

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS TABASCO  
PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

**DETERMINACIÓN DE ACLAREO EN PLANTACIONES DE CEDRO  
(*Cedrela odorata* L.) EN EL ESTADO DE TABASCO**

**YAZMIN MURILLO BRITO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**H. CÁRDENAS, TABASCO  
2008**

La presente tesis, titulada: **Determinación de aclareo en plantaciones de Cedro (*Cedrela odorata* L.) en el Estado de Tabasco**, realizada por la alumna: **Yazmín Murillo Brito**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

## MAESTRA EN CIENCIAS

### CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:   
DRA. MARIVEL DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ

ASESORA:   
DRA. LUZ DEL CARMEN LAGUNES ESPINOZA

ASESOR:   
DR. PABLO MARTÍNEZ ZURIMENDI

ASESOR:   
DR. ARNULFO ALDRETE

**H. Cárdenas, Tabasco 11 de Diciembre del 2008**

## RESUMEN GENERAL

En esta investigación se realizó la caracterización dasométrica, de las plantaciones de cedro en el Estado de Tabasco, y se relacionó con las características de suelo y las fisiológicas que influyen en el crecimiento de los árboles. Así mismo se determinó el índice de sitio de las plantaciones, y se generaron tablas de producción para definir el tratamiento silvícola de aclareo que los productores deben aplicar a las plantaciones como parte del manejo silvícola. Para la caracterización dasométrica, se usaron datos de 22 plantaciones de 9 municipios de Tabasco con mediciones de los años 2003, 2004, 2005 y 2007 de la red de parcelas permanentes. Se midieron 77 parcelas permanentes, conformadas cada una por 81 árboles en promedio. La caracterización dasométrica realizada en las 22 plantaciones muestra una variabilidad en edades de (3-15 años), densidades ( $156-4444 \text{ arb}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), supervivencia (47-98%), altura dominante (7.7-22.1 m), área basal ( $2.6-19.21 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ ), volumen madera ( $8-148 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e índice de Reineke (83.3-504). Para las características fisiológicas se eligieron tres plantaciones en base al índice de Reineke. Los suelos de estas plantaciones presentaron un pH ácido con textura que varió de arcilloso, migajón arcilloso y migajón arcillo-arenoso. La plantación menos densa fue la “27-028” del municipio de Comalcalco, que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287. Una gran variación fue observada en general en las tasas fotosintéticas de los doseles de los árboles evaluados en las tres plantaciones en estudio. En general fue observado que la radiación fotosintéticamente activa incidente en las plantaciones estudiadas fue mayor en el estrato superior lo que está relacionado con altas tasas fotosintéticas y con altas tasas

de transpiración (6 a 10  $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) y conductancia estomática, siendo el estrato medio el que recibe menor radiación fotosintéticamente activa.

Para determinar el índice de sitio y las tablas de producción se generaron modelos matemáticos de altura dominante, diámetro medio, diámetro medio cuadrático y volumen por árbol que definen la silvicultura a aplicar en el cedro, de la cual se definieron tres curvas de índices de sitio, resultando de 11 m para la calidad baja, 15 m para la calidad media y 19 m para la calidad alta.

Para cada una de esas calidades se planifican en tablas de producción la fecha de los aclareos, volumen que se debe extraer, volumen que se obtendrá en la intervención y volumen medio esperado por árbol. Las tablas dan información útil para prever los volúmenes de madera que se van a producir y los turnos de corta que deben aplicarse.

## ABSTRACT

This research investigated dasometric characterization of cedar plantations in the state of Tabasco, as related to the characteristics of soil and physiological influencing tree growth. It also found the rate of site of the plantations, and production tables were generated to define the treatment of forest thinning that producers must implement with the plantings as part of forest management. To characterize dasometric, data was used from 22 plantations of 9 municipalities of Tabasco with measurements in the years 2003, 2004, 2005 and 2007 the network of permanent plots. 77 plots were measured, each comprised of 81 trees on average. Dasometric characterization of the 22 plantations shows a variability in age (3-15 years), densities (156-4444 trees·ha<sup>-1</sup>), survival (47-98%), dominant height (7.7-22.1 m), basal area (2.6-19.21 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>), timber volume (8-148 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) and Reineke's index (83.3-504). The physiological characteristics were chosen on the basis of the three plantations Reineke's index. The ground floors of these plantations had an acid pH with texture that ranged from clay, migajon clay and sandy-clay migajon. Plantation "27-028" was the least dense in the town of Comalcalco. It submitted average percentages of RFA transmitted by the treetops of 73.3% and an index of Reineke's 287. A big change was observed in general in the photosynthetic rates of the canopies of trees evaluated in the three plantations in the study. It was observed that the photosynthetic active radiation incident on the plantations studied was higher in the upper stratum which is associated with high photosynthetic and transpiration rates (6 to 10 μmoles CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) and stomatal conductance, as stratum medium photosynthetically active radiation gets smaller.

It was necessary to determine the rate of site and the tables of production that mathematical models of dominant height, average diameter, quadratic mean diameter and volume per tree were generated which define forestry as it relates to cedar trees. Three index site curves were identified, with 11m for the low quality, 15m to 19m for the average quality and 19m for the high quality.

For each of these qualities tables were generated considering the date of thinning, the volume to be extracted, the volume to be found in intervention and expected average volume per tree. The tables provide useful information to predict the volume of wood that the trees are going to produce and cutting schedules to be applied.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios**, por haberme dado salud y la fuerza necesaria para vencer todos los obstáculos que se presentaron y concluir satisfactoriamente este trabajo de tesis.

**Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

**A Fundación Produce Tabasco**, por la presente investigación que fue financiada con recursos del proyecto “Diagnóstico del estado silvícola y desarrollo de un plan de aclareos en plantaciones de cedro y caoba en Tabasco”.

**Al Colegio de Postgraduados**, por permitir continuar con mi formación académica.

**A la Dra. Marivel Domínguez Domínguez**, por su apoyo, confianza, paciencia y por haberme permitido formarme como persona y profesional bajo su cargo.

**Al Dr. Pablo Martínez Zurimendi**, por su valiosa asesoría y orientación para el enriquecimiento de este trabajo.

**A la Dra. Luz del Carmen Lagunes Espinoza**, por su excelente dirección de la investigación y apoyo en la revisión del trabajo.

**Al Dr. Arnulfo Aldrete**, por sus conocimientos y sugerencias a fin de llevar a buen término este trabajo.

**Al Dr. Ángel Sol Sánchez**, por su disposición para atender mis consultas.

**A los trabajadores del Colegio de Postgraduados**, por su apoyo por la construcción del andamio.

**A Thelma Córdoba Hernández**, por facilitar el apoyo durante la consulta de la información bibliográfica.

**A la profesora Jennifer Stengle**, por su disposición en la traducción de los abstract.

**A todos los productores**, de los diferentes municipios que participaron de una u otra forma y que hicieron posible la presente investigación.



## **DEDICATORIA**

A mis padres, una vez más quiero resaltar que esta meta es la cosecha de aquella semilla que sembraron con amor.

### **A mis hermanos:**

Carlos Rodolfo, Flora y Juan Roberto por todo su cariño.

### **A mis hijos:**

María Fernanda y Bryant porque son mi fortaleza y fuente constante de motivación, sin ellos no sería nada.....Gracias a mis bebés porque se que hubieron momentos que les falté y por la paciencia que me tuvieron hacia mí, los AMO.

### **A mi cuñada:**

Meyli Karen, por ser una integrante más en la familia.

### **A todos mis amigos del Colegio de Postgraduados:**

Heyra, Lorena, Gloria, Yazia, Adriana, Ana Lilia, Héctor, Jorge Alberto, Alfredo, Marcelino, Adolfo, Aurelio, Carlos Rubén, Carlos, Vinicio, Eleazar y a todas esas personas que no menciono aquí pero que están presentes en mi mente y en mi corazón, porque han compartido mucho conmigo en las buenas y en las malas, momentos que no se olvidan.

A mis amigos de generación de la UPCH, Marco Antonio, Valentín, Abraham, Gegni María, Carlos Ramón, Fidel y Claudia, gracias porque a pesar que casi ya no nos vemos, le quiero dedicar esta tesis, cumpliendo una más de mis metas.

Y en especial a mi amiga Elda que siempre ha estado en los momentos que más la necesitaba, gracias amiga sabes que siempre serás como una hermana para mí y bendito el señor que te puso en mi vida.

A mi prima Lucrecia Malinalli, por apoyarme en las visitas de campo e igual manera por todos sus consejos que me hizo levantarme cada día más.

A mi amigo Florentino gracias por dejarte conocer de la misma forma, ofrecerme todo tu apoyo y consejos de motivación hacia mi persona.

Gracias Lozada, por permitir ser una más de mis grandes amigos y por el apoyo que me ofreciste al venir a buscarme.

Y a tí, aunque ya no formes parte de mí, de otra forma quiero darte las gracias por todo lo que hiciste por mí, recuerda que siempre formarás parte de mi vida, porque me diste unos bebés preciosos.

A quienes “golpearon a mi puerta” y me rescataron en los momentos difíciles.

## CONTENIDO

	Página
APROBACIÓN.....	ii
RESUMEN GENERAL.....	iii
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Área basal ( <i>AB</i> ).....	8
Índice de densidad del rodal de Reineke ( <i>SDI</i> ).....	8
Índice de Hart-Becking.....	9
Referencias.....	12
CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y FISIOLÓGICA EN PLANTACIONES DE <i>Cedrela odorata</i> L. EN TABASCO.....	16
RESUMEN.....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUCCIÓN.....	17
OBJETIVOS.....	18

METODOLOGÍA.....	20
Área de estudio.....	20
Muestreos de parcelas.....	21
Muestreos y análisis de suelos.....	22
Variables fisiológicas relacionadas con el incremento en biomasa.....	23
Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi).....	23
Intercambio de CO <sub>2</sub> y de H <sub>2</sub> O <i>in situ</i> .....	24
Área foliar específica.....	25
Biomasa total.....	25
Análisis estadístico.....	26
RESULTADOS.....	26
Características dasométricas de las plantaciones de cedro en Tabasco.....	26
Caracterización de los suelos en las tres plantaciones de cedro...	30
Características fisiológicas.....	32
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	40
AGRADECIMIENTOS.....	45
REFERENCIAS.....	46
<b>CAPÍTULO IV: CALIDADES DE ESTACIÓN Y TABLAS DE PRODUCCIÓN EN PLANTACIONES <i>Cedrela odorata</i> L. EN EL TRÓPICO HÚMEDO.....</b>	<b>52</b>

RESUMEN.....	52
ABSTRACT.....	52
INTRODUCCIÓN.....	53
METODOLOGÍA.....	53
Área de estudio.....	56
Historia silvícola de las plantaciones.....	56
Inventario dasométrico de las plantaciones.....	56
Determinación del índice de sitio para cedro.....	57
Procedimiento de cálculo de las tablas de producción para cedro..	59
Análisis estadístico.....	61
RESULTADOS.....	61
Inventario dasométrico de las plantaciones.....	62
Decisiones silvícolas.....	69
Índice de sitio.....	69
Altura dominante en cedro.....	70
Tablas de producción para cedro.....	72
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	77
AGRADECIMIENTOS.....	82
REFERENCIAS.....	83
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

## Página

Tabla 1.	Valores promedios de las variables dasométricas por parcela, en plantaciones de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.) en Tabasco.....	27
Tabla 2.	Comparación de medias de los datos dasométricos por edad en las plantaciones de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.) en Tabasco.....	29
Tabla 3.	Caracterización de los suelos de plantaciones de cedro en el trópico húmedo.....	30
Tabla 4.	Densidad aparente (Dap) del suelo a dos profundidades en tres plantaciones de cedro.....	31
Tabla 5.	Supervivencia e índices de densidad en tres plantaciones de cedro.....	32
Tabla 6.	Intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en plantaciones de cedro.....	33
Tabla 7.	Análisis de varianza para la tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática, eficiencia en el uso del agua y radiación fotosintéticamente activa en tres sitios de estudios y tres estratos en el dosel del árbol de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.).....	33
Tabla 8.	Biomasa y área foliar de los árboles de las plantaciones de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.).....	34
Tabla 9.	Medias y desviaciones estándar de la tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática y PAR a nivel del dosel en plantaciones de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.).....	35

Tabla 10. Promedios de tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática, eficiencia del uso de agua y PAR por sitios en árboles de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.).....	35
Tabla 11. Tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática, eficiencia del uso de agua y PAR por estratos en árboles de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.).....	36
Tabla 12. Valores promedios de las variables dasométricas por árbol, en plantaciones de cedro ( <i>Cedrela odorata</i> L.) en Tabasco. En la última medición.....	63
Tabla 13. Análisis de regresión no lineal y parámetros estimados para el modelo de altura dominante Gompertz en cedro.....	71
Tabla 14. Eficiencia de los modelos de la altura dominante y R <sup>2</sup> ajustada en cedro.....	72
Tabla 15. Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro calidad baja (IS aprox. 11 a los 10 años).....	73
Tabla 16. Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro calidad baja (IS aprox. 15 a los 10 años).....	75
Tabla 17. Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro calidad baja (IS aprox. 19 a los 10 años).....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

## Página

Figura 1. Localización de plantaciones de cedro en el estado de Tabasco.	21
Figura 2. Variación diurna de la tasa de fotosíntesis (A), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y la conductancia estomática (gs) en la plantación de <i>Cedrela odorata</i> L. ubicada en la plantación “27-022” del municipio de Huimanguillo, Tabasco. Los datos fueron tomados el 18 de julio del 2007.....	37
Figura 3. Variación diurna de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E), Figura 9. Variación diurna de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y la conductancia estomática (gs) en la plantación de <i>Cedrela odorata</i> L. ubicada en la plantación “27-028” del municipio de Comalcalco, Tabasco. Los datos fueron tomados el 22 de junio del 2007.....	38
Figura 4. Variación diurna de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y la conductancia estomática (gs) en la plantación de <i>Cedrela odorata</i> L. ubicada en la plantación “27-022” del municipio de Cunduacán, Tabasco. Los datos fueron tomados el 20 de junio del 2007.....	39
Figura 5. Densidad del rodal de las plantaciones de cedro en relación a los valores de referencia propuestos por Long (60% y 35% de IDR máx.).....	66



Figura 6. Diámetro medio cuadrático de las plantaciones de cedro en diferentes densidades.....	66
Figura 7. Esbeltez media de árboles de cedro en diferentes edades en Tabasco.....	67
Figura 8. Altura dominante en plantaciones de cedro en Tabasco.....	68
Figura 9. Área basal en relación con el índice de Reineke en plantaciones de cedro.....	68
Figura 10. Incremento en volumen de madera en función de la altura dominante de los árboles de cedro.....	69
Figura 11. Calidades de sitio de Cedro en el Estado de Tabasco.....	70

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Las áreas tropicales de México se caracterizan por presentar una gran diversidad de especies arbóreas; sin embargo, los aprovechamientos maderables tradicionalmente se han enfocado en torno al cedro (*Cedrela odorata* L.) y a la caoba (*Swietenia macrophylla* K.) lo que ha ocasionado un fuerte desabasto en estas especies para la industria (Ramírez y Zepeda, 1994).

Debido al gran valor de la madera de cedro en el mercado y la creciente escasez por su excesivo consumo, fue incluido por la FAO en 1981 en la lista de especies de prioridad (Lahera *et al.*, 1995). El cedro es una especie que se encuentra dentro del grupo de las especies raras, ya que no presenta alta densidad de individuos en los procesos de regeneración natural (Patiño, 1997). Lo anterior está generando que se desarrollen plantaciones para el aprovechamiento de su madera.

Dada la aptitud forestal del Estado de Tabasco, la SEMARNAT tiene registradas diversas empresas de aprovechamiento forestal como Proplanse S. A. de C.V., Forestales Mexicanos S. A. de C.V., entre otros, que se han instalado en la región con un total de 17, 249 ha<sup>-1</sup> donde se cultivan especies como el eucalipto (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden), melina (*Gmelina arborea* Roxb), cedro (*Cedrela odorata* L.), caoba (*Swietenia macrophylla* King), teca (*Tectona grandis* L) y maculís (*Tabebuia rosea*). La superficie plantada de cedro en el 2005 fue de 555 ha<sup>-1</sup>, cubriendo el 3.2% del total plantado en ese año (SEDAFOP-SAGARPA, 2006).

Para hacer más eficiente el manejo de las plantaciones es importante cuantificar el rendimiento de las especies. Para ello, necesitamos conocer la situación de las plantaciones de cedro y realizar el estudio dasométrico para cuantificar su productividad. Esta información es imprescindible para desarrollar programas eficientes de manejo, ya que se están incrementando actualmente las superficies de las plantaciones forestales en el Sureste de México (García, 1998).

Durante el establecimiento de una plantación forestal, se determinan la densidad, composición y estructura de los rodales; interviniendo en el crecimiento de los árboles mediante tratamientos silviculturales (Daniel *et al.*, 1982). Entre estos tratamientos se encuentran los aclareos que pueden modificar el microambiente, el ciclo hidrológico, las propiedades del suelo, la estructura, la composición genética y el crecimiento de los bosques y plantaciones (Wadsworth, 2000).

Los aclareos han originado tanto ganancias positivas como negativas, la conclusión general derivada de éstos y otros estudios es que la factibilidad económica de aplicar aclareos no puede definirse extrapolando resultados de estudios previos, o mediante reglas preestablecidas, sino únicamente mediante la evaluación de cada uno de los casos de interés (Valdez *et al.*, 2000).

En México es común la falta de información acerca de las estrategias de manejo forestal más apropiadas. Esto puede explicarse, en parte, por el limitado conocimiento acerca de la dinámica de crecimiento de la mayoría de las especies, así como por la

falta de información acerca de precios y costos relacionados con su manejo, es difícil encontrar modelos para predecir crecimiento y rendimiento a nivel rodal para la mayoría de las especies, y cuando los modelos están disponibles frecuentemente son generales, lo cual limita la exactitud de las predicciones a nivel rodal (Valdez *et al.*, 2000).

Con respecto al manejo silvícola existe carencia de la aplicación de técnicas de aclareo en las plantaciones forestales de cedro en el Estado de Tabasco; por lo cual es necesario definir un esquema de manejo silvícola que permita expresar el potencial de crecimiento de los árboles para las condiciones de cada sitio específico.

En esta investigación se realizó la caracterización dasométrica, de las plantaciones de cedro en el Estado de Tabasco, relacionado con las características de suelo y fisiológicas de los árboles que influyen en su crecimiento y se determinó el sistema de aclareos que deben aplicar los silvicultores como parte del manejo silvícola de las plantaciones.

Las aportaciones fundamentales de esta tesis son cuatro:

- Caracterizar los crecimientos de *Cedrela odorata* en las plantaciones del Estado de Tabasco como una respuesta de la especie a la silvicultura observada,

- Analizar el comportamiento fisiológico de *Cedrela odorata* en diferentes densidades, para sustentar con una investigación básica las recomendaciones silvícolas que se van a hacer,
- Proponer unas curvas de índice de sitio que servirán para que los productores descubran el rendimiento potencial de cada una de sus plantaciones y
- Aportar unas tablas de producción para la especie en Tabasco que sirvan de guía a los productores sobre el manejo de la densidad.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

## REVISIÓN DE LITERATURA

El crecimiento arbóreo se basa en la transformación, a través de la fotosíntesis, de la energía proveniente de la radiación solar en energía química. Por tanto, desde el punto de vista del estudio del crecimiento forestal es interesante conocer la radiación que reciben las plantas y que se puede emplear para realizar la fotosíntesis (Gadow *et al.*, 2007). No obstante, durante el desarrollo de los árboles en las plantaciones se presenta competencia por agua, luz y nutrientes, la cual no debe ser excesiva, ya que esto puede perjudicar el buen desarrollo de los árboles. Por tal razón, al pasar el tiempo se hace necesario reducir la cantidad de árboles en la plantación mediante la ejecución del aclareo (Meza y Torres, 2006).

El aclareo consiste en reducir gradualmente el número de árboles en la plantación para concentrar el crecimiento en los mejores individuos. En un inicio se plantan muchos individuos para inducir la competencia y así lograr que los árboles crezcan rectos, con una copa reducida y un buen fuste comercial (Meza y Torres, 2006). Las cortas de aclareo son operaciones culturales que consisten en remover parte de los árboles de un bosque inmaduro o de una plantación con la finalidad de dar la oportunidad y condiciones de crecimiento a los que permanecerán en la parcela, para obtener una alta producción de madera de alta calidad (Evans y Joan, 2004).

Se considera que los aclareos pueden reducir el ciclo de corta y elevar la calidad y productividad de las especies comerciales del bosque o de la plantación (Díaz, 1996). Los aclareos buscan mejorar la estructura del rodal, eliminando los individuos con



características no deseables que compiten por espacio y nutrientes. Sus efectos son variados: incrementan el volumen por árbol y mejoran la calidad de la madera, se obtiene mayor vigor en los ejemplares beneficiados, que tendrán mayor resistencia a agentes bióticos y abióticos. Los beneficios son múltiples cuando la intervención se realiza correcta y oportunamente, pero si el dosel de la plantación se abre excesivamente, la calidad de los individuos se altera, principalmente por la proliferación de brotes epicórmicos, presencia de malezas dentro y daños por vientos al perder estabilidad los árboles remanentes (Smith *et al.*, 1997).

Un buen manejo de aclareo requiere considerar la especie, el suelo y el objetivo de producción definido. Generalmente, el crecimiento vegetativo y reproductivo de los árboles residuales se acelera porque disponen de más luz, agua y nutrientes y pueden aumentar el tamaño de la copa (Kozlowski *et al.*, 1991). Con la realización del aclareo se busca redistribuir el potencial productivo del sitio en individuos promisorios, que proporcionan un alto valor financiero al final de turno (Claudio, 1994).

