

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES TROPICALES MADERABLES EN
PLANTACIONES EN SAN JOSÉ CHACALAPA, POCHUTLA, OAXACA

POR:

HOMERO QUINTERO CASTAÑEDA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO
AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES TROPICALES MADERABLES EN
PLANTACIONES EN SAN JOSÉ CHACALAPA, POCHUTLA, OAXACA.

POR:

HOMERO QUINTERO CASTAÑEDA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE AGRONOMÍA

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

CRECIMIENTO DE DOS ESPECIES TROPICALES MADERABLES EN
PLANTACIONES EN SAN JOSÉ CHACALAPA, POCHUTLA, OAXACA.

POR:

HOMERO QUINTERO CASTAÑEDA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

ASESOR PRINCIPAL

M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

DR. ELADIO H. CORNEJO OVIEDO

ASESOR

DR. JUAN IGNACIO VALDÉS HERNÁNDEZ

ASESOR

ING. JUAN MORALES HERNÁNDEZ

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Agosto de 2005

DEDICATORIA

A mis padres como una pequeña muestra de admiración, cariño y respeto; por mostrarme el camino de la vida.

A mis hermanos por ser mis mejores amigos y que no existen tiempos ni distancias que puedan separarnos; espero que esto represente un reto a superar por ellos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por poner a nuestra disposición los recursos económicos, materiales y humanos para nuestra formación profesional.

Al M.C. Celestino Flores López por la ayuda desinteresada para lograr mis objetivos, por todas las aportaciones al presente trabajo y pero su amistad.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo por su amistad, su interés por nuestra formación profesional y los comentarios y sugerencias tendientes a la mejora del documento.

Al Dr. Juan Ignacio Valdés Hernández por su amistad y el tiempo invertido en la revisión y dirección del trabajo.

Al Ing. Juan Morales Hernández por las facilidades brindadas para que fuera posible efectuar el trabajo.

Al Sr. José Luís López Pérez por haber puesto a nuestra disposición el sitio de trabajo del que se deriva el presente documento.

A Valentín García Pablo por toda la información proporcionada para el presente trabajo.

A mis compañeros y amigos de generación: Estela Hernández Bautista, Armando E. Sierra Villagrana, Enrique Bucio Zamudio y Rafael Contreras Mejía; por la amistad que nos une y el apoyo incondicional que me brindaron.

A Irving Aarón Alemán Navarro y familia por su amistad y consejos.

A Diana Isabel Maldonado Parra por la gran amistad que nos une y sobre todo por encausarme y alentarme a continuar preparándome.

A Elizabeth Yen Valero por brindarme su amistad y hacer más agradable mi estancia como tesista.

Esta tesis ha sido apoyada por la empresa Agrosilvícola San José S. P. R. de R. I. por conducto del Sr. José Luís López Pérez y también por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02.03.0207.2412, titulado: evaluación de sobrevivencia y crecimiento de especies forestales tropicales en plantaciones en Pochutla, Oaxaca.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	vi
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	3
1.1.1 Objetivos particulares	3
II REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Los bosques tropicales en México	4
2.2 Las plantaciones forestales en México	5
2.2.1 Justificación de las plantaciones forestales comerciales	6
2.2.2 Antecedentes de plantaciones forestales relevantes en México	8
2.2.3 Principales especies utilizadas	9
2.2.4 El cedro rojo y plantaciones en México	9
2.2.5 La caoba y plantaciones en México	11
2.3 Crecimiento de árboles	13
2.3.1 Factores que intervienen en el crecimiento de los árboles	15
2.3.2 Curvas de crecimiento	16
2.3.3 Modelos de crecimiento	18
2.3.4 Métodos estáticos de predicción del crecimiento	19
2.4 Estudios anteriores sobre crecimiento en las especies de interés	19
III MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 Descripción de los sitios de plantación	21
3.1.1 Ubicación geográfica	21
3.1.2 Superficies	22
3.1.3 Aspectos orofisiográficos e hidrológicos	22
3.1.4 Clima	23

3.2	Flora y fauna silvestre	24
3.2.1	Vegetación	24
3.2.2	Fauna silvestre	26
3.3	Crecimiento de cedro rojo y caoba	27
3.3.1	Muestreo	27
3.3.2	Variables evaluadas	27
3.3.3	Modelos de crecimiento	28
3.3.4	Comparación y selección de modelos	28
3.4	Crecimiento de cedro rojo y caoba en dos exposiciones de la pendiente	30
3.4.1	Obtención de información	30
3.4.2	Modelos de crecimiento	31
3.4.3	Comparación y selección de modelos	32
IV	RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
4.1	Crecimiento de cedro rojo y caoba	33
4.1.1	Cedro rojo	33
4.1.2	Caoba	43
4.1.3	Cedro rojo y caoba	47
4.2	Crecimiento en dos exposiciones	49
4.2.1	Cedro rojo	49
4.2.2	Caoba	57
V	CONCLUSIONES	60
VI	RECOMENDACIONES	61
VII	LITERATURA CITADA	62

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Superficies de plantación en los cuatro predios en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	22
Cuadro 2. Especies arbóreas encontradas dentro de los cuatro predios de plantación y sitios aledaños	25
Cuadro 3. Especies de fauna silvestre asociada a la vegetación de los cuatro predios plantados y sitios aledaños	26
Cuadro 4. Modelos de crecimiento utilizados para la simulación del crecimiento en altura, diámetro normal y área basal en árboles de cedro rojo y caoba	29
Cuadro 5. Modelos de crecimiento en altura total de <i>Cedrela odorata</i> L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	34
Cuadro 6. Modelos de crecimiento en diámetro a la base de <i>Cedrela odorata</i> L. establecido en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla. Oaxaca ...	38
Cuadro 7. Modelos de crecimiento en área basal de <i>Cedrela odorata</i> L. establecido en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	41
Cuadro 8. Modelos de crecimiento en altura total de <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	51
Cuadro 9. Modelos de crecimiento en diámetro a la base de <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Oaxaca	53
Cuadro 10. Modelos de crecimiento en área basal de <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localización de plantaciones de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Swietenia humilis</i> Zucc. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	21
Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica Pochutla, Oaxaca	24
Figura 3. Exposiciones consideradas para el registro de datos de campo	31
Figura 4. Curvas de crecimiento e incrementos en altura total, ajustada por el modelo de Von Bertalanffy para <i>Cedrela odorata</i> L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	36
Figura 5. Curvas de crecimiento ajustado mediante el modelo Von Bertalanffy e incrementos para diámetro a 0.30 m, de <i>Cedrela odorata</i> L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	39
Figura 6. Curvas de crecimiento ajustado mediante el modelo Gompertz e incrementos en área basal a 0.30 m, de <i>Cedrela odorata</i> L. en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	42
Figura 7. Curvas de crecimiento e incrementos en altura total transformada a logaritmo natural (ln), de <i>Swietenia humilis</i> Zucc. establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	44
Figura 8. Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 0.30 m transformados con logaritmo natural (ln), de <i>Swietenia humilis</i> Zucc. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	46

Figura 9. Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (AB) a 0.30 m con transformación de logaritmo natural (ln), de <i>Swietenia humilis</i> Zucc. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	48
Figura 10. Comparación de crecimiento de <i>Cedrela odorata</i> L. y <i>Swietenia humilis</i> Zucc. establecidas en el mismo sitio de plantación en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	49
Figura 11. Curvas de crecimiento y de incrementos en altura total ajustada mediante el modelo Yoshida I, para <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	52
Figura 12. Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 0.30 m, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy, para <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte, en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	54
Figura 13. Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (AB) a 0.30 m ajustadas por el modelo Hossfeld IV para <i>Cedrela odorata</i> L. en exposición norte en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	56
Figura 14. Crecimiento en altura transformada de <i>Swietenia humilis</i> Zucc. en exposiciones norte y sur de la pendiente en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	58
Figura 15. Crecimiento en diámetro transformado de <i>Swietenia humilis</i> Zucc. en exposiciones norte y sur de la pendiente en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca	59

RESUMEN

A partir de la evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y *Swietenia humilis* Zucc. (caoba) establecidas en cuatro plantaciones forestales comerciales en la localidad de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca, se analizó el incremento en altura total, diámetro basal y área basal de plantas a través de trece modelos crecimiento.

Se utilizó un muestreo sistemático con 0.5 % de intensidad de muestreo y sitios de 100 m², evaluando un total de 49 sitios en las diferentes plantaciones que contenían plantas de uno a siete años de edad.

De los trece modelos probados, el de Von Bertalanffy y el de Chapman-Richards presentaron los mejores ajustes a los datos de altura total y diámetro basal observados en campo, mientras que los modelos Gompertz y Sloboda describieron satisfactoriamente el crecimiento en área basal para *Cedrela odorata* L. El crecimiento del cedro rojo en exposición norte fue superior al registrado en exposición sur de la pendiente, ajustándose satisfactoriamente a las ecuaciones utilizadas, cuyos coeficientes de determinación (R^2) para la variable altura fluctuaron entre 0.7469 y 0.7568, mientras que los cuadrados medios del error (CME) variaron entre 2.5571 y 2.6564; para la variable diámetro basal los R^2 fluctuaron entre 0.6892 y 0.7048, los CME variaron entre 9.1421 y 9.5807; y para la variable área basal los R^2 obtenidos fueron de 0.5726 a 0.6354 y el CME resultó de 3^{-05} .

Para *Swietenia humilis* Zucc. el ajuste de los datos fue muy bajo, mejorándose tal asociación al transformar las variables a logaritmo natural y ajustarlos mediante la regresión lineal, resultando bajos R^2 , pero los modelos fueron altamente significativos.

Comparativamente el crecimiento de cedro rojo en exposición norte fue superior al registrado por caoba en las tres variables evaluadas, mientras que el crecimiento de caoba fue mejor que el cedro rojo en exposición sur bajo las mismas condiciones ambientales y de sitio.

I INTRODUCCIÓN

México cuenta con una superficie total arbolada de 56,873,954 hectáreas, de las cuales 30,433,893 hectáreas corresponden a bosques de clima templado y 26,440,061 hectáreas de selvas altas, medianas y bajas. En Oaxaca para el año 2000 existía una superficie total arbolada de 5,105,015 hectáreas de las que 2,715,583 hectáreas corresponden a bosques de clima templado y 1,174,043 hectáreas a los distintos tipos de selvas. Las selvas altas y medianas en ese estado cubren 712,847 hectáreas y la selva baja cubre 461,196 hectáreas (SEMARNAT, 2001).

El aprovechamiento planificado de los bosques tropicales en México se inició con el Plan Piloto Forestal de Quintana Roo, en el que se predeterminaron ciclos de corta de 25 años y diámetros mínimos de corta diferenciados para maderas comunes y preciosas, sin considerar las tasas de crecimiento del bosque para asegurar la recuperación del volumen extraído. En la actualidad sigue operando el mismo sistema de planificación debido a la carencia de metodologías para determinar los incrementos volumétricos para elaborar los programas de manejo forestal (Cruz y Vallejo, 2001).

Las selvas o bosques tropicales de acuerdo con Rzedowski (1986) constituyen uno de los ecosistemas menos conocidos a nivel mundial, lo que ha redundado en el uso indiscriminado de los mismos (Borman y Berlyn, 1983). Durante el periodo de tiempo comprendido entre 1950 y 1975 el ritmo de deforestación en el país fue constante de 200 mil hectáreas anuales; posteriormente el ritmo aumentó para pasar a más de 350 mil hectáreas por año (FAO, 1993).

Entre los años 1976 y 2000 la pérdida de bosques templados fue de dos millones de hectáreas, de seis millones de hectáreas de selvas y cuatro millones de hectáreas de matorrales, que en conjunto la tasa de pérdida de cubierta vegetal anual oscila en promedio entre 500 y 600 mil hectáreas. Acorde con la degradación de selvas y a pesar de la importancia comercial y biológica, el hábitat de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia humilis* Zucc. ha sido severamente afectado y solo se han establecido plantaciones en

pequeña escala, es por esto que *Swietenia* fue listada en el apéndice III de CITES en México (Schmidt y Jøker, 2000; Velázquez *et al.* 2002; WWF, 2002).

Las causas del deterioro forestal varían según la región y tipo de bosque de que se trate, siendo la política agropecuaria la causa más importante de la deforestación y degradación a través del fomento de actividades agrícolas y ganaderas extensivas en áreas de vocación forestal. La política forestal de largo plazo en México fundamentada en el Programa Nacional Forestal 2001-2006 contempla como estrategia la adecuación del marco normativo en el que se contemplen las plantaciones forestales comerciales para reducir la presión y destrucción de los ecosistemas naturales. Tanto el Programa Nacional forestal como la Ley General para el Desarrollo Forestal Sustentable consideran la promoción y regulación de las forestaciones con fines comerciales para reducir la presión sobre los recursos naturales y la importación de productos forestales; lo anterior como consecuencia de la identificación de 10.7 millones de hectáreas con características de clima y suelo aptos para el establecimiento de plantaciones comerciales de alto rendimiento (CONAFOR-SEMARNAT, 2000; Musálem, 2002; SEMARNAT, 2003).

La producción de madera en rollo en nuestro país presenta un déficit considerable en la producción de madera en rollo para uso industrial y por consecuencia también en productos de mayor elaboración como el papel, cartón y madera aserrada. Dicho déficit asciende a 1.4 millones de metros cúbicos para satisfacer la demanda interna, lo que lo convierte en importador de productos forestales maderables (FAO, 2001).

La competencia por buenas tierras es intensa y la silvicultura es inevitablemente desplazada por otros cultivos hacia sitios más pobres; afortunadamente las plantaciones forestales en las zonas tropicales pueden prosperar en tierras de mediana productividad, muchas de las cuales son inapropiadas para la agricultura permanente. El abastecimiento de madera en los bosques tropicales naturales procede de sitios muy distantes redundando en el incremento en tiempos y costos de producción; en contraste, el volumen y la calidad del material de plantaciones continuará

incrementando acorde con los avances tecnológicos, disminuyendo considerablemente los costos de producción (Sayer *et al.* 1997).

El conocimiento del crecimiento y las tasas del mismo, así como la determinación de la edad, son indispensables para el establecimiento de un manejo silvícola racional de las selvas tropicales. La determinación de los volúmenes aprovechables se basa en el conocimiento de la edad y el ritmo de crecimiento de los árboles (Del Amo y Nieto de Pascual, 1985).

El presente trabajo surgió como una necesidad de conocer el crecimiento de los árboles tropicales establecidos en plantaciones forestales comerciales de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia humilis* Zucc. incluyendo plantas de uno a siete años de plantados. Las plantaciones objeto de estudio se localizan en el poblado de San José Chacalapa, San Pedro Pochutla, Oaxaca.

1.1 Objetivo general

Describir la dinámica de crecimiento de *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) y de *Swietenia humilis* Zucc. (Caobilla) a partir de mediciones estáticas en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

1.1.1 Objetivos particulares

- Describir el crecimiento en altura, diámetro basal y área basal de árboles individuales a través de la selección y ajuste de modelos de crecimiento.
- Conocer la relación entre la variación del crecimiento en altura, diámetro y área basal para dos condiciones de exposición de la pendiente.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Los bosques tropicales en México

La vegetación de México está caracterizada por endemismos en las comunidades desérticas del norte y por una gran diversidad en las comunidades tropicales y subtropicales del sur (Graham, 1993). La flora fanerogámica de México se estima en aproximadamente 220 familias, 2410 géneros y 22,000 especies. La convergencia de alta diversidad es encontrada a lo largo de un cinturón originado en Chiapas, atraviesa Oaxaca y continúa hasta la parte central de Veracruz, por un lado y por el otro hasta Sinaloa y Durango. Prácticamente todos los tipos de vegetación importantes conocidos por el hombre son encontrados en México. Aparte de nuestro país solo India y Perú tienen una diversidad similar de cobertura vegetal (Rzedowski, 1993).

En especial, los bosques tropicales en México están muy diversificados como consecuencia de los factores climáticos determinados por la precipitación, su distribución a lo largo del año y el número de meses secos, y los factores del orden edáfico y topográfico. Los bosques caducifolios y subcaducifolios se caracterizan por la pérdida total del follaje en un 50 a 75 % de las especies dominantes durante la estación seca de más de cinco meses al año. La precipitación anual varía entre 1000 y 1200 mm. La distribución geográfica de esta formación vegetal se localiza principalmente en la franja del pacífico y contiene especies de valor comercial como *Cedrela odorata* L., *Swietenia humilis* Zucc., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb., *Cordia alliodora* R. et Pav.) Cham., *Bernoullia flamea* Oliv., *Maclura tinctoria* Schneid., *Spondias mombin* L., *Piscidia communis* Blake, *Vitex gaumeri* Greenm, entre otras.

Los hábitats naturales más afectados por la actividad humana son los bosques mesófilos de montaña, los bosques de niebla, los manglares, y sobre todo las selvas altas y medianas del trópico húmedo o bosques tropicales de acuerdo con Rzedowski (1986) reducidas al 10 % de su distribución original (Toledo, 1988). Se estima que los bosques tropicales originalmente cubrían una superficie de 29 millones de hectáreas,

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

Entre los años 1976 y 2000 la deforestación en México significó la pérdida de dos millones de hectáreas de bosques, seis millones de hectáreas de selvas y cuatro millones de hectáreas de matorrales, que en conjunto la tasa anual de deforestación osciló en promedio entre 500 y 600 mil hectáreas (Velázquez *et al.*, 2002; Cairns *et al.*, 1995).

2.2 Plantaciones forestales en México

El trópico húmedo mexicano ha sido escenario de un cambio acelerado en el uso de suelo, que eliminó una importante superficie cubierta por bosques tropicales, perennifolios y subperennifolios y por otros tipos de vegetación forestal nativa. Los problemas de acceso a la tierra habían sido un obstáculo tradicional para el desarrollo de plantaciones forestales en México. En materia de normatividad, las plantaciones forestales comerciales demandan legislaciones más simples, menos restrictivas, que den certeza y confianza, para que se conviertan en verdaderos detonadores de la actividad. Lo mismo los incentivos, subsidios y facilidades fiscales deberán simplificarse y acrecentarse (Musálem, 2002; Villa, 2002).

Para el 2000, las plantaciones forestales comerciales en México sumaban una superficie de 39,800 hectáreas distribuidas en 27 estados de la República Mexicana; sin embargo, dicha superficie no es suficiente para contrarrestar la tasa de deforestación que prevalece en el país, la cual se ha estimado que oscila entre 370 mil y 1.5 millones de hectáreas de acuerdo a varios autores. La variación en las cifras se debe a las discrepancias metodológicas, los alcances y los enfoques de los estudios realizados para derivar las cifras. En el año 2001 iniciaron los aprovechamientos forestales en plantaciones forestales comerciales, pero los volúmenes extraídos se consideran bajos debido a que no superan los seis mil metros cúbicos de madera (SEMARNAT, 2002; Velásquez *et al.*, 2002).

