

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS TABASCO**

**PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

**CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO  
EN PLANTACIONES DE *Swietenia macrophylla* King  
EN TABASCO, MÉXICO**

**GUADALUPE PÉREZ GONZÁLEZ**

**T E S I S**

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

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO**

**2009**

La presente tesis, titulada: **CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE SITIO EN PLANTACIONES DE *Swietenia macrophylla* King EN TABASCO, MÉXICO**, realizada por la alumna: **Guadalupe Pérez González**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO**

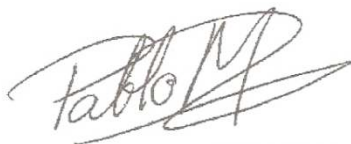
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



DRA. MARIVEL DOMÍNGUEZ DOMÍNGUEZ

ASESOR:



DR. PABLO MARTÍNEZ ZURIMENDI

ASESOR:



DR. JORGE DIONISIO ETCHEVERS BARRA

H. Cárdenas Tabasco, México, 09 de diciembre del 2009

**CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO  
EN PLANTACIONES DE *Swietenia macrophylla* King  
EN TABASCO, MÉXICO**

Guadalupe Pérez González, M.C

Colegio de Postgraduados, 2009

En el manejo de los recursos forestales es de importancia cuantificar el rendimiento potencial de la especie, la calidad de los suelos y la relación que guardan entre si estos dos últimas variables. La determinación de la calidad de sitio en las plantaciones forestales es usada para la confección de modelos y tablas de producción. Para la caracterización dasométrica, se usaron mediciones realizadas entre el año 2003 y 2007 de ocho plantaciones de *Swietenia macrophylla* King establecidas en Tabasco pertenecientes a una red de parcelas permanentes. Se midieron 21 parcelas, conformada cada una por 44 árboles en promedio. Las ocho plantaciones presentaron edades de 7 a 16 años, densidades de 156 a 4166 árb.ha<sup>-1</sup>, supervivencia de 60 a 100%, altura dominante de 4.39 a 23.45 m, área basal de 2.3 a 15.7 m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup>, volumen de madera con corteza de 14 a 185 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, índice de Reineke de 176 a 505. La calidad de sitio para *Swietenia macrophylla* King en Tabasco quedó clasificada por tres curvas de índice de sitio: baja (11.5 m), media (14.5 m) y alta (17.5 m) (altura dominante a la edad base de 10 años). El estudio de suelos se determinó en cuatro plantaciones ubicadas de acuerdo a sus características de suelo: Fluvisol éutrico gléyico (Fleugl), Cambisol ferrali gléyico (CMflgl), Gleysol mólico (GLmo). El modelo índice de sitio (IS) determinado fue  $IS=8.88593+0.13343*R_{0-30\text{ cm}}+0.00029311*N_{0-90\text{ cm}}$  que predice el índice de sitio (IS) a partir de los datos dasométricos y edáficos de arcilla (R), N-kjeldahl (N<sub>0-90 cm</sub>) acumulada en toda la profundidad kg·ha<sup>-1</sup>) con un coeficiente de correlación ( $r^2=0.98$ ). Este estudio podrá ser usado para generar índices de sitio más amplios para esta especie, así también las características del suelo que deben ser usadas en plantaciones establecidas. Este estudio podrá ser usado para generar índices de sitio más amplios para esta especie, así también las características del suelo que deberán tener en cuenta los silvicultores cuando establezcan plantaciones.

**Palabras clave:** Caracterización dasométrica, modelo de Korf, índice de sitio, suelos forestales.

# CHARACTERIZATION AND DETERMINATION OF SITE INDEX IN PLANTATIONS OF *Swietenia macrophylla* King IN TABASCO, MEXICO

Guadalupe Pérez González, M.C

Colegio de Postgraduados, 2009

In forest resources management, it is quite important to quantify the potential performance of the species, the quality of the soil and the relationship between these two last variables. The determination of site index in forest plantations is used for the models and yield table preparation. For the dasometric characterization, measurements were done between the years 2003 and 2007. It concerns eight plantations of mahogany established in Tabasco belonging to a permanent plots network. 21 plots were measured, usually grouped by 44 trees. The eight plantations were 7 to 16 years old, density was about from 156 to 4166 tree·ha<sup>-1</sup>, survival from 60 to 100 %, dominant height from 4.39 to 23.45 m, basal area from 2.3 to 15.7 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, wood volume with bark from 14 to 185 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, and finally, stand density index from 176 to 505. The site quality for mahogany in Tabasco was classified by three site index curves: low (11.5 m), media (14.5 m) and high (17.5 m) (dominant height base at the age of 10 years). The study of soil was done in four plantation located according to their characteristics: Fluvisols eutric gleyic (Fleugl), Cambisols ferralic gleyic (CMflgl), Gleysols mollic (GLmo). The calculated model of site index (IS) was  $IS = 8.88593 + 0.13343 \cdot R_{0-30 \text{ cm}} + 0.00029311 \cdot N_{0-90 \text{ cm}}$  that was predicted from data dasometrics and edaphic of clay ( $R_{0-30 \text{ cm}}$ ), N-kjeldahl ( $N_{0-90 \text{ cm}}$ ) accumulated in all the depth with a correlation coefficient ( $r^2 = 0.98$ ). This study could be used to generate broader site index for these species, the foresters should also check the soil characteristics when they establish new plantations.

**Key words:** Dasometric characterization, Korf model, site index, forest soils.

*“La educación hace al hombre moral, ético, humilde, la investigación lo hace metodológico, disciplinado, objetivo y práctico”*

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias al pueblo de México que a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, permitieron que realizara mis estudios de postgrado.

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

A mi consejera y asesores:

Dra. Marivel Domínguez Domínguez por la aportación y dedicación a este trabajo de tesis de maestría.

Dr. Pablo Martínez Zurimendi por el apoyo, dedicación y disposición para orientarme en este trabajo de tesis de maestría.

Dr. Jorge Dionisio Etchevers Barra por el apoyo, disposición, conocimiento y guía en mi formación en comprender y aprender a usar el método científico. Por ser una persona comprometida en la investigación y por ser el modelo a seguir.

A la Maestra Juliana Padilla Cuevas del campus Montecillo por su apoyo en el proceso de resultados de muestras de suelo.

Al Doctor Armando Guerrero Peña por su apoyo en algunos cálculos y proceso de muestras de suelos.

A la Dra. Laura Snook por su apoyo con artículos.

A Ingeniero Marco Antonio Morales Garduza por su apoyo en los descripción de de suelos en Tabasco.

Al ingeniero Antonio López Castañeda por el diseño de mapas de la ubicación de las plantaciones.

A cada uno de los doctores que durante la estancia en esta Institución formaron parte de mi formación y compartiendo sus conocimientos adquiridos.

A los silvicultores: Jorge Olvera Sardoni, José Guadalupe Soberano Almedia y Rodolfo Ricárdez Chacón quienes amablemente nos proporcionaron sus plantaciones para este estudio.

A cada uno de mis amigos que me apoyaron: Candelario, Limonchi, Isabelino, Anita, Yolanda, Ernesto, Alberto, Rigo, Aurora, Facundo, Bellanira, Georgina, Lorena, José Antonio, Leoneldo, Esteban, Marta, Euripides, Dr. José Obrador, y a mis amigos de la generación 2007-2008 de la maestría gracias a todos por ver compartido conmigo un tiempo más en esta vida.

A la madre tierra por dejarme existir un día más en esta vida.

¡Gracias a todos!

## **DEDICATORIA**

A mis muy amados padres Guadalupe González Cruz y Carmen Pérez Alamilla por darme la vida, por la buena educación que me dieron y por su confianza y apoyo en cada paso importante que doy en la vida.

A mis amados hermanos y hermanas por estar siempre a mi lado.

A mí muy amado esposo, amigo y cómplice de la vida Florent Geneste por estar a mi lado en cada momento de mi vida y por su apoyo durante este tiempo dedicado a mi trabajo de tesis.

A cada una de las personas que durante toda mi formación desde mis primeras letras me enseñaron el valor de la ciencia y me inculcaron el amor a esta profesión.



## CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS .....	viii
DEDICATORIA.....	x
LISTA DE TABLAS.....	xv
LISTA DE FIGURAS .....	xvii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
OBJETIVO GENERAL .....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
HIPÓTESIS .....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
LITERATURA CITADA.....	8
CAPÍTULO II .....	13
CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA E ÍNDICE DE SITIO EN PLANTACIONES DE CAOBA EN TABASCO .....	13
RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
INTRODUCCIÓN .....	16
MATERIALES Y MÉTODOS .....	17

Localización del área de estudio .....	17
Determinación de la caracterización dasométrica .....	18
Muestreos de parcelas para la caracterización dasométrica.....	18
Área basal (AB).....	19
Índice de densidad del rodal de Reineke (IDR) .....	19
El índice de Hart-Becking.....	20
Análisis estadístico de la caracterización dasométrica.....	20
Determinación del índice de sitio.....	21
Métodos para construir familias de curvas de índices de sitio .....	21
Análisis estadístico para determinar el índice de sitio .....	22
RESULTADOS.....	24
Caracterización dasométrica .....	24
Índice de sitio .....	29
DISCUSIÓN .....	31
CONCLUSIÓN .....	36
LITERATURA CITADA.....	37
CAPÍTULO III .....	43
RELACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO CON LAS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS EN LAS PLANTACIONES DE <i>Swietenia macrophylla</i> King EN TABASCO, MÉXICO .....	43

RESUMEN .....	44
ABSTRACT .....	45
INTRODUCCIÓN .....	46
MATERIALES Y MÉTODOS .....	48
Localización del área de estudio .....	48
Determinación del índice de sitio.....	49
Determinación del análisis de suelo en campo .....	49
VARIABLES GENERADAS .....	51
Capacidad de retención de agua (CRA) y Humedad específica (He), de cada horizonte y para todo el perfil. ....	51
Totales acumulados (en 90 cm de perfil) y totales superficiales (en 30 cm) de cada variable. ....	53
Análisis estadístico .....	54
RESULTADOS .....	54
Determinación de los índices de sitio de las parcelas de las plantaciones .....	54
Descripción de las características de los suelos de las plantaciones.....	55
Relación del índice de sitio con las características edáficas .....	59
DISCUSIÓN .....	66
CONCLUSIÓN .....	71
LITERATURA CITADA.....	72

CAPÍTULO IV .....	77
CONCLUSIÓN GENERAL .....	77

## LISTA DE TABLAS

### CAPÍTULO II

	Pág.
Tabla 1. Los modelos usados para describir el crecimiento de las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	22
Tabla 2. Valores promedios de las características dasométricas de las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Tabasco.....	25
Tabla 3. Comparación de medias de las variables dasométricas en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Tabasco.....	26
Tabla 4. Resultados de análisis de regresión no lineal y parámetros estimados para el modelo de altura dominante de Korf en <i>Swietenia macrophylla</i> King.....	29
Tabla 5. Eficiencia y R <sup>2</sup> ajustada de los modelos de altura dominante en <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	30

### CAPÍTULO III

Tabla 1. Suelos de las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	50
Tabla 2. Índice de sitio de las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	55
Tabla 3. Características químico-físicas de 0-90 cm en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	59
Tabla 4. Datos de los suelos usados para la modelización de las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	61

Tabla 5. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson de las variables del modelo básico de la predicción del índice de sitio con las características del suelo.....	62
Tabla 6. Modelos lineales que incluyen el IS y las variables edáficas.....	62
Tabla 7. Coeficiente de determinación de los modelos de índice de sitio con las características edáficas.....	63
Tabla 8. Parámetros estimados para los modelos en las plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	64
Tabla 9. Valores de índice de sitio medidos y predichos por cada modelo. ....	65
Tabla 10. Análisis de la varianza estimada en arcilla y N-Kjeldahl (0-90 cm) por regresión lineal de los modelos básicos del índice de sitio. ....	65

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

	Pág.
Figura 1. Localización de las plantaciones analizadas de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Tabasco, México. ....	18
Figura 2. Altura dominante en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King, en Tabasco, México. ....	27
Figura 3. Representación del volumen maderable medio a diferentes densidades de en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Tabasco, México. ....	28
Figura 4. Índice de densidad del rodal de Reineke en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King de acuerdo a Long (1985). ....	29
Figura 5. Calidades de sitio para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Tabasco, México. ....	31

### CAPÍTULO III

Figura 1. Localización de las plantaciones analizadas de <i>Swietenia macrophylla</i> King. ....	48
Figura 2. Valores del parámetro permeabilidad (PER) en función de C.C.C y C.I.L (tomado de Gandullo, 1985). ....	52

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN GENERAL**



## INTRODUCCIÓN GENERAL

*Swietenia macrophylla* King (caoba) es una especie de alto valor económico. Se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de América y constituye un importante aporte a la economía en los lugares donde se ha establecido. A pesar de su importancia económica para la economía en las zonas tropicales, existe poca información sobre el crecimiento, incrementos, desarrollo y rendimiento maderable en plantaciones forestales (García, 1998).

En el continente americano esta especie arbórea se encuentra en el trópico y subtrópico (Pennington y Styles, 1981). Se distribuye principalmente desde México hasta Brasil y Bolivia. Desarrollándose en bajas elevaciones, con climas secos o muy húmedos, con estación seca y suelos de origen aluvial, suelos drenados, pH que puede ir desde ácidos hasta neutros y alcalinos (Holdridge *et al.*, 1997; Mayhew y Newton, 1998).

La madera de *Swietenia macrophylla* King es muy demandada por sus diferentes usos, principalmente para ebanistería de calidad, porque es fácil de trabajar, resiste a la pudrición en contacto con el suelo y al ataque de las termitas; además es visualmente atractiva y proporciona tableros contrachapados y chapas decorativas excelentes (Jiménez *et al.*, 1996).

En México existen 9,250 ha de plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en forma monoespecífica y 130,864 ha asociada con *Cedrela odorata* L. con un turno de corta de 25 a 30 años para la *Swietenia macrophylla* King (FMIAFAC, 2005; SEMARNAT, 2006).

El manejo silvícola de las plantaciones forestales, así como la capacidad natural para permitir un buen crecimiento y desarrollo de las especies deben ser establecidas; esto último está determinado por el índice de sitio, considerando los efectos de los factores del sitio: edáficos, climáticos, bióticos y genéticos para

proyectar la producción esperada de la especie en un sitio específico (García, 1998; Montoya y Mesón, 2004; Saturtevant y Seagle, 2004).

Los procesos de la realidad se representan mediante modelos de crecimiento y rendimiento, con la finalidad de estimar producción futura, turnos óptimos de corta, y crecimientos donde no existen datos, además de simular prácticas silviculturales (Dykstra, 1984).

Se han establecido indicadores del potencial productivo como la calidad de sitio que se determina tomando la altura dominante a una edad de referencia o edad base. La altura dominante, es una variable que no es afectada por la densidad de la plantación (Alder, 1980; Zepeda y Rivero 1984; García, 1998).

La densidad es el principal factor que se puede manipular en una plantación forestal, para conducir la evolución de su crecimiento y alcanzar objetivos particulares del manejo (Daniel *et al.*, 1982).

Al iniciar la plantación se establecen muchos árboles para inducir la competencia y hacer que los árboles crezcan rectos, con una copa reducida y un fuste comercial (Meza y Torres, 2006).

La decisión de emplear un espaciamiento determinado, estará en función de la especie y hábitos de crecimiento, y en gran medida por las condiciones edáficas y climáticas del sitio (Vázquez, 1999). Por ello, debe considerarse con anterioridad a la plantación, o en algún momento de la vida de ésta, determinar las características físico-químicas del suelo, para conocer los nutrientes que dispondrán o disponen los árboles y analizar cómo este factor puede influir o influye en el rendimiento de las plantaciones. La fertilidad de los suelos donde crecen los árboles de una plantación, influye en el potencial productivo, lo cual se ve reflejado en la altura y diámetro de los árboles, incidiendo en la productividad de la plantación (Wadsworth, 1997; Comerford, 2006).

Las plantaciones forestales requieren cada vez más cantidad y calidad de los productos forestales, esto exige aplicar técnicas silviculturales para reducir el tiempo de turno y obtener árboles con buena calidad maderable (Bustillo, 2006).

El propósito de las plantaciones comerciales forestales es obtener en el menor tiempo posible la materia prima para satisfacer las demandas de la industria forestal; sin embargo, no sólo satisface dicha demanda sino que genera beneficios al medio ambiente, a la población, y a la economía local, ya sea regional o nacional.

Entre los beneficios de mayor importancia que generan las plantaciones se incluyen: recuperación de las áreas degradadas, reducción de la presión sobre los bosques y selvas nativas, generación de empleos y sustitución de importaciones de productos del bosque, entre otros (Sánchez, 2005).

La importancia de estudiar las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, está fundamentada, en la escasez de información del desarrollo y crecimiento de éstas, así mismo la poca importancia que se le ha dado a los suelos en las plantaciones forestales. El conocimiento de la producción y de la determinación de la caracterización dasométrica en *Swietenia macrophylla* King se realiza mediante observaciones que se hacen en parcelas permanentes de crecimiento recomendadas por Dourejeanni (2008) establecidas por los silvicultores de Tabasco en sus terrenos.

La presente investigación se realizó en Tabasco, México. Se trabajó con información proveniente de mediciones de plantaciones de *Swietenia macrophylla* King que al momento de las mediciones presentaban diferentes edades.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Caracterizar dasométricamente y determinar los índices de sitio en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King existentes en el estado de Tabasco, con base en las características del suelo.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar de forma dasométrica las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco.
- Determinar los índices de sitio de las plantaciones *Swietenia macrophylla* King establecidas en el estado de Tabasco.
- Relacionar los índices de sitio de estas plantaciones con las características edáficas mediante ecuaciones predictivas.

## **HIPÓTESIS**

- Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King presentan diferente potencial de crecimiento en Tabasco.
- Existen diversos índices de sitio que generan diferencias en la producción de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King. en Tabasco.
- El índice de sitio está influenciado por las propiedades físicas y químicas del suelo.

## REVISIÓN DE LITERATURA

En silvicultura, la calidad de sitio representa el potencial de crecimiento, que tiene una especie, en un sitio determinado (Andenmatten y Letourneau, 2001). Con esto se busca obtener un índice que establezca de forma aproximada, la máxima cantidad de volumen de madera que un suelo puede producir (García, 1998).

La productividad de un sitio como un concepto biológico que representa el crecimiento y desarrollo de una especie como respuesta a todas las condiciones ambientales, no puede expresarse matemáticamente, por lo que se ha optado por representarlas a través de valores de índice denominados índices de sitio o de productividad, lo cual es una expresión cuantitativa de la calidad de sitio (Prodan *et al.*, 1997).