Los aclareos se clasifican según la posición en que se encuentran las copas de los árboles que se eliminan preferentemente en los diferentes estratos: los dominantes, los codominantes, los intermedios y los oprimidos. Existen varios tipos de aclareo: aclareo por lo bajo o ascendente, por lo alto o descendente, selectivo, combinado, sistemático y libre (Vázquez, 1999). El aclareo por lo bajo, se caracteriza por eliminar todos los árboles cuyas copas se ubican en el estrato inferior, este tipo de aclareo es común realizarlo en etapas tempranas del desarrollo del rodal y su propósito es el saneamiento del rodal, más que la obtención de productos de valor económico en el

mercado. El aclareo por lo alto, consiste en cortar árboles más grandes y se considera la eliminación de individuos de las clases de copas medias y bajas, con problemas de forma principalmente y árboles muertos o aquellos que no tienen posibilidades de sobrevivir hasta el próximo aclareo, con el objeto de beneficiar a los mejores árboles de ese estrato. El aclareo selectivo persigue favorecer el crecimiento de los árboles en los estratos intermedios, que la mayoría de las veces son los más numerosos en los aclareos iniciales, se corta por lo tanto todos los árboles dominantes y los del estrato inferior. El aclareo combinado, se realiza con el único propósito de favorecer el desarrollo de los mejores árboles y eliminar todos los del piso intermedio y oprimidos que por sus características físicas no tienen interés alguno. El aclareo sistemático, tiene el objetivo principal de corregir el espaciamiento o diseño predeterminado en un rodal. El aclareo libre, busca que los mejores árboles queden bien espaciados dentro del rodal. Por lo tanto, se puede referir a la consideración del producto final que se pretende llevar el mercado como: madera para leña, carbón, postes, pulpa, aserrío, etc. (Vázquez, 1999).

A pesar del gran potencial y utilidad de los aclareos, se han realizado pocos estudios que muestren sus efectos en la mayoría de las áreas forestales donde se aplican. Esta información es necesaria para retroalimentar los programas de manejo forestal, especialmente en las regiones donde estos tratamientos se han aplicado y aún se desconocen sus efectos en las masas residuales (Lozano *et al.*, 2005).

Para la medición de la densidad de las plantaciones se utilizan habitualmente tres índices: el área basal (*AB*); el Índice de densidad del rodal de Reineke (*SDI*) y el Índice de Hart-Becking.

**Área basal (*AB*):** Se obtiene a partir del diámetro a 1.3 m de altura como la sección circular correspondiente. Se expresa en  $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  (Avery y Burhart, 2002; Domínguez *et al.*, 2006). Donde:

$$AB = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} * (DBH^2 / 10000) \right] / S \quad [Ec.1]$$

*DBH* = Diámetro a la altura del pecho,  
*S* = Tamaño de la parcela en  $\text{ha}^{-1}$ .

**Índice de densidad del rodal de Reineke (*SDI*):** Según Clutter *et al.* (1983) es un índice que expresa la medida cuantitativa de la densidad promedio que un rodal puede soportar, con referencia a un límite entre la relación del número de árboles por unidad de superficie y el tamaño promedio de los árboles para lograr un objetivo determinado y también es independiente de la edad y la calidad de sitio. Se expresa:

Donde:

$$SDI = N * \left( \frac{Dg}{25} \right)^{1.605} \quad [Ec.2]$$

*N* = Número de árboles por ha,

*Dg* = Diámetro medio cuadrático

El índice determina el número de árboles que existe en un rodal a través del estudio de un rodal puro, bien poblado y de edad uniforme con un diámetro medio cuadrático de 25 cm (Daniel *et al.*, 1982). Reineke (1933) obtuvo un valor de la pendiente igual a 1,605 el cual se ha considerado como coeficiente general; para la interpretación del

*SDI*, Long (1985) define el 60% de *SDI* máximo como el inicio del autoclareo y el 35% el límite de ocupación completa del sitio o estación.

### **Índice de Hart-Becking**

Se define como la relación entre el espaciamiento medio del arbolado o sea la densidad (*a*) y su altura dominante (*Ho*), expresado en tanto por ciento (Codina, 2003).

Donde:

*S* = Índice de Hart-Becking,

*Ho* = Altura dominante,

*a* = Espaciamiento medio del arbolado

$$S = 10000 / \left( Ho * a^{0.5} \right) \quad [Ec.3]$$

Un parámetro necesario para elaborar planes de manejo y programas de aclareo dentro de estos, es la calidad de estación, que es aún desconocida en la mayoría de las plantaciones de cedro, se ha definido como la capacidad o las características que determinan el grado de productividad de un lugar, bajo las condiciones del medio considerando que tal productividad es la resultante de la suma de todos los factores del sitio (Zepeda y Rivero, 1984). Influyen las características del suelo, la pendiente del terreno, la exposición, el microclima y las especies que viven en él (Daniel *et al.*, 1982). Permite clasificar las plantaciones según su potencial productivo (Clutter *et al.*, 1983), concepto biológico que cuantifica el crecimiento y desarrollo de una especie como respuesta a las condiciones ambientales, y que se representa por valores de índice denominados “índice de sitio” que son expresión cuantitativa de la calidad de estación (Prodan *et al.*, 1997).

El índice de sitio más usado para conocer la calidad de estación en masas coetáneas preferentemente puras, es la relación altura dominante-edad (García, 1998) y en concreto la altura de los árboles dominantes o codominantes a una edad base. Se usa la altura dominante porque la altura promedio de un rodal es afectada por la edad, la calidad de sitio, la densidad del rodal y el tipo de silvicultura aplicada (Alder, 1980). El índice de sitio es una forma directa de clasificar los rodales forestales por su productividad (Payandeh y Wang, 1994).

Existen pocos estudios de determinación de índices de sitio en plantaciones como el cedro o la caoba en México, entre ellos se puede mencionar el de García *et al.* (2007b) realizado en ocho plantaciones de cedro en Quintana Roo, y el de García *et al.* (2007a) realizado en 15 plantaciones de caoba, también en Quintana Roo.

La densidad del rodal es el segundo factor en importancia después de la calidad de sitio para la determinación de la productividad de un sitio forestal y es el principal factor que el silvicultor puede manejar. A través de la ordenación o el manejo de la densidad, el forestal es capaz de intervenir sobre el establecimiento de las diferentes especies, la calidad de sus fustes, la tasa de crecimiento en diámetro, e incluso la producción de volumen (Arce y Fonseca, 2003).

Otro factor de importancia es generar las tablas de producción de la especie, en éstas se trata de cifrar la evolución con la edad de las variables de una masa forestal coetánea o regular, de una especie dada, dentro de un ámbito geográfico determinado, para las distintas clases de calidad de sitio y para los diferentes regímenes silvícolas aplicables a dicha masa. Es importante que los silvicultores cuenten con estas tablas

de producción. En ellas se describen masas ideales que ocuparían completamente la superficie, sin ninguna pérdida de ningún tipo, lo que resulta imprescindible para conocer su verdadero significado y poder aplicarlas correctamente (Madrigal, 1991).

## REFERENCIAS

- Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 2. Predicción del rendimiento. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudios FAO: Montes. Roma, Italia. 118 p.
- Arce, V. y W. Fonseca. 2003. Relación albura-duramen y características físicas de la madera de *Tectona grandis* L. en plantaciones de 10 años con diferentes densidades de siembra, Guanacaste, Costa Rica 1<sup>ra</sup> ed. Heredia, C. R. INISEFOR. La Industria Forestal en Latinoamérica. pp: 125-135.
- Avery, E. T y E. H. Burkhart. 2002. Forest Measurements. Fifth ed. McGraw-Hill. New York, U. S. A. 456 p.
- Codina, J. C. 2003. El índice de Hart-Becking y su justa medida. Foresta 24: 50-52.
- Claudio G., L.E. 1994. Análisis comparativo de biomasa, área foliar y eficiencia de crecimiento en dos rodales de *Pinus patula* sometidos a aclareos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 76 p.
- Clutter, J.L., J.C. Fortson, L.V. Peinar, G.H. Brister and R.L. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley and Sons. New York. pp: 88-35.
- Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición. McGraw-Hill. México. 492 p.

- Díaz H., A. 1996. Efecto de un raleo sobre el crecimiento de un bosque secundario de altura, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, CR, 82 p.
- Domínguez D., M., F.O. Bravo y G.M. Del Río. 2006. Modelos de tamaño de copa en *Pinus sylvestris* L. en bosques del centro de España. *Interciencia* 31(3):168-175.
- Evans, J. y W.T. Joan. 2004. *Plantation forestry in the tropics*. Third Edition. Ed. ISBN O198542577. New York. 467 p.
- Gadow K.V., O.S Sánchez y J.G. Álvarez. 2007. Estructura y crecimiento del Bosque. URL: [WWW.usc.es/uxfs/Libros](http://WWW.usc.es/uxfs/Libros). Fecha de acceso: 13 de Noviembre de 2008.
- García C., X. 1998. Predicción del rendimiento de *Swietenia macrophylla* King (Caoba) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México. 114 p.
- 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., J. G. Flores G., y J. D. Benavides S. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en Quintana Roo, México. *Ciencia Forestal en México* 32(101): 71-92.
- Kozlowski, T., P. Kramer, and S. Pallardy. 1991. *The physiological ecology of woody plants*. Academic Press, San Diego, U.S.A. 657 p.
- Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. *For. Chron.* 61: 23-27.



- Lozano F., M., G. De la Cruz, G.F. Islas, y A.E. Flores. 2005. Evaluación de las cortas de aclareo en áreas bajo manejo forestal en Tlaxco, Tlaxcala. En: Memoria de Resúmenes del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales, Chihuahua, México. pp: 196-197.
- Madrigal, A. 1991. Tablas de producción. Seminario sobre inventario y ordenación de montes. Valsaín, Segovia. 2: 37-70.
- Meza, M.A. y C.G. Torres. 2006. El raleo: una operación silvicultural fundamental. *Revista Forestal Kurú* 3(8):1-3.
- Payandeh, B. y Wang. 1994. Relative accuracy of a new baseage invariant site index model. *For. Sci.* 40: 341-343.
- Prodan, M., R. Meter., F. Cox. y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. IICA – BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. *Journal Agric. Res.* 46(7):627-637.
- Smith, D. M., B.C. Larson, M.J. Kelty and P.M. Ashton. 1997. *The practice of silviculture*. Editorial. John Wiley & Sons. New York. 527 p.
- Vázquez, W. y L.A. Ugalde. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico No. 256. Convenio de Cooperación entre el Proyecto MADELEÑA 3/Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO/HOLANDA). 33 p.
- Vázquez, R.A. 1999. *Producción forestal fundamentos: Antología*. Ed. EUNED. 206 p.

Wadsworth, F.H. 2000. Producción forestal para América tropical. (Manual de Agricultura 710-S). Washington, USA. 603 p.

Zepeda B. y P. Rivero. 1984. Construcción de curvas anamórficas de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Instituto nacional de investigaciones forestales. México. D.F. Rev. Cienc. For. 9(51):3-38.

### **CAPÍTULO III:**

## **CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y FISIOLÓGICA EN PLANTACIONES DE *Cedrela odorata* L. EN TABASCO**

Artículo por publicar en la Revista Madera y Bosques

**CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA Y FISIOLÓGICA EN PLANTACIONES DE  
*Cedrela odorata* L. EN TABASCO**

**DASOMETRIC AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION IN PLANTATIONS OF  
*Cedrela odorata* L. IN TABASCO**

**RESUMEN**

Se determinó la caracterización dasométrica y fisiológica de plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco en parcelas permanentes donde el cedro es la especie principal. Las variables fisiológicas se midieron en los estratos superior, medio e inferior del árbol en cada plantación. La caracterización dasométrica realizada en las 22 plantaciones muestra una variabilidad en edades de (3-15 años), densidades (156-4444 árb·ha<sup>-1</sup>), supervivencia (47-98%), altura dominante (7.7-22.1 m), área basal (2.6-19.21 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>), volumen madera (8-148 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) e índice de Reineke (83.3-504). Los suelos fueron ácidos en las tres plantaciones estudiadas, con textura arcillosa, migajón arcilloso y migajón arcilloso-arenoso. De las tres plantaciones la “27-050”, presentó un promedio de RFA transmitida de 30.3% y un índice de Reineke de 425. La plantación “27-022” presentó un promedio de RFA transmitida e 50.3% y un índice de Reineke de 379. La plantación menos densa fue la “27-028” que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287. Por otra parte, se registraron efectos negativos en la tasa fotosintética, considerando que cierra más rápidamente sus estomas y tienen menores pérdidas de agua por transpiración. La radiación fotosintéticamente activa incidente fue mayor en el estrato superior por lo que esta relacionado a las altas tasas fotosintéticas, altas tasas de transpiración y conductancia estomática, siendo el estrato medio el que recibe menor radiación.

**Palabras claves:** Volumen maderable, índice Reineke, densidad, fotosíntesis.

## ABSTRACT

It was determined characterization dasometric and physiological of plantations of cedar (*Cedrela odorata* L.) in Tabasco on permanent plots where cedar is the main species. Physiological variables were measured in the upper strata, middle and bottom of each tree planting. Dasometric characterization of the 22 plantations shows a variability in age (3-15 years), densities (156-4444 trees·ha<sup>-1</sup>), survival (47-98%), dominant height (7.7-22.1 m), basal area (2.6-19.21 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>), timber volume (8-148 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) and Reineke's index (83.3-504). The ground floors of these plantations had an acid pH with texture that ranged from clay, migajon clay and sandy-clay migajon. Of the three plantations the "27-050", presented an average of 30.3% of RFA transmitted and a rate of 425 Reineke's. The plantation "27-022" presented an average of 50.3% and RFA broadcast and a rate of 379 Reineke's. Plantation "27-028" was the least dense in the town of Comalcalco. It submitted average percentages of RFA transmitted by the treetops of 73.3% and an index of Reineke's 287. On the other hand, there were negative effects on the photosynthetic rate, considering that their stomata closed faster and has lower water loss by transpiration. The photosynthetic active radiation incident on the plantations studied was higher in the upper stratum which is associated with high photosynthetic and transpiration rates and stomatal conductance, as stratum medium photosynthetically active radiation gets smaller.

**Key words:** Timber volume, Reineke index, density, photosynthesis.

## INTRODUCCIÓN

Las zonas tropicales de México presentan gran potencial para el establecimiento y manejo de plantaciones forestales. Considerando su posición geográfica, reciben

grandes cantidades de energía solar, lo que aunado con las condiciones favorables de suelo y clima que las caracterizan, permiten un crecimiento adecuado de las especies arbóreas; además la cercanía relativa de México con los países consumidores, ofrece ventajas para la comercialización de la producción maderable (Martínez *et al.*, 2006).

México tiene una superficie forestal arbolada de aproximadamente 57 millones de ha; 32% está representada por selvas de clima tropical-subtropical. Los estados que tienen la mayoría de estos recursos son Campeche, Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán. (FMIAFAC, 2005). En las selvas altas y medianas, las especies más importantes desde el punto de vista económico y desde tiempos inmemorables, han sido el cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) y la caoba (*Swietenia macrophylla* King). Actualmente la posibilidad del aprovechamiento de estas especies se ha visto limitada, ya que desde 1973 las selvas tropicales han disminuido un 95%; estas cifras demuestran la pérdida acelerada de los ecosistemas de México y de su biodiversidad (SFFS, 1994).

Ante esta situación, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) rediseñó el Programa para el Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales, denominado PRODEPLAN que desde 1997 pretende el establecimiento de una superficie de 875,000 ha de plantaciones forestales comerciales durante un periodo de 25 años. Con ello se estima alcanzar una producción anual de 18 millones de m<sup>3</sup>, lo que significaría duplicar la producción actual proveniente principalmente de bosques naturales (FMIAFAC, 2005).

En el estado de Tabasco, se han establecido plantaciones forestales de cedro en las cuales existe carencia en la determinación, el conocimiento, y la aplicación de técnicas silvícolas; por lo que es necesario definir un esquema de manejo que permita expresar

el potencial de crecimiento de los árboles para las condiciones de sitios específicos. En el 2005, se plantó en Tabasco una superficie de cedro de 555 ha cubriendo el 3.2% del total plantado en ese año por diversas empresas forestales; sin embargo, existen un total de 1'189,700 ha potenciales para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales de cedro en Tabasco considerando los tipos y uso del suelo, precipitación pluvial y altitud (SEDAFOP-SAGARPA, 2006).

La densidad de plantación ha sido identificada como uno de los principales factores determinantes de la productividad forestal (Daniel *et al.*, 1982). Los individuos que viven en poblaciones densas, con excesiva carga de biomasa crean competencia directa entre individuos; se ha visto en algunos casos que la mortalidad en plantaciones densas es por falta de intervención silvícola, ya que las especies pueden desarrollarse adecuadamente en un determinado intervalo de densidades o espesuras en la plantación (Montoya y Mesón, 2004). En rotaciones cortas y sin aclareos, la densidad inicial de plantación constituye una importante decisión en el manejo forestal, afectando el volumen del rodal, el tamaño de las trozas y el turno de corta, lo que traerá implicaciones económicas (Coetzee, 1991). En general, el aumento de la densidad de plantación afecta al crecimiento individual de los árboles manifestándose en una disminución del diámetro y de la altura.

Para un eficiente manejo de los recursos forestales es importante conocer la situación actual de las plantaciones a través de un estudio dasométrico que cuantifique el crecimiento de los árboles. Esta información es imprescindible para desarrollar programas eficientes de manejo que incluya los sistemas de aclareos, ya que las

superficies de las plantaciones forestales en el Sureste de México se están incrementando constantemente (García, 1998).

Una de las especies establecidas en plantaciones forestales en Tabasco es el cedro, en un 9% de la superficie, la cual no alcanza a cubrir la gran demanda que existe de su madera en el mercado mexicano. (FMIAFAC, 2005).

En este estudio se evaluó el crecimiento de los árboles de cedro en plantaciones, bajo las condiciones de manejo actual considerando variables dasométricas, condiciones lumínicas e intercambio del  $\text{CO}_2$  *in situ*. Para que en una determinada plantación mantengan o incrementen su crecimiento en diámetro, es indispensable realizar aclareos oportunos, ya que cuando se hacen de forma tardía la respuesta de estos no es la esperada. La gran importancia que tiene la copa de los árboles en el desarrollo de estos, es que un aumento en el tamaño de estas, está relacionado con niveles altos de fotosíntesis.

## **OBJETIVO**

Realizar una caracterización dasométrica y fisiológica de las plantaciones de cedro en el Estado de Tabasco, que posteriormente permita definir los sistemas de aclareo necesarios para el manejo silvícola.

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

El presente estudio se realizó en plantaciones ubicadas en los municipios de Balancán, Centro, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Nacajuca, Tacotalpa y Teapa del Estado de Tabasco Figura (1), localizados en la región tropical húmeda de



México; con coordenadas al norte  $18^{\circ} 39'$ , al sur  $17^{\circ} 19'$  de latitud norte; al este  $91^{\circ} 57'$ , al oeste  $94^{\circ} 08'$  de longitud oeste (INEGI, 2007). La temperatura media anual de  $26^{\circ}\text{C}$ , y máxima de  $42^{\circ}\text{C}$ ; con una precipitación de 2521 mm al año, que lo hacen propicio para el desarrollo adecuado de especies forestales de gran valor comercial (SEDAFOP-SAGARPA, 2006).

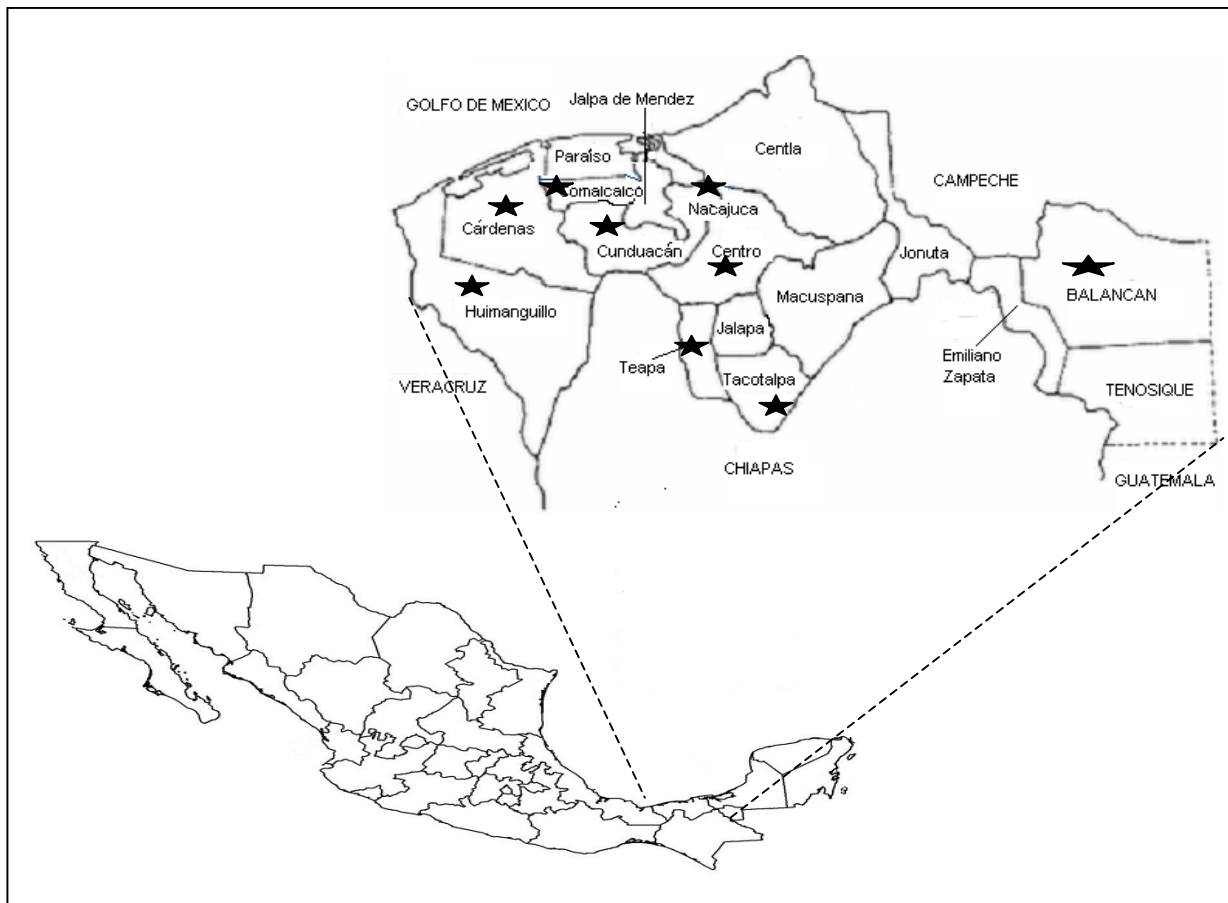


Figura 1. Localización de plantaciones de cedro en el estado de Tabasco.