2.2.1 Justificación de plantaciones forestales comerciales

Velásquez *et al.* (2002) señalan que la deforestación en México entre los años 1976 y 2000 ha significado la pérdida de dos millones de hectáreas de bosques, de seis millones de hectáreas de selvas y de cuatro millones de hectáreas de matorrales xerófilos. En conjunto, la tasa de pérdida anual de superficie forestal oscila entre 500 mil y 600 mil hectáreas, con mayor incidencia en el sur y sudeste de México, en donde paradójicamente sobreviven los ecosistemas biológicamente más valiosos; lo que coloca a nuestro país en los primeros lugares a nivel mundial en deforestación. Así, más del 50 % de la cubierta vegetal original del país se ha perdido, lo que ha provocado la reducción drástica de hábitat a nivel nacional, redundando en la extinción de especies de flora y fauna silvestres y el incremento en el número de las amenazadas (INE, 1997).

La explotación forestal en los trópicos generalmente conlleva cortar y extraer de manera rápida los especímenes de mayor valor económico y no se invierte en su regeneración (Rice *et al.*, 1997). La creciente demanda de productos forestales y la falta de regeneración satisfactoria en las áreas de extracción favorecen el establecimiento de plantaciones forestales comerciales como una alternativa viable en la silvicultura

tropical, incrementando a la vez las necesidades de investigación, ya que la silvicultura tropical se ha ocupado principalmente de la explotación sistemática de selvas ya existentes y de la protección de árboles inmaduros para futuras cosechas (Wadsworth, 1960).

Las plantaciones forestales reducen la presión sobre los bosques naturales debido a que éstas son más productivas. La productividad de los bosques nativos varía entre uno y ocho metros cúbicos de madera por hectárea por año, mientras que en las plantaciones forestales en el trópico se alcanzan incrementos de 15 a 30 metros cúbicos por hectárea por año; dichas ganancias han sido posibles en parte debido a genotipos mejorados, pero también debido a la mejor silvicultura (Sayer *et al.* 1997).

Por otra parte, el uso de especies introducidas para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales brinda la oportunidad de ampliar la selección de especies que mejor se adapten a las condiciones del sitio de interés, de tal manera que se cumplan los objetivos de producción, económicos y financieros que se planteen (Musálem, 2002); sin embargo, en el Plan Nacional Forestal 2001-2006 y en la ley General de Desarrollo Forestal Sustentable se promueve el uso de las especies nativas con el propósito de desarrollar su potencial productivo y conservar la diversidad biológica (SEMARNAT, 2000).

Sayer *et al.* (1997) manifiestan la necesidad de investigación para mejorar el manejo forestal, destacando el cambio en la producción maderable de bosques nativos a plantaciones forestales comerciales debido a la confiabilidad en el suministro de materia prima industrial, la uniformidad de material puro y a precios competitivos. La competencia por mejores tierras ha desplazado a la silvicultura a sitios más pobres; afortunadamente las plantaciones forestales en los trópicos y subtrópicos prosperan en tierras de calidad intermedia, algunas de las cuales son inapropiadas para la agricultura permanente. La demanda de madera de bosques nativos será limitada por los costos de producción. En contraste, el volumen y calidad del material de plantación

continuarán mejorando con los avances tecnológicos en la silvicultura de plantaciones y el procesamiento de la madera, reduciendo los costos por unidad de producción.

Las plantaciones forestales comerciales no son eficientes sumideros de carbono que pudieran contrarrestar el calentamiento global causado por las emisiones de gases de efecto invernadero como los bosques naturales; sin embargo el suministro de bienes ofrecidos por las plantaciones reduce la presión sobre los bosques naturales que sí pueden ser comercializados como servicios ambientales (Fonseca, 2003).

2.2.2 Antecedentes de plantaciones relevantes en México

El primer intento por establecer plantaciones forestales comerciales en nuestro país se inició en 1952 por una compañía cerillera que realizó plantaciones de *Populus* spp. en el estado de México.

Las primeras plantaciones forestales comerciales que se establecieron en México datan de la década de 1960 establecidas en el estado de San Luis Potosí, en una superficie de 2500 hectáreas, cuyo propósito fue el de producir materia prima para la fabricación de tableros aglomerados, utilizando varias especies del género *Eucalyptus*.

A partir de la década de 1970 en la Sabana, Oaxaca fue establecida una plantación comercial de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en una superficie de 8,500 hectáreas con el objetivo de producir celulosa para papel.

A partir de 1994 la transnacional Simpson llegó a establecer 13 mil hectáreas plantadas de diversas especies de eucaliptos en los estados de Tabasco y Veracruz, las cuales en el 2002 se encontraban en aprovechamiento por la fábrica de tableros REXEL ubicada en Zitácuaro, Michoacán (Monreal, 2002).

En 1992 se estableció una plantación de diversas especies de eucalipto de manera experimental en el estado de Sinaloa, cubriendo una superficie de 500 hectáreas. En ese mismo año se plantaron 10,500 hectáreas de eucalipto en Ojinaga, Chihuahua con el objetivo de producir celulosa para papel (Musálem, 2002).

2.2.3 Principales especies utilizadas

Las plantaciones forestales comerciales en México se dividen en dos grandes grupos; dentro del primero se encuentran las de especies latifoliadas y en el segundo las pertenecientes al grupo de las coníferas.

En fechas recientes las especies latifoliadas que se han utilizado en plantaciones forestales comerciales, en orden de importancia se encuentran *Eucalyptus* spp, *Cedrela odorata* L., *Swietenia macrophylla* King., *Tectona grandis* L. F., *Gmelina arborea* Roxb., entre otras; siendo los estados de Campeche, Chiapas, Nayarit, Oaxaca, Sinaloa, Tabasco y Veracruz los que encabezan las estadísticas en cuanto a superficie y número de especies plantadas. Con respecto a plantaciones de coníferas, se han empleado diversas especies del género *Pinus* acordes a las necesidades específicas por entidad federativa. En cuanto a las superficies plantadas destacan los estados de México, Oaxaca y Puebla. Los principales productos obtenidos de las plantaciones forestales comerciales existentes en México son, madera para aserrío, madera para celulosa y árboles de navidad (SEMARNAT, 2002).

2.2.4 El cedro rojo y plantaciones en México

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es una especie arbórea de amplia distribución en las zonas tropicales, desde México hasta Argentina, incluyendo el Caribe. Esta especie pertenece a la familia Meliaceae. Se le encuentra desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm en los trópicos húmedos y subhúmedos con precipitaciones anuales de 1500 a 3000 mm, las temperaturas medias anuales en que prospera esta especie son de 22 a

27°C, con una estación seca de 2 a 4 meses (Salazar *et al.*, 2000). Forma parte del bosque tropical caducifolio hasta el bosque tropical perenifolio, distribuido en la vertiente del Golfo de México desde el sur de Tamaulipas y sudeste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán. Por la vertiente del Pacífico se le encuentra desde Sinaloa hasta Guerrero y en la depresión central y la costa de Chiapas. Es considerada como una especie generalista en lo que respecta a clima debido a su amplia distribución. En aquellas áreas en donde ocurren precipitaciones mínimas necesarias para el desarrollo de la especie (1000 mm) y en aquellos con abundante precipitación (3500 mm o más) el desarrollo de los árboles es lento y fenotípica y comercialmente son poco atractivos (Cintrón, 1990).

El cedro rojo alcanza alturas de 35 metros y en casos excepcionales hasta 40 metros o más, cuyos diámetros normales a la altura del pecho (DAP) en promedio son de 60 cm y en aquellos casos de árboles de 40 m de altura es posible encontrar hasta 2 metros de DAP (Niembro, 2003).

La madera es de amplio uso en la industria mueblera, artesanal y en la decoración de interiores, siendo las piezas manufacturadas muy costosas debido a la calidad de la madera considerada a nivel mundial como una de las más valiosas después de la caoba. La durabilidad de la madera se debe a la presencia de esencias repelentes para los insectos destructores y despide un aroma agradable que incrementa su demanda (Bauer y Francis, 1998). En las regiones cafetaleras los árboles son plantados con doble propósito, para proporcionar sombra al cafeto y llegado el turno para producción maderable (Cintrón, 1990).

En agosto de 2003 a través del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales en México se asignaron apoyos económicos para establecer 43,447 hectáreas de plantaciones, de las cuales en 33,396 hectáreas estuvo involucrado el cedro rojo en combinación con otras especies. Dicha superficie comprometida deberá estar cubierta con plantaciones para el año 2007 (Monreal, 2003).

2.2.5 La caoba y plantaciones en México

Swietenia humilis Zucc. comúnmente conocida en México como caobilla, venadillo o zopilote, tiene una amplia distribución en México por la vertiente del Pacífico en las zonas secas, abarcando una amplia región de México a través de Guatemala, El Salvador, Nicaragua hasta Costa Rica en altitudes igual o menores a 1200 msnm. Debido a la degradación de las áreas de distribución natural de esta especie y de su hábitat fue listada en el Apéndice III de CITES por algunos países como Costa Rica (1995); Bolivia, México y Brasil (1998); y Perú y Colombia (2001). El potencial productivo de la caobilla es poco conocido pero se considera que es menor al de *S. macrophylla* King (Schmidt y Jøker, 2000).

Según Aguilera (2001) los árboles de esta especie alcanzan una altura total de 10 a 25 metros y hasta un metro de diámetro normal. En México se distribuye por la vertiente del pacífico desde el sur del estado de Sinaloa hasta Chiapas en altitudes de 50 a 1000 metros sobre el nivel del mar, pero dicho autor recomienda que las plantaciones se realicen a menos de 800 metros. La temperatura media requerida para el óptimo desarrollo de los árboles es de 27.5° C y una precipitación anual de 800 a 2000 milímetros.

La madera de caobilla es considerada como preciosa debido a sus propiedades que le proporcionan cierto valor para la elaboración de muebles y casas habitación principalmente, siendo una de las especies más valiosas en el mundo (Bauer y Francis, 1998). A esta especie se le encuentra formando parte de las comunidades vegetales denominadas selva mediana subperenifolia, selva baja subcaducifolia y caducifolia (Colín y Monroy, 1997). Francis (1991) considera que el atractivo de la madera de la especie en cuestión reside en la estabilidad dimensional, su facilidad de trabajo manual o mecánicamente y la atracción visual de la misma.

Bauer y Francis (1998) consideran a esta especie como un árbol de gran tamaño. Los rangos de temperatura y precipitación coinciden con los señalados por otros autores para la zona de vida de la especie en cuestión. La caoba es clasificada como una especie intolerante que no puede sobrevivir bajo una sombra densa, alcanzando el más rápido crecimiento a plena luz solar con protección lateral. Estos autores reconocen la existencia de tres especies dentro del género *Swietenia* (*S. Macrophylla* King., *S. mahagony* (L.) Jacq. y *S. humilis* Zucc.). Debido a su capacidad adaptativa y al valor comercial, estas especies han sido plantadas extensamente a nivel mundial dentro y fuera de su área de distribución natural.

La caoba es considerada como una de las mejores maderas para la ebanistería a nivel mundial debido al color rojo y un lustre fino, de textura fina y fibra recta que facilita el acabado de los muebles y demás productos. La madera es fácil de trabajar a mano o con instrumentos eléctricos. Es ampliamente utilizada en la industria mueblera, en ebanistería, para molduras y paneles, artesanías y artículos torneados instrumentos musicales, construcción de botes y muchos usos más. Lo árboles en pie son utilizados como plantas de ornato y para sombra en calles y avenidas (Gilman y Watson, 1994; Bauer y Francis, 1998).

En agosto de 2003 se asignaron recursos económicos a través del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales implementado por la Comisión Nacional Forestal en México para apoyar el establecimiento de 27,546 hectáreas en las que estuvo involucrada la caoba en asociación con otras especies tropicales. Dicha superficie comprometida deberá estar cubierta a más tardar en el año 2007 (Monreal, 2002).

En el campo experimental San Felipe Bacalar en Quintana Roo entre 1964 y 1999 se establecieron 70.05 hectáreas de plantaciones puras de caoba o en combinación con otras especies con fines experimentales (García y Rodríguez, 2000).

2.3 Crecimiento de árboles

En términos generales el crecimiento se refiere al cambio en tamaño de una población o individuo, ya sea en biomasa, en número o en cualquier otra variable de interés, en un intervalo; de aquí que el crecimiento siempre debe estar referido a unidad de tiempo (Torres y Magaña, 2001). En el caso de los árboles consiste en la elongación y crecimiento de raíces, tallos y ramas, provocando cambios en peso, en forma y en volumen como resultado de la actividad de los meristemos primario y secundario, cuya estimación es un proceso esencial para el manejo forestal (Hush *et al.*, 1982; Spurr, 1952).

El objetivo de evaluar el crecimiento de las plantaciones es definir su dinámica de desarrollo así como su probable rendimiento a una edad o fecha determinada. El crecimiento es un proceso dinámico y su medición requiere del monitoreo permanente. A pesar de ello, es posible realizar una evaluación momentánea; sin embargo, ésta solo puede ofrecer información sobre crecimientos promedios en variables dasométricas de interés, mas no brindar una idea de la dinámica del crecimiento.

Existen estrategias que permiten reconstruir esta dinámica o dar algunas aproximaciones; por ejemplo, evaluar el desarrollo de plantaciones de diferentes edades y creciendo en diferentes condiciones de sitio, procedimiento que según Torres y Magaña (2001) es más aproximado que la medición de los últimos anillos de crecimiento y que los análisis troncales. La evaluación del crecimiento regularmente va acompañada de la evaluación de variables adicionales que permiten relacionar los medios físico y biológico, así como el estado de la plantación con el crecimiento de ésta.

El crecimiento en altura en rodales de edad homogénea es, como por regla, más uniforme que el crecimiento en diámetro. El crecimiento en altura dentro del rodal culmina antes que el crecimiento en diámetro (Meyer *et al.*, 1961). Es característico que el crecimiento e incremento en altura en los árboles esta menos influenciado por el ambiente que aquellos del diámetro. Para el crecimiento en altura es de gran

importancia la cantidad de reservas materiales que acumula el árbol durante el último año (Klepac, 1983).

La altura alcanzada por los árboles y el cese de esta es en teoría un buen indicador de la productividad del sitio, siempre y cuando existan árboles suficientemente grandes para reflejar el máximo potencial de crecimiento que puede producir dicho sitio (Vanclay, 1994).

El crecimiento en diámetro dentro de rodales de edad homogénea varía considerablemente entre un árbol y otro. Los árboles dentro de la misma clase diámetrica en ocasiones muestran incrementos que difieren tanto como un 50 a 100 por ciento del crecimiento promedio de todos los árboles (Meyer *et al.*, 1961).

El crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del ambiente que el crecimiento e incremento en altura (Klepac, 1983). En las zonas templadas, la actividad del cambium está relacionada con la duración del día y la temperatura, lo que afecta la periodicidad de la formación de los anillos de crecimiento. En las regiones tropicales, la periodicidad climática es menos evidente, propiciando un crecimiento intermitente y en algunos casos el cambium parece estar activo durante todo el año como en los árboles tropicales y subtropicales de algunos hábitats de Israel. Algunas características en la formación de madera en árboles de hojas perennes son altamente heredables y poco influenciadas por condiciones externas (Fahn *et al.*, 1983).

Por medio del incremento en diámetro se puede calcular el incremento del área basal, siendo más consistente que el incremento en diámetro. El volumen aumenta paralelamente con la altura y el diámetro desde el nacimiento hasta su muerte. La curva de crecimiento adopta una forma sigmoidea, pero el punto de inflexión en esta curva ocurre aún más tarde que en las curvas del incremento en altura y diámetro, lo que tiene una repercusión en la culminación del incremento en volumen. Bajo condiciones diferentes al incremento en volumen siempre culmina después del incremento en altura, diámetro y área basal (Klepac, 1983).

El crecimiento del árbol individual puede ser predicho como incremento en área basal o como incremento en diámetro. Existen algunos argumentos que señalan que es preferible modelar el incremento en área basal, ya que éste supuestamente se relaciona más estrechamente con el crecimiento en volumen alcanzado por el árbol, siendo el volumen una de las variables económicas de mayor interés para el hombre. Otra justificación del uso del incremento en área basal como variable de respuesta se debe a que generalmente presenta un mayor coeficiente de determinación (Vanclay, 1994).

2.3.1 Factores que intervienen en el crecimiento de los árboles

El crecimiento del árbol está influenciado por la capacidad genética de la especie interactuando con el ambiente. La influencia ambiental incluye factores climáticos como temperatura del aire, precipitación, viento e insolación; los factores del suelo incluyen las características físicas y químicas, humedad y microorganismos; características topográficas como pendiente, elevación y exposición; y competencia caracterizada por la influencia de otros árboles, vegetación menor y animales. La suma de todos esos factores ambientales es expresada como calidad de sitio, además la competencia es de menor importancia que los demás factores dado que esta trasciende y puede ser modificada por tratamientos silvícolas (Hush *et al.*, 1982).

Como los árboles difieren en carácter genético dentro de la misma especie, es de esperarse que muestren variaciones en la respuesta del crecimiento en altura en una misma localidad; diferentes especies que crecen sobre el mismo sitio mostrarán las mismas variaciones pero en diferentes grados (Carmean, 1975).

Los factores ambientales que afectan el crecimiento de los árboles pueden ser estables o transitorios. Los factores estables no cambian apreciablemente durante la vida de un árbol. Los factores transitorio cambian cíclica o erráticamente durante la vida

de un árbol. Si el crecimiento pasado es usado como base para predecir el crecimiento, es importante reconocer la magnitud del efecto de los factores transitorios. Cuando hay variaciones climáticas, estas también afectan el crecimiento; por lo tanto, esas fluctuaciones no son fácilmente reconocibles y no son fáciles de segregar de la respuesta total del crecimiento (Hush *et al.*, 1982).

El crecimiento arbóreo responde más a la escasez de agua que a cualquier otro factor permanente de la localidad forestal. El crecimiento apical, radial y reproductivo de los árboles, tanto como la germinación y el establecimiento de las plantas están ampliamente relacionados con la escasez de humedad ambiental y han sido analizados por Zahner (1968). El déficit de humedad influye en el crecimiento radial de los árboles afectando el tamaño del anillo, la proporción de madera temprana y tardía, así como diversas propiedades de la madera, particularmente la propiedad específica (Spurr y Barnes, 1980).

En áreas con relieve accidentado, los efectos topográficos pueden influenciar la productividad del sitio. Las investigaciones sobre la relación entre la topografía y la productividad del sitio han usado variables simples como la elevación, topoformas y la pendiente, así como la exposición de ésta última (Vanclay, 1994).

2.3.2 Curvas de crecimiento

Cuando variables como volumen, peso, diámetro o altura en árboles son graficadas contra la edad, la curva así definida es comúnmente llamada curva de crecimiento. Tales curvas, característicamente de forma sigmoideal, muestran el tamaño acumulativo a una edad determinada. La forma de ese (S) de la curva de crecimiento acumulativo es evidente para células individuales, tejidos, órganos y para plantas y animales individuales durante toda o parte de su vida. También el patrón de crecimiento para cortos periodos de tiempo, tales como una estación de crecimiento, tiende a seguir la curva en forma sigmoideal (Hush *et al.*, 1982).

La mayor proporción del crecimiento de un árbol establecido solitario o en una plantación bien espaciada, se da en la parte lineal de la curva y el crecimiento en diámetro se estabiliza hasta que alcanza el dosel (Del Amo y Nieto de Pascual, 1985).