En la determinación de índices de sitio se utilizan familias de curvas que se construyen con base en el crecimiento en altura dominante de la especie de interés, lo cual representa el comportamiento en diferentes calidades de sitio durante toda la vida de un rodal (Stage, 1963).

Dentro de la determinación de índice de sitio, se reconocen dos variantes, de acuerdo a la naturaleza de las familias de curvas de altura-edad generadas: curvas anamórficas y curvas polimórficas (Clutter *et al.*, 1983, Zepeda y Rivero, 1984).

Las curvas anamórficas se caracterizan por presentar la misma forma, ya que son proporcionales, y la pendiente de la altura de las curvas a cualquier edad guardan una relación constante entre ellas (Clutter, 1980); además, todas ellas tienen un punto de inflexión a la misma edad. Es decir, las curvas de índices de sitio son anamórficas si hay una tasa relativa de crecimiento constante para todos los índices de sitio a una edad específica y el punto de inflexión es a la misma edad para todas ellas (Zepeda y Rivero, 1984). Cuando estas curvas se representan en

escala logarítmica, son rectas paralelas, con igual pendiente, pero con diferente ordenada al origen.

Por su parte, las curvas polimórficas, son familias de curvas con pendiente variable, que generalmente no guardan una relación de paralelismo entre ellas y no son proporcionales por no depender unas de otras; por esta razón sus puntos de inflexión ocurren a edades diferentes. En estas familias de gráficas la culminación del crecimiento en altura se presenta más pronto en sitios de buena calidad (Clutter, 1980; Zepeda y Rivero, 1984; Acosta, 1991).

Las funciones más utilizadas para estimar crecimiento y rendimiento en plantaciones forestales han sido los modelos clásicos de tipo mecanicista de Schumacher, Chapman-Richards y Weibull, principalmente para modelar altura dominante en la construcción de curvas de índices de sitio (García *et al.*, 2007).

Existen cuatro métodos generados para construir curvas de índices de sitio, donde se utilizan parcelas temporales, árboles muestreables o parcelas permanentes y análisis troncales (Clutter *et al.*, 1983). En el presente estudio se trabajó con parcelas permanentes. En la construcción de curvas de índices de sitio puede aplicarse el método gráfico o el método analítico (García, 1998). Para ellos se dispone de cuatro métodos: a) de la curva de guía, b) de la diferenciación algebraica, c) de la predicción de parámetros y d) de ecuaciones diferenciales. El método de la curva de guía es el más usado en la construcción de curvas de índices de sitio para diferentes especies: *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L., *Tectonia grandis*, *Pinus uncinata* Ram. *Pinus ponderosa* (Dougl.) (Clutter *et al.*, 1983; Rodríguez, 1996; Andenmatten y Letourneau, 1997; Calama *et al.*, 2004; García *et al.*, 2007).

La forma para conducir la evolución de las plantaciones hacia condiciones que permitan la obtención de bienes y servicios, se logra a través de la manipulación

de algunos factores del rodal, como es principalmente la densidad (Daniel *et al.*, 1982).

A través de la ordenación o manejo de la densidad, el forestal o silvicultor es capaz de intervenir en el establecimiento de las diferentes especies, la calidad del fuste, la tasa de crecimiento del diámetro, y la producción en volumen, que es reflejo de los demás factores (Arce y Fonseca, 2003).

Los sistemas silviculturales no deben ser aplicados como una receta, sino que en su diseño se deben tomar en cuenta las condiciones particulares del sitio (Hutchinson, 1993).

### LITERATURA CITADA

Acosta, M.M. 1991. Modelo de crecimiento para *Pinus montezumae* Lamb. En el CEF San Juan Tetla, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 80 p.

Alder, D. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. En: Predicción del rendimiento. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudios FAO: Montes. Roma, Italia. 2:118 p.

Andenmatten, E. y F. Letourneau. 1997. Site index and height-growth curves for *Pinus ponderosa* (Dougl.) law in the patagonian Andean region of Chubut and Rio Negro, Argentine. ISSN 0717-9200. Bosque 18(2): 13-18.

Andenmatten, E. y F. Letourneau. 2001. Aportes a la dasimetría de plantaciones, de *pino Oregón* y *pino ponderosa*, en Patagonia. Resultados del Proyecto Forestal Integrado 1995-1999 Manual de uso. Informe técnico. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de

Tecnología. Agropecuaria y Estación Experimental Agropecuaria S.C. de Bariloche, Argentina. 31 p.

Arce, V. y W. Fonseca. 2003. Relación albura-durámen y características físicas de la madera de *Tectona grandis* L. en plantaciones de 10 años con diferentes densidades de siembra. Guanacaste, Costa Rica 1ª ed. Heredia, C.R. INISEFOR. La industria forestal en Latino América. 125-135.

Bustillos, H.J.A. 2006. Aptitud aérea para el establecimiento de plantaciones forestales en Sinaloa. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos. Texcoco, México. 109 p.

Calama, R.M. del Río, V. Coquillas, I. Cañellas y G. Montero. 2004. Modelos de calidad de estación y de perfil de fuste para masa de *Pinus uncinata* Ram. en el Pirineo español. Investigación Agraria: Sistema Recursos Forestales (2004) Fuera de serie. 176-190.

Clutter, J.L., J. Forston, L. Pienaar, G. Brister, y R. Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. Wiley. Nueva York, USA. 333 p.

Clutter, J.L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. Forest Science. 26:117-120.

Comerford, B.N. 2006. Encyclopedia of soil Science. University of Florida, Gaines, Ville, Florida, USA. Edi. Rattan Lal. 10.1081/E-ESS-120001682. En línea [http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a740171335~db=all~jump\\_type=rss](http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a740171335~db=all~jump_type=rss). Consultada el 20 de junio del 2008.

Daniel, W.T., J.A. Helms y F.S. Backer. 1982. Principios de silvicultura. Segunda edición. MccGraw-Hill. México. 492 p.



Dourojeanni, M.J. 2008. Intercambio de experiencia de ordenación forestal sostenible. OIMT. Actualidad Forestal Tropical. 16: (1) p. 12.

Dykstra.1984. Programming for Natural Resource Management. McGraw-Hill. U.S.A. 318 p.

FMIAFAC (Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal A.C.). 2005. Plan de negocios para el cultivo de especies forestales comerciales de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro (*Cedrela odorata* L.) en línea: [www.aneuaaan.org.mx./planesdenegocios/reporte\\_cultivos.pdf](http://www.aneuaaan.org.mx./planesdenegocios/reporte_cultivos.pdf). Consultada el 25 de junio del 2007.

García, C.X. 1998. Predicción del rendimiento de *Swietenia macrophylla* King (Caoba) en plantaciones forestales. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, México.114 p.

García, C.X., Ramírez M.H., Rodríguez F., C., Jasso M., y C. A. S. Ortiz. 2007. Ecuaciones de índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. Ciencias Forestales en México 23(84):9-18.

Holdridge, L.L. Poveda y Q. Jiménez. 1997. Árboles de Costa Rica. Vol. 1. San José, Costa Rica. Centro Científico Tropical. 522 p.

Hutchinson, I.D. 1993. Puntos de partida y muestreo diagnóstico para la silvicultura de bosques naturales del trópico húmedo. Turrialba, CR, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico N. 204. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales No. 7: 32 p.

Jiménez, H.E. Alpizar, J. Ledesma, J. Tosi, R. Bolaños, R. Solórzano, J. Echeverría, P. Onoro, M. Castillo, y R. Macillar. 1996. Estudio sobre el estado de

regeneración natural de *Swietenia macrophylla* King, “Mara” en Santa Cruz, Bolivia. World Wildlife Fund. 102 p.

Mayhew, J.E., y A.C. Newton. 1998. The silviculture of mahogany. Edinburgh, UK:CAB University of Edinburgh, CABI Publishing. New York. 226 p.

Meza, M.A., y C.G. Torres. 2006. El raleo: una operación silvicultural fundamental. Revista forestal Kurú. 3(8):1-3.

Montoya, O.,J.M., M. Mesón G. 2004. Silvicultura. Tomo II. Fundación Conde del Valle de Salazar ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. 1,139 p.

Pennington, T.D. y B.T. Styles. 1981. Meliaceae. Serie Flora Neo trópica. Publication the New York Botanical Garden. New York. Vol. Monograph 28: 470 p.

Prodan, M., Peters, F. Cox. y P. Real. 1997. Mensura forestal. IICA-BMZ/GTZ. San José, Costa Rica. 586 p.

Rodríguez, S.B. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en plantaciones forestales. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montecillo, México. 104 p.

Sánchez, M.E., A. 2005. Plantaciones forestales comerciales: base de datos y análisis financiero. Tesis maestría en ciencia. Forestal. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Montecillo. México. 141 p.

Saturtevant, B.R. y S.W. Seagle. 2004. Comparing estimates of forest site quality in old second-growth oak forests. Forest ecology and management 1991:311-328.

SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2006. Informe sobre la situación de la caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en México. En Línea: [http://www.cites.org/common/prog/mwg/MWG3/Costa%20Rica\\_MWG\\_29Jun06.ppt](http://www.cites.org/common/prog/mwg/MWG3/Costa%20Rica_MWG_29Jun06.ppt). Consultada el 9 de junio del 2007.

