004., Comportamiento de especies tropicales bajo tres sistemas de plantación., *Foresta Veracruzana*, 6(1): 45-51.
- Ávila-Ayala, R., L. Muñoz-Gutiérrez y E. Mireles-Rodríguez. 2012. Manejo de una plantación forestal mixta en la planicie Huasteca. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental San Luis. Folleto para productores Número MX-0-310602-52-03-17-10-55. San Luis Potosí. 32 p.
- Betancourt-Barroso, A. 1999. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Primera reimpresión. Científico-Técnica. La Habana Cuba. 427 p.
- Becerra-Montalvo, V y Zevallos-Pollito, P. A. 2014. Determinación del turno de corta de *Cedrela odorata* L., *Retrophyllum rospigliosii* Pilger y *Prumnopitys harmsiana* Pilger a través del estudio dendrocronológico en San Ignacio, región Cajamarca-Perú. *El Ceprosimad*. 02(2): 33-47.
- Bravo-Medel, A. 2007. Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de cedro y caoba en Oaxaca, México.

- Tesis Profesional de Maestría en Ciencias. Forestal. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, EDO. De México. 86 p.
- Brienen, R. y P. Zuidema. 2003. Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: Su potencial para el Manejo de bosques y una guía metodológica. PROMAB-Programa Manejo de Bosques de la Amazonía Boliviana. Informe Técnico N° 07 Riberalta, Beni, Bolivia. 33 p.
- Calvillo-García, J. C., E. H. Cornejo-Oviedo, S. Valencia-Manzo y C. Flores-López. 2005. Estudio epidémico para *Pinus herrerae* Martínez en la región de Ciudad Hidalgo Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*. 7(1): 5-10.
- CONAFOR. 2007. Cedro (*Cedrela odorata* L.) Protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje. Departamento de Conservación y Restauración de Ecosistemas Forestales, Programa de Germoplasma Forestal. Yucatán, México. 23 p.
- CONAFOR. Plantaciones forestales [en línea]: 2013. Documento electrónico fuente de internet. [Fecha de consulta: 27 enero 2014]. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/temas-forestales/plantaciones>.
- CONAFOR. (s.f.). Situación actual y perspectivas de las Plantaciones Forestales Comerciales en México CONAFOR. Zapopan, Jalisco. 472 p.
- Confederación Patronal de la República Mexicana (COPARMEX). 2009. Participación empresarial en las plantaciones forestales en México. Forestal Milenio. México. 41 p.
- Correas., R. 2005. Instalación y evaluación de parcelas permanentes en plantaciones forestales. Universidad Mayor De San Simón Facultad de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Forestales. Bolivia. 26 p.
- Cruz-Fernández, M. 2005. El cedro, establecimiento y manejo en la Huasteca Potosina. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental. Huichihuayán. Folleto para productores Número 7. San Luis Potosí. 16 p.
- Cruz-Méndez, M. 2013. Crecimiento de tres especies forestales en plantaciones con enriquecimiento de acahual y agroforestal en Pochutla, Oaxaca. Tesis

- Profesional de Licenciatura, Ingeniero Forestal. División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 38 p.
- Cuevas-García, X., C. Parraguirre-Lezama y B. Rodríguez-Santiago. 1992. Modelo de crecimiento para una plantación de Caoba (*Swietenia macrophylla* King). *Ciencia Forestal*. 17 (71): 87-102.
- Díaz-Balteiro, L. 1997. Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. *Revista española de Economía Agraria*. 180: 181-224.
- Fierros-González, A. M., V. E. Sosa-Cedillo., J. M. Torres-Rojo., C. Hernández-Pérez y F. Rodríguez-Romero. 2012. Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales A 15 años de su creación. México. 198 p.
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAN). 2007. Guía práctica para la instalación y manejo de plantaciones forestales. FONAN. Perú Lima. 46 p.
- Galán-Larrea. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuals en el Sur de Oaxaca. Tesis maestría en Ciencias. Forestal. Colegio de postgraduados, México. 93 p.
- Galán-Larrea, R., H. M. De los Santos-Posada y J. I. Valdés-Hernández. 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.
- Gallardo-Sánchez, J. A. 2013. Programa de manejo forestal nivel simplificado del Ejido Ingenio del Rosario. Trabajo de experiencia recepcional. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. 41 p.
- García-Cuevas, X., J. Flores-Garnica y J. de D. Benavides-Solorio. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (Cedro rojo) en Quintana Roo, México. *Ciencias Forestales en México*. 39(101): 71-92.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriquetita

- García de Miranda. Universidad Autónoma Nacional de México. México, D. F. 246 p.
- García-Pablo, V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de Licenciatura. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 92 p.
- Gómez-López, J. A. 2007. Crecimiento e incremento de *Picea martinezii* T. F. Patterson en tres poblaciones de Nuevo León. Tesis profesional de Licenciatura. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, Mexico. 44 p.
- H. Ayuntamiento Constitucional. 2008. Plan Municipal de Desarrollo. San Pedro Pochutla, Oaxaca. 59 p.
- Hernández-Santiago, N. 2013. Tablas de Volúmenes para Cedro Rojo (*Cedrela odorata* L.) en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis profesional de Licenciatura, Ingeniero Forestal. División de agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 58 p.
- Imaña E. J y Encinas B. O. 2008. Epidimetría forestal. Primera Edición. Copyright. Mérida Venezuela. 72 p.
- INEGI. 2000. Carta topográfica. San José Chacalapa. D14B18. Escala 1:50,000. Oaxaca, México.
- INEGI. 2004. Guía para la Interpretación de cartografía edafología. Aguascalientes. Primera impresión. Talleres Gráficos del Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Información (INEGI). 28 p.
- INEGI. 1995. San Pedro Pochutla, Estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Aguascalientes. 127 p.
- INEGI. 2005a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Candelaria Loxicha, Oaxaca. Clave geoestadística 20012. 9 p.
- INEGI. 2005b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Pedro Pochutla, Oaxaca. Clave geoestadística 20324. 9 p.

- Jiménez-Nehring, N. G. 2012. Producción de madera y almacenamiento de carbono en cafetales con cedro (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*) en Honduras. Tesis Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Segunda edición. México. 379 p.
- Levy-Tacher, S. I. y Castellanos-Albores, J. 2011. Evaluación de técnicas de rehabilitación de potreros degradados con árboles nativos de rápido crecimiento en la selva Lacandona. ECOSUR. 14 p.
- López-Ayala, J. L., Valdez-Hernández, J. I., Terrazas, T. y Valdez-Lazalde, J. R. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia*. 40(1): 139-147.
- Martínez-Ruiz, H. S., Azpíroz-Rivero., J. L. Rodríguez-de la O., V. M. Cetina-Alcalá y M. A. Gutiérrez- Espinoza. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *RA XIMHAI*. 2(003): 815-864.
- Mesén, F. 2006. Prácticas de recolección, manejo y uso de germoplasma de especies forestales nativas en América Central y sur de México. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Costa Rica. 62p.
- Monge, J y R. Agüero. 2005. Sobrevivencia del duraznillo (*Prunus annularis*) en plantación forestal y en sistemas agroforestales. *Agronomía Costarricense*. 29(1): 95-100.
- Montiel-Oscura., D y I. Zamudio-Valencia. 2007. Caracterización de una plantación de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) en el municipio de Teziutlán, estado de Puebla. Tesis profesional, Ingeniero Forestal. División de ciencias forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 63 p.
- Morteo-Montiel, O. 2011. Abandono de tierras y el desarrollo de la vegetación secundaria en dos ejidos de la Sierra de Santa, Marta, Ver. Tesis, Facultad de Biología. Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz. 94 p.

- Muñoz-Flores, H. J., J. T. Sáenz-Reyes y A. Rueda-Sánchez. 2012. Monografía de especies forestales para plantaciones comerciales en clima tropical de Michoacán. Libro Técnico Numero 15 SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan Michoacán, México. 202 p.
- Musalem, M. A. 1989. Curso Centroamericano de silvicultura de plantaciones de especies de árboles de uso múltiple. Bib. Oron IICA/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 286 p.
- Olvera-Vargas. M., S. Moreno-Gómez y B.L. Figueroa-Rangel. 1996. Sitios permanentes para la investigación silvícola: manual para su establecimiento. Libros Técnicos del Instituto Manantlán. Universidad de Guadalajara. Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Guadalajara, Jalisco. 61 p.
- Ortega, A y Montero, G. 1988. Evaluación de la calidad de las estaciones forestales. *Ecología*. 2: 155-184.
- Palomeque-Figueroa, E. 2011. Evaluación dasométrica de una plantación de *Cedrela odorata* L. en Mapastepec, Chiapas. Tesis profesional de Licenciatura, Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas Campus IV. Huehuetán, Chiapas. 63 p.
- Poulin-Costello, M y V. Siéntese. 1994. Catalog of Curves for Curves Fitting. Biometrics information Handbook series. Province of British Columbia. 110 p.
- Ramírez-García, C., G. Vera-Castillo., F. Carrillo-Anzures y O. S. Magañas-Torres. 2008. El Cedro Rojo (*Cedrela Odorata* L.) como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*. 34(2): 243-250
- Ratkowsky, D.A. 1983. Nonlinear regression modeling: a unified practical approach. 1st ed. Marcel Dekker, Inc. New York. Vol. 48. 276 p.
- Reyes-Reyes, J y J. López-Upton .2003. Crecimiento del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight. & Arn.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del Soconusco, Chiapas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*. 9(2): 137-142.

- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. Primera Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Limusa, S. A. México, 504 p.
- Sampayo M, S., J. González Q y M. M Silvia S. 2010. Dinámica de crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, en Río Bravo, Tamaulipas. In: Memoria del V Reunión Nacional de Innovación Forestal. 22-27 de noviembre. Campeche, México. 179 p.
- Sandoval-García, 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-García., B. 2012. Análisis de crecimiento en diámetro y altura de tres especies tropicales en plantaciones de enriquecimiento en Pochutla, Oaxaca. Tesis Profesional de Licenciatura, Ingeniero Forestal. División de Agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo Coahuila, México. 55 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1985. Normas mínimas de calidad para la formulación de estudios dasonómicos en bosques. Instituto Nacional de Ecología. México, D. F. 298 p.
- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial 30 de diciembre de 2010. México. 78 p.
- Soto-Pinto, L., M. Anzueto-Martínez y S. Quechulpa. 2011. El Acahual mejorado un prototipo agroforestal. ECOSUR. Chiapas México. 23 p.
- Tomaselli, I. 2007. El encanto de las plantaciones. OIMT Actualidad Forestal Tropical. 15(1): 11-13.
- Valdez-Hernández, J. I. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. Maderas y Bosque. 10(2): 93-104.

- Velarde-Ramírez, J.C. 2002. Estudio de crecimiento y elaboración de tablas de volumen para *Pinus lawsoni* y *Pinus oocarpa*. Diplomado aprovechamiento de conservación y restauración de los recursos forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, México. 72 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. CAB International, Wallingford, Uk. 312 p.
- Velázquez-Martínez, A., 2013. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México. Postgrado Forestal. Colegio de Postgraduados. México. 447 p.

APÉNDICES

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

Modelo	Ecuación	Parámetro de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(\alpha - (b/E^c))$	3.978	6.8152	0.7658	0.9174	0.9169	30.2715
Chapman-Richards	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E)^c))$	30.5488	0.1282	1.8744	0.9175	0.9170	30.2413
Weibull	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E^c)))$	28.0627	0.027	1.5216	0.9176	0.9170	30.2262

Apéndice 2. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para altura de *Cedrela odorata* L., en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetro de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(\alpha - (b/E^c))$	3.2626	6.7008	0.9718	0.9383	0.9379	12.1571
Chapman-Richards	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E)^c))$	19.415	0.1507	1.6699	0.9382	0.9378	12.1664
Weibull	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E^c)))$	18.996	0.0534	1.319	0.9382	0.9378	12.1701

Apéndice 3. Modelos, parámetros y estadísticos de ajuste para área basal de *Cedrela odorata* L., en plantaciones de enriquecimiento de acahual en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca y Santiago La Galera, Candelaria Loxicha, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetro de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(\alpha - (b/E^c))$	-2.2532	26.6836	1.2610	0.7200	0.7179	0.000386
Chapman-Richards	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E)^c))$	0.0623	0.1883	5.7067	0.7207	0.7186	0.000385
Weibull	$Y = \alpha(1 - \exp(-(b E^c)))$	0.0503	0.000736	2.9500	0.7215	0.7193	0.000384

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

Modelo	Ecuación	Parámetro de regresión			R ²	R ² adj	CME
		a	b	c			
Schumacher modificado por Bailey & Clutter	$Y = \exp(\alpha - (b/E^c))$	0.8495	20.9956	1.0774	0.7222	0.7207	0.1111
Chapman-Richards	$Y = \alpha(1 - \exp(-(bE)^c))$	1.1951	0.1600	4.8225	0.7228	0.7209	0.1110
Weibull	$Y = \alpha(1 - \exp(-(bE^c)))$	0.9357	0.00106	2.7219	0.7219	0.7214	0.1108