### Muestreos de parcelas

Para la realización de este estudio se dispuso de la información dasométrica considerada en el inventario de plantaciones forestales en Tabasco que maneja la Comisión Estatal Forestal (COMESFOR). Se analizaron datos de mediciones

realizadas en los años 2003, 2004, 2005 y 2007 en colaboración con la COMESFOR de la red de parcelas permanentes que comprende 22 plantaciones de cedro en 9 municipios. En las 22 plantaciones se midieron 77 parcelas permanentes, conformadas cada una por 81 árboles en promedio, haciendo un total de 6,237 árboles medidos. En las parcelas se obtuvo la densidad de la plantación, la superficie de las parcelas, la supervivencia de los árboles y la edad en años; se midió el diámetro a la altura del pecho (*DBH*) y la altura total (*HT*) de cada árbol. Con las mediciones se obtuvo la esbeltez de los árboles que determina el vigor de los mismos y el volumen de madera con corteza, el diámetro medio cuadrático y los árboles dominantes de acuerdo con Assmann, (1970). Además se calcularon los siguientes índices de densidad y competencia: el área basal (*AB*); el Índice de densidad del rodal de Reineke (*SDI*) y el Índice de Hart-Becking (Daniel *et al.* ,1982).

### **Muestreos y análisis de suelos**

Se realizaron dos tipos de muestreos de suelo para la caracterización del suelo y para la densidad aparente en las plantaciones. Para realizar la caracterización del suelo se determinó pH en agua, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible kjeidahl, Calcio, Magnesio y sodio intercambiable, CIC con acetato de amonio y textura Bouyuocos, en el laboratorio de análisis químicos de suelos, aguas y plantas (LASPA) del Campus Tabasco-Colegio de Postgraduados. El tipo de muestreo realizado fue en zig-zag, siguiendo la metodología de Salgado, (2006) cubriendo toda la plantación por cada sitio con la barrena holandesa. Se tomaron 10 submuestras a dos profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm recomendadas para suelos forestales (Pontón, 2006). Para

obtener la muestra compuesta se mezclaron las submuestras en una cubeta por cada profundidad, para obtener 2 kg de cada muestra para el análisis en el laboratorio.

En la determinación de la densidad aparente se usó el método del cilindro de volumen conocido (Cavazos y Rodríguez, 1992) utilizando un cilindro con un diámetro de 4.7 cm y una altura de 3 cm (volumen del cilindro  $52.04 \text{ cm}^3$ ) para ello se tomó un volumen fijo del suelo a profundidades de 0-15 cm y 0-45 cm; por cada parcela se tomó una muestra a distinta profundidad, realizando tres parcelas por cada plantación. Las muestras se secaron a una temperatura de  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por 24 horas, posteriormente se pesó en una balanza analítica para obtener el peso seco. Con la relación de peso del suelo seco y el volumen del cilindro, se obtuvo el valor de la densidad aparente (DAp).

### **Variables fisiológicas relacionadas con el incremento en biomasa**

Las variables que a continuación se enuncian fueron tomadas en árboles seleccionados a partir de las parcelas más densas de acuerdo al índice de densidad Reineke, para los diferentes sitios. De las 22 plantaciones se seleccionaron dos plantaciones de 10 años de edad para estudiar los parámetros fisiológicos de los árboles en condiciones de densidades diferentes para determinar y cuantificar la influencia de la densidad en la competencia de los árboles manifestada en la fisiología de los mismos.

### **Radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi)**

La RFAi se midió con un medidor de RFA (Quantum meter, Spectrom Technologie, Inc. Modelo BQM), expresada en  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Las lecturas patrón se tomaron en el exterior de la plantación (claros), al principio y al final de cada proceso, en puntos adjuntos de iguales condiciones topográficas y altitud, pero desprovistos de vegetación (Johansson,

1996). Se considera que en dichas zonas la radiación solar incidente es próxima al 100%. Las lecturas de RFAi dentro de la parcela fueron tomadas siguiendo un transecto cruzado integrado por 30 lecturas entre las 11:00 a 15:00 hrs. Las lecturas se tomaron durante el solsticio de verano, en días completamente despejados. Se tomó como radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) a la diferencia entre la incidente (RFAi medida sobre la copa) y la transmitida (RFAi medida bajo la copa del árbol de cedro). La RFAi se calcula con los datos promedios de RFAi dentro de la parcela/RFAi de la lectura patrón x 100.

### **Intercambio de CO<sub>2</sub> y de H<sub>2</sub>O *in situ***

Para el árbol seleccionado dentro de cada parcela útil, el patrón diurno de fotosíntesis y transpiración *in situ* fue medido durante el solsticio de verano, estación de crecimiento de los árboles de cedro. Las mediciones fueron tomadas a tres alturas dentro del dosel (estrato superior, medio e inferior) en días completamente soleados para minimizar las fuentes de heterogeneidad diurna. Las mediciones del intercambio de CO<sub>2</sub> y de vapor de agua se realizaron con un analizador de gases infrarrojo (IRGA), equipado con un sistema de inyección de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O Modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) equipado con una cámara de asimilación para hojas anchas. El analizador de gases fue revisado periódicamente a través de las mediciones realizadas en el transcurso del día, para evitar un desajuste y toma errónea de lecturas.

Para alcanzar los tres estratos dentro del dosel del árbol en estudio, se instaló una torre de 20 m de altura, donde dos personas subieron cada tres horas de las 8:00 am a las 17:00 pm, para realizar las lecturas en cinco hojas adultas aleatoriamente seleccionadas según las condiciones de densidad de arbolado y en dirección Sur. Se

tomaron, además, varias repeticiones por hoja, para tener un número sustancial de lecturas por estrato. Este esquema de muestreo intenso fue necesario para capturar un esquema del patrón de la tasa de fotosíntesis *in situ* a diferentes alturas del dosel del árbol individual de cedro de la región tropical húmeda de México.

### **Área foliar específica**

Las medidas del índice de área foliar fueron realizadas en cada parcela utilizando el equipo analizador del dosel de la plantas LAI-2000 (LI-COR). En cada parcela se tomó una secuencia de tres repeticiones (dentro del dosel) intercaladas entre tres mediciones de referencia tomadas en el claro más cercano a la parcela (fuera del dosel). Posteriormente se obtuvo una muestra en campo del follaje de la totalidad de una rama en cada dosel del árbol estudiado en el mismo sitio de la parcela donde se tomó la lectura de fotosíntesis interceptada por estrato. Esta medición del área foliar se realizó en el laboratorio mediante un integrador de área foliar modelo 3100 (LI-COR).

### **Biomasa total**

Posteriormente, las hojas se colocaron en bolsas rotuladas y se pusieron a secar en estufa a 65°C hasta alcanzar peso constante. Con los datos anteriores, se realizó un estimado del área foliar y biomasa de cada árbol en función de la relación área de hoja ( $\text{cm}^2$ /peso de materia seca de cada muestra por número de ramas que constituyeron el árbol). Con los datos de tasa de fotosíntesis y de transpiración se estimó la eficiencia en el uso de agua a través de la fórmula tasa de fotosíntesis/tasa de transpiración, indicando los gramos de agua necesarios para producir un gramo de biomasa.

## **Análisis estadístico**

El análisis estadístico de los datos se realizó a través del paquete estadístico SAS, versión 9.1.3 (SAS, 2003). A los datos dasométricos se realizó análisis de varianza mediante el procedimiento PROC GLM en un diseño completamente al azar. Para los datos fisiológicos se aplicó el análisis de varianza en un diseño bloques al azar. Tanto para el análisis de los datos dasométricos, como los fisiológicos se realizaron comparaciones de medias mediante la prueba de Student-Newman-Keuls.

## **RESULTADOS**

### **Características dasométricas de las plantaciones de cedro en Tabasco**

En la Tabla (1) se presentan valores promedios de las variables dasométricas por parcelas en plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco, donde las plantaciones más jóvenes presentaron una supervivencia con un valor mínimo de 47% en plantaciones de cinco años con densidad de 1111 árb·ha<sup>-1</sup> en Nacajuca y un valor máximo de 98% en plantaciones de cuatro años de edad con densidad de 416 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán, Tabasco. Las plantaciones de más de 10 años presentaron una supervivencia mínima de 71% en plantaciones de 12 años de edad con densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán y una máxima de 97% en plantaciones de 10 años de edad con densidad de 204 árb·ha<sup>-1</sup> en Teapa, Tabasco.

Tabla 1. Valores promedios de las variables dasométricas por parcelas en plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco.

Plantación	Municipio	Edad (años)	Densidad plantación (árb·ha <sup>-1</sup> )	Supervivencia (%)	Altura Dominante (m)	Área basal (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Volumen madera (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	Índice de Reineke	Índice de Hart
27-031	Cunduacán	3	1666	86	12.0	19.19	100	504.9	22.04
27-032	Balancán	3	833	75	9.6	6.99	30	199.4	37.52
27-030	Cunduacán	4	625	94	8.2	6.14	25	169.7	50.36
27-035	Cunduacán	4	416	98	10.5	9.51	53	235.1	39.53
27-044	Tacotalpa	4	714	96	11.2	5.13	25	151.3	34.27
27-011	Nacajuca	5	1111	47	7.7	2.60	8	83.3	57.07
27-043	Centro	6	1600	53	11.0	8.99	44	248.0	31.24
27-002	Cunduacán	7	4444	76	14.0	19.21	125	428.8	28.6
27-005	Cunduacán	7	2941	80	17.6	11.53	80	328.4	15.8
27-038	Cunduacán	8	500	81	13.0	12.55	79	279.9	38.37
27-018	Cárdenas	8	277	82	13.0	5.60	39	123.8	59.23
27-003	Cunduacán	9	2500	80	16.5	16.49	108	420.2	18.31
27-001	Cunduacán	9	400	97	13.6	12.04	79	268.3	37.3
27-022	Huimanguillo	10	555	81	17.2	18.28	146	401.9	24.80
27-015	Teapa	10	204	97	19.0	13.66	127	260.2	37.28
27-050	Cunduacán	11	2500	88	14.5	12.41	84	301.5	27.53
27-040	Cunduacán	11	2500	95	14.7	7.29	52	148.5	56.04
27-021	Comalcalco	11	833	82	13.5	13.36	81	326.5	28.42
27-028	Comalcalco	12	714	83	12.3	14.97	88	343.4	33.99
27-033	Cunduacán	12	156	71	14.3	5.03	36	116.1	49.59
27-012	Comalcalco	12	1111	97	14.9	5.26	38	117.3	51.77
27-007	Cunduacán	15	156	85	22.1	12.93	148	231.4	40.2

### Altura dominante

Las plantaciones de tres a nueve años de edad presentaron alturas dominantes mínimas de 7.7 m y un valor máximo de 17.6 m en árboles considerando una variabilidad de densidades de 277 a 4444 árb·ha<sup>-1</sup>. Plantaciones de 10 a 15 años de

edad presentaron alturas dominantes de mínimo de 12.3 m y un valor máximo de 22.1 m con densidades de 156 a 2500 árb·ha<sup>-1</sup>.

### **Volumen de madera**

Las plantaciones de tres a nueve años de edad presentaron volúmenes mínimos de 8 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> y un valor máximo de 125 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> considerando una variabilidad de densidades de 277 a 4444 árb·ha<sup>-1</sup>. Plantaciones de 10 a 15 años de edad presentaron volumen mínimo de 36 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> y un valor máximo de 148 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> con densidades de 156 a 2500 árb·ha<sup>-1</sup>.

### **Índice de densidad del rodal de Reineke (SDI)**

Las plantaciones mas jóvenes presentaron un índice de densidad del rodal de Reineke con valores mínimo de 83.3 en plantaciones de cinco años de edad con una densidad de 1111 árb·ha<sup>-1</sup> en Nacajuca y una máxima de 504.9 en plantaciones de tres años de edad con una densidad de 1666 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán, Tabasco. En plantaciones más adultas se presentó un índice de Reineke con valores mínimo de 116.1 en plantaciones de 12 años de edad con una densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán y valores máximos de 401.9 en plantaciones de 10 años de edad con una densidad de 555 árb·ha<sup>-1</sup> en Huimanguillo, Tabasco.

### **Índice de Hart-Becking**

Las plantaciones más jóvenes presentaron un índice de Hart con valores mínimo de 15.8 en plantaciones de siete años de edad con una densidad de 2941 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán y un valor máximo de 59.23 en plantaciones de ocho años de edad con una densidad de 277 árb·ha<sup>-1</sup> en Cárdenas, Tabasco. Para plantaciones más maduras presentaron un índice de Hart con valores mínimo de 40.2 en plantaciones de 15 años de edad con una densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán y valores máximos de 56.04



en plantaciones de 11 años de edad con una densidad de 250 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán, Tabasco. De acuerdo al análisis de varianza realizado se encontraron diferencias significativas con una  $p \geq 0.01$  en las variables diámetro normal, altura total, área basal y volumen de madera de acuerdo a las edades. Estas variaciones se deben a que se analiza una variedad de edades y densidades de cada plantación. Sin embargo, resulta interesante analizar en que edades y densidades se presentan estas diferencias, lo cual se puede ver en el análisis de comparación de medias. El diámetro normal, el área basal y el volumen madera no presentaron diferencias significativas en edades de 3 a 6 años de edad, siendo las demás diferentes, para la esbeltez en edades de 4, 7 y 9 años presentaron diferencias no significativas al igual en edades de 5, 8, 10 a 15 años (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de medias de los datos dasométricos por edad en las plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco.

Edad plantación (años)	Dap (cm)	Altura total (m)	Esbeltez (%)	Área basal (m <sup>2</sup> ·árb)	Volumen madera (m <sup>3</sup> ·árb)
3	10.6 f	8.6 f	83 bc	0.009 f	0.041 f
4	10.6 f	8.9 f	88 a	0.009 f	0.047 f
5	7.7 g	5.5 g	71 d	0.005 f	0.015 f
6	10.0 f	8.3 f	84 bc	0.008 f	0.039 f
7	13.2 e	10.9 e	98 a	0.017 e	0.116 e
8	19.9 c	12.9 c	68 d	0.034 c	0.233 c
9	13.5 c	11.9 d	96 a	0.016 e	0.108 e
10	24.7 b	16.8 b	70 d	0.051 b	0.454 b
11	16.2 d	11.9 de	76 cd	0.025 d	0.164 d
12	19.3 c	13.2 c	70 d	0.032 c	0.022 c
15	33.8 a	21.7 a	67 d	0.096 a	1.099 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $p < 0.05$  (Student-Newman-Keuls).

### Caracterización de los suelos en las tres plantaciones de cedro

En la Tabla (3) se presenta información de las características físicas y químicas del suelo de tres plantaciones de cedro (*Cedrela odorata*). La plantación “27-050” de Cunduacán presenta suelos moderadamente ácidos de 0-30 cm de profundidad. Este suelo presenta altos contenidos de nitrógeno, calcio y magnesio, y medio contenido de materia orgánica, sin embargo, el contenido de potasio fue muy bajo, esto está relacionado con la media capacidad de intercambio catiónico y de fósforo que presenta. La textura del suelo es arcillosa.

Tabla 3. Caracterización de los suelos de plantaciones de cedro en el trópico húmedo.

Sitios	Profundidad (cm)	Propiedades											
		pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	P-Olsen (mg.kg <sup>-1</sup> )	N-Total (%)	Ca (cmol(+)/kg suelo)	K (cmol(+)/kg suelo)	Mg (cmol(+)/kgsuelo)	CIC	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura
Cunduacán Plantación “27-050”	0-30	6.57	2.38	6.96	0.16	30.3	0.19	4.44	21.8	40	39	21	Arcilla
	30-60	7.6	0.75	3.48	0.03	30.6	0.13	3.62	17.6	38	39	23	Migajón arcilloso
Comalcalco Plantación “27-028”	0-30	6.12	2.13	32.2	0.13	21.5	0.68	4.36	19.7	36	43	21	Migajón arcilloso
	30-60	6.60	0.94	21.4	0.07	26.0	0.38	5.10	20.7	38	47	15	Migajón arcilloso- limoso
Huimanguillo Plantación “27-022”	0-30	5.76	1.31	24.9	0.07	9.43	0.37	2.30	10.4	20	19	61	Migajón arcilloso- arenoso
	30-60	6.42	0.38	9.57	0.03	11.4	0.18	2.30	9.33	18	21	61	Migajón arenoso

La plantación “27-028” de Comalcalco presenta un pH moderadamente ácido, altos contenidos de fósforo, calcio, potasio y magnesio. El contenido de materia orgánica, nitrógeno y la CIC se encuentran en términos medios. La textura es migajón arcillosa.

La plantación “27-022” de Huimanguillo presenta un pH moderadamente ácido al igual que las otras dos plantaciones, altos contenidos de fósforo, medios contenidos de calcio, magnesio y potasio. Es la plantación con menos contenido de materia orgánica y nitrógeno ya que resultaron pobres. La CIC es baja. Su textura es migajón arcillo-arenoso. En un suelo es importante el contenido de materia orgánica porque mantiene una buena estructura en los suelos de textura fina y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, con lo cual se reduce la pérdida por filtración de elementos como el potasio, el calcio y el magnesio. Además sirve como reservorio para el nitrógeno del suelo y mantiene la humedad (Núñez, 2000).

Tabla 4. Densidad aparente (DAp) del suelo a dos profundidades en tres plantaciones de cedro.

Sitios	DAp ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	
	0-30 cm	30-60 cm
Huimanguillo: Plantación “27-022”		
parcela 1	1.77	1.79
parcela 2	1.88	1.80
parcela 3	1.66	1.76
Cunduacán: Plantación “27-050”		
Parcela 1	1.38	1.57
Parcela 2	1.77	1.64
Parcela 3	1.66	1.76
Comalcalco: Plantación “27-028”		
Parcela 1	1.71	1.66
Parcela 2	1.64	1.65
Parcela 3	1.58	1.61

De las variables de suelo estudiadas las plantaciones (Tabla 4) la “27-022” localizada en Huimanguillo presentó mayor compactación en una de las parcelas con una DAp del suelo de  $1.88 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . En seis de las parcelas la DAp incrementó en relación a la profundidad del suelo, sin embargo, en tres parcelas disminuyó ligeramente. Cuanto

mayor es la densidad aparente, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, el crecimiento y la penetración de raíces y puede afectar el desarrollo de los árboles).

### Características fisiológicas

De la base de datos de las parcelas permanentes se seleccionaron tres plantaciones para medir las variables fisiológicas, que presentaron densidades baja, media y alta para analizar la respuesta fisiológica de los árboles ante las diferentes densidades. La Tabla (5) presenta los índices de competencia de los árboles de las plantaciones de cedro, indicando cada una de sus densidades de índice de Reineke y donde se realizó la toma lumínica para cada parcela por plantación.

Tabla 5. Supervivencia e Índices de densidad en tres plantaciones de cedro.

Plantación	Supervivencia (%)	Índice de Hart	Índice de Reineke	Densidad	Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )
"27-028" Comalcalco	83	35.77	287	baja	12.18
"27-022" Huimanguillo	84	26.28	378	media	16.89
"27-050" Cunduacán	94	24.12	425	alta	18.61

En la (Tabla 6) se presenta el porcentaje de luz interceptada en las tres plantaciones.

La plantación "27-050" presentó un promedio de RFA transmitida de 30.3% y un índice de Reineke de 425 por lo cual recibe una menor RFA transmitida debido a que hay mayor cobertura de árboles por lo tanto recibe menos luz, el espaciamiento de los árboles refleja las copas más juntas por lo que hace que la interceptación de luz sea menos visible hacia el dosel. La plantación "27-022" presentó un promedio de RFA transmitida e 50.3% y un índice de Reineke de 379. La plantación menos densa fue la "27-028" que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287.

Tabla 6. Intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en plantaciones de cedro.

Plantación	Densidad (Reineke)	% RFA transmitida	Promedio de luz interceptada ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
Cunduacán "27-050"	672	30.3	1275
Huimanguillo "27-022"	521	50.3	1040
Comalcalco "27-028"	555	73.3	1230

En la Tabla (7), se presenta el análisis de varianza resultando el modelo general con diferencia altamente significativa con una  $p \leq 0.0001$ , excepto para la variable eficiencia en el uso del agua (EUA). Al analizar los resultados por sitios se presentó un efecto altamente significativo en la tasa de transpiración (E). La interacción de sitio por estrato fue significativa solo para la tasa fotosintética (A) y para la conductancia estomática (gs), esto quiere decir que la tasa de fotosíntesis (A) varía según el sitio y el estrato dentro del árbol.

Tabla 7. Análisis de varianza para la tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática, eficiencia en el uso del agua y radiación fotosintéticamente activa en tres sitios de estudio y tres estratos en el dosel del árbol de cedro (*Cedrela odorata* L.).

Fuente de variación	G.L Model o	Tasa fotosintética ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Tasa de transpiración ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	EUA	PAR
Sitio	2	0.0035**	$\leq 0.0001$ ***	0.0044**	0.1240	0.1722
Rept	3	0.7833	0.0362	0.5628	0.6577	0.0443
Sitio*rept	6	0.4897	0.0432	0.0108	0.5835	0.8382
Estrato	1	0.0016	0.2327	0.5574	0.0274	0.1904
Sitio*estrato	2	0.0045**	0.7096	0.9698	0.0123	0.1701
Estrato*rept (sitio)	18	0.7336	0.0010	0.8820	0.7892	0.1051
Hora	13	0.0009	0.0187	$\leq 0.0001$ ***	0.7229	0.0014
Sitio*hora	11	0.0120	0.0508	0.0062	0.2613	0.0320
R <sup>2</sup>		0.699	0.786	0.791	0.450	0.737
Media		0.494	1.309	0.059	3.535	238.791
Error estándar		6.757	0.686	0.038	34.522	241.483

\*\*\* $p \leq 0.0001$  y \*\* $p \leq 0.001$

En la Tabla (8) se puede observar que no existieron diferencias significativas en la biomasa aérea, área foliar total, área foliar específica y peso específico de la hoja entre plantaciones. La plantación "27-022" presenta una altura dominante de 17.2 m con un

área basal de  $17.46 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  por lo que indica que en esta plantación se encuentran árboles muy altos y muy gruesos, presenta un volumen de  $0.265 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ , mientras que en la plantación “27-028” se presenta menor altura dominante de 12.3 m, siendo el área basal de  $14.33 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  con volumen de  $0.161 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ . La plantación “27-050” presentó una altura dominante de 14.5 m, con un área basal de  $10.26 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  con volúmenes de  $0.092 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ .

Tabla 8. Biomasa y área foliar de los árboles de las plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.).

Plantación	Altura dominante (m)	Área basal ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ )	Volumen ( $\text{m}^3 \cdot \text{árbol}^{-1}$ )	Biomasa foliar (kg)	Área foliar total ( $\text{cm}^2$ )	Área foliar específica ( $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Peso específico de la hoja ( $\text{gcm}^{-2}$ )
Huimanguillo “27-022”	17.2	17.46	0.265	843.4	1967	0.50	1.993
Comalcalco “27-028”	12.3	14.33	0.161	1306.7	1727	0.67	1.486
Cunduacán “27-050”	14.5	10.26	0.092	852.5	4574	1.80	0.553

La Tabla (9), presenta las medias y desviación estándar para las diferentes variables por plantación en diferentes estratos del árbol. La plantación “27-022” con densidades de  $510 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$  presentó la mayor radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el estrato superior por lo que está relacionado a las altas tasas fotosintéticas (A) como también altas tasas de transpiración (E) y conductancia estomática (gs). El estrato medio es el que recibe menor (PAR). La plantación “27-028” con densidades de  $544 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$  presentó una (PAR) para el estrato superior fue mayor por lo que se relaciona con la alta tasa fotosintética al igual para las siguientes variables siendo el estrato medio el que recibe poca radiación (PAR). Para la plantación “27-050” con densidades de  $672 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$  no se presenta la (PAR) ya que por cuestiones de logísticas no fue posible la medición de dichas lecturas por ser la primera parcela de muestreo. Se presentan tasas fotosintéticas negativas, ya que en la plantación más densa las copas

de los árboles se juntaban, por lo que no permitía la entrada de luz. Según Robinson y Lasko, (1991) la cantidad de luz que intercepta un árbol es afectada por la densidad de plantación, el tamaño y forma de la copa del árbol.

Tabla 9. Medias y desviaciones estándar de la tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática y PAR a nivel del dosel en plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.).

Plantación (densidad)	Estrato del árbol	Tasa fotosintética ( $\mu\text{moles CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Tasa de transpiración ( $\mu\text{moles H}_2\text{O} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	PAR ( $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Plantación "27-022" 510 arb·ha <sup>-1</sup>	Superior	10.22 ± 9.73	0.69 ± 0.09	0.04 ± 0.02	469 ± 388
	Medio	2.97 ± 6.58	0.54 ± 0.23	0.02 ± 0.01	42 ± 15
	Inferior	-1.01 ± 1.85	0.58 ± 0.15	0.03 ± 0.01	113 ± 118
Plantación "27-028" 544 arb·ha <sup>-1</sup>	Superior	6.22 ± 8.51	2.73 ± 0.52	0.07 ± 0.05	589 ± 276
	Medio	-0.60 ± 3.74	1.81 ± 0.29	0.05 ± 0.02	97 ± 41
	Inferior	0.15 ± 3.15	1.95 ± 0.44	0.05 ± 0.13	120 ± 23
Plantación "27-050" 672 arb·ha <sup>-1</sup>	Superior	-5.73 ± 0.17	0.68 ± 0.005	0.05 ± 0.014	
	Medio	-5.25 ± 0.031	0.65 ± 0.012	0.05 ± 0.003	
	Inferior	-5.00 ± 0.117	1.64 ± 2.74	0.04 ± 0.006	

Se detectaron diferencias ( $P \leq 0.0035$ ) en la tasa fotosintética (A), tasa de transpiración (E) ( $P \leq 0.0001$ ) y conductancia estomática (gs) ( $P \leq 0.0044$ ), La PAR no presentó diferencias en estas plantaciones. Cabe señalar que la plantación "27-050" ubicado en Cunduacán no se cuenta con los datos por cuestiones logística no fue posible la medición de dichas lecturas por ser la primera parcela de muestreo (Tabla 10).

Tabla 10. Promedios de tasa fotosintética, tasa de transpiración, conductancia estomática, eficiencia del uso de agua y PAR por sitios en árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.).

Plantación	Tasa fotosintética ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Tasa de transpiración ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Eficiencia en el uso del agua	PAR ( $\mu\text{moles fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
Comalcalco "27-028"	2.977 a	2.137 a	0.059 b	3.225 ab	265.94 a
Huimanguillo "27-022"	3.062 a	0.609 c	0.032 c	13.108 a	210.49 a
Cunduacán "27-050"	-6.631 b	1.082 b	0.097 a	-9.250 b	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $p < 0.05$  (Student-Newman-Keuls).

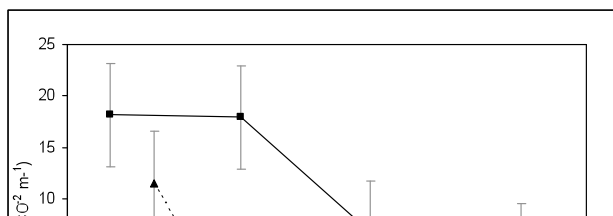
No presentaron diferencias las tasas fotosintética (A), conductancia estomática (gs) y eficiencia en el uso del agua (EUA), sin embargo la tasa de transpiración (E) y la PAR presentaron diferencias significativas entre estratos del árbol Tabla (11).

Tabla 11. Tasa fotosintética, transpiración, conductancia estomática, eficiencia del uso de agua y PAR por estratos en árboles de cedro (*Cedrela odorata* L.).

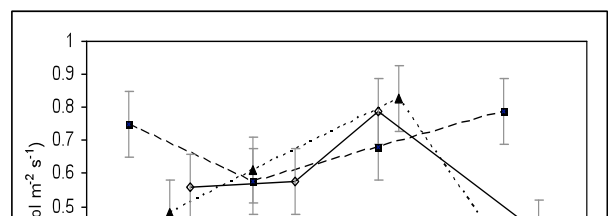
Estratos del árbol	Tasa fotosintética ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Tasa de transpiración ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Eficiencia en el uso del agua	PAR
Superior	1.500 a	1.489 a	0.070 a	3.904 a	351 a
Medio	1.661 a	1.087 b	0.055 a	8.626 a	294 a
Inferior	-1.780 a	1.352 ab	0.051 a	-2.183 a	70 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes  $p < 0.05$  (Student-Newman-Keuls).

La Figura (2) presenta la respuesta fotosintética del cedro en diferentes estratos del dosel del árbol en la plantación "27-022". El incremento en RFAi de 103 a 1015  $\mu\text{mol}$  (fotones)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) durante las horas de la mañana afectó en forma diferente la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  para esta especie en la cual se registraron tasas máximas de fotosíntesis de (17 a 18  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) respectivamente para el estrato superior. Horas más tarde se observó una disminución de RFAi de 34 a 61  $\mu\text{mol}$  (fotones)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) para el estrato medio registrando tasa máxima de fotosíntesis de (4 a 11  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Para el estrato inferior se presentó una disminución de RFAi de 110 a 281  $\mu\text{mol}$  (fotones)  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en la cual estuvo asociado fuertemente a una baja tasa de fotosíntesis de (-0.71 a -3.19  $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). La mayor tasa de fotosíntesis fue en el estrato superior y estuvo relacionada directamente con altos promedios de la conductancia estomática de (0.023 a 0.069  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) y altas tasas de transpiración de (0.576 a 0.789  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) por lo que en el transcurso del día cierra más rápidamente sus estomas.



36





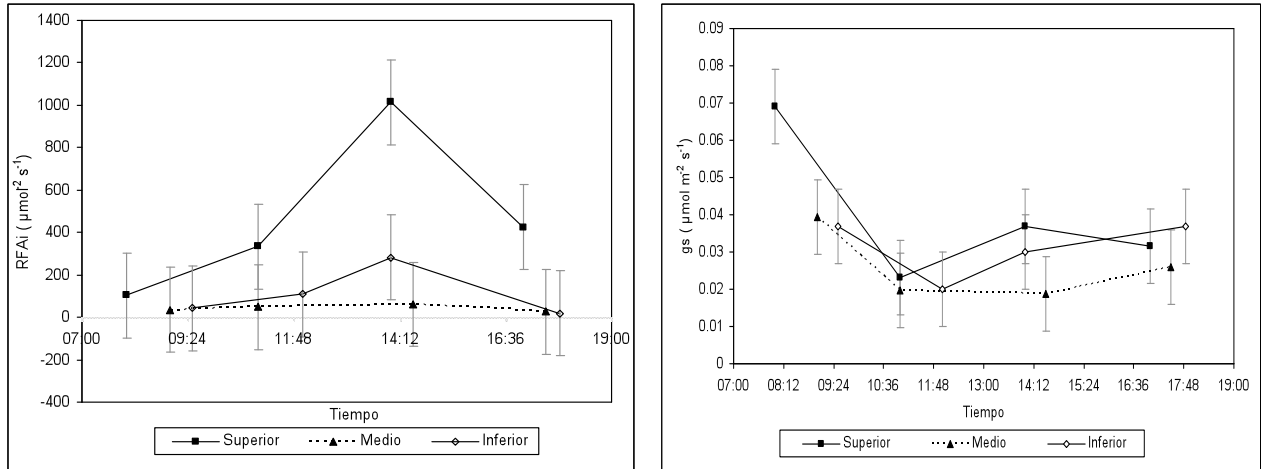


Figura 2. Variación diaria de la tasa de fotosíntesis (A), tasa de transpiración (E), radiación fotosintéticamente activa (RFAi) y la conductancia estomática (gs) en la plantación de *Cedrela odorata* L. ubicada en la plantación “27-022” del municipio de Huimanguillo, Tabasco. Los datos fueron tomados el 18 de julio del 2007.

La Figura (3) presenta la respuesta fotosintética del cedro en la plantación “27-028” en diferentes estratos del dosel del árbol. La disminución de la radiación fotosintéticamente activa incidente de 100 a 150  $\mu\text{mol (fotones) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) durante las horas de la mañana afectó en forma diferente la asimilación neta de  $\text{CO}_2$  para esta especie en la cual se registraron tasas mínimas de fotosíntesis de 1.64 a  $-2.73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente para el estrato superior. Horas más tarde para el estrato medio se observó una disminución de la radiación fotosintéticamente activa incidente de 41 a 140  $\mu\text{mol (fotones) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) registrando tasas máximas de fotosíntesis de  $(-2.01$  a  $18.17 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1})$ . Para el estrato inferior se presentó un incremento de la radiación fotosintéticamente activa incidente de 337 a 874  $\mu\text{mol (fotones) m}^{-2} \text{s}^{-1}$  lo cual estuvo fuertemente asociado a una baja tasa de fotosíntesis de  $(-1.9$  a  $3.38 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1})$ .

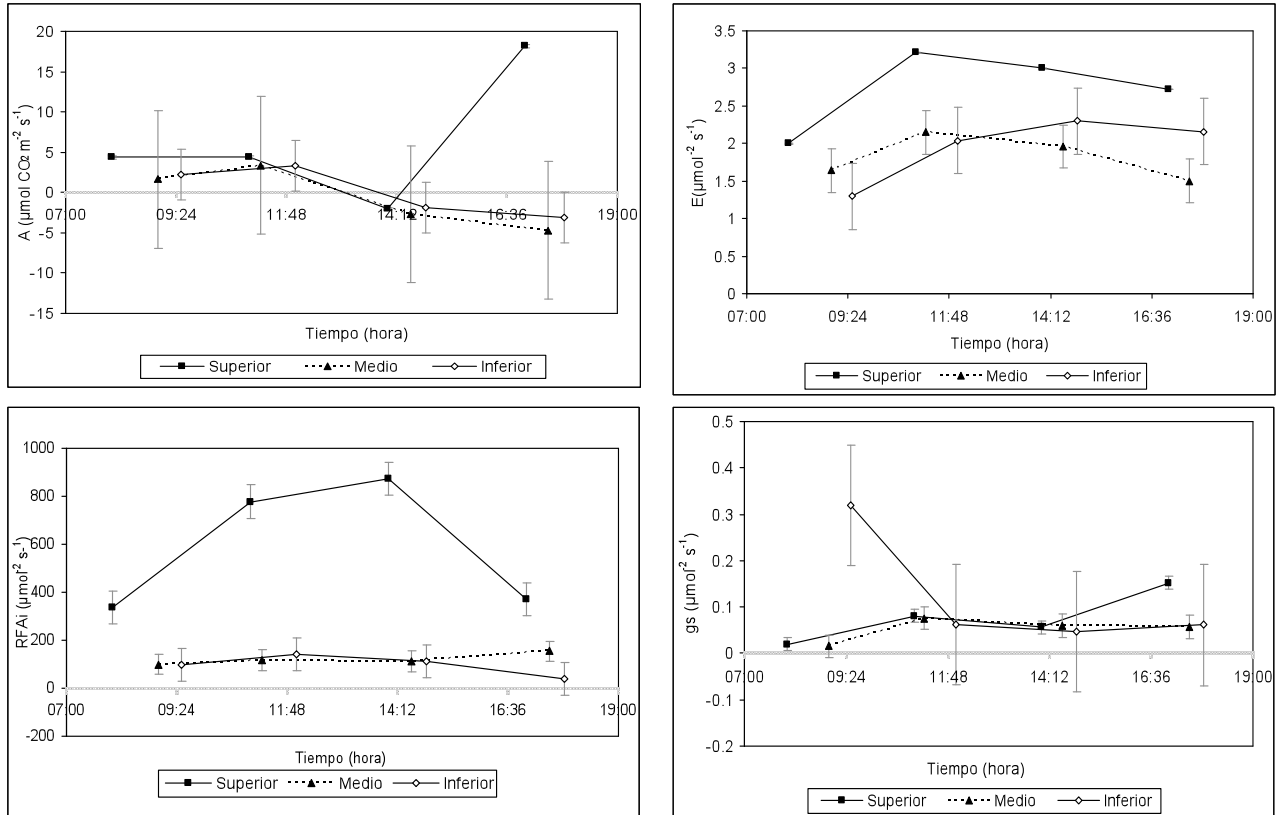


Figura 3. Variación diaria de la tasa de fotosíntesis (A), Tasa de transpiración (E), radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) y conductancia estomática (gs) en la plantación de *Cedrela odorata* L. “27-028” del municipio de Comalcalco, Tabasco. Los datos fueron tomados el 22 de junio del 2007.

La Figura (4) presenta la respuesta fotosintética del cedro en la plantación “27-050” en diferentes estratos del dosel. En el estrato superior, se registraron tasas de fotosíntesis negativas de (-4.57 a -5.26  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) se observaron valores de tasa de transpiración de (0.499 a 1.354  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y la conductancia estomática de (0.042 a 0.210  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); en el estrato medio se registraron tasas de fotosíntesis negativas de -4.74 a -8.7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , tasa de transpiración de (0.296 a 1.192  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); la conductancia estomática presentó valores de 0.029 a 0.191  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y para el estrato inferior se registraron valores de tasas de fotosíntesis de -5.55 a -10.46  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para la tasa de transpiración (0.599 a 1.283  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y para la conductancia estomática 0.033 a 0.2  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , no se presentaron resultados en la

radiación fotosintéticamente activa incidente (RFAi) para ninguno de los estratos por cuestiones logísticas.

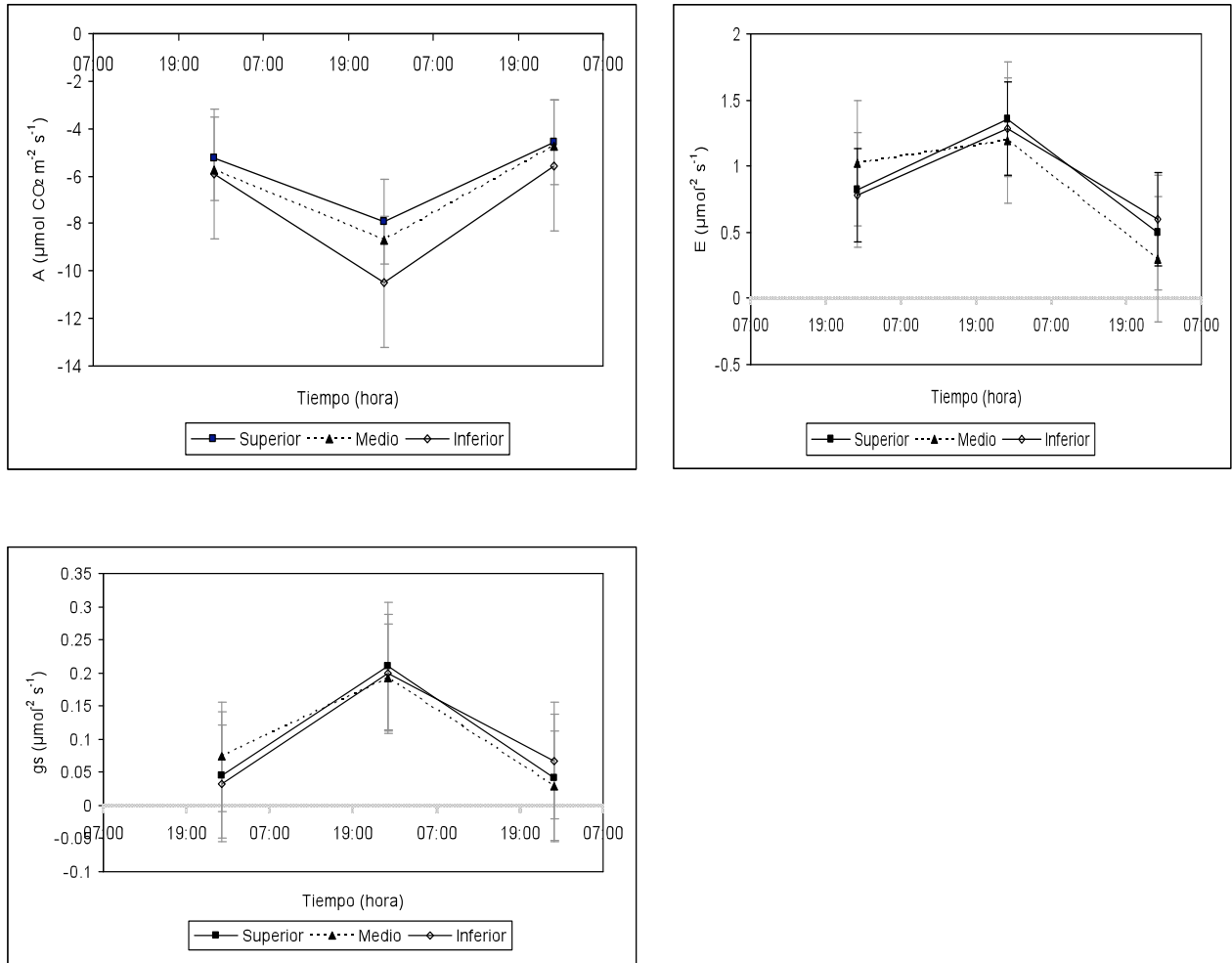


Figura 4. Variación diaria de la tasa de fotosíntesis (A), Tasa de transpiración (E) y conductancia estomática (gs) en la plantación de *Cedrela odorata* L. “27-050” del municipio de Cunduacán, Tabasco. Los datos se tomaron el 20 de junio del 2007.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cedro, el crecimiento máximo en diámetro fue de 33.8 cm, con altura total de 21.7 m, y volumen máximo de  $1.09 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ , comparado a los que reporta Betancourt (1987), para la misma especie en Surinam, el óptimo crecimiento en plantaciones se obtuvo cuando los árboles tuvieron entre 15 cm

y 35 cm de diámetro, este autor opina que es razonable no prolongar el turno más allá de 45 cm de diámetro, que se alcanza aproximadamente, a los 40 años; el volumen comercial a esa edad fue de  $1.8 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ , con fuste comercial de 15 m y en plantaciones de enriquecimiento se estima que llegarán al turno final entre 100 y  $150 \text{ arb} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

La densidad de la plantación influye fuertemente en el crecimiento de los árboles tropicales, dado que los árboles requieren de mucho espacio e iluminación directa para tener un crecimiento rápido (Dawkins, 1961a); por lo tanto, a medida que el área basal del rodal aumenta, el crecimiento diamétrico de los árboles disminuye al ocupar mayor espacio cada árbol (Wadsworth, 2000). Así, Galván (2003) sostiene que los árboles del bosque húmedo tropical no toleran más de 18 a  $23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  sin sobreposición de copas; en tanto que Foli *et al.* (2003) consideran que árboles de 60 cm de DAP requerirán de  $90 \text{ m}^2$  de espacio de crecimiento, con un diámetro de copa aproximado de 10 m, para una densidad de 107 fustes por ha.

Por otra parte los resultados del índice de Reineke para el cedro en Tabasco el valor máximo fue 588 valores superiores a los que fueron reportados por Rebottaro *et al.*, (2007) que hallaron valores máximos de IDR de 1333 para *Pinus caribaea var. caribaea* y 1850 para *Pinus caribaea var. hondurensis*, Esto indica que la variedad *hondurensis* puede crecer con mayores niveles de densidad, y que por lo tanto el rango óptimo del manejo debería ser diferente entre las dos variedades. Del análisis de la información surgió que el manejo con fines productivos debería realizarse dentro de valores de IDR de 470-800 para *Pinus caribaea var. caribaea*, y de 650-1100 para *Pinus caribaea var. hondurensis*. En aquellos sistemas productivos cuyo principal objetivo es obtener árboles de gran diámetro (priorizando el crecimiento individual), el manejo se debe

realizar ubicando a las poblaciones en los niveles menores del rango; si el objetivo es obtener alto volumen de madera en poco tiempo las poblaciones serán manejadas dentro de los valores más altos del rango propuesto.