Stage, A.R. 1963. A mathematical approach to polymorphic site index curves for grand fir. *Forest Science*. 9(2):67-80.

Vázquez, R.A. 1999. Producción forestal fundamentos: antología. Ed. EUNED. 206 p. En línea: <http://books.google.com.mx/books?id=7Ac9VwokCmAC&printsec=frontcover#v=onepage&q=&f=false>. Consultada el 10 de octubre del 2007.

Wadsworth, F.H. 1997. Forest production for tropical America. USDA-Forest Service. Agriculture Handbook. Washington, USA. 563 p.

Zepeda B. y P. Rivero. 1984. Construcción de curvas anamórfica de índice de sitio: ejemplificación del método de la curva de guía. Instituto nacional de investigadores forestales. México, D.F. *Revista Científica Forestal*. 9(51):3-38.

## **CAPÍTULO II**

### **CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA E ÍNDICE DE SITIO EN PLANTACIONES DE CAOBA EN TABASCO**

# CARACTERIZACIÓN DASOMÉTRICA E ÍNDICE DE SITIO EN PLANTACIONES DE CAOBA EN TABASCO

Guadalupe Pérez González<sup>1</sup>, Marivel Domínguez Domínguez<sup>2\*</sup>  
Jorge D. Etchevers Barra<sup>3</sup> Pablo Martínez Zurimendi<sup>4</sup>

1 Estudiante de postgrado del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados.  
lupi1904@hotmail.com

2\* Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Perif. Carlos A. Molina. Km 3.5. Carr. Cárdenas-Huimanguillo. Ap. 24. C. P. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. E-mails: mdguez@colpos.mx. Autor para correspondencia.

3 Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillos, Estado de México. C.P. 56230. E-mail: jetchev@colpos.mx

4 Universidad de Valladolid, E. T. S. de ingeniería Agrarias. Depto. Prod. Veg. Recursos Forestales. Avda. de Madrid, No. 57. 34007 Palencia, España. E-mail: mzurimen@pvs.uva.es

## RESUMEN

Se hizo una caracterización dasométrica y se determinó la calidad de sitio, en ocho plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, en parcelas permanentes establecidas en el trópico de México. Las plantaciones estudiadas presentaron edades de 7 a 16 años, densidades de plantaciones de 156 a 4166 árb/ha<sup>-1</sup>; la supervivencia de 60 a 100%, altura dominante de 4.39 a 23.45 m, área basal de 2.3 a 15.7 m<sup>2</sup>/ha<sup>-1</sup>, volumen de madera con corteza de 14 a 185 m<sup>3</sup>/ha<sup>-1</sup>, índice de Reineke de 176 a 505. Con base a la caracterización dasométrica se determinó que las plantaciones con mayor productividad se encuentran en la zona de la Chontalpa. Para determinar la calidad de sitio de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King se probaron varios modelos (Bertalanffy, Chagoya, Logística, Monomolecular, Weibull, Korf y Wescom). El modelo de Korf presentó mejor ajuste con una confiabilidad de ( $\alpha \leq 0.05$ ). Esta ecuación se determinó para conocer el índice de sitio de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King con la expresión de curva guía:  $Ad = 12.34 * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$ . Los índices de sitio para *Swietenia macrophylla* King en el Estado de Tabasco se clasificaron como: baja (11.5 m), media (14.5 m) y alta (17.5 m) con edad base de 10 años. Con base a los resultados obtenidos, se puede considerar el potencial productivo de esta especie para futuros establecimientos de plantaciones en las zonas con mayor potencial.

**Palabras clave:** *Swietenia macrophylla* King, modelo de Korf, México.

# DASOMETRIC CHARACTERIZATION AND SITE INDEX IN MAHOGANY PLANTATIONS IN TABASCO

## ABSTRACT

It was done a dasometric characterization and found the site quality in eight mahogany plantations, in permanent plots laid down in the Tropic of Mexico. Studied plantations were about 7 to 16 years old, densities of plantations from 156 to 4166  $\text{arb}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; survival from 60 to 100 %, dominant height from 4.39 to 23.45 m, basal area from 2.3 to 15.7  $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ , volume of wood with bark from 14 to 185  $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ , Reineke index from 176 to 505. With the dasometric characterization basis, we can determined that plantations with increased productivity are located in the area of Chontalpa. To determine the quality of mahogany plantations areas, we will test several models (Bertalanffy, Chagoya, Logistics, Monomolecular, Weibull, Korf and Wescom). The Korf model presented fit in a best way with a reliability of ( $\alpha\leq 0.05$ ). This equation was determined to evaluate the site index of mahogany with the expression of curve guide:  $Ad = 12.34 * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$ . The site index for mahogany in the State of Tabasco were classified as: low (11.5 m), medium (14.5 m) and high (17.5 m) with a base of 10 years old. With the basis of the obtained results, we may consider the potential productivity of this species for future plantations in the areas with greatest potential establishments.

**Key words:** *Swietenia macrophylla* King, Korf model, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

*Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. son dos especies forestales del país, que por su madera preciosa, han sido sometidas a aprovechamiento intensivo. Esto ha ocasionado por parte del Gobierno Federal y particulares que realicen plantaciones, para satisfacer la fuerte demanda de la industria maderera en México (Ramírez y Zepeda, 1994; Bravo, 2007). Las maderas preciosas de estas especies y otras, apenas representan 0.5 % de la producción maderable en México. Esta baja producción se ha debido a varios factores, entre ellos: la minifundización de las tierras que acompañó a los programas de colonización de los trópicos durante la décadas de los años sesenta y setenta del siglo pasado, los incendios forestales, las plagas forestales que reducen la existencia de madera. Todos estos factores han incidido en que los árboles de *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. sean escasos y de talla reducida (Challenger, 1998; CONAFOR, 2005).

En México a pesar de que *Swietenia macrophylla* King es una especie con alto valor económico, existe poca información cuantitativa acerca de su crecimiento, desarrollo y rendimiento, en plantaciones (García, 1998).

El éxito de una plantación forestal ésta fundamentado en el aumento en sus dimensiones: altura, diámetro, área basal y volumen maderable que determina su crecimiento en un periodo de tiempo determinado (Klepac, 1983).

El manejo silvícola que se debe aplicar a las plantaciones forestales, es importante para promover el crecimiento de los árboles. Este último de mensura basado en mediciones dasométricas de la especie, que consideran los incrementos en diámetro, altura y producción en volumen maderable. Los tratamientos silvícolas tales como el aclareo buscan mejorar la estructura del rodal y lo más importante, incrementar el volumen útil en la corta final (Smith *et al.*, 1997).

Con el propósito de acopiar información acerca de lo anterior, se ha realizado un inventario forestal de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, a partir de la cual generó una amplia base de datos que permite analizar su crecimiento desde el año 2003 al 2008. Con esta información se determinó el índice de sitio donde se desarrolla cada plantación.

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar dasométricamente, así como determinar el índice de sitio de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el Estado de Tabasco.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el sureste de México en el estado de Tabasco, en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de los municipios donde se han establecido plantaciones de esta especie: Cunduacán, Huimanguillo y Centla ubicados entre las coordenadas, 18°39' y 17°15' de latitud norte; y 91°00' y 94°07' de longitud oeste (INEGI, 2006). Tabasco colinda al norte con el Golfo de México y Campeche; al este con Campeche y la República de Guatemala; al sur con Chiapas; al oeste con Veracruz de Ignacio de la Llave.



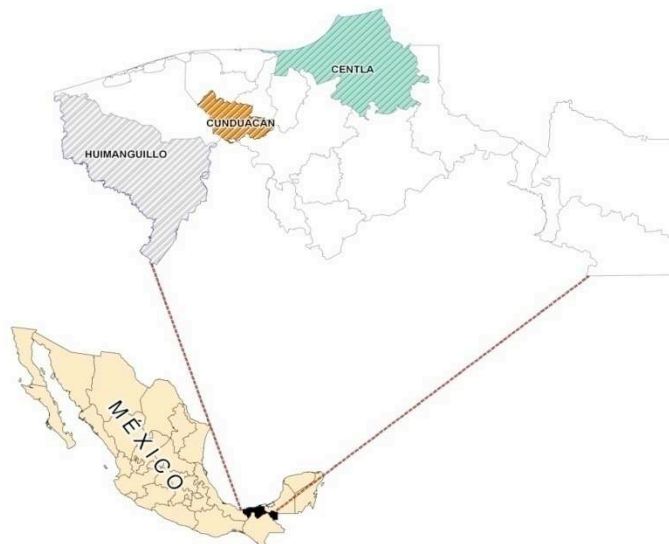


Figura 1. Localización de las plantaciones analizadas de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, México.

Determinación de la caracterización dasométrica

Muestreos de parcelas para la caracterización dasométrica

Para la realización de este estudio se dispuso de la información dasométrica consignada en el inventario de plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, elaborado por la Comisión Estatal Forestal (COMESFOR). Se analizaron datos de mediciones realizadas en los años 2003, 2004, 2005 y 2008 de la red de parcelas permanentes establecidas en ocho plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de propiedad de los silvicultores.

Se midieron 21 parcelas permanentes, con 44 árboles en promedio, haciendo un total de 924 árboles medidos. Los parámetros medidos fueron: densidad del arbolado, la superficie de las parcelas, la edad (años) y la sobrevivencia de los árboles. Se midió el diámetro normal (DBH) con una forcípula y la altura total de los árboles (HT) con una pistola Haga. Con los datos medidos en las parcelas permanentes se calcularon las siguientes variables: esbeltez, diámetro medio

cuadrático, área basal, volumen de madera con corteza, y árboles dominantes de acuerdo a Assman (1970).