Spurr (1952) señala que la forma de una determinada curva de crecimiento depende de la variable dependiente. No puede esperarse que la curva de crecimiento en altura sobre la edad sea similar a aquella del volumen contra la edad, mientras que ambas curvas pueden tener la característica curva sigmoideal. Generalmente, una curva de crecimiento acumulativo en altura sobre la edad de los árboles muestra un periodo juvenil menor a una década, posteriormente se presenta un largo periodo de maduración cuando la tendencia es cercana a la lineal y una declinación del crecimiento en la edad adulta. Una curva de crecimiento acumulativo del diámetro contra la edad muestra la misma tendencia.

Si dos variables son correlacionadas con una variable común, entonces cada una de éstas se correlacionará con la otra. Cuando la altura y el diámetro de un árbol son correlacionadas con la edad, la altura parece estar correlacionada con el diámetro; dicha relación puede ser expresada por una función matemática (Hush *et al.*, 1982).

La gráfica de crecimiento en altura de las especies forestales sigue un curso similar a una curva sigmoideal. De la curva de crecimiento se deriva la curva de incremento. El punto de inflexión de la curva de crecimiento indica la culminación del incremento corriente en altura. La curva representativa del crecimiento en diámetro del fuste es también una sigmoideal como la curva de crecimiento en altura, con única diferencia de que la curva de crecimiento en diámetro es más plana y toma la forma de línea recta en su origen (Klepac, 1983).

2.3.3 Modelos de crecimiento

Un modelo matemático consiste en un conjunto de ecuaciones o gráficas que muestran las relaciones cuantitativas entre las variables. Los modelos de crecimiento son aplicados en muchos campos como la biología, botánica, forestería, zoología y ecología; el crecimiento ocurre en organismos, plantas, árboles y arbustos, animales y seres humanos. Los tipos de modelos necesarios en un área específica y en un problema específico dependen del tipo de crecimiento que ocurra. La función matemática que se use como base de los modelos de ajuste no es muy importante, siempre que sea capaz de asumir una forma correcta (Alder, 1981; Draper y Smith, 1981).

Las variables usadas en modelos de crecimiento no pueden ser una colección arbitraria de aquellas correlacionadas con el crecimiento en un rodal forestal, pero pueden ser cuidadosamente seleccionadas para asegurar predicciones biológicamente realistas. Para maximizar los beneficios de los modelos de crecimiento, éstos deben hacerse disponibles para todos los usuarios potenciales, incluyendo los planeadores y manejadores forestales, para la elaboración de políticas, la investigación, educación y el manejo en campo. La información proporcionada por los modelos debe ser oportuna; debe hacer una estimación razonable de la realidad; incluir todos los detalles que el usuario necesita para conocer la situación; concisa, excluyendo elementos no requeridos por el usuario; directamente relacionada con el tema bajo consideración; y apropiada para el usuario final (Vanclay, 1994).

Una vez que el modelo ha sido construido y ajustado a los datos, debe ser probado para determinar su validez y precisión. La validación puede mostrar debilidades en el comportamiento del modelo, lo cual conducirá a mejorar su estructura o a la necesidad de recolectar más datos de campo. Frecuentemente es necesario repetir el proceso de validación, con ajustes o correcciones al modelo. Lo más aconsejable es la validación independiente, para la que se usan datos que no han sido utilizados para estimar ninguno de los parámetros del modelo (Alder, 1981).

Las cualidades que determinan el alcance de utilización de los modelos de crecimiento son, generalidad: es la medida en que un determinado modelo puede ser

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

2.3.4 Métodos estáticos de predicción del crecimiento

Los métodos estáticos son aquellos en los cuales el crecimiento se predice directamente como una función de la edad. Estos modelos son más sencillos de construir y usar que los dinámicos, y en situaciones apropiadas son confiables. Las desventajas que presentan los modelos estáticos son: a) es difícil combinar datos de rodales con historial de manejo diferentes y obtener una función de rendimiento efectiva y consistente, b) una vez construido el modelo, no puede ser usado para predecir rendimientos de tratamientos alternativos y c) la determinación de los rendimientos de aclareos es difícil a menos que se lleven registros exactos de las dimensiones de los árboles removidos (Alder, 1980).

2.4 Estudios sobre crecimiento en las especies de interés

García *et al.* (1998) en un estudio realizado en el Campo Experimental San Felipe Bacalar, Quintana Roo, trabajaron con los modelos de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull a través del método de la curva guía para desarrollar ecuaciones anamórficas y polimórficas de índice de sitio para plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) utilizando como criterios para la selección del modelo con mejor bondad de ajuste a los estadísticos cuadrado medio del error (CME), coeficiente de determinación (R^2) y análisis de residuales, encontrando que el modelo

que representa más fielmente el diagrama de dispersión de los datos observados para las variables edad, altura total, diámetro normal, tipo de suelo y labores de manejo, fue el de Chapman-Richards en su versión anamórfica, mientras que en la versión polimórfica la ecuación de Weibull representó con mayor fidelidad los datos observados.

Makocki (2000) estudió tres especies (*Cedrela odorata* L., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y *Bursera simaruba* L.) componentes en una selva mediana subcaducifolia del estado de Nayarit, México, encontrando anillos de crecimiento distinguibles en cada una de ellas mediante el análisis de rodajas. La forma de los anillos de crecimiento en las rodajas analizadas fue de forma excéntrica para las tres especies, variando en grado entre especies. Los árboles dominantes de *Enterolobium* crecieron menos que los codominantes, mientras que éstos últimos y los intermedios dejaron de aumentar en diámetro de manera simultánea. Para *Cedrela* y *Bursera*, las tasas de incremento son directamente proporcionales a la posición sociológica de los árboles en el bosque. El patrón de incremento porcentual mostró un incremento más acelerado durante los primeros meses de la estación lluviosa del año (mayo a julio), disminuyendo posteriormente en forma gradual dicha tasa de incremento tornándose casi nula entre noviembre y enero. Entre enero y abril (época seca) las especies estudiadas mostraron un incremento mayor en diámetro en los árboles de posiciones sociológicas inferiores.

Dünisch *et al.* (2001) encontraron que las curvas de incremento para *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. en bosques de crecimiento primario se correlacionó con los datos de precipitación. Se encontraron tres tipos de incremento en el xilema de *Swietenia*; bandas de parénquima, bandas de vasos y bandas de canales resiníferos; pero sólo la formación de bandas de parénquima fue predominantemente anual. En el xilema de *Cedrela* se encontró un patrón de crecimiento anual marcado por una banda de fibras y una formación subsiguiente de vasos de gran tamaño embebidos en el parénquima paratraqueal.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de los sitios de plantación

3.1.1 Ubicación geográfica

El área de estudio se ubica en la región costa del estado de Oaxaca en el distrito de San Pedro Pochutla, en la Jurisdicción de San José Chacalapa, en el Km 225 sobre la carretera Oaxaca-Pochutla, con coordenadas geográficas, latitud Norte $15^{\circ} 50'$ y longitud Oeste $96^{\circ} 28'$, con una altitud de 220 msnm (Figura 1).

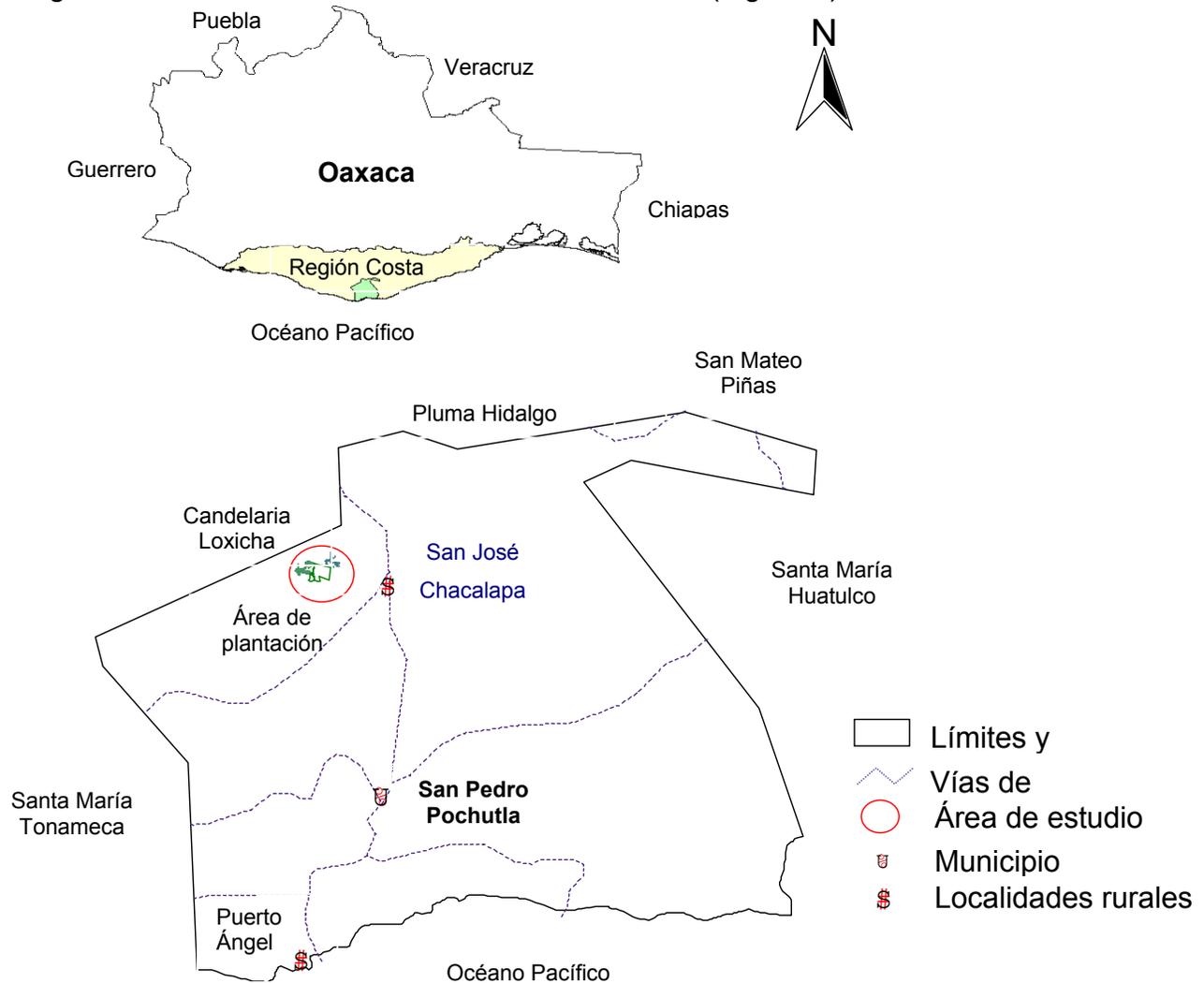


Figura 1. Localización de plantaciones de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia humilis* Zucc. en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca (tomado de García, 2005).

Al Noreste de la localidad de San José Chacalapa se desvía un camino rural aproximadamente de 3 Km hacia los predios “Sin Nombre”, “El Carnizuelo”, “El Pénjamo” y “El Mango” (INEGI, 1995; Morales, 1997; García, 2005).

3.1.2 Superficies

De acuerdo a los avances reportados hasta 2004, la superficie comprometida para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de 133.0 hectáreas estaba próxima a cubrirse, considerando además la superficie por replantar en aquellos sitios en donde hubo pérdidas de planta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficies de plantación en los cuatro predios en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Predio	Superficie (ha)			
	Propuesta	Plantada	Por plantar	Por replantar
El Mango	71.5	68.0	3.5	5.0
Carnizuelo	20.4	14.4	6.0	2.0
El Pénjamo	29.5	28.0	1.5	1.0
Sin Nombre	11.6	9.6	2.0	1.0

Fuente: Morales (1997)

3.1.3 Aspectos orofisiográficos e hidrológicos

Los predios en referencia se ubican en la Región Costa de Oaxaca, que corresponde a la Provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y Subprovincia Cuestas del Sur, donde la morfología corresponde a conjunto de elevaciones de tamaño y arreglo

variable con pendientes de 15 a 40 %, formando pequeños valles aluviales, a una altitud sobre el nivel del mar que va de 150 a 200 msnm (INEGI, 1995).

En general la topografía del terreno está conformada por lomeríos cuyas pendientes van de 0 a 60 % y la altitud de 150 a 250 msnm y los terrenos propuestos para realizar la plantación presentan una pendiente que va de 0 a 40 % (INEGI, 2003).

La unidad de suelo predominante en el área en referencia corresponde a un regosol éutrico, el cual se caracteriza por no presentar capas distintas, de coloración gris, café rojizo y blanquecino; se parece a la roca que le dio origen y puede ser desde someros a moderadamente profundo de texturas gruesas y medias, pobre en materia orgánica, con pH ácido; se pueden presentar en muy diferentes climas y con diversos tipos de vegetación; la susceptibilidad a la erosión es muy variable (INEGI, 1995; Morales, 1997).

Los predios de plantación se localizan en la región hidrológica RH-11 Costa de Oaxaca (Puerto Ángel), en la Cuenca C Río Copalita y en la Subcuenca c Río Tonameca bajo la isoyeta media anual de 1200 a 1500 mm (INEGI, 1995).

3.1.4 Clima

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado en 1973 por Enriqueta García y a los datos meteorológicos registrados por la estación meteorológica Pochutla (20-073), el clima de las áreas de plantación corresponde al grupo de climas Cálido subhúmedo con lluvias en verano AW_1 que es el intermedio entre AW_0 y AW_2 presentando un coeficiente P/T , entre 43.2 y 55.3, con una precipitación media anual de 934.7 mm; la temperatura máxima en los meses de noviembre y diciembre es de 30° C y las mínimas del mismo periodo de 18°C, registrándose una temperatura media anual de 26.4° C. La estación seca se presenta cuando la curva de temperatura supera a la de precipitación, mientras que la estación

húmeda se manifiesta cuando la curva de precipitación rebasa la curva de temperatura (Figura 2) (García, 1981; INEGI, 1995; INEGI, 2003).

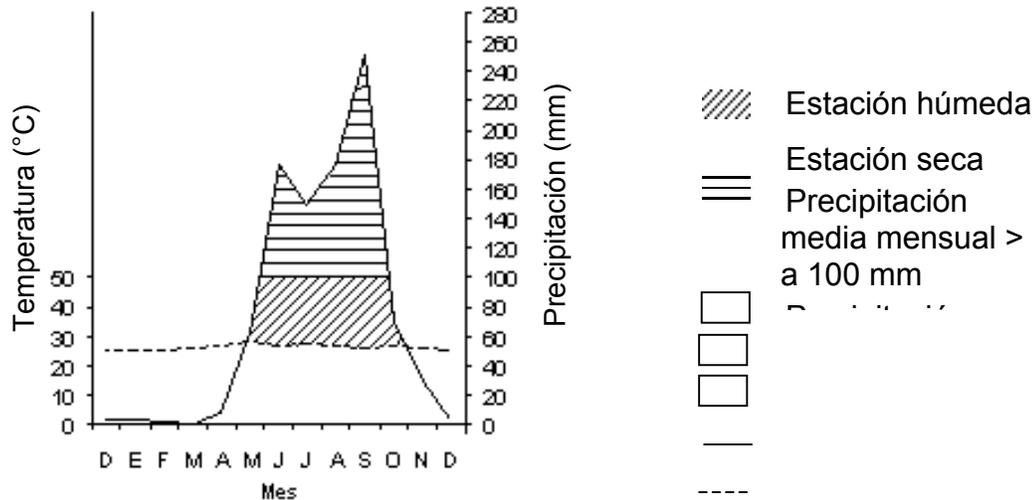


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la estación meteorológica Pochutla, Oaxaca.

3.2 Flora y fauna silvestre

3.2.1 Vegetación

De acuerdo a las especies vegetales que han quedado como relictos, se considera que hubo presencia de selva mediana caducifolia, la cual se presenta en zonas térmicamente semejantes a las selvas altas perennifolias y altas o mediana subperennifolias, pero con precipitaciones anuales menores, generalmente del orden de 1000 a 1500 mm, con una temporada seca bien definida y prolongada. Se caracteriza porque más de la mitad y a veces 3/4 partes de los árboles altos de esta selva, pierden completamente sus hojas en la época de sequía; variando el periodo caducifolio paralelamente con el tipo de régimen pluvial que se presenta cada año (SARH, 1979).

El trópico subhúmedo es caracterizado por un clima cálido con un periodo seco de cinco a nueve meses al año y por bosques tropicales deciduos o tipos de vegetación

similar. En su distribución, estas zonas cubren proporciones importantes de la planicie costera del pacífico, la península de Yucatán, el centro de Veracruz, sur de Tamaulipas, el oeste y sur de México (Toledo y Ordóñez, 1993).

La vegetación nativa de los sitios de plantación fue eliminada hace aproximadamente 50 años para uso de los terrenos con fines agrícolas de carácter extensivo, la agricultura nómada, la extracción de leña para combustible, y actualmente inicia su recuperación con presencia de vegetación herbácea y arbustiva con vías a conformar área de acahuales en las áreas destinadas a la conservación; las especies arbóreas que componían la cubierta vegetal original se encuentran reducidas a relictos (Cuadro 2) (Morales, 1997).

Cuadro 2. Especies arbóreas encontradas dentro de los cuatro predios de plantación y sitios aledaños.

Nombre común	Nombre científico
Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i> L.
Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i> L. Gaertn.
Guarumbo	<i>Cecropia obtusifolia</i> Bert.
Caobilla o zopilote	<i>Swietenia humilis</i> Zucc.
Rosadillo	<i>Miradanceltis monoica</i> (Hemsl.) Sharp.
Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.
Hormiguero	<i>Cordia alliodora</i> (R. et Pav.) Cham.
Macuil	<i>Tabebuia rosea</i> L.
Tololote	<i>Andira inermis</i> Swartz) H. B. K.
Huanacastle	<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb.
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i> L.
Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i> L.
Nanche	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H. B. K.
Coyo	<i>Scheelea liebmanna</i> Becc.
Zapote negro	<i>Diospyros blephoraphylla</i> Stand.
Cacahuananche	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud.

Quebracho	<i>Poeppigia procera</i> Presl.
Carnizuelo	<i>Acacia collinsii</i> Saff.

Fuente: Morales (1997); Rzedowski (1986); Martínez (1979).

3.2.2. Fauna silvestre

Como es de considerarse la vegetación y fauna silvestre en bosque tropical tienen una estrecha relación en su tipo, ya que las selvas en gran medida sirven de refugio y guarida para su reproducción y sobrevivencia; cuando se eliminan las selvas en su totalidad como fue el caso de estas áreas, también la fauna silvestre, posiblemente fue eliminada y/o emigró en busca de refugios en relictos de selvas aledañas aún existentes.

En áreas aledañas con vegetación de relictos de selva, se han observado algunas especies de fauna silvestre nativa (Cuadro 3) (Morales, 1997).

Cuadro 3. Especies de fauna silvestre asociada a la vegetación de los cuatro predios plantados y sitios aledaños.