El cedro puede ser muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo, sin embargo, puede crecer en diferentes ambientes. En las Indias Occidentales se le puede encontrar de manera más común en las arcillas derivadas de piedra caliza (Ramírez, 1964), pero crece también en los sitios bien drenados sobre suelos ácidos derivados de rocas volcánicas (Ultisoles). En México y América Central, el cedro es común en los suelos bien drenados (Raunio, 1973). La fertilidad del suelo puede ser también importante, ya que en algunas investigaciones se ha encontrado que el cedro crece de mejor manera en los suelos enriquecidos con los restos quemados del bosque secundario (Vega, 1974). Flores (1990) indica que los suelos de mayor fertilidad permiten un mejor crecimiento de los individuos, como en el caso de las arcillas calcáreas y los depósitos aluviales recientes en Perú. Galván (1996), menciona que el cedro crece en suelos de tipo cambisol y cicrosol, y según Galván (2003), en suelos con pH neutro o ligeramente alcalino son los más favorables. Por otro lado, CONIF (2003) afirma que el pH del suelo para el cedro deberá estar entre 5 y 7, con buena disponibilidad tanto de elementos mayores, especialmente, fósforo, potasio y calcio como de bases intercambiables.

La densidad aparente tiene un efecto marcado en el desarrollo radical de las especies en crecimiento, afectando directamente la disponibilidad de agua y nutrimentos. Es decir, aquellos suelos con una densidad aparente mayor de  $1.8 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  son suelos fuertemente compactados actúan como una barrera física que impide el crecimiento de

las raíces, la compactación en sí puede ser producto de un manejo inadecuado de los suelos (Mello, 1994).

Las densidades aparentes obtenidas en los suelos de cada una de las tres plantaciones estudiadas se encuentran dentro de los límites iniciales de las densidades que pueden afectar el crecimiento radicular con base en la guía para determinar la salud del suelo (USDA, 2000). SEDAFOP (2007) menciona que los suelos con textura arcillosa, profundos, con buen drenaje y un pH alcalino son los requerimientos para obtener con éxito una plantación de cedro. En este estudio presentaron un pH ácidos con textura que varió de arcillosa, migajón arcilloso y migajón arcilloso-arenoso.

La plantación menos densa fue la “27-028” del municipio de Comalcalco, que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287, estos árboles están distribuidos a una distancia de 3.5 x 6 m que hace que el RFA incidente sea de  $1230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , Según Robinson *et al.*, 1991 menciona que la cantidad de luz que intercepta un árbol es afectada por la densidad de plantación, el tamaño y forma de la copa del árbol.

El manejo de plantaciones es complejo debido al control del régimen de luz que requieren algunas especies tropicales, ya que los árboles adyacentes a la faja cierran el dosel a una cierta altura (Montagnini *et al.*, 1997; Appanah *et al.*, 2000); esto explica el crecimiento inferior de árboles con posiciones de copa baja, como el caso de *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea*, comparado con el crecimiento superior de árboles cuya copa es alta. En las dos plantaciones evaluadas la entrada de luz fue mayor en la parte superior del dosel. Resultados reportados para el cedro *C. odorata* L. en Oaxaca, México, mencionan que el crecimiento en diámetro de los árboles de cedro

con posición de copa alta fue mayor que en los árboles con posición de copa baja (Galan, 2007); Lo anterior puede explicarse en términos de lo sugerido por Pennington *et al.*, (1981) y confirmado por Ricker *et al.*, (2000), quienes señalan que el cedro es una especie fuertemente demandante de luz solar. La luz es el principal factor que limita el crecimiento en los árboles tropicales (Chazdon *et al.*, 1996) y las especies difieren en sus respuestas a niveles altos de luz, así como su capacidad de soportar periodos con baja disponibilidad de la misma. Estas diferencias interespecíficas en cuanto a requerimientos de luz han sido frecuentemente utilizadas para explicar la gran diversidad de especies en bosques tropicales (Canham, 1989).

También la caoba *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae) y el ramón *Brosimum alicastrum* Swartz (Moraceae), han sido catalogadas como especies fuertemente demandantes de luz creciendo en áreas con un bosque secundario de 10 años de edad en el Estado de Veracruz, México (Ramos y Del Amo, 1992).

La variabilidad en tasas de incremento de las especies es una característica común de las selvas, donde factores como calidad de sitio, ontogenia del árbol y competencia por espacio y luz originan una estructura irregular en dimensiones y edades (Clark y Clark, 1999).

Jones y Mcleod (1990), determinaron la fotosíntesis neta y la conductancia estomática en *Sapium sebiferum* L. Roxb. y *Fraxinus caroliniana* Mill., en tres estratos de la copa con una intensidad de luz total del 53%. Se encontró que ambas especies presentaron diferencias de fotosíntesis neta dentro del dosel. En *S. sebiferum*, la fotosíntesis neta y la conductancia estomática disminuyeron significativamente de la parte alta a la parte baja de la planta; los valores promedio en fotosíntesis neta fueron de 9.9 a 2.7  $\mu\text{mol}$

$\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y la conductancia estomática fue de 0.24 a  $0.05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En *F. caroliniana*, las hojas intermedias de la copa tenían el valor más alto de fotosíntesis neta ( $11.3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y conductancia estomática ( $0.40 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), en comparación con las hojas de la parte alta y baja de la copa de la planta. *S. sebiferum* mostró el valor más bajo de conductancia estomática ( $0.12 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), sugiriendo que esta especie tiene una alta eficiencia en el uso del agua.

Como conclusión se analizaron 22 plantaciones de cedro con edades de 3 a 15 años localizadas en los municipios de Balancán, Cárdenas, Centro, Comalcalco, Cunduacán, Huimanguillo, Nacajuca, Tacotalpa y Teapa.

Muchos de los silvicultores no aplican un manejo silvícola que les permita obtener rendimientos redituables, además se han limitado a las labores de limpieza, a la fertilización y otros tratamientos silvícolas como la aplicación de aclareos.

La caracterización dasométrica de las plantaciones de Cedro en Tabasco presenta árboles promedio de 15 años reflejando un diámetro máximo de 33.8 cm, con alturas total de 21.7 m, llegando alcanzar un área basal máxima de  $0.096 \text{ m}^2$ , con un volumen máximo de  $1.099 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ .

Los sitios estudiados presentaron suelos moderadamente ácidos, siendo la plantación “27-022” en Huimanguillo la que presentó alturas dominantes de 17.2 m con un área basal máxima de  $17.46 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , esta plantación presentó árboles muy altos y muy gruesos y por lo tanto un volumen de  $0.265 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$ . Esta plantación resultó muy pobre en materia orgánica y nitrógeno y un alto valor en la densidad aparente de  $1.77 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  que indica que las raíces tienen dificultades para elongarse y penetrar hasta donde encuentren agua y nutrientes por lo cual el desarrollo y crecimiento de los árboles es



impedido o retardado consistentemente, pero esta plantación fue la única que dispuso de un sistema de riego por goteo desde su inicio, lo que podría explicar los árboles más altos.

De las tres plantaciones estudiadas la menos densa fue la “27-028” del municipio de Comalcalco, que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287, estos árboles están distribuidos a una distancia de 3.5 x 6 m que hace que el RFA incidente sea de  $1230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

La radiación fotosintéticamente activa incidente fue mayor en el estrato superior por lo que esta relacionado a las altas tasas fotosintéticas, altas tasas de transpiración y conductancia estomática, siendo el estrato medio el que recibe menor radiación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue realizada con el apoyo financiero de la Fundación Produce Tabasco, “Diagnóstico del estado silvícola y desarrollo de un plan de aclareos en plantaciones de cedro y caoba en Tabasco”.

## **REFERENCIAS**

Appanah, S., B. Krishnapillay, and M. Dahlan. 2000. Sustainable production of forest products in the humid tropics of Southeast Asia: latest developments. XXI. IUFRO. World Congress. Kuala Lumpur, Malasia. 1: 201–210.

Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press, Osford. 506 p. [www.itcr.ac.cr/revistakuru/antiores/antior2/pdf/articulo%204.pdf](http://www.itcr.ac.cr/revistakuru/antiores/antior2/pdf/articulo%204.pdf). Fecha acceso 12 Agosto 2007.

- Betancourt, B.A. 1987. Silvicultura especial de árboles maderables tropicales. Editorial científico –técnica. La Habana Cuba. 427 p.
- Canham, C. D. 1989. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology* 70:548-550.
- Cavazos, T. y O. Rodríguez. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Trillas. México, D.F. 99 p.
- Clark, D.A. y D.B. Clark. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: Issues for forest modeling and management. *Ecological Applications* 9:981 – 997.
- Coetzee, J. 1991. The influence of stand density on the yield of *Eucalyptus grandis*: a comparison between a good site and a poor site at age 4 years. IUFRO Symposium. Intensive Forestry. The role of *Eucalyptus*. Durban, South Africa, 2-6 de septiembre. 2:901-916.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). 2003. Cedro. latifoliadas zona baja. Santiago, Chile. 2: 23-35.  
[www.rlc.fao.org/es/comisiones/coflac/20002/pdf](http://www.rlc.fao.org/es/comisiones/coflac/20002/pdf). Fecha de acceso: 19 de noviembre de 2008
- Chazdon, R. L., R. W. Pearcy. D. W. Lee, and N. Fetcher. 1996. Photosynthetic responses of tropical forest plants to contrasting light environment. *In*: Mulkey S. S. Chazdon R. L., Smith, A.P. (Eds.) Tropical plant forest ecophysiology. Chapman y Hall. New York. pp:54-55.
- Daniel W.T., Helms, A.J., y Backer, S.F. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición. McGraw-Hill.. México. 492 p.

- Dawkins, H.C. 1961. Estimating total volumes of some Caribbean trees. *Caribbean Forester* 22(3- 4):62-63.
- Durlo, D.M. y L. Denardi. 1998. Morfometría de *Cabralea canjerana*, em mata Secundaria nativa do Rió Grande do Sul. *Revista Ciência Florestal* 1(8): 55-66.
- FMIAFAC (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A.C.). 2005. Plan de Negocios para el cultivo de las especies forestales comerciales de Caoba (*Swietenia macrophylla* K.) y Cedro (*Cedrela odorata* L.). Noviembre del 2005. [http://www.aneuaaan.org.mx/planesdenegocios/reporte\\_cultivos.pdf](http://www.aneuaaan.org.mx/planesdenegocios/reporte_cultivos.pdf).
- Foli, E.G., D. Alder, H.G. Miller, and M.D. Swaine. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management* 173(1-3):79-88.
- Galán L., R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuals en el Sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Especialidad Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Texcoco, México. 93 p.
- Galván G., O.F.J. 2003. Efecto de la iluminación de la copa sobre el crecimiento de *Pentaclethra maculosa* y *Goethalsia meiantha* e implicaciones para la silvicultura de los bosques tropicales húmedos. Tesis de Maestría. Turrialba, Costa Rica. 79 p.
- Galván O. 1996. Análisis comparativo del crecimiento de *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Anburana cearensis* en fajas de enriquecimiento y viales de extracción. Tesis para optar el título de ingeniero forestal. UNALM-Perú. 96 p.

- García C., X. 1998. Predicción del rendimiento de *Swietenia macrophylla* King (CAOBA) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo de México. 114 p.
- González M., J. 2001. Introducción a la selvicultura general. Universidad de León. Escuela Superior y Técnica de Ingeniería Agraria. España. 271 p.
- INEGI, 2007. Anuario Estadístico del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática. México. 574 p.
- Johansson, T. 1996. Estimation of canopy density and irradiance in 20-to 40-year-old birch stands (*Betula pubescens* Ehrh. And *pendula* Roth). *Trees* 10: 223-230.
- Jones, R.H. y Mcleod, K.W. 1990. Growth and photosynthetic responses to a range of light environments in Chinese tallowtree and Carolina ash seedlings. *Plant physiology and biochemistry* 36(4) 851-862.
- Martínez R., R., A.R.Hilda, J.L. De la O, V.M. Centina A. y M.A. Gutiérrez E. 2006. Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. *RaHimhai* 2(3): 815-846.
- Mello De Freitas, V. 1994. Relacao entre a reserva mineral de Solos e a producto e nutrientes en Povoamentos de *Eucalytus saligna* smith. No Río Grande do Sul. Tesis master scientiae. Universidade federal de Vicoso, M.G. Brasil. 137 p.
- Montagnini, F., B. Eibl, L. Grance, D. Maiocco, and D. Nozzi. 1997. Enrichment planting in overexploited subtropical forests of the paranaense region of Misiones, Argentina. *Forest Ecology and Management* 99:237-246.
- Montagnini, 2000. Optimizing seedling management: *Pouteria sapota*, *Diospyros digyna*, and *Cedrela odorata* in Mexican rainforest. *Forest Ecology and Management* 139:63-77.

- Montoya O., J.M. y G.M Mesón. 2004. Selvicultura Tomo1. Edición Fundación Conde del Valle de Salazar, Mundi-Prensa. Madrid, España. 566 p.
- Núñez S., J. 2000. Fundamentos de edafología. 2<sup>da</sup> ed. EUNED. San José, Costa Rica. 188 p.
- Pennington, T. D., B. T. Styles and D. A. H. Taylor 1981. Meliaceae (Flora neotropica, Monograph). The New York Botanical Garden, Bronx, New York, USA. 470 p.
- Pontón, T.R. 2006. Bolsa de comercio de rosario. 46 p. (23 de junio del 2006) [www.bcr.com.ar/downloads/Toma%20de%20Muestras%20de%20Suelo.pdf](http://www.bcr.com.ar/downloads/Toma%20de%20Muestras%20de%20Suelo.pdf). Fecha de acceso: 28 de julio de 2007.
- Raunio, A-L. 1973. *Cedrela* spp. international provenance trial planted in 1971 at Longuza, Tanga region, Tanzania. En: Burley, J.; Nikles, D.G., eds. Tropical provenance and progeny research and international cooperation. Oxford, UK: Commonwealth Forestry Institute. pp: 262-265.
- Ramírez S., J. 1964. Investigación preliminar sobre biología ecología y control de *Hypsipyla grandella* Zeller. Bol. 16. Mérida, Venezuela: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. [s.p.].
- Ramos J., M., S. del Amo. 1992. Enrichment planting in a tropical secondary forest in Veracruz, México. *Forest Ecology and Management* 54: 289-304.
- Rebottaro, S., D. Cabrelli y G.H. Echeverria. 2007. Diferencias en el manejo de la densidad entre *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. XXII Jornadas forestales de entre ríos. 7 p [www.inta.gov.ar/concordia/info/forestales/contenido/pdf/2007/posters07/333.14.REBOTTARO.pdf](http://www.inta.gov.ar/concordia/info/forestales/contenido/pdf/2007/posters07/333.14.REBOTTARO.pdf). Fecha acceso: 3 octubre 2008.

- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. *Journal Agric. Res.* 46(7):627-637.
- Ricker, M., C. Siebe, S. B. Sánchez, K. Shimada, B. C. Larson, M. Martínez-Ramos, F. Robinson, T. and A. Lakso. 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(2):118-192.
- Salgado-García S., D. J. Palma-López, L.C. Lagunes-Espinoza y M. Castelán-Estrada. 2006. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. Colegio de Posgraduados-Campus Tabasco, ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 90 p.
- SAS. 2003. User's Guide, versión 9.1.3. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA.
- SEDAFOP-SAGARPA. 2006. Memoria de labores del campo tabasqueño 2002-2006. Capitulo 7: Desarrollo Forestal Gobierno del Estado de Tabasco. pp: 179-202. [http://www.Sedafop.gob.mx/noticias/memorias\\_tabasco](http://www.Sedafop.gob.mx/noticias/memorias_tabasco).
- SEDAFOP. 2007. Metodología para la determinación de la aptitud de los suelos de Tabasco para cedro (*Cedrela odorata* L.) utilizando un SIG. (16 abril 2007). [www.oeidrus.gob.mx/banners/estudios\\_realizados.htm](http://www.oeidrus.gob.mx/banners/estudios_realizados.htm). Fecha acceso: 17 noviembre 2008.
- SFFS. (Subsecretaria Forestal y de Fauna Silvestre (México)). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico. Memoria Nacional. México, D.F. 81 p.
- USDA. 2000. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. 82 p. [www.soils.usda.gov/sqi/assessment/files/kitsspanish.pdf](http://www.soils.usda.gov/sqi/assessment/files/kitsspanish.pdf). Fecha acceso: 13 noviembre 2008.

Vega, L. 1974. Influencia de la silvicultura sobre el comportamiento de *Cedrela* en Surinam. Bol. 46-48.: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela. [s.p.].

Wadsworth, F.H. 2000. Producción forestal para América tropical. (Manual de Agricultura 710-S). Washington, USA, 603 p.

**Nota:** La lista de referencias bibliográficas se adecuó a la revista madera y bosques.

## **CAPÍTULO IV:**

### **CALIDADES DE SITIO Y TABLAS DE PRODUCCIÓN EN PLANTACIONES *Cedrela odorata* L. EN EL TRÓPICO HÚMEDO**

Artículo por publicar en la Revista Madera y Bosques

### **CALIDADES DE SITIO Y TABLAS DE PRODUCCIÓN EN PLANTACIONES *Cedrela odorata* L. EN EL TRÓPICO HÚMEDO**

### **SITE INDEX AND PRODUCTION TABLES IN PLANTATIONS OF *Cedrela odorata* L. IN THE HUMID TROPIC**

### **RESUMEN**



Se determinaron los sistemas de aclareo en plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en 22 plantaciones del trópico húmedo en Tabasco, México, teniendo como objetivo determinar el índice de sitio para definir el tratamiento silvícola de aclareo que los productores de árboles podrían aplicar en las plantaciones de cedro. Las plantaciones presentan una gama de régimen de espesura, desde espaciamientos estrechos (4444 árb·ha<sup>-1</sup>: 2x2 m) hasta amplios (8x8 m) sin ninguna aplicación de aclareos. De los 7 modelos probados el que mejor bondad de ajuste y eficiencia con base en los estadísticos, cuadrado medio del error, ( $R^2$  ajustada), análisis de residuales y que representa más fielmente el diagrama de dispersión de los datos observados, es el de Gompertz. Se definieron tres curvas de índices de sitio siendo 11 m para la calidad baja, 15 m para la calidad media y 19 m para la calidad alta. Para cada calidad se recomiendan 3-4 aclareos con sus calendarios e intensidades, y se dan los turnos mínimos aplicables y las producciones esperadas: 26 años para la calidad baja y 146 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> en la corta final, 17 años de turno y 197 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de volumen de corta final para la intermedia y 12 años de turno y 210.6 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> de volumen de corta final para la más alta.

**Palabras claves:** Índice de sitio, régimen de espesura, manejo forestal

### ABSTRACT

Thinning systems of cedar (*Cedrela odorata* L.) were identified on 22 plantations in the humid tropics of Tabasco, Mexico, The purpose of the investigation was to determine the site index in order to define the treatment of forest thinning. Plantations have a range of stocking levels, from close spacing (4444 trees/ha<sup>-1</sup>: 2x2 m) to wide spacing (8x8 m) without any application of thinning. Of the 7 models, the best in fit and

efficiency, based on the statistical mean square error ( $R^2$  adjusted), analysis of waste and which more consistently represents the scatter diagram of the observed data, is the Gompertz. Three curve index sites were identified: 11 m -low quality, 15 m - average quality and 19 m -high quality. For each quality, 3-4 thinnings are recommended with their schedules and intensities. There are shifts and minimum expected production: 26 years for the low quality and  $146 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  in the long run, 17 years wait time and  $197 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  volume of cutting and intermediate for the final 12 years of production and  $210.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  volume for the final cutting of the highest quality.

**Key words:** Site index, yield tables, forest management

## INTRODUCCIÓN

La clave del manejo silvícola es determinar el objetivo de la plantación forestal. Este objetivo dependerá de consideraciones que se hacen en un momento dado, para una producción que se alcanzará 20 a 40 años más tarde y estará muy condicionado por la especie, la calidad del sitio y el producto a generar. Establecido el objetivo, será necesario diseñar un cronograma de intervenciones, determinando cuándo cortar, dónde cortar, cuánto cortar y cómo cortar de acuerdo a un plan de ordenación forestal (Andenmatten y Letaurneau, 1999).

Las cortas de aclareo son operaciones culturales que consisten en remover parte de los árboles de una plantación con la finalidad de dar la oportunidad y condiciones de crecimiento a los que permanecerán en la parcela, para obtener una alta producción de madera de alta calidad (Evans y Joan, 2004). El principal propósito de realizar un aclareo es reducir el número de árboles en la plantación, generando más espacio a los

árboles que permanecen para crecer, y desarrollar copa y raíces (Evans y Joan, 2004). Se considera que pueden reducir el ciclo de corta y elevar la calidad y productividad de las especies comerciales del bosque o de la plantación (Díaz, 1996), favoreciendo que los árboles mantengan tasas altas de crecimiento (Kohyama y Hara, 1989). Existen varios tipos de aclareo: aclareo por lo bajo o ascendente, por lo alto o descendente, selectivo combinado, sistemático y libre (Vázquez, 1999).

Los aclareos buscan mejorar la estructura del rodal, eliminando los individuos con características no deseables que compiten por espacio y nutrientes. Sus efectos son variados: incrementan el volumen por árbol y mejoran la calidad de la madera, se obtiene mayor vigor en los ejemplares beneficiados, que tendrán mayor resistencia a agentes bióticos y abióticos. Los beneficios son múltiples cuando la intervención se realiza correcta y oportunamente pero si el dosel del bosque se abre excesivamente, la calidad de los individuos se altera, principalmente por la proliferación de brotes epicórmicos, presencia de malezas dentro del bosque y daños por vientos al perder estabilidad los árboles remanentes (Smith *et al.*, 1997).

A pesar del gran potencial y utilidad de los aclareos, se han realizado pocos estudios que muestren sus efectos en la mayoría de las áreas forestales donde se aplican. Esta información es necesaria para retroalimentar los programas de manejo forestal, especialmente en las regiones donde estos tratamientos se han aplicado y en algunos casos se desconocen sus efectos en las masas residuales (Lozano y *et al.*, 2005).