Se determinaron los índices de densidad del rodal de Reineke y el índice de Hart (Daniel *et al.*, 1982). El índice de Reineke refleja la competencia entre los árboles y por tanto la disponibilidad de recursos que tienen los árboles para continuar creciendo adecuadamente.

A partir de los datos dasométricos de las plantaciones y de las curvas de índice de sitio (como se explica más abajo en esta sección) se clasificó la calidad de cada una de las plantaciones estudiadas.

Para la medición de la densidad de las plantaciones se utilizaron tres índices: Área basal (AB), el índice de densidad de rodal de Reineke (IDR) y el índice de Hart.

#### Área basal (AB)

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

*DBH*: diámetro a la altura del pecho en cm

*S*: tamaño de la parcela en  $ha^{-1}$ .

$$AB = \left[ \sum_i^n \frac{\pi}{4} * \left( \frac{DBH^2}{10000} \right) \right] / S$$

#### Índice de densidad del rodal de Reineke (IDR)

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 de la calidad de sitio (Clutter *et al.*, 1983). Se expresa:

$N$  = número de árboles por ha.

$Dg$  = diámetro medio cuadrático.

$$IDR = N * \left(\frac{Dg}{25}\right)^{1.605}$$

El índice determina el número de árboles que existen 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). Para determinar el índice del rodal, Reineke (1933) generó una ecuación que al graficarla representa un valor de la pendiente igual a 1.605 el cual se ha considerado como coeficiente general para las especies. Para la interpretación del IDR, Long (1985) define el 60 % de IDR máximo como el inicio de auto aclareo y el 35 % el límite de ocupación completo del sitio o estación.

El índice de Hart-Becking

Se define como la relación entre el espaciamiento medio del arbolado, calculado a partir de la densidad ( $N$ ) y su altura dominante ( $Ad$ ), expresada en porcentaje (Codina, 2003) donde:

$H$  = índice de Hart

$Ho$  = altura dominante

$a$  = espaciamiento medio del arbolado

$$H = 10000 / (Ho * a^{0.5})$$

Análisis estadístico de la caracterización dasométrica

Se realizó análisis estadístico de correlación para establecer el grado de asociación entre las variables dasométricas y seleccionar las variables a utilizar en los modelos en la determinación del índice de sitio, (de las variables que presentaron alta correlación, se seleccionaron las que mejor se ajustaban en el modelo). También se realizó análisis de varianza y prueba de comparación de

medias mediante Student-Newman-Keuls con  $\alpha=0.05$  de las variables dasométricas diámetro a la altura del pecho, diámetro medio cuadrático, altura total, esbeltez, área basal y volumen maderable con corteza.

Determinación del índice de sitio

Métodos para construir familias de curvas de índices de sitio

El índice de sitio es una representación gráfica que describe la relación altura dominante–edad de un rodal o árboles individuales y define el grado de productividad de un lugar.

Para este estudio se aplicó el método de curva guía, el cual consiste en ajustar en forma analítica un modelo matemático para obtener una curva promedio o curva guía en todo el rango de observaciones de altura dominantes-edad, a partir de la cual se trazaron curvas proporcionales arriba y debajo de la curva guía, las cuales representan diferentes índices de sitio (Clutter *et al.*, 1983).

Los modelos usados para determinar el índice de sitio en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King se generaron de acuerdo a los modelos matemáticos usando la altura dominante y la edad de las plantaciones. La familia de curvas que se usó para el modelo que mejor ajustó fue la anamórfica debido a que se caracterizan por presentar la misma forma, son proporcionales entre sí y la pendiente de la curva a cualquier edad guarda una relación constante entre ellas (Clutter *et al.*, 1983). El punto de inflexión se presentó a la misma edad, ajustando de una forma analítica un modelo matemático para obtener una curva de guía para las observaciones de altura dominante y edad.

Se eligió como base 10 años, considerando los estudios de García (1998), Wescom (1979), Mayhen y Newton (1998), Lugo *et al.*, (2002) para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King. La edad base se seleccionó en función de dos criterios: estar cercano a la mitad del turno de corta: y estar dentro del rango de edades medidas.

Se calcularon los ajustes de las curvas de Bertalanffy, Chagoya, Logística, Monomolecular, Weibull, Korf y Wescom, con la base de datos de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco (Tabla 1). Se probaron siete modelos con los crecimientos de las plantaciones considerando las familias de curvas de índices de sitio propuesta por García (1998), en Quintana Roo, Wescom (1979) en Fiji, Mayhew y Newton (1998) en Sri Lanka y Vallejo (1996) en Colombia, Costa Rica, Honduras, Nicaragua y Panamá por su similitud climática para Tabasco y las condiciones de cálculos similares a las referidas en este estudio.

Tabla 1. Los modelos usados para describir el crecimiento de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

MODELO	ECUACIÓN
VON BERTALANFFY	$Ad=A0*(1-EXP(-A1*T))^{**3}$
CHAGOYA	$Ad=EXP(LOG(A0)-A1*((1/T)-0.1))$
MONOMOLECULAR	$Ad=A0*(1-A1*EXP(-A2*T))$
LOGISTICO	$Ad=A0/(1+A1*EXP(-A2*T))$
WEIBULL	$Ad=A0*(1-EXP(-A1*(T**A2)))$
KORF	$Ad=A0*EXP(-A1*T**-A2)$
WESCOM	$Ad=A0*(10**(-A1*(1/T-0.1)))$

Nota: *Ad*: Altura dominante, *A0*, *A1*, *A2*, *A3*: parámetros de tasas de crecimiento, *EXP*: exponencial de la base de los logaritmos naturales, *t*: tiempo

#### Análisis estadístico para determinar el índice de sitio

Se usó el 70 % de los datos para el desarrollo de los modelos matemáticos. Con una base de 68 datos, se corrieron los modelos de Von Bertalanffy, Chagoya, Monomolecular, Logístico, Weibull, Korf y Wescom, para determinar el índice de sitio.

Se utilizó el 30 % de los datos para medir la bondad de los ajustes de una forma independiente, a través de los índices para la validación de los modelos (Huang *et al.*, 2003; Domínguez *et al.*, 2006); también se obtuvo la eficiencia de cada modelo.

Procedimiento para la validación de los modelos:

$$MRES = \frac{\sum | (Y_i - \hat{Y}_i) |}{n}$$

$$MRES (\%) = 100 * MRES / \bar{Y}$$

$$AMRES = \frac{\sum | (Y_i - \hat{Y}_i) |}{n}$$

$$AMRES (\%) = 100 * AMRES / \bar{Y}$$

donde:

MRES: Error medio del modelo

$Y_i$  : Valor observado o real

$\hat{Y}_i$ : Valor estimado con el modelo

$n$ : número de observaciones en la validación de los modelos

$\bar{Y}$ : Valor promedio de los valores observados

Los modelos se validaron aplicando las fórmulas de eficiencia del modelo (EF) que se considera un estimador para evaluar los modelos aplicados con regresiones no lineales (Huang *et. al.*, 2003).

donde:

$$EF = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

$y_i$  = valor observado o real

$\hat{y}_i$  = valor estimado con el modelo

$\bar{y}$  = valor promedio de los valores observados o reales

$$Aprox - R^2_{ajust} = SSC - SSR \frac{SSC - SSR}{SSC}$$

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

## RESULTADOS

### Caracterización dasométrica

Se evaluaron ocho plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, siete de ellas ubicadas en los municipios de Cunduacán y Huimanguillo en el área de la Chontalpa y una en el municipio de Centla en el área de la Costa del Estado de Tabasco.

Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco se encuentran en un rango de edad de 7 a 16 años.

Los árboles de esas plantaciones fueron establecidos a diversos espaciamientos, existiendo una diversidad de densidades que va de 156 a 4166 árb·ha<sup>-1</sup>, ésta última establecida a una distancia muy corta de 2 x 1.2 m entre los árboles (Tabla 2).

La máxima supervivencia la presentó las plantación con los numeral 27-036, 27-034 con el 100 %, las siguientes son la 27-037 con el 90 %, la 27-039 y 27-053 con el 70 %; las demás plantaciones presentaron supervivencia menor como en el caso de la 27-042 y 27-048 con el 60 % y la 27-013 con el 40 %.

La altura dominante como variable indicadora del índice de sitio en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King fue de 23 m en la plantación 27-037 a una edad de 16 años, 17 m en la 27-053 a edad de 13 años, 16 m en la 27-042 a edad de 9 años, 15 m en la 27-048 con edad de 11 años, 14 m en la 27-034 con edad de 13 años, 12 m en la 27-013 y 27-036 con edad de 7 y 9 años respectivamente y 8 m de altura dominante en la 27-039 con edad de 9 años.

Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King presentaron un área basal máxima de 16 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> en la 27-037 y la mínima fue de 4 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> en la 27-034.

El máximo volumen maderable que presentan las plantaciones son  $185 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ , en la plantación 27-037 y el mínimo volumen maderable fue de  $14 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ , en la 27-013.

Tabla 2. Valores promedios de las características dasométricas de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco.