Nombre común	Nombre científico
Puma	<i>Felis concolor</i> L.
Tlacuache	<i>Didelphis marsupialis</i> L.
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i> L.
Tejón	<i>Nasua narica</i> L.
Conejo	<i>Silvilagus cunicularis</i> Waterhouse
Tigrillo	<i>Felix wiedii oaxacencis</i> Nelson y G.
Zorrillo	<i>Mephitis macroura</i> Lichtenstein
Huilota	<i>Zenaida macroura</i> L.
Paloma alas blancas	<i>Zenaida asiatica</i> L.
Iguana prieta	<i>Ctenosaura similis</i> Gray
Víbora de cascabel	<i>Crotalus</i> spp.
Nauyaca	<i>Porthidium dumni</i> Hartweg y Oliver

Coralillo

Micrurus ephippifer Cope

Lagarto de crestas mexicano

Heloderma horridum Wiegmann

Fuente: Morales (1997).

3.3 Crecimiento de cedro rojo y caoba

3.3.1 Muestreo

La evaluación de la plantación se hizo con la información obtenida en una sola medición para conocer la tasa promedio de crecimiento de las especies de interés; para lograrlo, el muestreo se realizó sobre toda la plantación, la cual contiene arbolado de uno a siete años de edad, a fin de identificar diversas condiciones de crecimiento.

Se utilizaron sitios temporales de 100 m² de forma circular con 5.64 metros de radio (CONAFOR-SEMARNAT, 2003). Para establecer y medir los sitios en campo se utilizó una brújula Silva para localizar y seguir los rumbos francos de las líneas definidas previamente, dos machetes para abrir el paso, una cuerda compensada de 50 m para medir los 140 m establecidos entre líneas, dos cuerdas compensadas de 5.64 m para medir los sitios, dos cintas diamétricas Jackson para medir los diámetros; y una pistola Haga para medir alturas de los árboles y una vara de 3 m que facilitó tomar la altura de algunas plantas. Para medir la altitud se utilizó un altímetro Thommen.

Para el muestreo de la vegetación se empleó un muestreo sistemático, utilizando una retícula de escala 1:10,000 que coincide con la escala de los planos generados para la distribución de los sitios dentro de cada predio. La intensidad de muestreo fue de 0.5% con sitios de 100 m², con una equidistancia de 140 m aproximadamente; resultando un total de 49 sitios.

3.3.2 Variables evaluadas

Las variables evaluadas para el presente trabajo fueron la altura total del arbolado y el diámetro a 30 centímetros del suelo, así como el diámetro a 1.30 metros en las plantas donde fue posible tal medición, ya que una alta proporción de la población aún no alcanzaba dicha altura.

3.3.3 Modelos de crecimiento

Se construyeron curvas de crecimiento para las dos especies de interés para simular el desarrollo de los árboles de distintas edades que van de uno hasta siete años en el momento de la medición y estimar los incrementos. La evaluación del crecimiento de las plantaciones con una sola medición se utilizó para conocer la tasa promedio de crecimiento del arbolado; sin embargo, como la estimación se hizo en diferentes estratos de la plantación y éstos aglutinan todas las condiciones de crecimiento, entonces fue posible realizar una estimación de la dinámica del crecimiento a partir de información puntual.

Como la asociación de los datos totales registrados en campo para *Swietenia humilis* Zucc. fue baja, se transformaron las variables a logaritmo natural mejorando considerablemente dicha asociación y se ajustaron satisfactoriamente mediante una ecuación de regresión lineal, cuyos coeficientes de determinación resultaron bajos pero altamente significativos para todas las variables evaluadas. Los ajustes para encontrar la convergencia del modelo se realizó con el paquete estadístico SAS ® versión 8.0.

Fueron trece modelos seleccionados para simular el crecimiento de *Cedrela odorata* L., los cuales han reportado buenos resultados en su forma integral en trabajos similares al que nos ocupa (Cuadro 4).

3.3.4 Comparación y selección de modelos

La selección de los modelos de crecimiento con mejor ajuste se realizó siguiendo el procedimiento recomendado por Bergerud y Sit (1994), el cual consistió en el graficado del diagrama de dispersión sobre el que se trazaron las curvas que ajustaron los datos, analizando la forma de dichas curvas considerando incrementos, decrementos, máximos, mínimos, concavidad, así como los coeficientes de determinación y el cuadrado medio del error.

Cuadro 4. Modelos de crecimiento utilizados para la simulación del crecimiento en altura, diámetro normal y área basal en árboles de cedro rojo y caoba.

Modelo	Ecuación
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$
Schumacher	$y = ae^{-b^{-c}(1/t)}$
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$
Levakovic I	$y = a(t^d / (b + t^d))^c$
Levakovic III	$y = a(t^2 / (b + t^2))^c$
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$
Hossfeld IV	$y = t^c / (b + t^c / a)$
Yoshida I	$y = at^d / (b + t^d) + c$

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

Fuente: Zeide (1989); Zeide (1993); Vanclay (1995); Zamudio y Ayerde (1997); García *et al.* (1998).

De los modelos no lineales que se probaron se realizó una comparación entre éstos de acuerdo con el trabajo de Zeide (1989, 1993) para determinar cual de dichos modelos ajusta mejor a la población muestreada. Para efectuar la comparación de los modelos de crecimiento se consideraron los supuestos del análisis de varianza; además se asumió que las variables medidas en campo tenían un alto grado de exactitud y un error mínimo pero sistemático o error normalmente distribuido (Vanclay, 1994).

De acuerdo con Vanclay (1994) y Bergerud y Sit (1994) la comparación de ecuaciones no es fácil de realizar, pero que una simple prueba de t-student provee una buena base para la comparación entre modelos que han sido generados a partir de una misma base de datos. El coeficiente de determinación (R^2) es considerado como el criterio más ampliamente utilizado. El coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) fue el mejor criterio de selección del modelo de crecimiento. El cuadrado medio del error (CME) fue otro criterio utilizado para la selección de modelos.

El ajuste de los diferentes modelos que se probaron se efectuó con el paquete estadístico SAS versión 8.0 mediante el procedimiento PROC NLIN; de igual manera se determinaron los estadísticos que nos permitan seleccionar el modelo que presentó el mejor ajuste para las especies y variables evaluadas.

El procedimiento PROC NLIN de SAS se utilizó para seleccionar los parámetros del modelo evaluando la suma de cuadrados residuales, encontrando la convergencia con el valor mínimo de dicha suma. Las posibles razones existentes cuando no se obtiene convergencia son que el modelo es inapropiado o las derivativas son incorrectas, los datos son insuficientes, presenta muchos parámetros o es complejo (Bergerud y Sit, 1994).

3.4 Crecimiento de cedro rojo y caoba en dos exposiciones de la pendiente

3.4.1 Obtención de información

Durante la fase de muestreo se observaron diferencias en el crecimiento de las especies de interés, por lo que se registraron datos sobre la exposición de la pendiente en la cual se encontraba cada unidad de muestreo para corroborar o desechar tal apreciación ocular. Por lo anterior, se hizo la separación de exposiciones agrupándose en cuatro grupos (Figura 3), de los cuales solo se comparó el crecimiento de los árboles establecidos en exposiciones norte y sur por considerarse como contrastantes en la respuesta del arbolado a las condiciones de sitio en dichas exposiciones.

Exposición	Clave	Ángulos
N	1	NE 0° - 45°
		NW 0° - 45°
E	2	NE 45° - 90°
		SE 90° - 45°
S	3	SE 0° - 45°
		SW 0° - 45°
W	4	

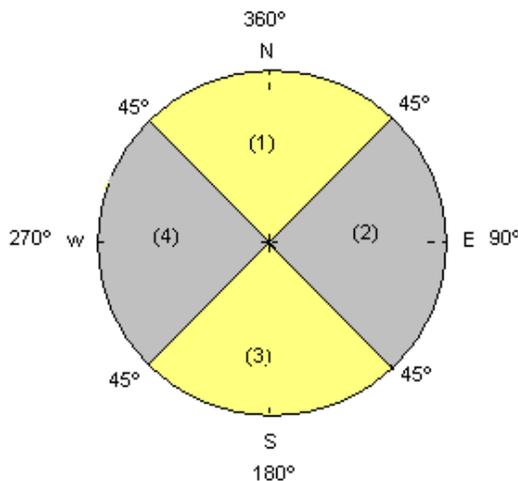


Figura 3. Exposiciones consideradas para el registro de datos de campo.

3.4.2 Modelos de crecimiento

Para el cedro rojo, el diagrama de dispersión de datos analizados por exposición mostró una buena asociación de valores para los árboles creciendo en exposición norte, mientras que aquellos datos procedentes de la exposición sur no se observó una clara asociación, procediéndose a probar los modelos mencionados anteriormente (Cuadro 4) para simular el crecimiento de los árboles de la exposición norte únicamente (Zeide, 1989; Zeide, 1993; Vanclay, 1995; Zamudio y Ayerde, 1997).

Debido a que las variables evaluadas para la especie *Swietenia humilis* Zucc. no presentaron un ajuste estadístico aceptable (baja asociación) y se violó el supuesto de normalidad de datos del análisis de varianza, fue necesario realizar la transformación de variables, en este caso se efectuó una transformación potencial. Para determinar la lambda (λ) más adecuada y realizar la transformación de variables, se utilizó el procedimiento desarrollado por Box y Cox (1964) con el uso del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) ® Versión 8.0 de manera independiente para las exposiciones norte y sur, mejorándose considerablemente la asociación de datos con una tendencia lineal.

3.4.3 Comparación y selección de modelos

Para la comparación de los modelos probados se consideró el coeficiente de determinación (R^2) que es la proporción de suma de cuadrados totales corregidos de la variable dependiente y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) que es el reajuste de R^2 por los grados de libertad (Bergerud y Sit, 1994).

El diámetro basal y la altura total de caoba en exposiciones norte y sur se ajustaron a través de una ecuación lineal; por lo tanto, se procedió a realizar una

comparación de pendientes de regresión con contrastes entre las dos exposiciones utilizando el PROC GLM de SAS ® versión 8.0 para probar si existen diferencias entre las dos líneas de regresión de acuerdo a la metodología de Steel y Torrie (1988) siguiendo el procedimiento de Bergerud (1991), Bergerud y Sit (1991) y Bergerud (1994).

Debido a que no se cuenta con información sobre crecimiento de *Cedrela odorata* L. para discutir los resultados obtenidos en el presente trabajo se optó por compararlo con algunos trabajos realizados con *Swietenia* por pertenecer a la misma familia y ser afín a la especie de interés.

IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Crecimiento de cedro rojo y caoba

4.1.1 Cedro rojo

Los resultados obtenidos por cada uno de los trece modelos utilizados en la evaluación del crecimiento de *Cedrela odorata* L. en plantaciones forestales comerciales en San José Chacalapa, de acuerdo a los criterios estadísticos de selección mostraron poca variabilidad, por lo que se aprovecharon pequeñas diferencias en dichos criterios, así como la sencillez de los modelos para elegir al más apropiado (Cuadro 5).

La ecuación Levakovik III fue la que presentó el ajuste más bajo para todas las variables, pero no por eso deja de ser aceptable y altamente significativa; para el crecimiento en altura total, el modelo de Hossfeld IV presentó el coeficiente de determinación (R^2) ligeramente mayor a los demás modelos; sin embargo, los modelos de Von Bertalanffy y Chapman-Richards presentaron los mismos valores entre sí, con un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) ligeramente superior y el menor cuadrado medio del error (CME) con respecto a los demás modelos analizados. Como las ecuaciones de Von Bertalanffy y Chapman-Richards presentaron estadísticamente el mismo ajuste, se determinó que el primer modelo por contener menos parámetros de regresión es más práctico para su utilización (Cuadro 5). La similitud encontrada entre los dos modelos posiblemente se deba al origen de las ecuaciones, ya que la ecuación Chapman-Richards fue derivada de la ecuación de Von Bertalanffy (Zeide, 1993).

Dichos resultados concuerdan con lo encontrado por García *et al.* (1998) para la especie *Swietenia macrophylla* King. en el modelo de Chapman-Richards con la menor suma de cuadrados y por consecuencia el menor cuadrado medio del error. Weber *et al.* (1999) en un estudio realizado en la Região de Canela-RS, Brasil, evaluaron el crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. utilizando el modelo Chapman-Richards en su forma integral obteniendo altos coeficientes de determinación.

De acuerdo con Zeide (1993) la ventaja de la ecuación Chapaman-Richards reside en su flexibilidad. La diferencia entre las ecuaciones de Chapman-Richards y de Von Bertalanffy es que el parámetro "c" de la primera puede asumir cualquier valor, pero en la segunda este valor está restringido a tres. Esa diferencia no se refleja en el ajuste de las ecuaciones, ya que los resultados obtenidos fueron idénticos.

Cuadro 5. Modelos de crecimiento en altura total de *Cedrela odorata* L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-3.8535	-0.0619			0.7564	0.7547	2.5571
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-3.8535	-0.1857	1.0000		0.7564	0.7547	2.5571
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	-4.7317	-0.1690	0.9694		0.7566	0.7532	2.5726
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	14.5779	0.5725	24.465		0.7499	0.7463	2.6439
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	26.3385	4.2728	0.2138		0.7542	0.7506	2.5993
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	0.00261	5.6354	-0.1971		0.7563	0.7527	2.5770
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	-7.3789	-0.0932	1.1482		0.7567	0.7532	2.5726
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	1132615	1974179	1.0000	1.470	0.7550	0.7533	2.5714
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	47.3191	68.4901	0.5000		0.7469	0.7451	2.6564
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.00261	-5.6355	-0.1971		0.7563	0.7527	2.5770
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	26.3390	4.2729	1.0689	0.200	0.7542	0.7506	2.5993
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	-18.569	1.4218	1.1516		0.7568	0.7533	2.5712
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-1347.3	-3004.3	0.2770	1.588	0.7559	0.7524	2.5806

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

A pesar de que se trata de árboles jóvenes, el comportamiento de la curva de crecimiento de éstos se asemeja a la típica curva sigmoideal, aunque solo presente las primeras dos etapas, que corresponde a la fase de lento crecimiento y parte de la fase de rápido crecimiento. Dicha aseveración se hace con base en las curvas de crecimiento, así como las de incremento corriente anual (ICA) e incremento medio anual (IMA), mismas que muestran la tendencia ascendente acelerando su crecimiento a partir del quinto año de edad (Figura 4).

Lo anterior coincide con lo estipulado por Oliver y Larson (1996) quienes mencionan que el crecimiento en altura es lento al principio cuando el árbol es joven y muy pequeño para acumular energía para el rápido crecimiento terminal. Conforme los árboles incrementan en tamaño y follaje, una mayor cantidad de energía está disponible en la parte terminal, causando un rápido incremento en altura hasta alcanzar altas tasas de crecimiento.

El incremento corriente anual en altura para *Cedrela odorata* L. durante los primeros cinco años fluctuó entre 0.79 y 1.65 metros anuales, correspondiendo dicho periodo a la fase de lento crecimiento, acelerándose posteriormente para alcanzar entre 1.99 y 2.40 metros el sexto y séptimo año respectivamente (Figura 4). La altura promedio del arbolado de siete años al momento de la evaluación fue de 10.29 metros. Se considera que la fase de lento crecimiento dura hasta la edad de cinco años, para pasar a la fase de rápido crecimiento en que se encuentran actualmente las plantaciones evaluadas (Daniel *et al.*, 1982; Oliver y Larson, 1996).

El rango de crecimiento anual encontrado es superior al reportado por García *et al.* (1993) para *Swietenia macrophylla* King. bajo diferentes densidades de dosel en Quintana Roo, el cual fluctuó entre 20.71 cm y 49.33 cm, mismo que ellos consideran muy bajo comparado con los crecimientos de hasta 1.5 metros logrados en plantaciones forestales en San Felipe Bacalar, con los que sí se comparan los crecimientos encontrados en las plantaciones de San José Chacalapa en *Cedrela odorata* L.

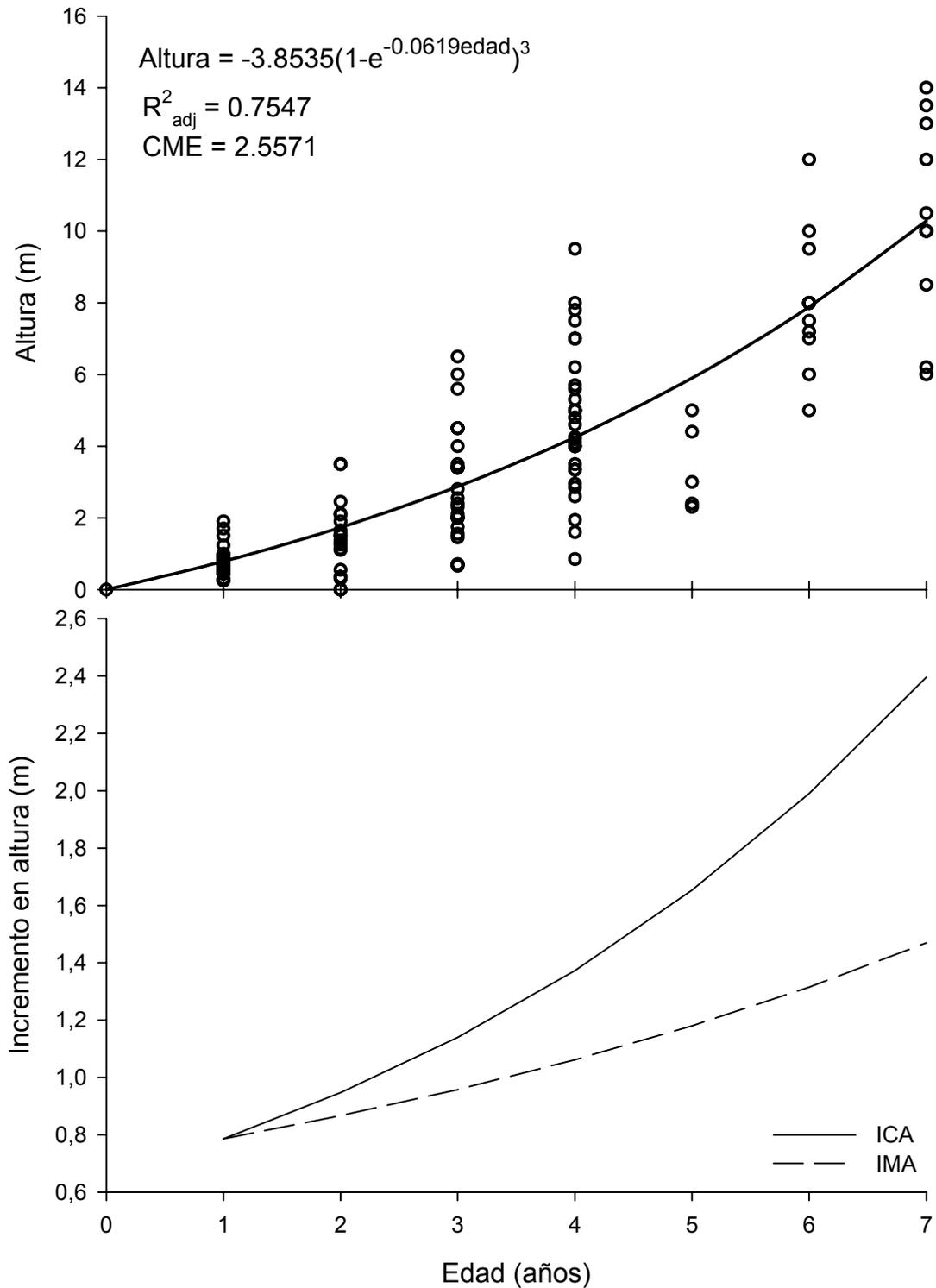


Figura 4. Curvas de crecimiento e incrementos en altura total, ajustada por el modelo de Von Bertalanffy para *Cedrela odorata* L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Para la variable diámetro a la base (0.30 m) el modelo de Hossfeld IV aportó el mayor coeficiente de determinación; sin embargo, los modelos de Von Bertalanffy y de Chapman-Richards lo superaron al aportar el mayor coeficiente de determinación ajustado y el menor cuadrado medio del error (Cuadro 6). De igual manera se eligió el de Von Bertalanffy debido a que solo requiere la estimación de dos parámetros de regresión, por lo que se considera práctico, con un ajuste superior a las demás ecuaciones de crecimiento de tres y cuatro parámetros. Dado que la flexibilidad de una ecuación depende del número de parámetros en el modelo, es de esperarse una mayor flexibilidad con la ecuación de Von Bertalanffy (Zeide, 1993).