El hábitat de un bosque está compuesto por la suma total de los factores bióticos (plantas) y abióticos (suelo, temperatura, precipitación, fisiografía del sitio) que juntos

determinan la capacidad del medio, para proporcionar a los seres vivos su sustento. Para evaluar esa capacidad del hábitat para sustentar a una especie forestal determinada se emplea el índice de sitio, representado por la altura dominante alcanzada por una plantación de la misma edad, a una edad de referencia. Esa capacidad del hábitat define también la capacidad de crecimiento, la facilidad de fructificación y regeneración, la densidad de individuos que puede soportar y la capacidad de enraizamiento de la especie en esa zona (Pritchett, 1986).

Existen pocos estudios de determinación de índices de sitio en plantaciones como el cedro o la caoba en México, entre ellos se puede mencionar el de García *et al.* (2007) realizado en ocho plantaciones de cedro en Quintana Roo, y el de García *et al.* (2007) en Quintana Roo realizado en 15 plantaciones de caoba.

El objetivo de este estudio es determinar el índice de sitio para definir el tratamiento silvícola de aclareo que los productores de árboles deben aplicar en las plantaciones de cedro en Tabasco.

## **METODOLOGÍA**

### **Área de estudio**

El presente trabajo se realizó en el Estado de Tabasco, México; en 22 plantaciones ubicadas en los municipios Balancán, Centro, Cárdenas, Comalcalco, Cunduacán Huimanguillo, Nacajuca, Tacotalpa y Teapa con coordenadas al norte  $18^{\circ} 39'$  de latitud norte, al sur  $17^{\circ} 19'$  de latitud norte; al este  $91^{\circ} 57'$  de longitud oeste, al oeste  $94^{\circ} 08'$  de longitud oeste (INEGI, 2007).

### **Historia silvícola de las plantaciones**

Se obtuvo información correspondiente a la historia silvícola de la plantación de cedro con indicación de los parámetros determinantes de la silvicultura realizada hasta el momento. Para esto, se aplicaron encuestas a los silvicultores o persona responsable del manejo de las plantaciones donde se consideró el objetivo de la plantación, fecha y marco de la plantación, intensidad de deshierbes, tipo de fertilizaciones, tratamientos fitosanitarios, podas, aclareos aplicados hasta el presente y productos obtenidos.

El diagnóstico de las plantaciones de estas especies de madera preciosa que comprenden la red de parcelas permanentes en el Estado, se realizó recorriendo las plantaciones, midiendo los árboles y analizando la información de las encuestas aplicadas a los silvicultores, para determinar la situación en la cual se encuentra cada plantación con respecto a su manejo, así como del análisis de las variables dasométricas.

### **Inventario dasométrico de las plantaciones**

Se analizaron datos de mediciones realizadas en colaboración con la COMESFOR en los años 2003, 2004, 2005 y 2007 de la red de parcelas permanentes que comprende 22 plantaciones de cedro de 9 municipios. En las 22 plantaciones se midieron 77 parcelas permanentes, conformadas cada una por 81 árboles en promedio, haciendo un total de 6237 árboles medidos. En las parcelas se obtuvo la densidad de la plantación y la edad en años; se midió el diámetro a la altura del pecho (*DBH*) con una forcípula y la altura total (*HT*) con una pistola Haga. Se generaron las variables dasométricas de: diámetro medio, diámetro medio cuadrático, altura dominante de la parcela, altura media de los árboles; esbeltez de los árboles, volumen de madera con corteza y supervivencia. Para conocer la competencia a la que están sometidos los

árboles en cada plantación se generaron el área basal, el índice de densidad del rodal de Reineke y el índice de Hart como indicadores de la densidad.

### **Determinación del índice de sitio para cedro**

Para determinar el índice de sitio y las tablas de producción se generaron modelos matemáticos de altura dominante, diámetro medio, diámetro medio cuadrático y volumen por árbol que definen la silvicultura a aplicar en la especie.

Una clasificación de índices de sitio, o de calidad de estación se compone típicamente de un sistema de curvas de altura en función de la edad de la plantación, que representan el comportamiento de la altura dominante para diferentes calidades de estación durante toda la vida del rodal. La familia de curvas anamórficas se determinó ajustando de forma analítica un modelo matemático para obtener una curva guía para todas las observaciones altura dominante – edad.

Se eligió como edad base 10 años, considerando estudios de García *et al.* (2007a y 2007b), Wescom (1979) y Chagoya y Vallejo (2003) en plantaciones de cedro. La edad base se seleccionó en función a dos criterios: estar cercana a la mitad del turno de corta; y estar plenamente dentro del rango de edades medidas. En este caso la edad base cumple con ambos criterios (edades de las mediciones entre 1 y 14 años para cedro y turnos previsibles entre 15 y 25 años para cedro).

Para determinar la altura dominante en cedro se probaron las curvas de índice de sitio propuestas por (Chagoya y Vallejo, 2003) a partir de datos de plantaciones de cedro en Colombia, México, Costa Rica, y de García *et al.* (2007) diseñadas en Quintana Roo. Además, se calcularon los ajustes de las curvas clásicas de Bertalanffy, Gompertz,

Weibull y Hossfeld, y los modelos Monomolecular y logístico con la base de datos de Tabasco.

A continuación se presentan los modelos utilizados para describir el crecimiento de la especie en plantaciones.

Modelos	Ecuación	
Von Bertalanffy	$y = a(1 - e^{-bt})^3$	[Ec.1]
Gompertz	$y = ae^{-be^{-ct}}$	[Ec.2]
Weibull	$y = a(1 - e^{-bt^c})$	[Ec.3]
Hossfeld	$y = t^c / (b + t^c / a)$	[Ec.4]
Chagoya	$y = a - b(1/(t + 2)) - c$	[Ec.5]
Monomolecular	$y = a(1 - ce^{-bt})$	[Ec.6]
Logístico	$y = a / (1 + ce^{-bt})$	[Ec.7]

Se seleccionó como curva guía la ecuación de Gompertz:

Donde:

$$Hd = 20.2068 * e^{(-1.3490 * e^{(-0.1427 * T)})}$$

*Hd*= Altura dominante

[Ec.8]

*T*= Edad en años de los árboles

Los modelos se validaron aplicando las fórmulas de eficiencia del modelo (*EF*) que se considera un buen estimador para evaluar los modelos aplicados con regresiones no lineales (Huang *et al.*, 2003) mencionado en la ecuación (9) y de los resultados del coeficiente de determinación ajustado (*R<sup>2</sup>ajust*) del análisis de regresión aplicado.

Donde:

$y_i$  Valor observado o real

$$EF = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} \quad [Ec.9]$$

$\hat{y}_i$  Valor estimado con el modelo

$\bar{y}_i$  Valor promedio de los valores observados o reales

Donde (SSC) es la suma de cuadrados total, y (SSR) la suma de cuadrados medios de los residuos.

$$aprox - R^2_{ajust} = \frac{SSC - SSR}{SSC} \quad [Ec.10]$$

### **Procedimiento de cálculo de las tablas de producción para cedro**

Para su elaboración se siguieron los pasos que se detallan a continuación:

El cálculo de la densidad en número de árboles por hectárea se determinó en función de las siguientes premisas silvícolas:

- la densidad aprovechará en todo momento la capacidad productiva del rodal sin que el crecimiento individual de los árboles sufra limitaciones importantes.
- El número de aclareos será el menor posible con el fin de concentrar las operaciones, y de tal manera que en cada aclareo se extraiga como máximo el 45% de los árboles.
- La intensidad de cada aclareo será suficiente para dar una rentabilidad a la operación, definiéndose aclareos que permitan extraer un volumen aproximado de  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  o superior.

Se determinó la densidad extraída ( $N_e$ ) en cada intervención como la diferencia entre la existente en ese momento ( $N$ ) y la densidad de la plantación que hay que dejar después del aclareo. De la densidad extraída se dedujo la mortalidad natural entre esas dos edades. La media observada de mortandad natural ha sido del 1% de los árboles cada año. Para calcular el número de árboles que se debe extraer en cada intervención, se restan los árboles muertos.



La estimación del diámetro medio cuadrático ( $dg$ ) en cm de la masa principal para cada calidad de estación se calculó en función de la edad y el índice de sitio:  $dg=f(t,IS)$ .

Los volúmenes maderables en  $m^3 \cdot ha^{-1}$  de la masa principal antes del aclareo ( $Vt$ ) se obtienen con la ecuación fundamental de masa  $Vt= N \cdot Vm$  a partir del número de árboles por hectárea  $N$  y el volumen medio de los árboles  $Vm$  en  $m^3 \cdot ha^{-1}$ . El volumen maderable extraído se obtiene a partir de la misma relación de árboles extraídos por hectárea, multiplicado por el volumen medio de éstos y por un coeficiente de minoración de 0.7 (Tillier, 1995). Después de determinar los volúmenes a extraer, se determinó el volumen de madera de la plantación después del aclareo.

El diámetro medio cuadrático antes y después del aclareo se obtuvo a partir de la misma relación fundamental  $dg=f(t,IS)$ . El área basal ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) de la plantación, antes del aclareo y después del aclareo son inmediatas conociendo la relación fundamental que liga el diámetro medio cuadrático y la densidad en  $arb \cdot ha^{-1}$  ( $N$ ) con el área basal:  $G=\pi \cdot N \cdot dg^2/40000$ .

### **Análisis estadístico**

Se realizaron análisis de correlación lineal simple y múltiple. Con la finalidad de generar modelos matemáticos que describen el comportamiento de las variables donde se aplicaron las técnicas de regresión no lineal; así como también para definir las tablas de producción y la silvicultura a aplicar.

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando análisis de correlación no lineal, regresión no lineal y comparación de medias del software estadístico SAS, versión 9.1.3 (SAS, 2003).

## **RESULTADOS**

## **Encuestas del manejo silvícola de las plantaciones de cedro**

Los resultados de las encuestas manifiestan que las plantaciones “27-022”, “27-028” y la “27-050” mayores de 4 ha, aplican fertilización generalmente triple 17 en las etapas de crecimiento, principalmente hasta los tres años de edad de los árboles. En plantaciones de menor superficie generalmente no aplican fertilización en ninguna etapa, dejando el crecimiento de los árboles en función de la fertilidad del propio terreno.

La intensidad de deshierbes varía en las plantaciones, a la mayoría se les da mantenimiento constante y los árboles se encuentran despejados de maleza, y en otras la maleza ha llegado a competir fuertemente con los árboles, ya que llega al nivel de las copas o hay presencia de enredaderas que sujetan o tuercen a los árboles afectando su crecimiento.

En el caso de la plantación “27-028” de Comalcalco el silvicultor tiene bien definido el objetivo de su plantación de cedro para producción de madera para chapa, por lo cual requerirá un turno más largo, ya que el diámetro de corta debe ser superior a los 40 cm; así mismo espera obtener un precio unitario mayor por metro cúbico de madera. Este turno se puede ver en las tablas de producción (4, 5 y 6) generadas para el cedro. Hasta el momento de la visita en las plantaciones no se había realizado aclareo. La mayoría de los productores conocen en teoría lo que implica “extraer árboles enfermos, árboles con menor crecimiento, poco rectos y bifurcados, para acelerar el crecimiento en diámetro, distribuir el potencial de crecimiento en los mejores individuos y proveer de calidad a la cosecha final de la madera”, sin embargo es necesaria la asesoría al

respecto al determinar técnicamente el tipo, la intensidad y la frecuencia de los aclareos que se requieren aplicar.

Las distancias de plantación en cedro varían mucho desde 1.5 x 1.5 m que genera densidades iniciales de 4,444 árb·ha<sup>-1</sup>, hasta 8 x 8 m con 156 árboles en sistemas agroforestales, pasando por 2 x 2, 3 x 3, 3 x 4, 3 x 5, 4 x 4, 5 x 5 y 7 x 7 m. Es necesario que se considere el índice de sitio de cada plantación y se aplique una intensidad de aclareo específica de acuerdo a su crecimiento de los árboles.

### **Inventario dasométrico de las plantaciones**

En la Tabla (12) se presentan los resultados del crecimiento medio por árbol, mismos que se analizan a continuación. El inventario está conformado por 22 plantaciones en las que el cedro es la especie principal, establecidas en nueve municipios del Estado de Tabasco: de éstas 12 plantaciones se establecieron en Cunduacán, tres en Comalcalco y una en cada uno de los municipios siguientes: Nacajuca, Teapa, Cárdenas, Huimanguillo, Balancán, Centro y Tacotalpa. Los árboles se encuentran distribuidos a diferentes espaciamientos teniendo una gran diversidad de densidades que van desde 156 hasta 4,444 árb·ha<sup>-1</sup>.

Tabla 12. Valores promedios de las variables dasométricas por árbol en la última medición realizada, en plantaciones de cedro (*Cedrela odorata* L.) en Tabasco.

Plantación	Municipio	Edad (años)	Densidad plantación (árb·ha <sup>-1</sup> )	Dap (cm)	Altura total (m)	Esbeltez (%)	Área basal (m <sup>2</sup> ·árb)	Vol. (m <sup>3</sup> ·árb)
27-031	Cunduacán	3	1666	12.45	10.15	94	0.013	0.070
27-032	Balancán	3	833	10.51	8.57	83	0.008	0.039
27-030	Cunduacán	4	625	11.48	8.06	70	0.010	0.042
27-035	Cunduacán	4	416	10.81	9.02	90	0.010	0.055
27-044	Tacotalpa	4	714	10.08	9.53	98	0.008	0.041
27-011	Nacajuca	5	1111	7.78	5.52	71	0.005	0.015
27-043	Centro	6	1600	10.02	8.36	84	0.008	0.039
27-002	Cunduacán	7	4444	19.48	12.68	66	0.030	0.201

27-005	Cunduacán	7	2941	9.26	9.87	118	0.009	0.062
27-038	Cunduacán	8	500	20.15	12.83	65	0.032	0.212
27-018	Cárdenas	8	277	19.78	12.99	69	0.030	0.244
27-003	Cunduacán	9	2500	13.23	11.86	97	0.015	0.103
27-001	Cunduacán	9	400	19.47	12.72	67	0.031	0.204
27-022	Huimanguillo	10	555	20.10	15.37	78	0.033	0.265
27-015	Teapa	10	204	29.09	18.15	63	0.067	0.630
27-050	Cunduacán	11	2500	13.19	11.40	90	0.014	0.092
27-040	Cunduacán	11	2500	21.50	11.28	63	0.049	0.346
27-021	Comalcalco	11	833	15.06	11.06	76	0.018	0.110
27-028	Comalcalco	12	714	17.98	11.31	64	0.026	0.161
27-033	Cunduacán	12	156	21.94	16.18	77	0.043	0.358
27-012	Comalcalco	12	1111	19.42	13.87	73	0.031	0.223
27-007	Cunduacán	15	156	33.60	21.59	67	0.095	1.081

### **Crecimiento en Diámetro (Dap)**

Los resultados del estudio dasométrico de las plantaciones de cedro presentaron edades de 3 a 15 años, un diámetro mínimo de 7.7 y máximo de 33.60 cm. Las plantaciones mas jóvenes con árboles de tres a nueve años de edad presentaron un Dap con valores mínimo de 7.7 cm y un valor máximo de 20.15 cm considerando una variabilidad de densidades de 277 a 4444 árb·ha<sup>-1</sup> y en la plantaciones de mayor edad que van de 10 a 15 años de edad presentaron un crecimiento mínimo 13.19 cm de Dap y máximo de 33.60 cm con densidades de 156 a 2500 árb·ha<sup>-1</sup>.

### **Crecimiento en altura total**

La altura total de los árboles estuvo entre 5.5 y 21.5 m. En cuanto al crecimiento en altura total se observa una variabilidad entre plantaciones debido a las diferentes densidades y edades.

### **Índice de Esbeltez**

Los árboles de las 22 plantaciones de cedro presentan un valor mínimo de índice de esbeltez de 63% en plantaciones de 10 años de edad y densidad de 2500 árb·ha<sup>-1</sup> y un máximo de 118% en plantaciones de 7 años de edad y densidad de 2941 árb·ha<sup>-1</sup>.

### **Crecimiento en área basal**

Los árboles presentan un área basal mínima de 0.004 m<sup>2</sup> en árboles de seis años de edad con una densidad inicial de 1600 árb·ha<sup>-1</sup> en el municipio del Centro y una máxima 0.086 m<sup>2</sup> en árboles de 15 años edad, con una densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán, Tabasco. Los árboles de seis plantaciones presentaron crecimientos similares en área basal, Cunduacán con siete años de edad y densidad de 4444 árb·ha<sup>-1</sup>,<sup>1</sup> Cárdenas con ochos años de edad y densidad de 277 árb·ha<sup>-1</sup> crecieron 0.030 m<sup>2</sup>; Los árboles de las plantaciones de Cunduacán con nueve años de edad y densidad de 400 árb·ha<sup>-1</sup> y Comalcalco con doce años de edad y densidad de 555 árb·ha<sup>-1</sup> presentaron un área basal de 0.031 m<sup>2</sup>.

### **Volumen de madera por árbol**

Los árboles presentan un volumen maderable mínimo de 0.015 m<sup>3</sup>·árb en plantaciones de cinco años de edad, con una densidad inicial de 1111 árb·ha<sup>-1</sup> en Nacajuca y máximo de 1.081 m<sup>3</sup>·árb en árboles de 15 años de edad, con una densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> en Cunduacán, Tabasco. Seis de las plantaciones más jóvenes presentaron un rendimiento similar; Balancán de tres años de edad y densidad de 833 árb·ha<sup>-1</sup> obtuvo un rendimiento de 0.039 m<sup>3</sup>·árb, tres plantaciones de Cunduacán, una de cuatro años de edad y densidad de 625 árb·ha<sup>-1</sup> obtuvo un rendimiento de 0.042 m<sup>3</sup>·árb, con la misma edad y densidad de 416 árb·ha<sup>-1</sup> la segunda obtuvo un rendimiento de 0.055 m<sup>3</sup>·árb y a los siete años de edad con una densidad de 2941 árb·ha<sup>-1</sup> la tercera obtuvo un rendimiento de 0.062 m<sup>3</sup>·árb; para Tacotalpa de cuatro años de edad y densidad de

714  $\text{árb}\cdot\text{ha}^{-1}$  se obtuvo un rendimiento de  $0.041 \text{ m}^3\cdot\text{árb}$  y la de Centro con seis años de edad y densidad de  $1600 \text{ árb}\cdot\text{ha}^{-1}$  presentó un rendimiento de  $0.039 \text{ m}^3\cdot\text{árb}$ .

La Figura (5) muestra la distribución del índice de densidad del rodal de Reineke (*IDR*) con un valor máximo de 588. Las plantaciones que presentan un *IDR* mayor de 352 de acuerdo a Long (1985) se encuentran en el inicio del autoaclareo de los árboles o muerte natural por exceso de competencia al presentar una elevada densidad requieren la aplicación del aclareo para que puedan continuar creciendo los árboles. Las parcelas que tienen un *IDR* de 206-352 se encuentran en plena ocupación del sitio o estación, pero un aclareo daría mayor espacio a los árboles podrían recibir más luz y tener mayor disponibilidad de nutrimentos y se aceleraría su crecimiento. Las plantaciones que presentan un *IDR* menor a 206 se encuentran en crecimiento y todavía no ocupan completamente la capacidad productiva del sitio, por lo que no requieren la aplicación de un sistema de aclareo.

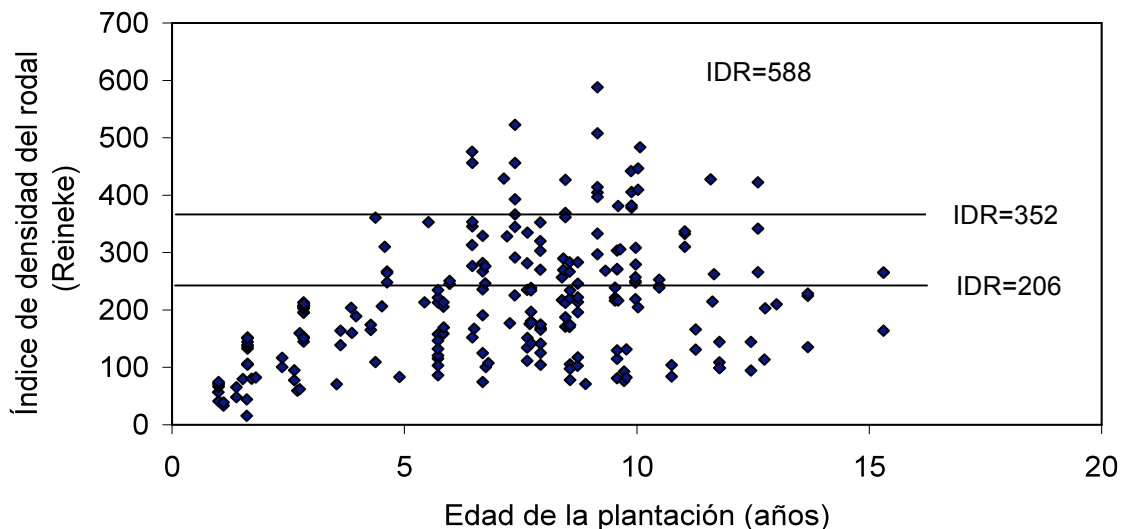


Figura 5. Densidad del rodal de las plantaciones de cedro en relación a los valores de referencia propuestos por Long (60% y 35% de *IDR* máx.).



Figura 6. Diámetro medio cuadrático de las plantaciones de cedro en diferentes densidades.

La Figura (6) muestra la tendencia observada entre la densidad de los árboles de cedro en las plantaciones y su diámetro. A medida que la densidad aumenta, el diámetro medio cuadrático disminuye. Así para que los árboles crezcan más de 20 cm de diámetro, serán necesarias densidades del arbolado menores de 500 árb·ha<sup>-1</sup>. Plantaciones con densidades de 1000 árb·ha<sup>-1</sup> o más, tienen fuerte competencia por espacio luz y nutrimentos y necesitan aclareos.