Claves	Municipio	Edad (Años)	<i>N</i> (árb·ha <sup>-1</sup> )	<i>S</i> (%)	<i>Ad</i> (m)	<i>AB</i> (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	<i>V</i> (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )
27-036	Cunduacán	7	625	100	12	13	73
27-013	Centla	9	625	40	12	7	14
27-039	Cunduacán	9	1111	70	8	8	36
27-042	Cunduacán	9	1111	60	15	13	89
27-048	Cunduacán	11	156	60	16	7	54
27-034	Cunduacán	13	4166	100	14	4	37
27-053	Huimanguillo	13	1111	70	17	13	98
27-037	Cunduacán	16	400	90	23	16	185

Nota: *N*=densidad; *S*=supervivencia; *Ad*= altura dominante; *AB*=área basal *V*=volumen.

A continuación se muestra la comparación de medias de Student-Newman-Keuls de las variables dasométricas que se realizó esta prueba estadística.

Existen plantaciones donde los árboles tienen la misma edad pero su crecimiento del diámetro a la altura del pecho es diferente, como el caso de tres plantaciones de 9 años que presentaron crecimiento de diámetros de 10, 13 y 15 cm. Las dos primeras no difirieron entre sí, pero el diámetro promedio de la tercera fue diferentes de las anteriores, aun siendo de la misma edad. La plantación de mayor edad (16 años) presento un diámetro a la altura del pecho de 23 cm. Se esperaría que la plantación establecida a una densidad menor ( $625 \text{ árb}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) (27-013) presentase un crecimiento mayor a las otras plantaciones con densidad de  $1111 \text{ árb}\cdot\text{ha}^{-1}$ , por disponer éstos de más espacio entre individuos; sin embargo, resultó que esta plantación presentó el menor diámetro promedio de las tres, la cual puede explicarse porque las condiciones del sitio desempeñan un papel importante en el crecimiento de los árboles. Una respuesta similar se presentó en el crecimiento de la altura total del árbol, en estas tres plantaciones. La plantación que presentó el menor crecimiento en diámetro y en altura total, presentó el mayor índice de esbeltez de 97 % (Tabla 3). La mayoría de las plantaciones presentaron



índices de esbeltez del 80 %, las cuales según González (2001) estas serian estables; los índice 81 % y 100 % serian inestables y de alta inestabilidad. La esbeltez en general refleja el vigor del árbol. Ésta varía con la edad: esbelteces de hasta el 100 % son normales en la fase juvenil de la planta. A partir de los 10 años se espera que la esbeltez sea inferior a 80 % por lo contrario es síntoma de árboles muy finos que pueden partirse fácilmente.

La máxima área basal de los árboles la presentó la plantación de 11 años de edad a diferencia de la plantación de 16 años de la zona de la Chontalpa, que presentó menor área basal.

En general el volumen de madera por árbol de *Swietenia macrophylla* King fue similar; la mayoría de las plantaciones no presentaron diferencia cuando se practicó la comparación de medias. La excepción la constituye en una plantación de 11 años con densidad de 156 árb·ha<sup>-1</sup> y otra de 16 años con densidad de 400 árb·ha<sup>-1</sup> establecidas en la misma zona de la Chontalpa.

El máximo volumen maderable por árbol lo presentó la plantación 27-037 con 0.504 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup> con edad de 16 años. La plantación que presentó el mínimo volumen maderable fue la 27-013 con 0.065 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup> con edad de 9 años.

Tabla 3. Comparación de medias de las variables dasométricas en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco.

Clave	Edad (años)	DBH (cm)	HT (m)	Esbeltez (%)	AB (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	V (m <sup>3</sup> ·árb <sup>-1</sup> )
27-036	7	15ed	11d	76b	0.018d	0.107ed
27-039	9	13d	9e	77b	0.014ed	0.072ed
27-013	9	10f	9e	97a	0.011e	0.065e
27-042	9	15d	13c	90a	0.020d	0.143d
27-048	11	21b	15b	61c	0.056a	0.443b
27-034	13	19c	12c	70b	0.033c	0.236c
27-053	13	14e	13c	97a	0.016ed	0.121ed
27-037	16	23 <sup>a</sup>	21a	94a	0.045b	0.504a

Nota: DBH=diámetro a la altura del pecho, HT=altura total, AB=área basal, V= volumen maderable, árb=árbol, Media con las mismas letras son estadísticamente iguales con  $\alpha$ : 0.05 según la prueba de medias Student-Newman-Keuls.

La Figura 2 muestra la relación entre la edad de las plantaciones y la altura dominante. Esta nos provee información acerca de la productividad futura de las plantaciones de la zona de Tabasco.

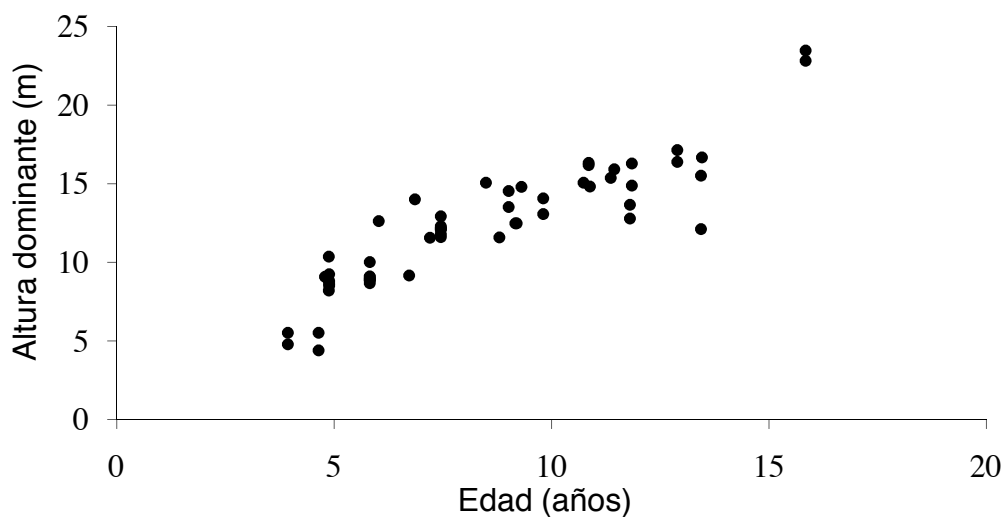


Figura 2. Altura dominante en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, en Tabasco, México.

La densidad máxima de árboles en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King fue de 1000 árb·ha<sup>-1</sup> pero el volumen maderable en este caso fue de sólo 0.05 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>, la mínima densidad de las plantaciones fue 104 árb·ha<sup>-1</sup> con volumen maderable de 0.39 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>.

Las plantaciones que tenían entre 200 y 400 árb·ha<sup>-1</sup>, presentaron volumen maderable de hasta 0.5 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup>; en cambio las plantaciones con densidades entre 600-1000 árb·ha<sup>-1</sup>, solo alcanzaron hasta 0.03 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup> (Figura 3). Aquí se puede ver claramente el efecto de la densidad del arbolado en la producción de volumen maderable medio. Esta misma relación se obtuvo con el área basal y la densidad. El área basal determina la competencia por espacio, por lo tanto cuando se tiene mayor número de árboles en una hectárea, el área basal por árbol disminuye, drásticamente.

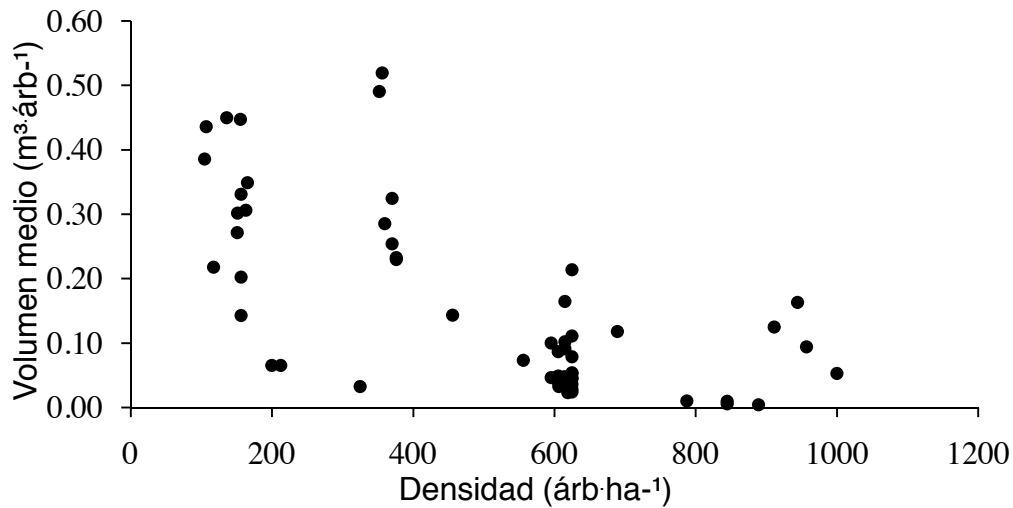


Figura 3. Representación del volumen maderable medio a diferentes densidades de en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, México.

El índice máximo de densidad del rodal de Reineke en las plantaciones fue de 505, el índice medio de 303 y el mínimo de 176, de acuerdo a Long (1985). Una de ellas está en plena ocupación de sitio y tres han entrado en etapa de autoaclareo o muerte por selección natural, el cual determina que tengan los índices de Reineke menores del 35 %, o sea, las plantaciones que presentaron *IDR* hasta 176 se encuentran los árboles en crecimiento; *IDR* mayor de 176 hasta 303 se encuentra en plena ocupacion de sitio, y entre *IDR* mayor de 303 hasta 505 han entrado a la fase de autoaclareo de los árboles de forma natural, esto debido al exceso de competencia por espacio, luz y nutrientes. De éstas, cuatro plantaciones están en etapa de crecimiento (Figura 4).