La tasa de crecimiento en diámetro es una función más potencial que exponencial de la edad y la estructura de las ecuaciones de crecimiento muestra funciones potenciales y exponenciales. Las ecuaciones de Von Bertalanffy y Chapman-Richards presentan un componente positivo como una función potencial en la forma integral de la ecuación. Esto explica la bondad de ajuste de dichas ecuaciones para describir el crecimiento en diámetro (Zeide, 1989).

Para la variable diámetro a la base (0.30 m) la bondad de ajuste a los datos observados por el modelo seleccionado fue menor a la encontrada para la variable altura total, pero sigue considerándose buena debido a los coeficientes de determinación obtenidos, el menor cuadrado medio del error y la significancia del modelo.

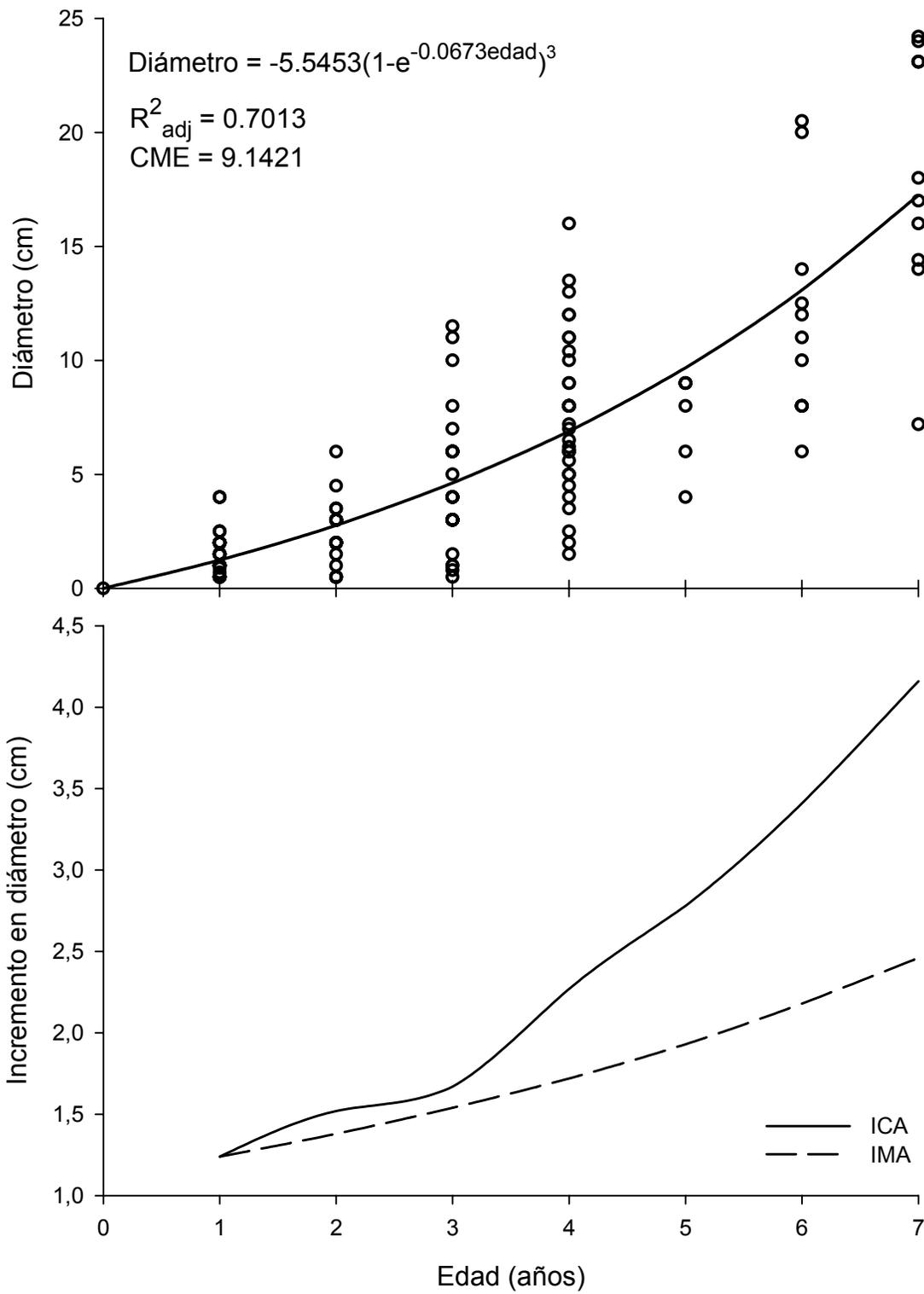
En la curva de crecimiento resultante (Figura 5) la fase de lento crecimiento se ubica en los primeros cinco años de la plantación, cuyo incremento corriente anual promedio en diámetro fluctuó entre 1.24 y 2.80 centímetros, acelerándose a partir del quinto año hasta alcanzar entre 3.40 y 4.20 centímetros por año a la edad de seis y siete años respectivamente, demostrándose que es hasta después de los cinco años de edad del arbolado en las plantaciones evaluadas cuando entra en la etapa de rápido crecimiento (Daniel *et al.*, 1982; y Oliver y Larson, 1996). El diámetro promedio del

arbolado de mayor edad (siete años) en el momento de la evaluación fue de 17.24 centímetros.

Las curvas de incrementos corriente anual y medio anual en diámetro muestran un periodo inicial de crecimiento muy bajo durante los primeros tres años; posteriormente adquieren un comportamiento ascendente, el cual se acelera a partir del quinto año de las plantaciones (Figura 5).

Cuadro 6. Modelos de crecimiento en diámetro a la base de *Cedrela odorata* L. establecido en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-5.5453	-0.0673			0.7034	0.7013	9.1421
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-5.5451	-0.2020	1.0000		0.7034	0.7013	9.1421
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	-4.7008	-0.2152	1.0381		0.7036	0.6993	9.2029
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	33.6241	0.4877	28.705		0.6972	0.6928	9.4014
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	85.2362	4.6579	0.1526		0.7008	0.6965	9.2885
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	0.1531	2.2152	-0.3893		0.7029	0.6986	9.2245
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	-3.4659	-0.3208	0.8834		0.7035	0.6992	9.2043
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	1758861	1974179	1.0000	1.506	0.6987	0.6965	9.2871
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	89.2075	82.7610	0.5000		0.6892	0.6869	9.5807
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.1531	-2.2152	-0.3893		0.7028	0.6986	9.2244
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	85.2375	4.6579	0.7631	0.200	0.7008	0.6965	9.2885
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	-11.9835	0.7961	0.8917		0.7048	0.7005	9.1647
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-1624.8	-3004.3	0.8477	1.747	0.7018	0.6975	9.2575



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

Figura 5. Curvas de crecimiento ajustado mediante el modelo Von Bertalanffy e incrementos para diámetro a 0.30 m, de *Cedrela odorata* L. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El ritmo de crecimiento en diámetro basal obtenido en el presente trabajo para cedro rojo supera considerablemente al diámetro normal reportado por Cintron (1990) para tres plantaciones establecidas en México en tres sitios diferentes, cuya precipitación promedio es de 1200, 1100 y 900 mm, en los que se encontraron crecimientos de 1.50 cm a la edad de ocho años, 1.40 cm también a ocho años y 0.67 cm a los doce años para cada uno de los sitios en el orden en que se presentan los valores de precipitación.

Para la variable área basal, fueron las ecuaciones de Gompertz y Sloboda que presentaron la mejor bondad de ajuste. Dicha superioridad se consideró por los mayores coeficientes de determinación aportados, mientras que el cuadrado medio del error resultó muy bajo e idéntico para todos los modelos (Cuadro 7).

El mejor criterio estadístico de decisión para la selección del modelo más apropiado para simular el crecimiento en área basal fue el coeficiente de determinación (R^2), ya que el coeficiente de determinación ajustado R^2_{adj} presentó pocas diferencias entre modelos y el cuadrado medio del error definitivamente no mostró diferencias. De las dos mejores ecuaciones se eligió el modelo de Gompertz debido a que presenta menos parámetros de regresión con respecto a la ecuación de Sloboda.

Según Zeide (1993) en otros estudios de crecimiento de árboles con la ecuación de Gompertz han concluido que esta ecuación tiene suficiente flexibilidad para garantizar su uso. La ecuación de Sloboda difiere de la ecuación Gompertz por un parámetro adicional "d", el cual es responsable de una mayor exactitud con respecto al modelo Sloboda. Tal observación referente a la precisión de la ecuación no fue cierta en el caso del presente trabajo debido a que resultaron iguales en la descripción del crecimiento en área basal de *Cedrela odorata* L. establecida en plantaciones.

La ecuación de Gompertz describe un crecimiento positivo utilizada en la forma lineal, mientras que en la forma integral describe un crecimiento exponencial como es el caso de la curva ajustada para la descripción del crecimiento en área basal de *Cedrela odorata* L. (Zeide, 1989).

En la curva de crecimiento en área basal (Figura 6) es más evidente la transición de la etapa de lento a la de rápido crecimiento en la curva, el cual se da en el punto de inflexión de la curva ubicado entre cinco y seis años de edad del arbolado. Dicho cambio no es muy perceptible en las curvas de crecimiento en altura y diámetro de cedro rojo.

Cuadro 7. Modelos de crecimiento en área basal de *Cedrela odorata* L. establecido en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
V. Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	- 0.00041	-0.2000			0.6336	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	- 0.00041	-0.5999	1.0000		0.6336	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	- 0.00003	-0.6356	-10.208		0.6336	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	1729639 2	0.6327	5.352E1 0		0.6336	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	6.798E- 6	-4.4850	-0.0880		0.6354	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	0.00060 8	0.3279	-1.2600		0.6345	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	- 0.00212	-0.1191	1.5897		0.6345	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	2665.2	5263602 9	0.8000	3.32 4	0.6221	0.618 7	3 ⁻⁰⁵
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	630699	1.1516E 9	0.8000		0.5726	0.569 5	3 ⁻⁰⁵
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.00060 8	-0.3279	-1.2600		0.6345	0.631 0	3 ⁻⁰⁵
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	6.798E- 6	-4.4850	-0.0880	1.00 0	0.6354	0.631 0	3 ⁻⁰⁵

Hossfeld IV	$y = t^c / (b + t^c / a)$	4.681E7 0	24686.5	3.3242		0.6221	0.618 7	3 ⁻⁰⁵
Yoshida I	$y = at^d / (b + t^d) + c$	67.7782	4990160	0.00089 4	3.87 8	0.6257	0.618 7	3 ⁻⁰⁵

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

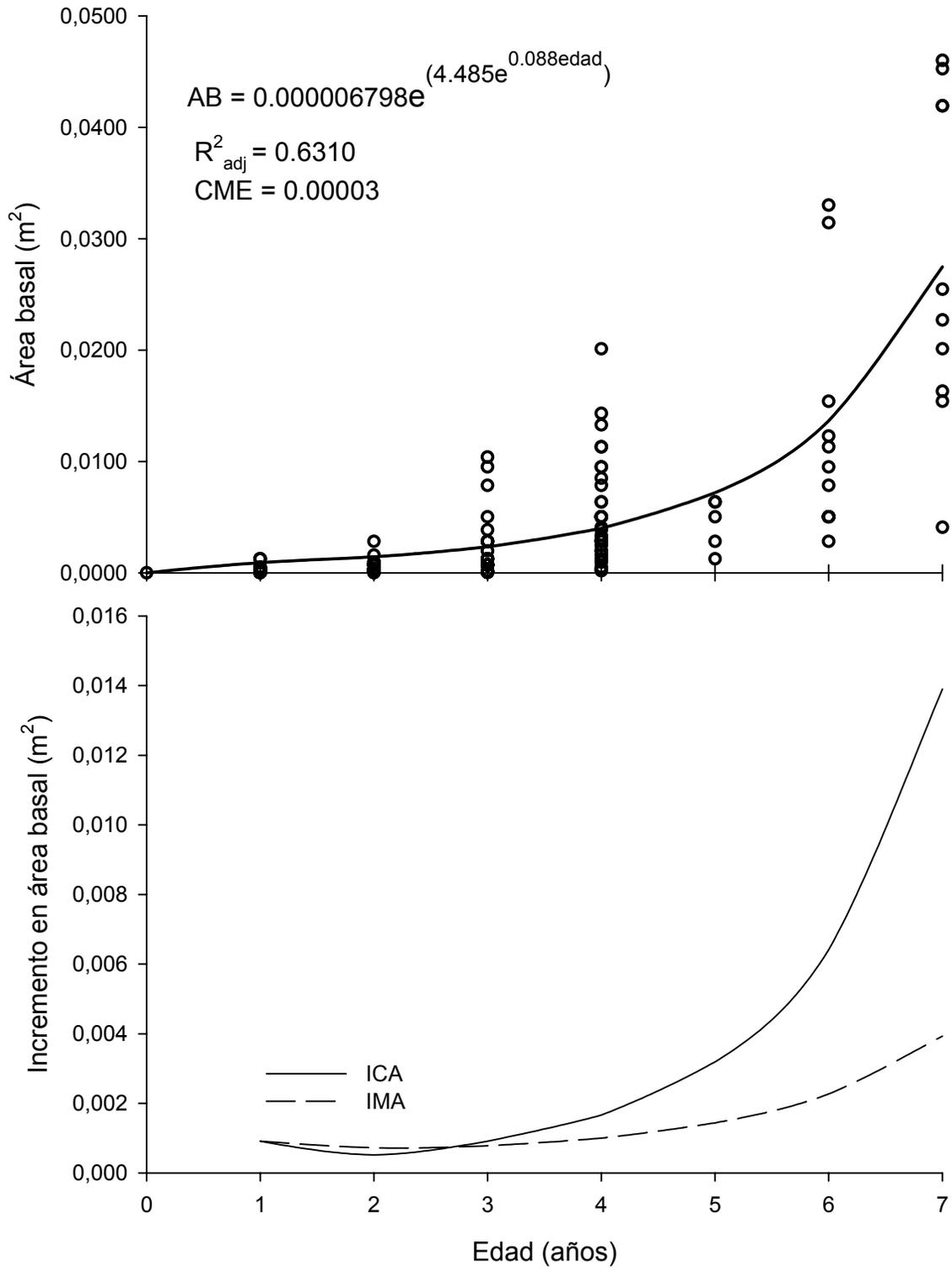


Figura 6. Curvas de crecimiento ajustado mediante el modelo Gompertz e incrementos en área basal a 0.30 m, de *Cedrela odorata* L. en plantaciones en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Las curvas de incrementos corriente y medio anuales en área basal muestran un periodo de recesión inicial de crecimiento en diámetro y por consiguiente, en área basal hasta la edad de tres años de las plantaciones; posteriormente, se incrementa ligeramente, siendo después de los cinco años cuando crece considerablemente diferenciando las etapas de lento y rápido crecimiento de la especie (Figura 6).

El área basal es influenciada por la sensibilidad del diámetro a los cambios ambientales y la densidad del arbolado, entre otros. Este crecimiento resulta de la división celular y se comporta como un proceso exponencial, excepto en los primeros estadios de desarrollo en los que no puede utilizarse una función exponencial debido a las fuerzas de resistencia ambiental y los mecanismos autoregulatorios opuestos a la función exponencial limitado a un crecimiento normal. El modelo Gompertz utilizado en la forma integral describe un crecimiento exponencial, es por eso que fue uno de los mejores modelos en la descripción del crecimiento en área basal del cedro rojo en las plantaciones de interés (Zeide, 1989).

4.1.2 Caoba

Los datos de las variables evaluadas para describir el crecimiento de *Swietenia humilis* Zucc. utilizados en su forma original mostraron una baja asociación, por lo que fue necesario transformar las variables al logaritmo natural para mejorar su relación. Para la variable altura total después de la transformación se logró un coeficiente de determinación de 0.3760, que a pesar de ser bajo, el modelo de crecimiento lineal resultó ser altamente significativo.

Las curvas de incrementos corriente y medio anuales en altura muestran una tendencia ascendente muy lenta y con poca variabilidad, misma que estará influenciada por las condiciones ambientales del sitio de plantación y por la especie. En ambas curvas se presenta la misma tendencia, siendo la del IMA ligeramente inferior a la curva del ICA (Figura 7).