En la Figura (7) se muestra que a mayor edad de los árboles menor es el índice de esbeltez, además entre más alto sea el valor de esbeltez menos estable es el árbol por lo que valores bajos están asociados con árboles de mayor porvenir (Durlo y Denardi, 1998). La esbeltez media de árboles de 6 a 10 años se encuentra en rangos de 80 a 100%. Las plantaciones con índices mayores de 100% presentaron densidades altas de (207 a 4444) en árboles de 3 a 9 años de edad con supervivencias de 98 a 100%.

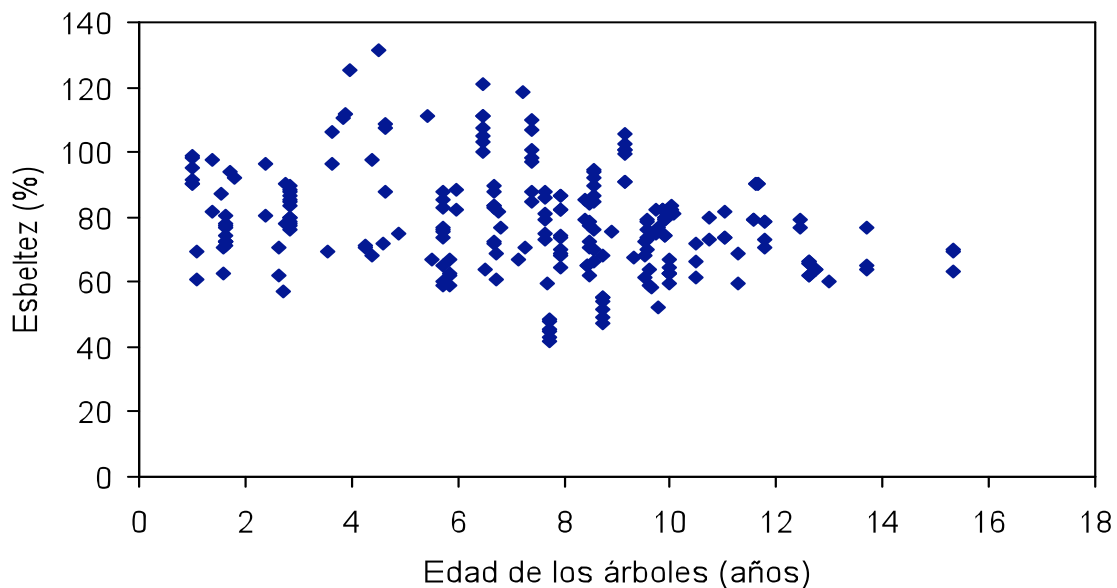


Figura 7. Esbeltez media de árboles de cedro en diferentes edades en Tabasco.

En la Figura (8) se muestra que en las plantaciones de cedro en Tabasco los árboles presentaron alturas dominantes de 1 a 23 m para las edades de 1 y 15 años de edad respectivamente.

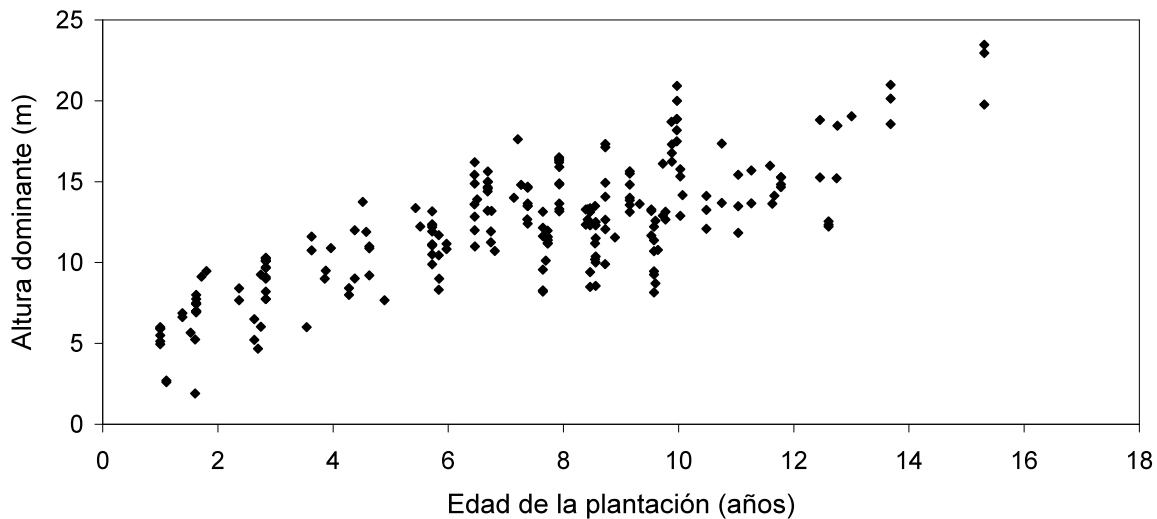


Figura 8. Altura dominante en plantaciones de cedro en Tabasco.

La Figura (9) presenta una relación lineal muy alta ( $R^2= 0.92$ ) entre área basal e índice de densidad del rodal de Reineke, ambas determinan con exactitud la competencia por espacio en la parte aérea del dosel, y en la parte subterránea por agua y nutrimentos (Domínguez, 2006).



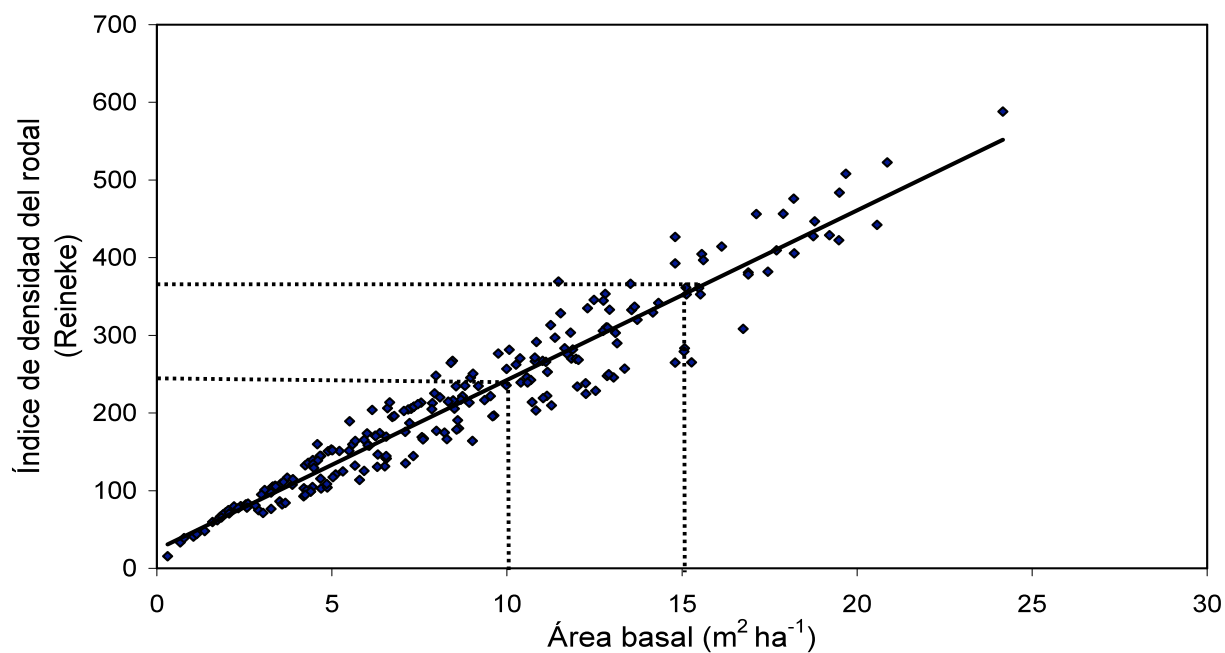


Figura 9. Área basal en relación con el índice de Reineke en plantaciones de cedro. La Figura (10) muestra que la altura dominante máxima determinada en las plantaciones es 20 m. Con esa calidad se espera una producción de  $17 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ; cuando la altura dominante disminuye a 12 m la producción se reduce a  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ .

1.

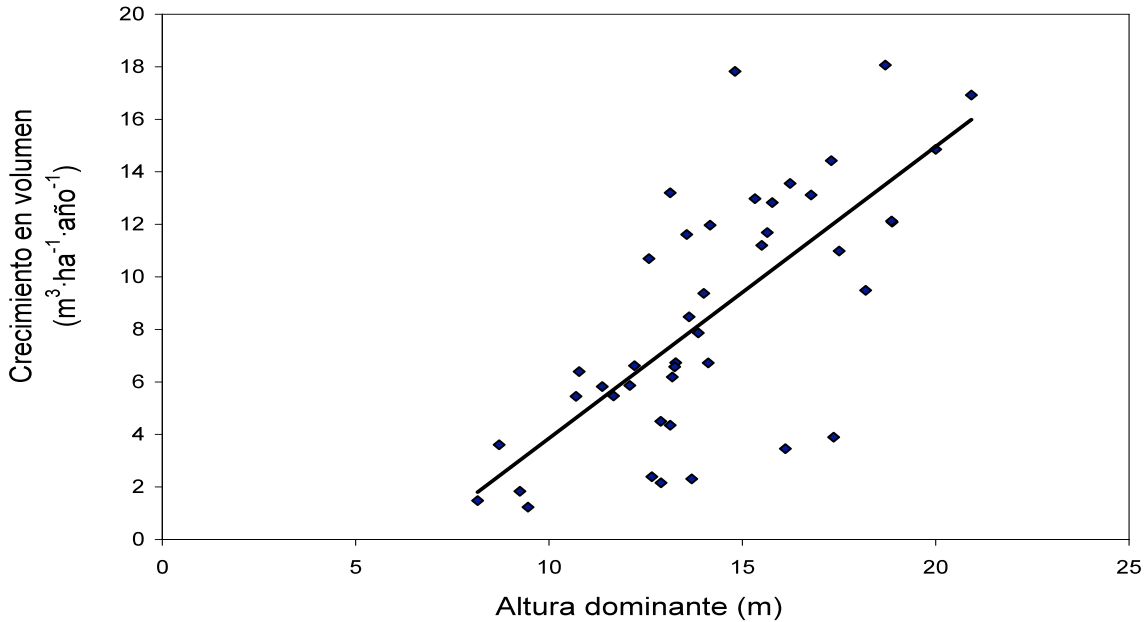


Figura 10. Incremento en volumen de madera en función de la altura dominante de los árboles de cedro.

### Decisiones silvícolas

De acuerdo a los resultados del crecimiento determinado en el inventario dasométrico de las plantaciones de cedro y considerando que esta especie se ve afectada por el barrenador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* que origina la necesidad de aplicar la poda a tiempo y en forma, se determina que el tipo de aclareo que se debe aplicar a estas plantaciones es del tipo selectivo por lo bajo dejando los mejores árboles.

### Índice de sitio

El índice de sitio promedio para el conjunto de la población de cedro es 14.61 m de altura dominante a la edad de 10 años. Las plantaciones de cedro en Tabasco presentan crecimientos en altura dominante muy variables desde 8 hasta 22 m a los 10 años. Esta variabilidad tan importante en la altura dominante expresa una gran variación en la potencialidad productiva de los sitios y es recomendable tener en cuenta cada calidad del sitio en la silvicultura que se aplique.

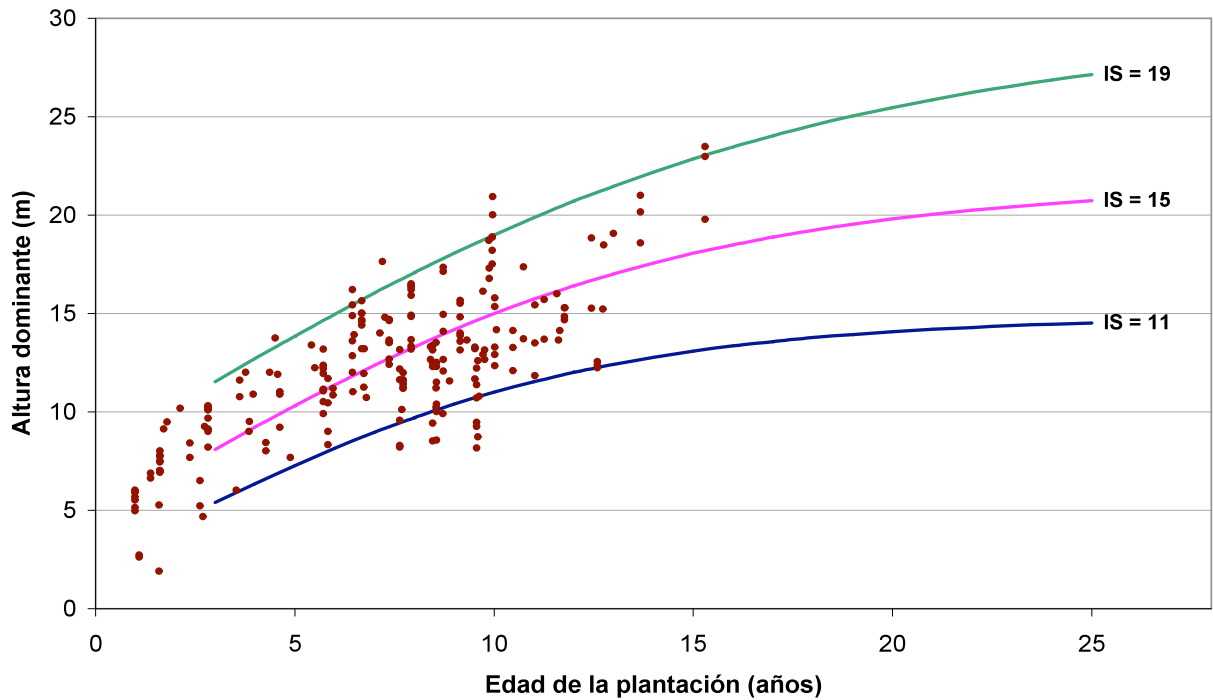


Figura 11. Calidades de sitio de Cedro en el Estado de Tabasco.

Las plantaciones de cedro en Tabasco quedaron representadas en tres curvas de índices de sitio: 11 m para la calidad baja, 15 m para la calidad media y 19 m para la calidad alta (Figura 11).

### Altura dominante en cedro

De los ocho modelos probados con los crecimientos del cedro en Tabasco se seleccionó como curva guía la ecuación de Gompertz, con mejor ajuste y eficiencia, considerando las familias de curvas de índice de sitio propuestas por Chagoya y Vallejo a partir de datos de Colombia, México y Costa Rica, y de García-Cuevas *et al.* (2007) aplicadas en Quintana Roo que probó los modelos de Bertalanffy, Gompertz, Weibull, Hossfeld, Chagoya y los modelos Monomolecular y logístico.

Modelos	Ecuación	
Von Bertalanffy	$Hd = 13.7245(1 - e^{(-0.8083*t)})$	[Ec.11]
Gompertz	$Hd = 20.2068(e^{(-1.3499*e)^{(-0.1427*t)}}$	[Ec.12]
Weibull	$Hd = 46.0454(1 - e^{(-0.1162*t)})$	[Ec.13]
Hossfeld	$Hd = t^{(0.8827)} / (0.1703 + t^{(0.8827)} / 20.9874)$	[Ec.14]
Chagoya	$Hd = -15.9897 - 40.2439(1/(t + 2)) - 0.8333$	[Ec.15]
Monomolecular	$Hd = 25.53(1 - 0.8031 * e^{(-0.0749*t)})$	[Ec.16]
Logístico	$Hd = 18.9172 / (1 + 2.3475 * e^{(-0.2084*t)})$	[Ec.17]

Los resultados del análisis de regresión no lineal se muestran en la (Tabla 13).

Tabla 13. Análisis de regresión no lineal y parámetros estimados para el modelo de Altura dominante de Gompertz en Cedro.

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios
Regresión	3	24.650	8.217
Residual	153	893	5.8384
Total no corregido	156	25.544	
Total corregido	155	2.317	
Variable	Estimación	Intervalo de confianza 95%	
		Inferior	Superior
Término independiente	20.2068	14.5666	25.8469
<i>A1</i>	1.3490	1.1284	1.5696
<i>A2</i>	0.1427	0.0651	0.2204

La Tabla (14) muestra la eficiencia de los modelos que se utilizaron con base a la altura dominante, siendo la de Gompertz la que presento un mejor  $R^2$  ajuste y eficiencia.

Tabla 14. Eficiencia de los modelos de la altura dominante y  $R^2$  ajustada en cedro.

Modelos	$R^2$ ajustada	Eficiencia (EF)

Gompertz	0.5059	0.6145
Logístico	0.5023	0.6085
Hossfed IV	0.4750	0.6126
Chagoya modificado	0.4432	0.5942
Monomolecular	0.4287	0.6085
Bertalanffy	0.2748	0.4880
Weibull	-9.37	0.6250

El modelo quedó representado de la siguiente manera:

Donde:

$$Hd = 20.2068 \cdot e^{(-1.3490 \cdot e^{(-0.1427 \cdot T)})}$$

*Hd*= Altura dominante

*T*= Edad en años de los árboles

[Ec.18]

### **Tablas de producción para cedro**

Se considera que únicamente en el primer aclareo, los productos obtenidos no pagarán el costo de ejecución, por su tamaño y escaso valor unitario; las demás intervenciones de aclareo podrán financiarse con los productos extraídos.

La Tabla (15) muestra la producción de madera en el estado de Tabasco en plantaciones de cedro con una calidad baja requiriendo la aplicación de tres intervenciones de aclareo. A la edad de 8 años se debe realizar el primer aclareo cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de 1052 árb·ha<sup>-1</sup> con área basal de 12.8 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> teniendo como resultado después del aclareo una masa de 850 árb·ha<sup>-1</sup>, área basal de 10.3 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, diámetro de 11.9 cm y volumen total de 52 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>; 202 árb·ha<sup>-1</sup> extraídos, con un volumen extraído de 8.9 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. El segundo aclareo se recomienda aplicar en las plantaciones de cedro a la edad de 12 años cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de 816 árb·ha<sup>-1</sup> con

área basal de  $19.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  teniendo como resultado después del aclareo una masa de  $500 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , área basal de  $12 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 16.8 cm y volumen total de madera de  $74 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ;  $316 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  extraídos, con un volumen extraído de  $33.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . El tercer aclareo se recomienda aplicar a la edad de 17 años cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de  $475 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con área basal de  $19.9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , teniendo como resultados después del aclareo una masa de  $300 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , área basal de  $12.6 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 22.2 cm y volumen total de  $86 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $175 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  extraídos, con un volumen de madera extraído de  $35.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Tabla 15. Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro calidad baja (IS aprox. 11 m a los 10 años).

		Masa principal antes del aclareo		Masa extraída		Masa principal después del aclareo				
Edad	H <sub>d</sub>	N	G	N <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	N <sub>p</sub>	G <sub>p</sub>	D <sub>mp</sub>	V <sub>tp</sub>	V <sub>mp</sub>
5	7.3					1061	6.7	8.6	20	0.019
8	9.7	1052	12.8	202	8.9	850	10.3	11.9	52	0.061
12	12.0	816	19.6	316	33.7	500	12.0	16.8	74	0.148
17	13.6	475	19.9	175	35.9	300	12.6	22.2	86	0.285
21	14.2	-	-	-	-	291	15.8	25.3	116	0.400
26	14.6	-	-	-	-	273	17.5	27.7	146	0.535

Edad=edad de la plantación (años); H<sub>d</sub>=altura dominante en metros; N=número de árboles por hectárea; G=área basal ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); N<sub>e</sub>=árboles extraídos en el aclareo ( $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); V<sub>e</sub>=volumen extraído ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); N<sub>p</sub>=densidad de árboles después del aclareo ( $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); G<sub>p</sub>=área basal después del aclareo ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); D<sub>mp</sub>=Diámetro medio (cm); H<sub>mp</sub>=altura media después del aclareo; V<sub>tp</sub>=Volumen total que permanece en pie después del aclareo ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); V<sub>mp</sub>=Volumen medio de los árboles que permanece en pie ( $\text{m}^3 \cdot \text{árb}$ ).

La Tabla (16) muestra la producción en el estado de Tabasco en plantaciones de cedro de mejor crecimiento que la anterior, o sea con una calidad media, proponiendo cuatro intervenciones de aclareo. El primer aclareo se debe realizar a la edad de 5 años cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de  $1150 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,

con área basal de  $13.1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , teniendo como resultados después del aclareo una masa de  $950 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $10.8 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 11.6 cm y volumen total de  $45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , 200 extraídos, con un volumen extraído de  $6.8 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . El segundo aclareo se debe aplicar a la edad de 8 años cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de  $922 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con área basal de  $20.2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$  teniendo como resultado después del aclareo una masa de  $500 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $11 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 16.1 cm y volumen total de  $75 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , 422  $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  extraídos, con un volumen extraído de  $45.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . El tercer aclareo se debe realizar a la edad de 12 años cuando la plantación presenta una masa principal antes del aclareo de  $480 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con área basal de  $20.8 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , teniendo como resultados después del aclareo una masa de  $255 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $11.1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 22.6 cm y volumen total de  $93 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , 225  $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  extraídos, con un volumen extraído de  $59.3 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Y el cuarto aclareo se debe aplicar cuando la plantación presente una edad de 17 años con una masa de principal antes del aclareo de  $247 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $18.7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , teniendo como resultados después del aclareo de  $170 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $12.9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un volumen total de  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , 77  $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  extraídos, con un volumen extraído de  $39.1 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Tabla 16.- Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro de calidad media (IS aprox. 15 m a los 10 años).