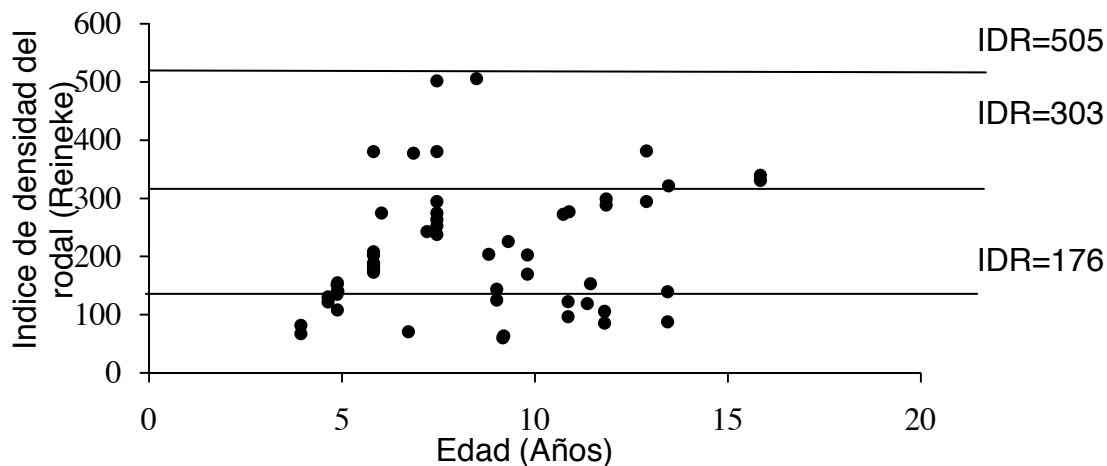


Figura 4. Índice de densidad del rodal de Reineke en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de acuerdo a Long (1985).

#### Índice de sitio

De los siete modelos probados (Bertalanffy, Chagoya, Logístico, Monomolecular, Weibull, Korf y Wescom) para determinar el índice de sitio en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, el análisis de regresión no lineal aplicado demostró que el modelo de Korf fue el que resultó estadísticamente diferente, como se muestra en la Tabla (4).

Tabla 4. Resultados de análisis de regresión no lineal y parámetros estimados para el modelo de altura dominante de Korf en *Swietenia macrophylla* King.

Fuente	G.L	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	
Regresión	3	4954.8	1651.6	
Residual	25	109	4.3588	
Total no corridos	28	5063.8		
Total corridos	27	560.4		
Variable	Estimación	Intervalo de confianza al 95%		
		Inferior	Superior	
Término independiente	21426.4	0.934	60.060	
A0	180.1	-43948	44308	
A1	4.9	-118.8	128	
A2	0.291	-1.6326	2.2146	

A continuación se presentan los resultados de los valores del coeficiente de determinación ajustado y la eficiencia de los modelos que determinó la selección del modelo (Tabla 5). De los siete modelos, el que mejor eficiencia presentó fue el Korf, así como el mejor coeficiente de determinación ajustado (0.80 en ambos casos). Los modelos de Von Bertalanffy y Chagoya resultaron muy bajos y negativos en la eficiencia, por el bajo ajuste de esos modelos.

Tabla 5. Eficiencia y R<sup>2</sup> ajustada de los modelos de altura dominante en *Swietenia macrophylla* King.

Modelos	R <sup>2</sup> ajustada	Eficiencia (EF)
VON BERTALANFFY	0.7655	-5.08
CHAGOYA	0.7890	-2.33
MONOMOLECULAR	0.7749	0.77
LOGISTICO	0.7962	0.79
WEIBULL	0.7731	0.76
KORF	0.8015	0.80
WESCOM	0.7890	0.79

De los siete modelos probados para construir la curva de índice de sitio, la curva guía con el modelo de Korf fue la que mejor ajuste presentó y mayor eficiencia del modelo para las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, siendo 12.34 m. la altura dominante a una edad base de 10 años. El modelo de Korf quedó como sigue;

$$Ad = 12.34 * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$$

donde la *Ad* es la altura dominante, la *EXP* es la base de los logaritmos naturales y la *t* es el tiempo.

Posteriormente con la curva guía de modelo de Korf seleccionado para las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, se determinaron tres índices de sitio, con tres curvas de calidad, las cuales se clasificaron como baja, media y alta. De las plantaciones que presentaron una

productividad alta, su índice de sitio fue de 17.5 m las plantaciones que presentaron una productividad media tuvieron un índice de sitio de 14.5 m y en las que presentaron una productividad baja el índice de sitio fue de 11.5 m (Figura 5).

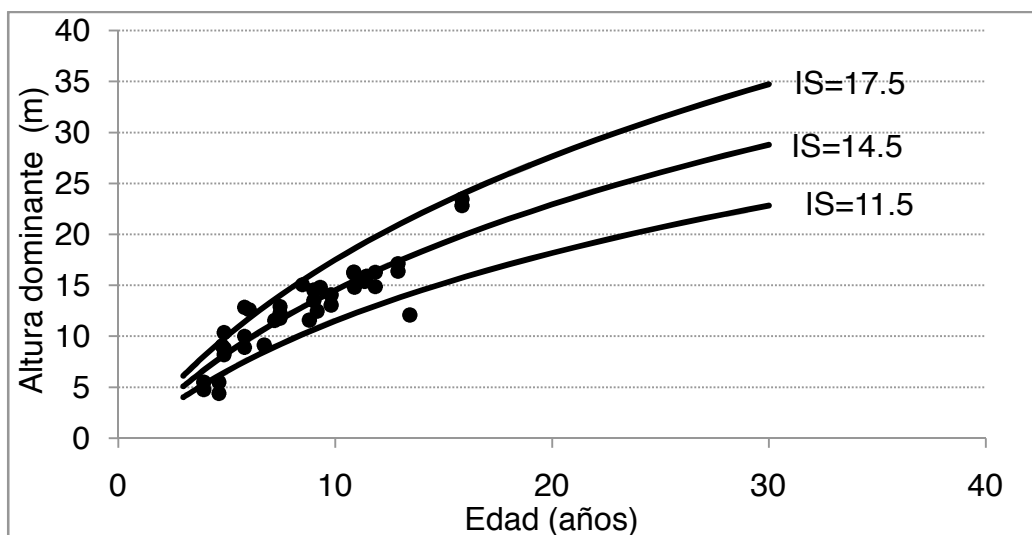


Figura 5. Calidades de sitio para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, México.

## DISCUSIÓN

El análisis de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de acuerdo a los datos analizados estadísticamente permitió caracterizar el crecimiento de la especie, observándose que existe poca variabilidad en las variables diámetro a la altura pecho, altura total, edad, área basal y volumen.

Las plantaciones forestales tropicales están altamente influidas por la densidad y son afectadas en el crecimiento principalmente, debido a que los árboles requieren mucho espacio e iluminación sobre todo tratándose de especies perennes (Dawkins, 1961). El factor densidad fue relevante para la productividad de las plantaciones en Tabasco, aquellas plantaciones que presentaron más de 1000

árb·ha<sup>-1</sup> su volumen maderable se vio reducido a 0.05 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup>, sin embargo la plantación con densidad de 104 árb·ha<sup>-1</sup> su volumen fue de 0.39 m<sup>3</sup>·árb<sup>-1</sup>, por lo que la densidad es un factor que afecta drásticamente el volumen o producto final como se ha demostrado en estudios en Puerto Rico, Martinica, Philipinas, México, Indonesia y Sri Lanka, esta última con espaciamiento de (2 x 2 y 3 x 3 m).

Otro factor que afecta a las plantaciones son las diferencias en las condiciones de sitio, estos podrían alterar la pendiente de la línea de máxima densidad en la gráfica de poblaciones monoespecíficas (Lonsdale y Watkinson, 1983), además de los factores físicos como el viento y las plagas forestales que ocasionan daño mecánico o fisiológico al árbol que disminuye la densidad (CONAFOR, 2005). La densidad es un factor que influye fuertemente en el crecimiento de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, al cual se debe prestar atención en los primeros 5 años de establecimiento de una plantación (Mayhew y Newton, 1998).

El área basal determinada en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King fue de 16.4 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> como máximo y 4 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> como mínimo; la mayor área basal detectada a la edad de 7 años fue 13 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. Si se comparan estos resultados con otro estudio en el cual se ha aplicado manejo silvícola, en la misma especie y edad, el área basal fue de 10 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> (Bauer, 1987). El área basal en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de Tabasco superan los valores presentados en otros estudios. En el caso de plantaciones en Honduras (AFE-COHDEFOR, 1989), se ha determinado que plantaciones con área basal de más de 25 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> requieren un tratamiento de liberación de 35 %, de 21 a 24.9 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> la intensidad sugerida es de 30 %, buscando disminuirla hasta alcanzar 16 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>. Las plantaciones en Tabasco están en el rango sugerido por AFE-COHDEFOR (1989); las cuales con un buen manejo podrían presentar mayor potencial de producción.