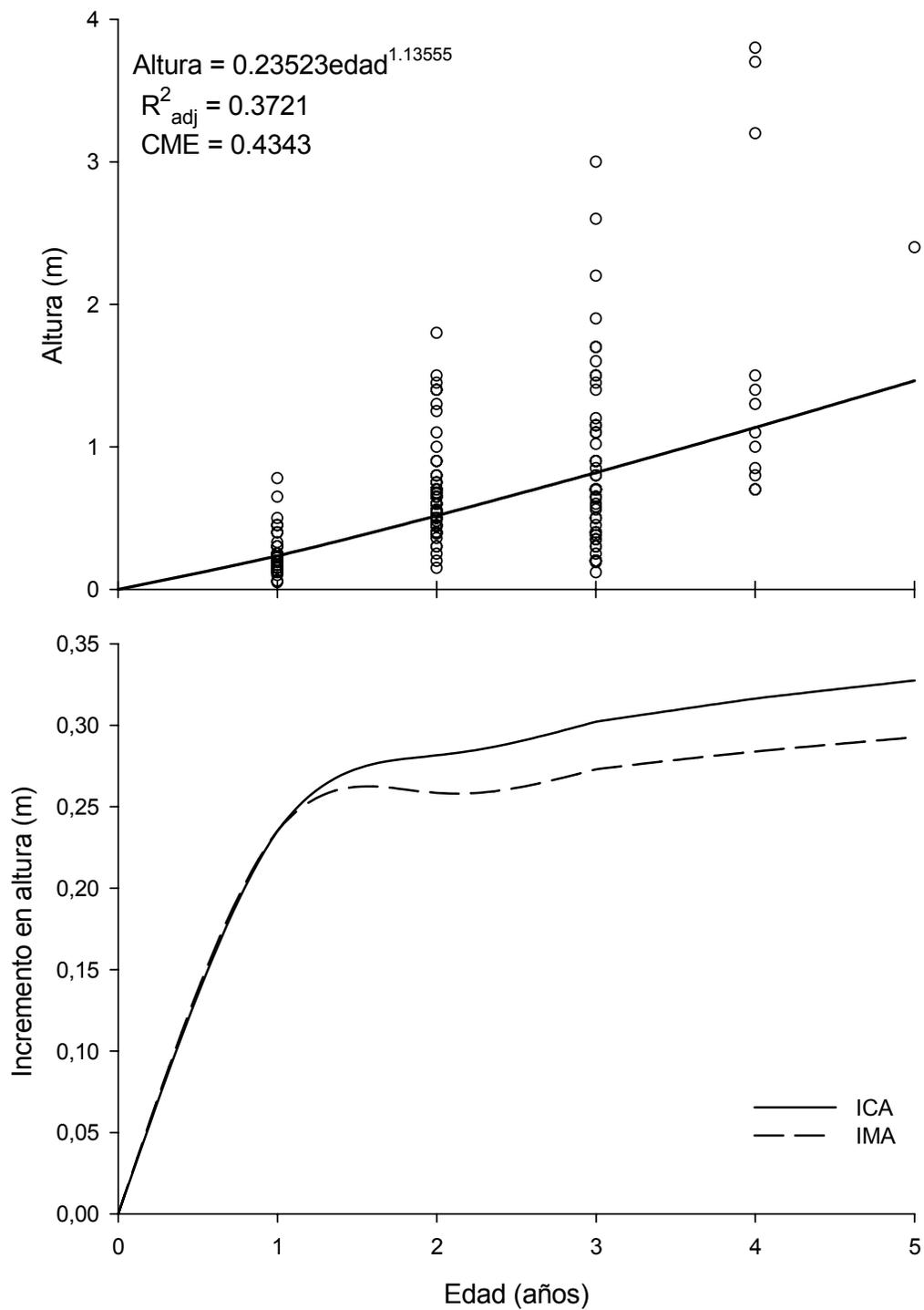


Figura 7. Curvas de crecimiento e incrementos en altura total transformada a logaritmo natural (ln), de *Swietenia humilis* Zucc. establecida en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El crecimiento en altura total para caoba en los primeros dos años fluctuó entre 23.5 y 28.2 centímetros anuales, mientras que del tercero al quinto año de la plantación el crecimiento varió entre 30.2 y 32.8 centímetros anuales; dicha tasa de crecimiento se mantuvo baja y constante.

Estos rangos coinciden con los encontrados por García et al. (1993) en Swietenia macrophylla King. quienes reportaron rangos de crecimiento en altura entre 20.71 y 49.33 centímetros, considerado por los autores como muy bajo comparado con los crecimientos de hasta 1.5 metros que se logran en algunas plantaciones en San Felipe Bacalar.

La asociación entre variables se considera baja con un coeficiente de determinación de 0.3059; sin embargo, el modelo de crecimiento lineal resultó altamente significativo, lo que demuestra que puede utilizarse dicho procedimiento con reservas para analizar el crecimiento de la especie en cuestión (Figura 8).

La tasa de crecimiento inicial en diámetro fue superior durante los primeros dos años a la observada para los años posteriores, comportándose a la baja de 0.74 a 0.49 centímetros por año. El descenso en la tasa de crecimiento en diámetro es probable que se deba al cambio en las condiciones ambientales en que se desarrollaron las plantas, ya que inicialmente la competencia por luz solar y por espacio fue menor, y conforme fue quedando suprimida la caoba por el cedro rojo y/o la vegetación protectora el suministro de luz se redujo considerablemente. Esta consideración se hace con base en el trabajo realizado por Macario et al. (1995) en una selva mediana subperennifolia perturbada por extracción forestal y por Fredericksen (1998) quienes encontraron que la regeneración de caoba fue mayor en los sitios expuestos a la luz solar directa en los sitios de mayor perturbación con respecto al testigo, mientras que en los sitios protegidos fue menos la regeneración y las plántulas permanecen en estado latente, argumentando que el crecimiento se debe al incremento en la entrada de luz en las aperturas del dosel. Zeide (1989) también menciona que el diámetro es sensible a los cambios ambientales.

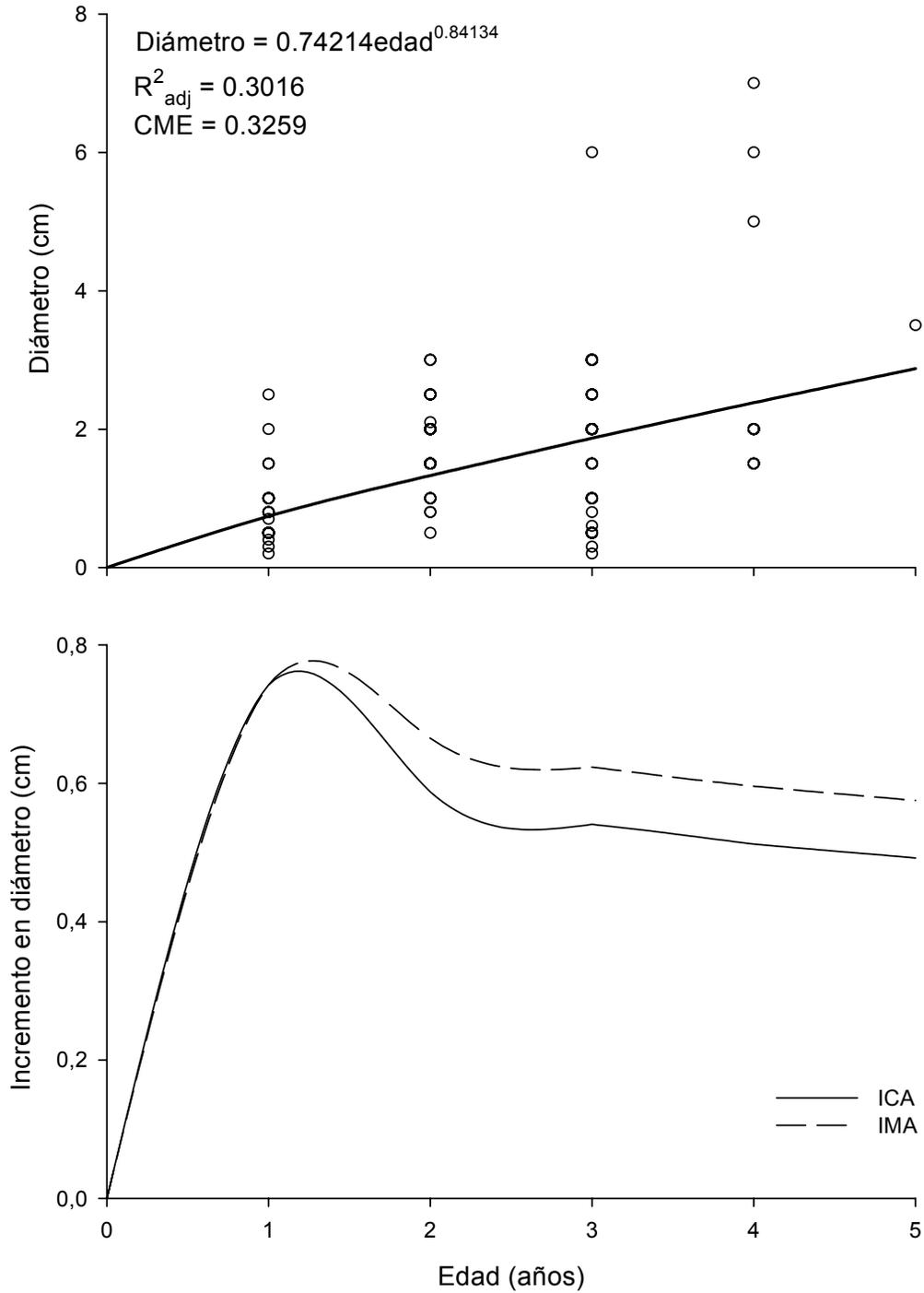


Figura 8. Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 0.30 m transformados con logaritmo natural (ln), de *Swietenia humilis* Zucc. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

La tasa de crecimiento en diámetro encontrada en la presente evaluación también coincide con la reportada por García *et al.* (1993) quienes encontraron una variación del crecimiento entre 0.28 y 0.64 centímetros de diámetro en la regeneración de *Swietenia macrophylla* King. estudiada bajo diferentes densidades de dosel. También consideran que este crecimiento es muy bajo en comparación con los que se logran en San Felipe Bacalar en condiciones ideales alcanzando 1.8 centímetros anuales.

Con respecto al área basal, se logró un coeficiente de determinación bajo de 0.3059, con el modelo altamente significativo (Figura 9), manteniendo una tasa de crecimiento positiva, aunque fue superior en la parte inicial de la curva; viéndose afectada por el comportamiento del crecimiento en diámetro en respuesta a las condiciones microambientales. El área basal promedio registrada del primero al quinto año de las plantaciones fluctuó de manera ascendente entre 0.432 y 6.489 centímetros cuadrados anuales.

4.1.3 Cedro rojo y caoba

Al comparar el crecimiento de las dos especies en estudio establecidas bajo las mismas condiciones de clima y de suelo, así como de exposición y pendiente, se observó una clara superioridad de *Cedrela odorata* L. sobre *Swietenia humilis* Zucc. en todas las variables evaluadas.

Mediante una curva de crecimiento ajustada únicamente para cedro rojo se aprecia la superioridad de esta especie con respecto a la caoba en cuanto a las tasas de crecimiento alcanzadas por ambas especies bajo las mismas condiciones a una edad determinada (Figura 10). El ajuste de la curva de crecimiento promedio solo se efectuó para cedro rojo debido a la disparidad en el ritmo de crecimiento entre especies y a la necesidad de transformar los datos para caoba para mejorar el ajuste, lo que resulta en una desigualdad de escalas que no es posible ilustrar en una figura; es por esto que se muestra solo una curva de crecimiento.

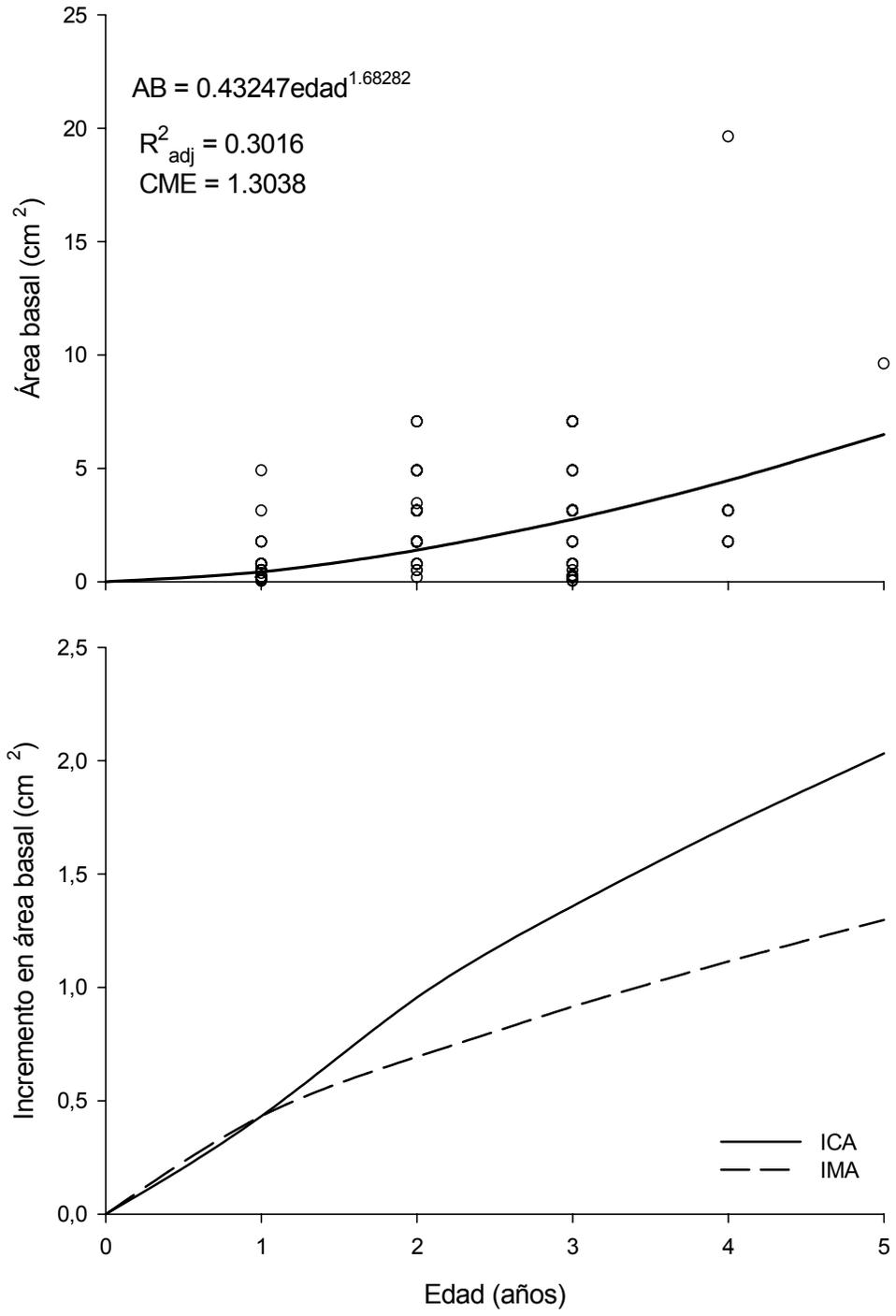


Figura 9. Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (AB) a 0.30 m con transformación de logaritmo natural (ln), de *Swietenia humilis* Zucc. en plantaciones comerciales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

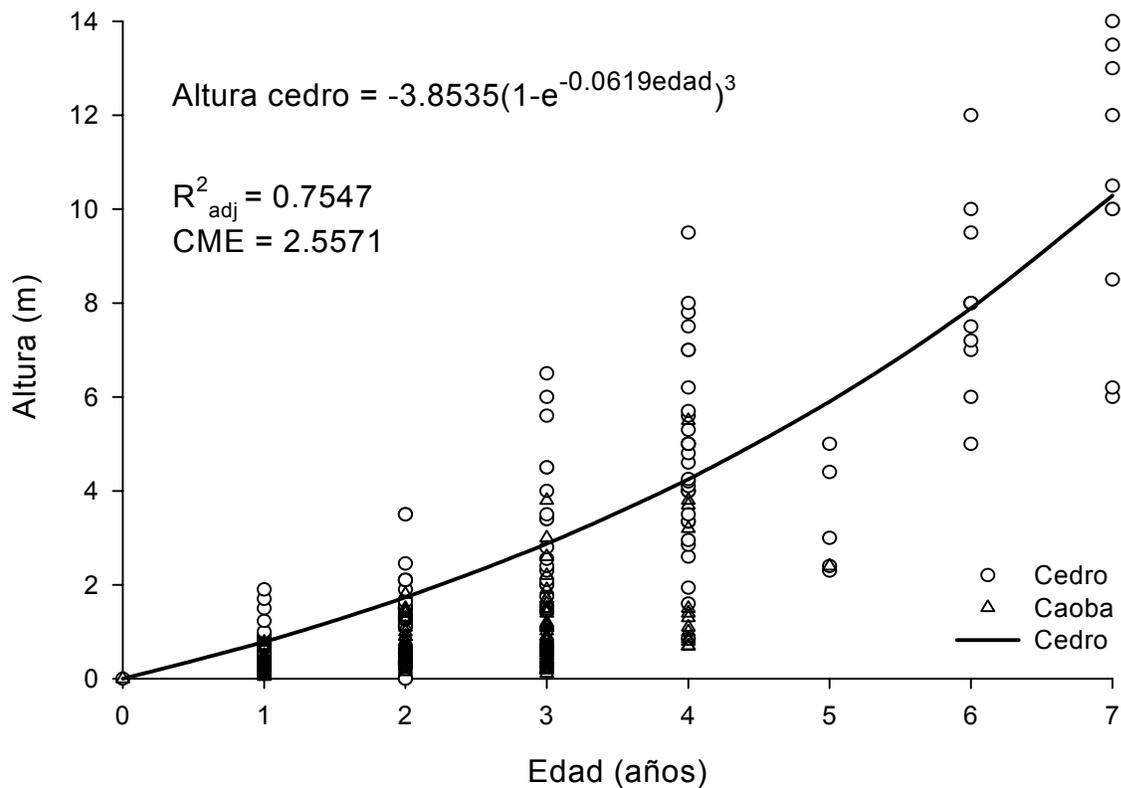


Figura 10. Comparación de crecimiento de *Cedrela odorata* L. y *Swietenia humilis* Zucc. establecidas en el mismo sitio de plantación en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

4.2 Crecimiento en dos exposiciones

4.2.1 Cedro rojo

El crecimiento en altura total de cedro rojo en exposición norte resultó más fielmente representado por la ecuación Yoshida I, la cual sobresale ligeramente por encima de los demás probados, en base a los criterios estadísticos de selección considerados como son el coeficiente de determinación de 0.7204 y el cuadrado medio del error de 1.8237. En segundo lugar de ajuste se encuentra el modelo Monomolecular con una mínima diferencia entre el

superior y los inferiores, siendo el modelo Logístico el que presentó el ajuste más bajo con un coeficiente de determinación de 0.6928 y un cuadrado medio del error de 2.0037 (Cuadro 8).

Algunos investigadores han encontrado que el modelo Yoshida I es la ecuación más exacta de los distintos modelos existentes de cuatro parámetros (Zeide, 1993). Por cuestiones prácticas pudiera utilizarse el modelo Monomolecular, aunque tiene la desventaja característica de no ser declinable, presentando más bien una descripción no objetiva del crecimiento (Zamudio y Ayerde, 1997).

El modelo Yoshida I muestra algunas anomalías de subestimación y sobreestimación en la curva de crecimiento en altura de arbolado debido a la falta de datos en algunas categorías de edad, lo cual pudiera remediarse aumentando el tamaño de la muestra. Solo se ajustaron los datos provenientes de la exposición norte debido a que los de exposición sur no presentan una asociación definida (Figura 11).

La tasa de incremento corriente anual presenta un fuerte crecimiento del primero al segundo año para posteriormente decrecer (Figura 11). Éste comportamiento difiere del encontrado para la misma especie con la totalidad de los datos en donde la tasa de incremento mantiene una tendencia creciente, que es más confiable debido a que el tamaño de muestra y los criterios estadísticos son superiores. En este caso el incremento en altura alcanzó una tasa máxima de 1.39 metros del primero al segundo año y posteriormente declinó hasta 1.04 metros el séptimo año.

Para el diámetro a la base del árbol de *Cedrela odorata* L. nuevamente fueron los modelos de Von Bertalanffy y Chapman-Richards los que presentaron el mejor ajuste con el mayor coeficiente de determinación ajustado entre ambos de 0.7782 y el menor cuadrado medio del error de 4.2404, superando al modelo Hossfeld IV que presentó el mayor coeficiente de determinación de 0.7788 (Cuadro 9). De los dos mejores modelos se eligió el de Von Bertalanffy para representar el crecimiento en diámetro de la especie en cuestión. El modelo seleccionado es altamente significativo, ajustando satisfactoriamente los datos (Figura 12).