	Masa principal antes del aclareo	Masa extraída	Masa principal después del aclareo
--	----------------------------------	---------------	------------------------------------

Edad	H <sub>d</sub>	N	G	N <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	N <sub>p</sub>	G <sub>p</sub>	D <sub>mp</sub>	V <sub>tp</sub>	V <sub>mp</sub>
5	10.3	1150	13.1	200	6.8	950	10.8	11.6	45	0.047
8	13.3	922	20.2	422	45.6	500	11.0	16.1	75	0.150
12	16.4	480	20.8	225	59.3	255	11.1	22.6	93	0.366
17	18.9	247	18.7	77	39.1	170	12.9	30.0	120	0.705
21	20.0	-	-	-	-	163	16.0	34.2	180	1.058
26	20.8	-	-	-	-	155	18.0	37.3	205	1.322

Edad=edad de la plantación (años); H<sub>d</sub>=altura dominante en metros; N=número de árboles por hectárea; G=área basal (m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>); N<sub>e</sub>=árboles extraídos en el aclareo (árb·ha<sup>-1</sup>); V<sub>e</sub>=volumen extraído (m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>); N<sub>p</sub>=densidad de árboles después del aclareo (árb·ha<sup>-1</sup>); G<sub>p</sub>=área basal después del aclareo (m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>); D<sub>mp</sub>=Diámetro medio (cm); H<sub>mp</sub>=altura media después del aclareo; V<sub>tp</sub>=Volumen total que permanece en pie después del aclareo (m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>); V<sub>mp</sub>= Volumen medio de los árboles que permanece en pie (m<sup>3</sup>·árb).

La Tabla (17) muestra la producción en el estado de Tabasco para plantaciones de cedro con una calidad alta presentando cuatro intervenciones de aclareo: para la edad de 5 años presenta una masa principal antes del aclareo de 1050 árb·ha<sup>-1</sup> con área basal de 18.8 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> teniendo como resultados después del aclareo una masa de 600 árb·ha<sup>-1</sup>, con un área basal de 10.8 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, diámetro de 14.6 cm y volumen total de 99 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, siendo el número de árboles extraído de 450 árb·ha<sup>-1</sup> con un volumen extraído de 30.5 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Para la edad de 8 años presenta una masa principal antes del aclareo de 582 árb·ha<sup>-1</sup> con área basal de 20 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> teniendo como resultados después del aclareo una masa de 300 árb·ha<sup>-1</sup>, con un área basal de 10.3 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, diámetro de 20.2 cm y volumen total de 90 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, siendo el número de árboles extraído de 282 árb·ha<sup>-1</sup> con un volumen extraído de 60.7 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Para la edad de 12 años presenta una masa principal antes del aclareo de 288 árb·ha<sup>-1</sup> con área basal de 19.6 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> teniendo como resultados después del aclareo una masa de 175 árb·ha<sup>-1</sup>, con un área basal de 11.9



$\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 28.4 cm y volumen total de  $127 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , siendo el número de árboles extraído de  $113 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  con un volumen extraído de  $59.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Y por última para la edad de 17 años presenta una masa de principal antes del aclareo de  $166 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ , con un área basal de  $19.8 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , teniendo como resultados después del aclareo una masa de  $110 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  con un área basal de  $13.1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ , diámetro de 37.7  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y volumen total de  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , siendo el número de árboles extraído de  $56 \text{ árb} \cdot \text{ha}^{-1}$  con un volumen extraído de  $56.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Tabla 17.- Tabla de producción en el Estado de Tabasco para plantaciones de cedro de calidad alta (IS aprox. 19 m a los 10 años).

		Masa principal antes del aclareo		Masa extraída		Masa principal después del aclareo				
Edad	H <sub>d</sub>	N	G	N <sub>e</sub>	V <sub>e</sub>	N <sub>p</sub>	G <sub>p</sub>	D <sub>mp</sub>	V <sub>tp</sub>	V <sub>mp</sub>
5	13.9	1050	18.8	450	30.5	600	10.8	14.6	99	0.094
8	17.1	582	20.0	282	60.7	300	10.3	20.2	90	0.299
12	20.7	288	19.6	113	59.2	175	11.9	28.4	127	0.728
17	24.0	166	19.8	56	56.6	110	13.1	37.7	154	1.403
21	25.9	-	-	-	-	106	16.3	43.0	209	1.969
26	27.4	-	-	-	-	100	18.3	46.9	263	2.633

Edad=edad de la plantación (años); H<sub>d</sub>=altura dominante en metros; N=número de árboles por hectárea; G=área basal ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); N<sub>e</sub>=árboles extraídos en el aclareo ( $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); V<sub>e</sub>=volumen extraído ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); N<sub>p</sub>=densidad de árboles después del aclareo ( $\text{árb} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); G<sub>p</sub>=área basal después del aclareo ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); D<sub>mp</sub>=Diámetro medio (cm); H<sub>mp</sub>=altura media después del aclareo; V<sub>tp</sub>=Volumen total que permanece en pie después del aclareo ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); V<sub>mp</sub>=Volumen medio de los árboles que permanece en pie ( $\text{m}^3 \cdot \text{árb}$ ).

De acuerdo con las tablas de producción presentadas, (14, 16 y 17) se hizo un diagnóstico de las necesidades de aplicación de aclareos en plantaciones de cedro. De las 22 plantaciones estudiadas, seis requieren urgentemente la aplicación de aclareos para no perder la producción, tres plantaciones están en el momento de que se

apliquen los aclareos, en cuatro de las plantaciones los aclareos corresponde hacerlos hasta transcurrir dos años, y las nueve plantaciones restantes están en crecimiento por lo que no será necesario aplicar aclareos hasta transcurridos tres años o más.

Los turnos de corta mínimos que se recomiendan para cada calidad son: 26 años para la calidad baja ( $78.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en las cortas de aclareo y  $146 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en la corta final de árboles de calidad con  $0.5 \text{ m}^3$  el árbol promedio), 17 años para la intermedia (se alcanzarían  $110.7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en las cortas de aclareo y un volumen de corta final de  $197 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  con  $0.7 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$  promedio) y 12 años para la más alta (se obtendrían  $91.2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en las cortas de aclareo y un volumen de corta final de  $210.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  con  $0.7 \text{ m}^3 \cdot \text{árb}$  promedio).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos para el cedro en Tabasco, para cada calidad se recomiendan 3-4 aclareos con sus calendarios e intensidades, y se dan los turnos mínimos aplicables y las producciones esperadas: 26 años para la calidad baja y  $146 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en la corta final, 17 años de turno y  $197 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de volumen de corta final para la intermedia y 12 años de turno y  $210.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de volumen de corta final para la más alta.

En plantaciones de (*Tectona grandis* L.) y (*Gmelina arborea* Roxb) se ha demostrado la relevancia del momento y la intensidad para la aplicación de un tratamiento silvicultural de aclareo, con el fin de aprovechar el potencial de crecimiento en altura y favorecer la expansión del follaje del árbol (Morataya *et al.*, 1999).

Comparado a los estudios realizados en plantaciones de caoba (*Swietenia microphylla* King.) puras de alta densidad, (espaciadas de  $2 \times 2$  a  $3 \times 3$  m) donde se recomienda

que el primer aclareo se realice después de los 5 años, y no más adelante de 10 años a partir de la fecha del establecimiento (Mayhew, 1998).

El efecto de competencia-densidad se refiere al fenómeno que cuando los monocultivos de diferentes densidades están creciendo bajo en las mismas condiciones de hábitat, la altura decrece con el incremento de la densidad después de cierto periodo de crecimiento, por que las características de planta-crecimiento y procesos biológicos consecuentemente afectan el nivel de competencia intraespecífica (Xue y Hagihara, 2008).

En Costa Rica, las primeras plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) se establecieron a espaciamientos de 2 x 2 m, posteriormente se han utilizado espaciamientos más amplios, por varios años se utilizó el espaciamiento de 3 x 3 m y fue por mucho tiempo un espaciamiento obligado para todas las especies para quienes querían acceder a los incentivos forestales o para el pago de servicios ambientales. En algunos proyectos se han utilizado espaciamientos más amplios de 3 x 4 m, 3.5 x 3.5 m, estos espaciamientos generalmente producen árboles de ramas muy grandes que pueden afectar la calidad de la madera (Arce y Fonseca, 2003).

En el Oriente de Nicaragua, en las plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) se recomienda un espaciamiento inicial de 3.5 x 3.5 m (816 árb·ha<sup>-1</sup>), con un aclareo de 50% a los nueve años y un segundo aclareo a la edad de 19 años; dejando un total de 245 árb·ha<sup>-1</sup>; los dos aclareos produjeron 104 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (Lawrence, 2000).

Con los espaciamientos amplios lo que se busca es un mayor espacio de crecimiento por árbol, lo que permite retrasar los primeros aclareos, tiene una ventaja económica porque se pueden obtener árboles de un mayor tamaño en los primeros aclareos, pero

también presenta una desventaja silvicultural porque se tiene un menor número de árboles para seleccionar y una mayor conicidad del tronco. Los espaciamientos más densos de 2 x 2 m o 2.5 x 2.5 m son menos utilizados porque los costos de establecimiento son más altos se debe hacer una intervención silvicultural relativamente temprana, al segundo o tercer año máximo, dependiendo del sitio, en estos casos el primer raleo es prácticamente de desecho, porque los árboles son de pequeñas dimensiones, lo que dificulta su comercialización. En este tipo de espaciamiento se tiene una ventaja silvicultural ya se tienen muchos árboles para seleccionar (Chávez y Fonseca, 2003). Por consiguiente, se puede controlar la calidad y la cantidad de la corta final mediante el aclareo.

En cuanto a los resultados del índice de esbeltez; González (2001) menciona que si el árbol tiene valores inferiores a 80% se considera estable, entre 81% y 100% inestable y valores de más de 100% indican una alta inestabilidad. Resultados son comparables a los que mencionan Andenmatten y Letourneau en Patagonia con *Pseudotsuga menziesii*; el índice de esbeltez fue 80%. Este índice se utiliza para prevenir problemas de roturas de fustes por nevadas o viento (Andenmatten y Letourneau, 1999). Así mismo otros estudios realizados en el Sur de Costa Rica en plantaciones de 6 años presentaron los valores de 60% en promedio para *Pinus caribaea* 95% para *Terminalia amazonia* y 105% para *Hieronyma alchomeoides* (Arias, 2005).

La altura dominante deja de ser un buen indicador de la calidad de sitio en rodales jóvenes de especies de muy rápido crecimiento, como las que se desarrollan en los trópicos, o en ciertas especies que presentan gran variabilidad en sus patrones de crecimiento. Lo anterior se detecta al ordenar los datos de parcelas en alturas por

clases de edad, si la agrupación de las parcelas ordenadas por clases de edad muestran un comportamiento lógico, es un indicador de que la altura dominante representa a la calidad de sitio (Payandeh y Wang, 1994).

El cedro puede ser muy demandante en cuanto a sus requisitos de suelo, sin embargo, puede crecer en diferentes ambientes. En las Indias Occidentales se le puede encontrar de manera más común en las arcillas derivadas de piedra caliza (Ramírez, 1996), pero crece también en los sitios bien drenados sobre suelos ácidos derivados de rocas volcánicas (Ultisoles). En México y América Central, el cedro es común en los suelos bien drenados (Raunio, 1973). La fertilidad del suelo puede ser también importante, ya que en algunas investigaciones se ha encontrado que el cedro crece de mejor manera en los suelos enriquecidos con los restos quemados del bosque secundario (Vega, 1974). Flores (1990) indica que los suelos de mayor fertilidad permiten un mejor crecimiento de los individuos, como en el caso de las arcillas calcáreas y los depósitos aluviales recientes en Perú.

El modelo que mejor representa la altura dominante en el cedro en Tabasco fue el de Gompertz. Los resultados obtenidos en el trabajo de Galan (2007), indican que la representación gráfica del modelo Chapman – Richards en su versión anamórfica, aplicadas en (*C. odorata* y *T. donnell-smithii*) en Oaxaca difiere con lo reportado por García *et al.* (2007) quienes desarrollaron ecuaciones de índice de sitio para *Swietenia macrophylla* King en plantaciones en Quintana Roo, México, reportando que el modelo Chapman Richards sobrestima el crecimiento para edades tempranas y lo subestima al final. Esto es posible considerando las especies, sus hábitos de crecimiento y las edades de las plantaciones, además esto es lo esperado dado que los árboles aun

están en la fase acelerada de crecimiento. Sin embargo, en las mejores calidades de sitio se tiende a sobrestimar la altura; pero no es tan conservadora como el modelo de Schumacher, el cual tiende a subestimar la altura dominante en los mejores índices de sitio.

En plantaciones de *Swietenia macrophylla* en Quintana Roo, Rodríguez (1996), menciona que se definieron cinco índices de sitio 14, 16, 18, 20 y 22 m conocidas la edad y la altura promedio de los árboles dominantes y codominantes.

En resumen, las funciones de la especie se realizan con mayor facilidad y rendimiento cuanto mejor es el índice de sitio. Este índice establece el volumen de madera que el suelo es capaz de producir en un tiempo determinado por la edad y la densidad de la plantación; la altura de los árboles dominantes de una masa plantada al mismo tiempo a determinada edad, es el mejor indicador del potencial productivo de ese tipo de bosque en un sitio concreto, independiente de la densidad, de los tratamientos y de la calidad de sitio.

En conclusión, el 90% de los productores madereros no tenían un objetivo planteado cuando establecieron su plantación en la obtención de un producto maderable. No tienen definido si producirán madera en troza, madera aserrada, madera para chapa, etc. Por lo mismo desconocen el turno de corta o tiempo que deben crecer los árboles para obtener una buena producción de madera, así como la calidad de sitio que tiene cada plantación. Esto lleva a que algunos productores se desesperen y talen la plantación de varias hectáreas, para cambiar a un cultivo agrícola como el plátano, sin considerar los años que han crecido los árboles y la inversión económica realizada en la producción de arbolitos en vivero, en el mantenimiento y en la fertilización, que son

generalmente las actividades de manejo que le dan a la plantación. Talan la plantación sin saber que los árboles están en la etapa intermedia o final en la cual incrementará su diámetro y podrán tener una producción buena y remunerada.

El índice de esbeltez como indicador del vigor y de la estabilidad de los árboles presentó un promedio de 78%, con un máximo de 118% las plantaciones se consideran estables excepto la plantación "27-050". La espesura expresada mediante el índice de densidad de Reineke, presenta un valor máximo de 588.

Se definieron tres clases de calidad de sitio, baja, media y alta de 11, 15 y 19 m de altura dominante a los 10 años de edad.

De los 7 modelos probados el que mejor bondad de ajuste y eficiencia con base en los estadísticos, cuadrado medio del error, ( $R^2$  aprox), análisis de residuales y que representa más fielmente el diagrama de dispersión datos observados, es el de Gompertz.

### **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación fue realizada con el apoyo financiero de la Fundación Produce, Tabasco, "Diagnóstico del estado silvícola y desarrollo de un plan de aclareos en plantaciones de cedro y caoba en Tabasco".

### **REFERENCIAS**

Andenmatten, F. y F.J. Letourneau. 1999. Aportes a la dasimetría de plantaciones, de pino Oregón y pino ponderosa, en Patagonia. Resultados del Proyecto Forestal Integrado 1995-1999. Manual de uso. Comunicación Técnica 16. Grupo de Silvicultura, Área Forestal. EEA Bariloche. INTA. 25 p.

- Arce V. y W. Fonseca. 2003. Relación albura-duramen y características física de la madera *Tectona grandis* L.f en plantaciones de 10 años con diferentes densidad de siembra, Guanacaste, Costa Rica 1ª ed. La industria forestal en latinoamérica. Heredia, C. R. INISEFOR.pp:125-135.
- Arias, D. 2005. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Kurú 1(2): 1-11.
- Chagoya, J. y A. Vallejo. 2003. Curvas de crecimiento de *Cedrela odorata*. En: A. Vallejo, M. Montero, E. Viquez, G. Navarro y M. Kanninen (Eds.) Silvia, sistema de manejo forestal, Ver. 2.5.0. CATIE, Costa Rica. Disponible en [www.catie.ac.cr/slvia](http://www.catie.ac.cr/slvia). Fecha de acceso 20 de mayo de 2007.
- Chávez, E. y W. Fonseca. 2003. Ensayos de aclareo y crecimiento en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la Península de Nicoya, Costa Rica. 16 p. [www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/RAenTECA2.pdf](http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/RAenTECA2.pdf). Fecha de acceso: 20 de noviembre de 2008.
- Díaz H.,A. 1996. Efecto de un raleo sobre el crecimiento de un bosque secundario de altura, Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba, CR, 82 p.
- Domínguez D., M., F. O. Bravo, y G. M. Del Río. 2006. Modelos del tamaño de copa en *Pinus sylvestris* L. en bosques del centro de España. Interciencia 31 (3): 168-175.
- Durlo, D.M. y L. Denardi. 1998. Morfometría de *Cabralea canjerana*, em mata Secundaria nativa do Rió Grande do Sul. Revista Ciência Florestal 1(8): 55-66.
- Evans, J. y W.T. Joan. 2004. Plantation forestry in the tropics. Third Edition. Ed. ISBN 0198542577. New York. 467 p.



Flores, C. 1990. Caracterización de brinzales de *Cedrela odorata* L, en las áreas inundables cercanas a Cocha Cashu Rio Manu. Tesis de Licenciatura. UNALM-Perú. 96 p.

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., J.G. Flores G., y J.D. Benavides S. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en Quintana Roo, México. Ciencia Forestal en México 32(101): 71-92.

Galan L., R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuales en el Sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Especialidad Forestal. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Texcoco, México. 93 p.

Huang, S., Y. Yang and Y. Wang. 2003. A critical look at procederes for validating growth and yield models. En: Amaro, A.; Redd, D.; Soares, P. (Eds.). Modelling forest Systems. CABI. pp: 271-293.

INEGI 2007. Anuario Estadístico del Estado de Tabasco. Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática, México. 574 p.

Kohyama, T. y T. Hara. 1989. Frequency distribution of tree growth rate in natural forest stands. Annals of Botany 64(1):47-57.

- Lawrence, V., Y.A. Moret y M. Jerez. 2000. Comparación de algunos regímenes de espesura en plantaciones de teca en el área experimental de la reserva forestal de Caparo, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 44(2):87-95.
- Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. *For. Chron.* 61:23-27.
- Lozano F., M., G. De la Cruz., G.F. Islas., y A.E. Flores. 2005. Evaluación de las cortas de aclareo en áreas bajo manejo forestal en Tlaxco, Tlaxcala. En: Memoria de Resúmenes del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Chihuahua, México. pp: 196-197.
- Mayhew, J.E y A.C. Newton. 1998. *The Silviculture of mahogany*. Wallingford, UK: CAB INTERNATIONAL. pp: 85-86.
- Morataya, R., G. Galloway., F. Berninger and M. Kanninen. 1999. Foliage biomass-sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelina arborea* Roxb.: silvicultural implications. *Forest Ecology and Management* 113(2-3):231-239.
- Payandeh, B. y Y. Wang. 1994. Relative accuracy of a new baseage invariant site index model. *For. Sci.* 40: 341-343.
- Pritchett, W.L. 1986. *Suelos forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. Ed. Limusa. México, D. F. pp: 307-334.
- Ramírez S., J. 1964. Investigación preliminar sobre biología ecología y control de *Hypsipyla grandella* Zeller. Bol. 16.: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela [s.p.].

- Rodríguez S., B. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de Caoba (*Swietenia macropylla* King.) en plantaciones forestales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 104 p.
- Raunio, A.L. 1973. *Cedrela* spp. international provenance trial planted in 1971 at Longuza, Tanga region, Tanzania. En: Burley, J.; Nikles, D.G., (Eds.) Tropical provenance and progeny research and international cooperation. Oxford, UK: Commonwealth forestry institute. pp:262-265.
- SAS. 2003. User's Guide, versión 9.1.3. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA.
- Smith, D. M., B.C. Larson, M.J. Kelty and P.M. Ashton. 1997. The practice of silviculture. Editorial. John Wiley & Sons. New York. 527 p.
- Tillier, S. 1995. Bigleaf mahogany in Martinique. Bois et Forêts des Tropiques 244:55–66.
- Vázquez R., A. 1999. Producción forestal fundamentos: Antología. Ed. EUNED. 206 p.
- Vega, L. 1974. Influencia de la silvicultura sobre el comportamiento de *Cedrela* en Surinam. Bol. 46-48.: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela [s.p.].
- Wescom. F. 1979. Índices de sitio para caoba en Fiji. En: Lugo, A. E.; J. C Figueroa-Colón.; M. Alayón (Eds). Big-Leaf Mahogany Genetics, Ecology and Management. Springer New York. pp: 433 -434.
- Xue, L. y A. Hagihara. 2008. Growth analysis of the competition–density effect in non-self-thinning *Populus deltoides* and *Populus x euramericana* plantations. J. For Res. 13: 241-248.

**Nota:** La lista de referencias se adecuó a la revista madera y bosques.

## **CAPÍTULO V:**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

### **CONCLUSIONES GENERALES**

La caracterización dasométrica realizada en las 22 plantaciones de cedro muestra una variabilidad en edades de (3-15 años), densidades (156-4444 árb·ha<sup>-1</sup>), supervivencia (47-98%), altura dominante (7.7-22.1 m), área basal (2.6-19.21 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>), volumen madera (8-148 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>) e índice de Reineke (83.3-504).

De las tres plantaciones la menos densa fue la “27-028” del municipio de Comalcalco, que presentó porcentajes promedio de RFA transmitida por las copas de los árboles de 73.3% y un índice de Reineke de 287, estos árboles están distribuidos a una distancia de 3.5 x 6 m que hace que el RFA incidente sea de  $1230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

La radiación fotosintéticamente activa incidente en las plantaciones estudiadas fue mayor en el estrato superior lo que está relacionado con altas tasas fotosintéticas y con altas tasas de transpiración y conductancia estomática, siendo el estrato medio que recibe poca radiación fotosintéticamente activa.

De los 7 modelos probados, el de Gompertz presentó mejor bondad de ajuste y eficiencia con base en los estadísticos, cuadrado medio del error, ( $R^2$  ajustada), análisis de residuales y representa más fielmente el diagrama de dispersión de los datos observados.

Se definieron tres curvas de índices de sitio siendo 11 m para la calidad baja, 15 m para la calidad media y 19 m para la calidad alta. Para cada calidad se recomiendan 3-4 aclareos con sus calendarios e intensidades, y se dan los turnos mínimos aplicables y las producciones esperadas: 26 años para la calidad baja y  $146 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  en la corta final, 17 años de turno y  $197 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de volumen de corta final para la intermedia y 12 años de turno y  $210.6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  de volumen de corta final para la calidad más alta.