Las curvas de incrementos corriente anual y medio anual en diámetro presentan una tendencia creciente que concuerda con la representada para los datos totales de las plantaciones. La tasa de crecimiento en incremento corriente anual fluctúa entre 1.49 y 2.86 centímetros, alcanzando un diámetro promedio de 14.82 centímetros a la edad de siete años.

Cuadro 8. Modelos de crecimiento en altura total de *Cedrela odorata* L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-21.7610	-0.0149			0.7122	0.7060	1.8373
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-21.7610	-0.0447	1.0000		0.7122	0.7060	1.8373
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	26.0874	0.0539	1.0274		0.7196	0.7075	1.8284
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	7.7644	0.7645	14.628		0.6928	0.6794	2.0037
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	8.8651	3.6554	0.4308		0.7091	0.6964	1.8972
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	72.8417	-4.6450	0.3709		0.7195	0.7073	1.8294
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	14.0357	0.0606	1.3267		0.7162	0.7038	1.8510
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	1820139	1974179	1.0000	1.110	0.7141	0.7080	1.8247
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	19.1492	16.1295	0.5000		0.7117	0.7056	1.8400
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	72.8417	4.6450	0.3709		0.7195	0.7073	1.8294
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	8.8652	3.6554	2.1539	0.200	0.7091	0.6964	1.8972
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	17.2929	1.2209	1.4476		0.7170	0.7047	1.8458
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-5598.1	-3004.3	-1.1936	0.803	0.7204	0.7082	1.8237

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

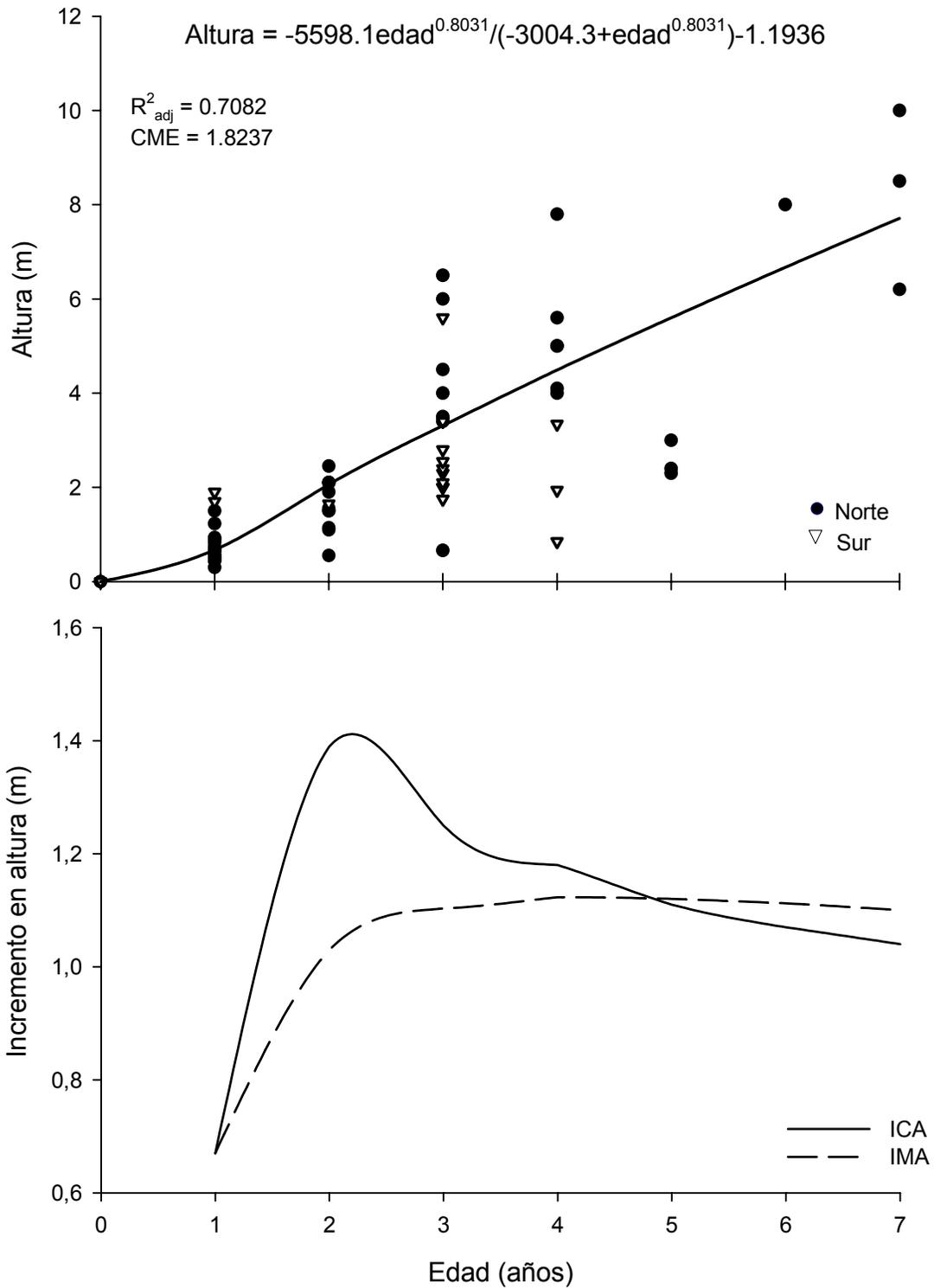


Figura 11. Curvas de crecimiento y de incrementos en altura total ajustada mediante el modelo Yoshida I, para *Cedrela odorata* L. en exposición norte en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Cuadro 9. Modelos de crecimiento en diámetro a la base de *Cedrela odorata* L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	- 13.0676	-0.0361			0.7782	0.773 5	4.240 4
Chapman-Richards	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	- 13.0676	-0.1083	1.0000		0.7782	0.773 5	4.240 4
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	- 28.1672	-0.0624	0.9806		0.7808	0.770 5	4.297 8
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	20.1774	0.5470	17.115 6		0.7554	0.744 8	4.778 3
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	25.8778	3.6518	0.2628		0.7674	0.757 3	4.543 5
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	4.065E2 9	- 67.6266	0.0186		0.7781	0.768 4	4.334 8
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	- 30.3118	-0.0454	1.1127		0.7786	0.769 0	4.326 1
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	2620882	1974179	1.0000	1.22 9	0.7781	0.773 4	4.242 5
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	41.2578	25.6923	0.5000		0.7590	0.753 9	4.608 5
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	3.065E2 9	67.6266	0.0186		0.7781	0.768 4	4.334 8
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	25.8769	3.6517	1.3142	0.20 0	0.7674	0.757 3	4.543 5
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	- 47.7334	0.7153	1.0740		0.7788	0.769 2	4.321 7
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-4938.9	-3004.3	- 0.4617	1.13 0	0.7787	0.769 1	4.323 9

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

Con respecto al área basal de cedro rojo en exposición norte fue el modelo de Hossfeld IV el que mostró la mejor bondad de ajuste a los datos observados, con un coeficiente de determinación de 0.8104 y el coeficiente de determinación ajustado de 0.8020, seguido por los modelos de Gompertz y Sloboda con un coeficiente de determinación de 0.7968 en ambos casos. En la selección del mejor modelo para la variable en cuestión no se consideró el cuadrado medio del error debido a que se obtuvo el mismo valor con todas las ecuaciones (Cuadro 10).

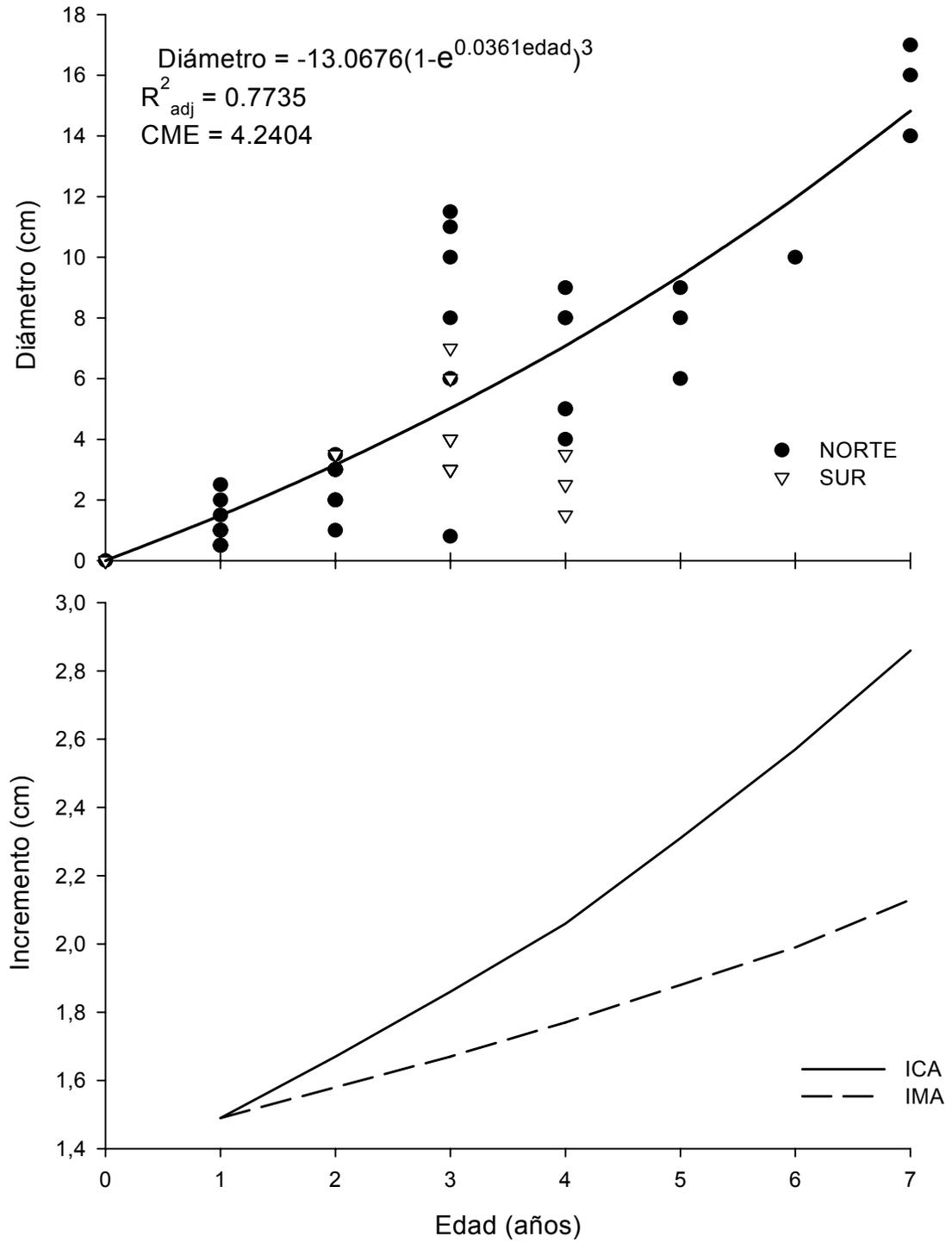


Figura 12. Curvas de crecimiento e incrementos en diámetro a 0.30 m, ajustada mediante el modelo Von Bertalanffy, para *Cedrela odorata* L. en exposición norte, en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

El modelo Hossfeld IV es comparable en exactitud con la ecuación de Chapman-Richards tan usada en los estudios de crecimiento. Esta ecuación dio origen a las otras ecuaciones de tres parámetros consideradas como las más precisas (Zeide, 1993).

Cuadro 10. Modelos de crecimiento en área basal de *Cedrela odorata* L. en exposición norte en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

Modelo	Ecuación	Parámetros de regresión				R ²	R ² _{adj}	CME
		a	b	c	d			
V. Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	-0.00071	-0.1573			0.7960	0.7913	5 ⁻⁰⁶
Chapman-R.	$y = a(1 - e^{-bt})^c$	-0.00071	-0.2776	1.7000		0.7960	0.7913	5 ⁻⁰⁶
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	-0.00040	-0.4975	1.4604		0.7960	0.7871	5 ⁻⁰⁶
Logístico	$y = a/(1 + ce^{-bt})$	4655581	0.5401	1.087E10		0.7952	0.7909	5 ⁻⁰⁶
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	8.922E-7	-6.4832	-0.0614		0.7968	0.7876	5 ⁻⁰⁶
Schumacher	$y = ae^{b/t^c}$	0.000476	0.4775	-1.0489		0.7952	0.7864	6 ⁻⁰⁶
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	424794	3.04E-10	2.5312		0.7744	0.7696	6 ⁻⁰⁶
Levakovic I	$y = a(t^d/(b + t^d))^c$	94654.8	14659232	0.0200	2.531	0.7744	0.7696	6 ⁻⁰⁶
Levakovic III	$y = a(t^2/(b + t^2))^c$	12771.6	19230913	0.5000		0.7592	0.7594	6 ⁻⁰⁶
Korf	$y = ae^{-bt^{-c}}$	0.000476	-0.4775	-1.0489		0.7952	0.7864	5 ⁻⁰⁶
Sloboda	$y = ae^{-be^{-ct^d}}$	8.922E-7	-6.4832	-0.0614	1.000	0.7968	0.7876	5 ⁻⁰⁶
Hossfeld IV	$y = t^c/(b + t^c/a)$	-0.00293	1789.8	0.7779		0.8104	0.8020	5 ⁻⁰⁶
Yoshida I	$y = at^d/(b + t^d) + c$	-125682	-2.504E9	0.000636	3.011	0.7792	0.7699	6 ⁻⁰⁶

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

Con el crecimiento en área basal de cedro rojo son evidentes las dos fases de crecimiento ilustradas por la curva de crecimiento, comprendiendo la de lento crecimiento de uno a cinco años y la de rápido crecimiento después de cinco años (Figura 13).

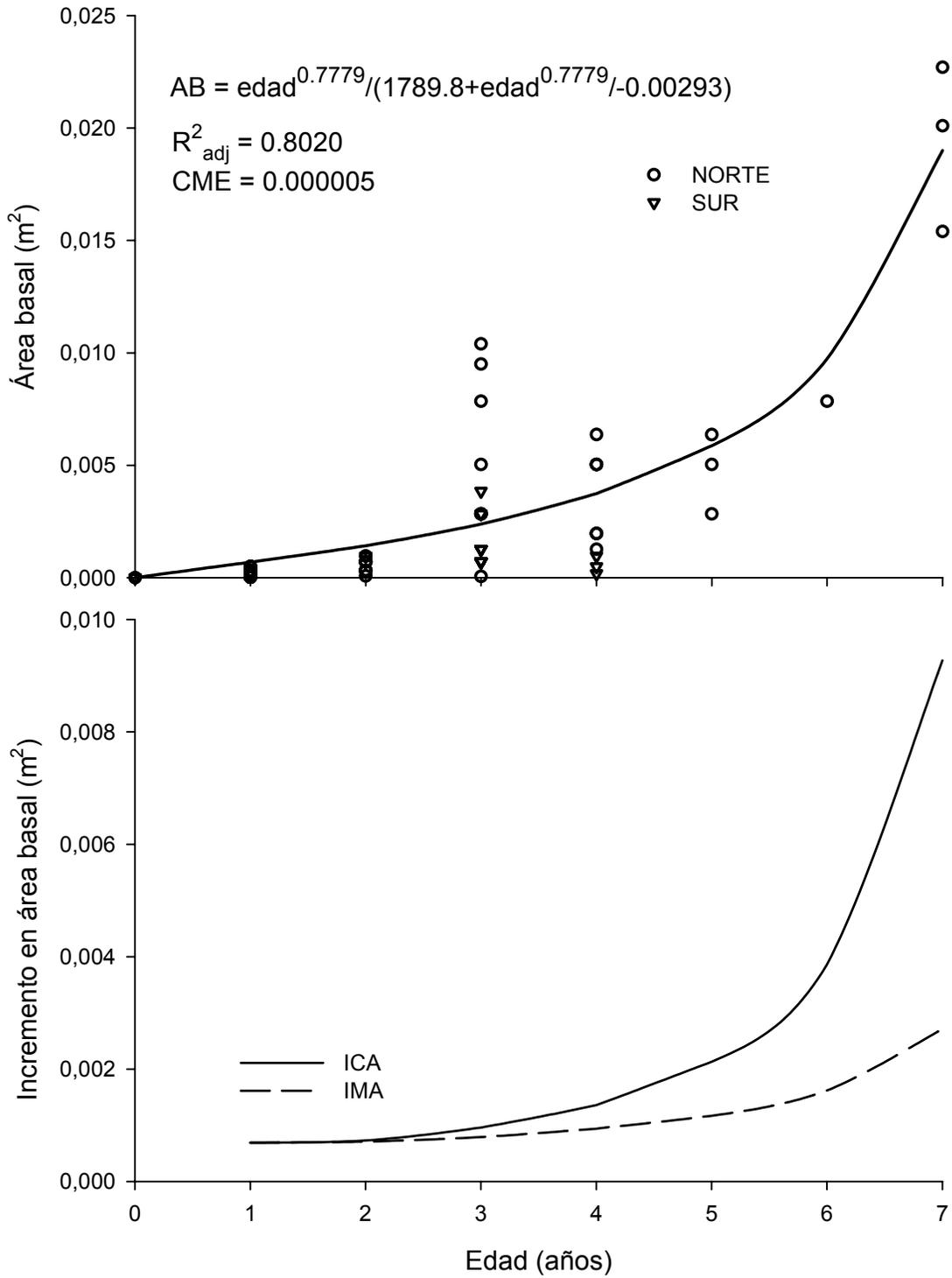


Figura 13. Curvas de crecimiento e incrementos en área basal (AB) a 0.30 m ajustadas por el modelo Hossfeld IV para *Cedrela odorata* L. en exposición norte en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

4.2.2 Caoba

Para el crecimiento en altura total y diámetro a 0.30 m de altura de *Swietenia humilis* Zucc. en dos condiciones de exposición de la pendiente se determinó que existen diferencias altamente significativas entre las pendientes de ambas líneas de regresión para las exposiciones norte y sur (Figuras 14 y 15).

Lo anterior demostró que el crecimiento de la especie en cuestión en las plantaciones evaluadas es superior en exposición sur, lo cual se atribuye a las condiciones ambientales en dicha exposición, ya que la plantación se realizó en callejones abiertos en el acahual, por lo que fue necesaria la remoción de la vegetación herbácea y arbustiva en una franja de un metro de ancho pero se dejó la vegetación residual como protección a las plántulas recién establecidas, contra la insolación y la erosión del suelo, principalmente. La vegetación residual proporcionó cierta cantidad de sombra a las plantas y la pendiente que fluctúa entre cero y cuarenta por ciento acentúa la disminución de la radiación solar incidente (Morales, 1997).

Donoso (1981) señala que la topografía de un lugar determinado es un factor importante en la conformación del microclima, siendo la pendiente y especialmente la exposición las que producen importantes cambios en la intensidad luminosa, la temperatura y la humedad, afectando la distribución y el crecimiento de la vegetación.

En un estudio realizado por Macario *et al.* (1995) en una selva mediana subperennifolia perturbada por la extracción comercial en Quintana Roo, encontraron diferencias estadísticas significativas entre los valores de altura para las áreas perturbadas por la extracción y las no intervenidas, produciéndose un aumento en el tamaño de las plantas de *Swietenia* en los sitios perturbados, argumentando que el crecimiento en altura se debe a la entrada de luz solar a través de las aberturas del dosel. En otro estudio realizado por García (1993) para evaluar el efecto de la remoción parcial del dosel superior sobre la regeneración natural de *Swietenia* y *Cedrela* encontraron que el número de plántulas y las dimensiones que alcanzaron durante el

El análisis de la pendiente de las líneas de regresión (figuras 14 y 15) muestra un crecimiento más acelerado en exposición sur, tanto para la variable altura total como el diámetro a la base de las plantas (0.30 m del suelo); mientras que la línea de regresión ajustada para el crecimiento de las dos variables consideradas, en exposición norte presenta una pendiente más baja, lo que indica una tasa de crecimiento más lenta.

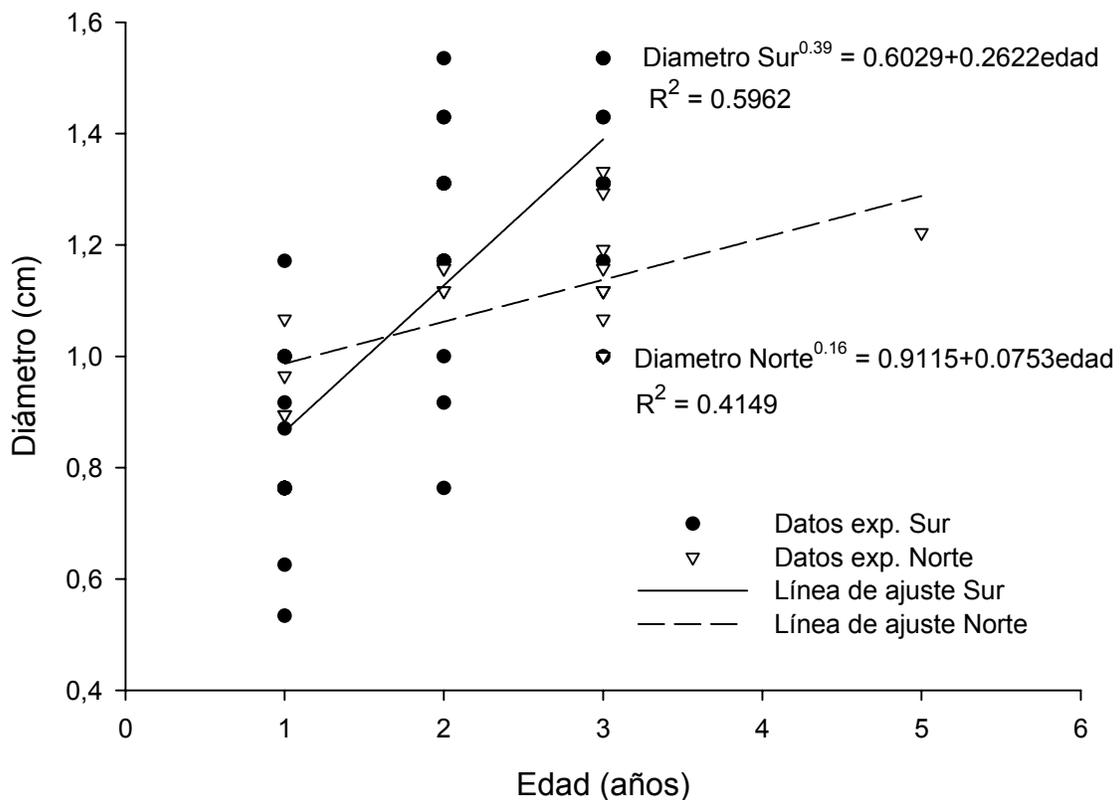


Figura 15. Crecimiento en diámetro transformado de *Swietenia humilis* Zucc. en exposiciones norte y sur de la pendiente en plantaciones de San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca.

V CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo permiten concluir lo siguiente:

1. Se describió la dinámica de crecimiento de *Cedrela odorata* en plantaciones de edad conocida representada principalmente por los modelos Von Bertalanffy y Chapman-Richards para altura y diámetro basal; y Gompertz y Sloboda para área basal.
2. Las curvas de crecimiento resultantes en *Cedrela odorata* presentan forma exponencial que comparativamente supera las tasas de crecimiento de otras plantaciones.
3. Las variables utilizadas para describir el crecimiento de *Swietenia humilis* mostraron una baja asociación y describen un crecimiento comparativamente bajo.
4. Las tasas de crecimiento entre las dos especies evaluadas difieren considerablemente, siendo *Cedrela odorata* la que presenta el mejor rendimiento bajo las condiciones del sitio de plantación que para *Swietenia humilis*.
5. El crecimiento de *Cedrela odorata* fue superior en exposición norte y errático en exposición sur; en cambio, el crecimiento de caoba fue superior en exposición sur.

VI RECOMENDACIONES

- 1) Previo a la utilización del modelo de crecimiento ajustado se recomienda su validación para determinar si efectivamente representa las condiciones reales de las plantaciones para las que fue desarrollado y en caso necesario para reajustarlo. De acuerdo con Alder (1981) se recomienda la validación independiente, que consiste en el uso de datos que no han sido utilizados.
- 2) Es necesario actualizar los modelos de manera simultánea con el desarrollo del arbolado para ampliar el rango de aplicabilidad y su validez a través del tiempo. Además se recomienda para futuros trabajos similares ampliar el tamaño de muestra para reducir la variabilidad y aumentar la precisión y confiabilidad del modelo.
- 3) En caso de que se proyecten nuevas plantaciones forestales comerciales en el mismo sitio o en otro similar y con las mismas especies, se recomienda plantar el cedro rojo en exposición norte y caoba en exposición sur de la pendiente y bajo los mismos tratamientos que se han aplicado a la vegetación para captar el máximo potencial productivo del suelo.

VI LITERATURA CITADA

- Aguilera R., M. 2001. *Swietenia humilis* Zucc. CONAFOR-CONABIO. SIRE-Paquetes tecnológicos. 6 p.
- Alder, D. 1981. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. Commonwealth Forestry Institute, Reino Unido. FAO: Montes 22/2. Roma Italia. 198 p.
- Bauer, G. P. y Francis, J. K. 1998. *Swietenia macrophylla* King. Honduras mahogany, caoba. SO-ITF-SM-81. USDA, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. New Orleans, L. A., U. S. A. 7 p.
- Bergerud, W. 1991. Pictures of linear models. Biometrics Information. Handbook No. 1. British Columbia. Ministry of Forests. 43 p.
- Bergerud, W. 1994. GLM: Comparing regression lines. Biometrics information. Pamphlet No. 46. British Columbia. 4 p.
- Bergerud, W. y V. Sit. 1991. ANCOVA: The linear models behind the F-tests. Biometrics Information. Pamphlet No. 31. British Columbia. 8 p.
- Bergerud, W. y V. Sit. 1994. Catalog of curves for curve fitting. Biometrics Information Handbook series No. 4. British Columbia. Forest Science Research Branch 110 p.
- Borman, F. H. y G. Berlyn. 1983. Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. INIREB-CECSA. México 22, D. F. 143 p.
- Box, G. E. P. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological) 26(2):211-252.
- Brown, C. L. 1971. Secondary growth. *In*: Zimmerman M. H. y C. L. Brown. Eds. Trees structure and function. Springer-Verlag. New York, U. S. A. pp. 67-167.
- Cairns, M. A., R. Dirzo y F. Zadroga. 1995. Forest of Mexico: A diminishing resource? Journal of Forestry 93(7):21-24.
- Carmean, H, W. 1975. Forest site quality valuation in the United States. Advances in agronomy. 27:209-269.
- Cintrón, B. B. 1990. *Cedrela odorata* L. Cedro hembra, Spanish cedar. *In*: Silvics of North America: 2 Hardwoods. Burns, R. M. y Honkala, B. H. (Editores) Agricultura Handbook. USDA-Forest Service. Washington, D. C., USA. pp. 250-257.

- Colín, H. y R. Monroy. 1997. Prontuario de árboles de selva baja caducifolia. SEMARNAP-PNUD. México. 79 p.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2000. Programa nacional forestal 2001-2006. México. 101 p.
- CONAFOR-SEMARNAT. 2003. Manual para la verificación de la propuesta técnica forestal y ambiental de los beneficiarios del PRODEPLAN (aspectos técnicos). Gerencia de desarrollo de plantaciones forestales comerciales. México. p.26.
- Cruz G., A. y M. Vallejo L. 2001. Síntesis de la situación del manejo forestal en 17 países de América Latina. FAO. Santiago de Chile. 113 p.
- Daniel, P. W., U. E. Helms y F. S. Baker. Principios de silvicultura. McGraw Hill. México. 492 p.
- Del Amo R., S. y J. Nieto de Pascual. 1985. Crecimiento y edad en árboles tropicales *In*: Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Vol. II. Gómez-Pompa, A. Y S. Del Amo R. (Eds.) INIREB Edit. ALHAMBRA MEXICANA, S. A. de C. V. pp. 129-145.
- Donoso Z., C. 1981. Ecología forestal; el bosque y su medio ambiente. Quinta edición. Editorial Universitaria. Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile. 369 p.
- Draper, N. R. y H. Smith. 1981. Applied regression analysis. Second edition. John Wiley and Sons. USA. 709 p.
- Dünisch, O., J. Bauch y V. R. Montóia. 2001. Dendroecological studies on *Swietenia machophylla* King and *Cedrela odorata* L. from the Central Amazon. University of Hamburg, Germany. 2 p.
- Fahn, A., J. Burley, K. A. Longman, A. Mariaux y P. B. Tomlinson. 1983. Posibles contribuciones de la anatomía de la madera a la determinación de la edad de los árboles tropicales, *In*: Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. Borman, F. H. y G. Berlyn (Eds.) INIREB. CECSA México. pp. 31-55.
- FAO. 1993. Ordenación y conservación de los bosques densos de América tropical. Estudio FAO Montes 101. Roma, Italia. 150 p.
- FAO. 2001. Situación forestal en la región 2000. FAO Comisión Forestal para América Latina y El Caribe. Serie Forestal N° 15. Santiago, Chile. 40 p.
- Fonseca, H. 2003. Las plantaciones no son bosques. Movimiento mundial por los bosques tropicales. Montevideo, Uruguay. 234 p.
- Francis, J. K. 1991. *Swietenia Jacq.* USDA Forest Service. IITF. Río Piedras, Puerto Rico. U. S. A. 6 p.

- Fredericksen, T. S. 1998. Limitaciones del aprovechamiento selectivo de baja intensidad para el manejo forestal sostenible en el trópico. BOLFOR-USAID. Documento Técnico 68. Bolivia. 15 p.
- García C., X., P. Negreros C. y B. Rodríguez S. 1993. Regeneración natural de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) bajo diferentes densidades de dosel. Revista Ciencia Forestal en México 18(74):25-43.
- García C., X., H. Ramírez M., C. Rodríguez F., J. Jasso M. y C. A. Ortiz S. 1998. Índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. Ciencia Forestal en México. 23(84):9-18.
- García C. X. y B. Rodríguez S. 2000. Manejo de una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) In: 1^{er} Congreso Nacional de Reforestación. SEMARNAP-PRONARE, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 8 p.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Enriqueta García de Miranda. México 18, D. F. 217 p.
- García P., V. 2005. Sobrevivencia, vigor y estado fitosanitario de plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 110 p.
- Gilman, E. F. y D. G. Watson. 1994. *Swietenia mahagoni*. USDA Forest Service. Fact sheet ST-608. University of Florida. Florida, U.S.A. 3 p.
- Glock, W. S. y S. R. Argerter. 1962. Rainfall and tree growth. In: Tree growth. Kozlowski, T. T. Editor. The Ronald Press company. New York, U. S. A. pp. 23-56.
- Graham, A. 1993. Historical factors and biological diversity in Mexico. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) Biological diversity of Mexico: origins and distribution. Oxford University Press. USA. 812 p.
- Hush, B., C. I. Miller y T. W. Beers. 1982. Forest mensuration. John Wiley and Sons. USA. 402 p.
- INE. 1997. Programa de conservación de vida silvestre y diversificación productiva en el sector rural.
- INEGI. 1988. Carta hidrológica de aguas superficiales. Esc. 1:250,000. "Puerto Escondido D14-3". Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 1995. San Pedro Pochutla, estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 127 p.

- INEGI. 2003. Anuario estadístico del estado de Oaxaca. Tomo I. Aguascalientes, Ags. 612 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. UACH. Chapingo, México. 365 p.
- Macario M., P. A., E. García M., J. R. Aguirre R. y E. Hernández X. 1995. Regeneración natural de especies arbóreas en una selva mediana subperennifolia perturbada por extracción forestal. *Acta Botánica Mexicana* 32:11-23.
- Makocki, M. W. 2000. Crecimiento radial de tres especies maderables en una selva mediana subcaducifolia del estado de Nayarit. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 105 p.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica. México. 1220 p.
- Mendoza B., M. A. 1983. Conceptos generales sobre modelaje matemático *In*: Primera reunión sobre modelos de crecimiento de árboles y masas forestales. SARH-INIF. Publicación especial No. 4. México, D. F. pp. 35-45.
- Meyer, H. A., A. B. Recknagel, D. D. Stevenson y R. A. Bartoo. 1961. Forest management. The Ronald Press Company. USA. 282 p.
- Mikola, P. 1962. Temperature and tree growth near the northern timber line. *In*: Kozłowski, T. T. Editor. Tree growth. The Ronald Press company. New York, U. S. A. Pp. 265-274.
- Monreal R., S. B. 2002. Las plantaciones forestales comerciales en México (1190-2002). *Forestal XXI*. 5(6):12-14.
- Morales H., J. 1997. Programa de manejo forestal de las plantaciones forestales en San José Chacalapa, Pochutla, Oaxaca. *Agrosilvícola San José S. P. R. de R. I. Pochutla, Oaxaca*. 32 p.
- Musálem, M. A. 2002. Silvicultura de plantaciones forestales comerciales. UACH. Chapingo, México. 174 p.
- Niembro R., A. 2003. *Cedrela odorata* L. Part II. Species descriptions. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. pp. 386-389.
- Nozeran, R. 1978. Multiple growth correlations in phanerogams. *In*: Tropical trees as living systems. The proceeding of the fourth Cabot symposium held at Harvard Forest, Petersham, Massachusetts on april 26-30, 1976. Tomlinson, P. B. y M. H. Zimmermann. Ed. Cambridge University Press. New York, U. S. A. Pp. 423-443.
- Oliver, Ch. D. y B. C. Larson. 1996. Forest stand dynamics. Update edition. John Wiley and Sons, Inc. U. S. A. 520 p.

- Rice, R. E., R. E. Gullison y J. W. Reid. 1997. Can sustainable management save tropical forests? En *Scientific American*, Mayo.
- Rodríguez C., R. 1962. The increment of caoba *Swietenia macrophylla*, in Quintana Roo, México. *Bosques* 2: 2.
- Rzedowski, J. 1986. *Vegetación de México*. LIMUSA. México. 432 p.
- Rzedowski, J. 1993. Diversity and origins of the phanerogamic flora of Mexico. *In*: Ramamoorthy, t. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press. USA. 812 p.
- Salazar, R., D. Jøker and L. Schmidt. 2000. *Cedrela odorata* L: Seed Leaflet. CATIE-DFSC. No. 20 Turrialba, Costa Rica. 2 p.
- SARH. 1979. El uso del suelo en la República Mexicana-Atlas. SAO-DGA. México, D. F. 103 p.
- Sayer, J. A., J. K. Vanclay y N. Byron. 1997. Technologies for sustainable forest management: Challenges for the 21st century. CIFOR Occasional Paper No. 12. Commonwealth Forestry Congress. Victoria Falls, Zimbabwe. 14 p.
- SEMARNAT, 2000. Programa nacional forestal 2001-2006. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F. 101 p.
- SEMARNAT. 2001. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Tlalpan, D. F. 154 p.
- SEMARNAT. 2002. Compendio de estadísticas ambientales. México, D. F.
- SEMARNAT. 2003. Ley forestal de desarrollo forestal sustentable. CONAFOR-SEMARNAT. Guadalajara, Jalisco, México. 88 p.
- Schmidt, L. y D. Jøker. 2000. *Swietenia humilis* Zucc. Seed Leaflet. Danida Forest Seed Centre. 33:1-2.
- Spurr, S. H. 1952. *Forest inventory*. The Ronald Press Company. U. S. A. 476 p.
- Spurr, S. H. y B. V. Barnes. 1980. *Ecología forestal*. AGT México. 690 p.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1988. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Segunda edición (primera en español). McGraw-Hill. México. 622 p.
- Toledo, V. M. 1988. La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo* 81(XIV):17-30.

- Toledo, V. M. y M. J. Ordóñez. 1993. The biodiversity scenario of Mexico: a review of terrestrial habitats. *In: Biological diversity of Mexico: origins and distribution.* Ramamoorthy, t. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa. (Eds.) Oxford University Press. U. S. A. 812 p.
- Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. LIMUSA. México, D. F. 472 p.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield. CAB International. UK. 312 p.
- Vanclay, J. K. 1995. Growth models for tropical forests: a synthesis of models and methods. *For. Sci.* 41(1):7-42.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. L. Palacio, J. R. Díaz, R. Mayorga, C. Alcántara, R. Castro y T. Fernández. 2002. Análisis de cambio de uso del suelo. Informe técnico. Convenio INE-Instituto de Geografía, UNAM. 12 p.
- Villa S., A. B. 2002. Plantaciones forestales comerciales: una alternativa para la restauración y la conservación productiva en el trópico húmedo. *Forestal XXI.* 5(3):14-16.
- Wadsworth, F. H. 1960. The regeneration of tropical forests by planting. *In: Proceeding of the fifth world forestry congress. Volume 3.* University of Washington, U. S. A. pp. 1947-1952.
- Weber S., L., C. A. Guimarães F., M. Valdir S. y S. Jonas L. 1999. Crescimento em altura de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Em tres sitios naturais, na Região de Canela-RS. *Ciência Florestal, Santa María* 9(2):23-40.
- WWF. 2002. La caoba de hoja grande y la XII reunión de la conferencia de las partes de CITES, Santiago, Chile, 2002. World WWF-IUCN. Chile. 4 p.
- Zahner, R. 1968. Water deficits and growth of trees. *In: Water deficits and plant growth II.* Kozlowski, T. T. (Ed.) Academic Press, Inc. NY. Pp. 191-254.
- Zamudio S., F. J. y D. Ayerde L. 1997. Modelos de crecimiento. *Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales* 3(1):79-87.
- Zeide, B. 1989. Accuracy of equations describing diameter growth. *Can. J. For. Res.* 19:1283-1286.
- Zeide, B. 1993. Analysis of growth equations. *For. Sci.* 39(3):594-616.