El índice de rodal de Reineke expresa el número de árboles por hectárea con un diámetro de 25 cm, al aplicar este índice se determinó que las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King presentaron un IDR 505, un IDR 303 y 176, lo cual de acuerdo a la interpretación de Long (1985) se determinó que tres plantaciones han entrado en autoaclareo con más del 60 % de IDR, una plantación en etapa de máxima ocupación del sitio con más del 35 % de IDR, y cuatro plantaciones presentan árboles en crecimiento. Los límites entre 35 % al 60 % del IDR definen el intervalo de densidad dentro del cual la productividad es máxima (Langsaeter, 1941). Este índice se ha determinado en otras especies como *Cedrela odorata* con 588 de IDR como valor máximo y en *Tectona grandis* con 1100 como máximo IDR con árboles en plena ocupación de sitio que ya requieren aclareos (Jerez *et al.*, 2003; Murillo, 2008).

En cuanto al diámetro de los árboles en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco, éste se vio afectado por la densidad y el sitio, sin embargo concuerda con otros estudios realizados en Filipinas donde se ha demostrado que la especie llega a alcanzar 1.8 m de altura en el primer año y de 15 a 20 cm de diámetro en 14 años. En Iquitos, Perú, alcanza los 27 cm de diámetro y de 20 a 25 m de altura en 12 años (CONABIO, 2001), bajo manejo silvícola. Sin embargo el diámetro de cualquier especie es altamente sensible a los cambios con la densidad (Gadow *et al.*, 2007). En general el diámetro crecerá con base al manejo que se aplique a dicha especie y la productividad del sitio, además de considerar otros factores como serían las densidades de plantación, el tamaño de la copa, la presencia de enfermedades, las características genéticas, la aplicación de fertilizante, entre otros.

De las ocho plantaciones estudiadas el 50 % presentaron índices de esbeltez entre 90 y 97 %, el otro 50 % presentaron índices entre 61 y 77 %. El índice de esbeltez es la relación entre la altura y el diámetro normal; es un valor que ha sido utilizado como un indicador de la estabilidad de los árboles contra daños ocasionados por fuerzas mecánicas, valores bajos de esbeltez están asociados



con árboles más cónicos que pueden ser más resistentes al efecto de fuertes vientos (Arias, 2004). Entre más alto sea el valor de esbeltez, menos estable es el árbol ante los daños mecánicos (Durlo y Denardi, 1998).

La supervivencia de los árboles fue superior al 60 % en siete de las plantaciones estudiadas con un espaciamiento de 2 x 1.2 hasta 8 x 8 m y una plantación con el 40 % de supervivencia. Estudios anteriores en plantaciones de *Cedrela odorata* en Tabasco reportan del 71 al 97 % de supervivencia (Murillo, 2008). Hagggar *et al.*, (2000), menciona que el 60 % de supervivencia es considerado alto. La supervivencia puede ser afectada en gran medida por los espaciamientos en las especies tropicales (Evans *et al.*, 2004), además por ser un árbol perennifolio es más vulnerable a la sequía, y su lento crecimiento hace que esté expuesta a condiciones ambientales desfavorables (Barchuk y Díaz, 1999). Cabe señalar que de acuerdo a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2008) para que una plantación sea sujeto de apoyo debe cumplir con un 70 a 80 % de supervivencia con edad de un año. La supervivencia de la especie está más relacionada con el sitio, con la cantidad de luz, agua y nutrientes del suelo.

El volumen maderable es el producto final de toda plantación de *Swietenia macrophylla* King con fines comerciales. Resultados de Xue y Hagihara (2008), señalan que el efecto de la densidad sobre el crecimiento, se ve reflejado en la altura, debido a que ésta se ve disminuida en su crecimiento con el aumento de la densidad y por lo tanto, se ve afectado el volumen. Esto se debe principalmente a competencia por espacio, luz, agua, nutrientes, a las características genéticas, a las plagas y enfermedades, a los huracanes, tipo de suelo, entre otros. El volumen maderable en las plantaciones de 7 años fue de 13 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> y en plantaciones de 16 años de edad de 185 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. En otros estudios con esta misma especie, con manejo silvícola en Quintana Roo, reportaron un volumen de 22.8 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> a edad de 5 años y 50.3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> con 15 años de edad (García *et al.*, 2007). En Indonesia se consiguen producciones de madera de 18 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> a la edad de 20 años, en la Isla de Fiji 5 a 14 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> a edad de 35 años, en la Isla de Martinica 14 a 20 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>

a edad de 35 años, en la Isla de Guadalupe  $18 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  a edad de 25 años y en Belice alcanza un volumen de  $280 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  a edad de 50 años en (Mayhew y Newton, 1998).

La determinación del índice de sitio en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King a las cuales no se les ha dado manejo silvícola de aclareo, poda, fertilización, fueron clasificados en tres tipos: como bajo (11.5 m), medio (14.5 m) y alto (17.5 m) con una edad base de 10 años. García (1998; 2007) determinó cinco índices de sitio 14, 16, 18, 20 y 22 m a una edad base de 30 años en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Quintana Roo, con los modelos de Champman y Richards y Weibull los cuales sobreestiman las edades, sin embargo esto es posible debido a los hábitos de crecimiento y edades de las plantaciones, además la consideran como una especie de lento crecimiento. En una buena calidad de sitio los turnos son más cortos, que en los sitios de mediana y baja calidad (Asmman, 1961; Aguirre, 1984; Madrigal, 1995; Rodríguez, 1996).

Wescom (1979) determinó seis índices de sitio con edad base de 10 años en *Swietenia macrophylla* King en la isla de Fiji; los índices de sitio que encontró fueron 25, 22, 19, 16, 13 y 10 m. y Rodríguez (1996), en Chetumal Quintana Roo, determinó cuatro índices de sitio de 14, 16, 20 y 22 m. en plantaciones de esta especie sin manejo silvícola a una edad base de 30 años.

En las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King los modelos con mejor ajustes fueron Bertalanffy, Chagoya, Logística, Monomolecular, Weibull, Korf y Wescom. El modelo de Weibull en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King estudiadas presentó un coeficiente de determinación de 0.77; fue menor comparado con otro estudio en plantaciones de Quintana Roo donde se encontró un coeficiente de ajuste de  $R^2$  0.99 (García *et al.*, 2007) este modelo es el más usado en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, sin embargo aquí el modelo fue menos eficiente, otros modelos usados para esta especie han sido

Wescom en la isla Fiji, Bertalanffy en Quintana Roo y Chagoya en Costa Rica (Rodríguez, 1996; García *et al.*, 2007).

## CONCLUSIÓN

Este estudio permitió comprender el crecimiento de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco.

La caracterización dasométrica reveló que las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco presentan densidades de 400 a 4166 árb·ha<sup>-1</sup> con edad de 4 a 16 años, con área basal entre 16 y 4 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, con volumen maderable desde los 14 a los 185 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.

De las ocho plantaciones cuatro están en estado de crecimiento, una en plena ocupación del sitio que necesita manejo silvícola de aclareo y tres de ellas han entrado en autoaclareo de acuerdo al índice de densidad de rodal de Reineke, habiendo entrado los árboles en competencia y por tanto rebasado el momento de la aplicación de aclareo.

En la determinación del índice de sitio, los modelos de Wescom, Weibull, logístico y Molecular presentaron buenos ajustes y eficiencias, sin embargo el modelo de Korf fue el mejor.

Las plantaciones presentan tres índices de sitio determinando una altura dominante de 11.5 m para el índice de sitio bajo, 14.5 m para índice de sitio medio y 17.5 m para el índice de sitio alto, a una edad base de 10 años.

Las aportaciones de este trabajo en cuanto a la caracterización dasométrica y determinación de índice de sitio, servirán para determinar la producción esperada

y el manejo silvícola a aplicar a las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco.

Este trabajo aporta conocimiento de las zonas con mayor potencial productivo para el establecimiento de esta especie en la zona tropical de México.

## LITERATURA CITADA

AFE-COHDEFOR. 1989. El sector forestal hondureño. Proyecto HON/88/003FAO/PNUD. Departamento de Planificación. Tegucigalpa, Honduras. 25 p.

Aguirre, C.O.A. 1984. Estimación de índice de sitio para *Pinus pseudostrobus* Lindl. En la región de Iturbe, Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 71 p.

Arias, D. 2004. 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.

Assman, F. 1970. The principles of forest yield study. First edition. Pergamon Press. Oxford. 506 p.

Assmann, E. 1961. Waldertragskunde. Munich, Alemania, Beyerischer Landwirtschaftsverlag. 490 p.

Avery, E.T. y E.H. Burkhart. 2002. Forest measurements. Fifth ed. McGraw-Hill. New York, USA. 456 p.

- Barchuk, A.H. and M.P. Díaz. 1999. Regeneration and structure of *Aspidosperma quebracho-blanco* Schl. in the Arid Chaco (Córdoba, Argentina). *Forest Ecology and Management* 118: 31-36.
- Bauer, G.P. 1987. *Swietenia macrophylla* King and *S. macrophylla* x. *S. mahogany* development and growth: the nursery phase and the establishment phase in line planting in the Caribbean National Forest, Puerto Rico. MSc thesis, College of Environmental Science and forestry, Faculty of Forestry, State University of New, York. 310 p.
- Bravo, M.A. 2007. Estimación maderable y evaluación financiera de plantaciones forestales comerciales de Cedro y Caoba en Oaxaca, México. Tesis de maestría. Montecillo, Texcoco, Edo de México. 86 p.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. CONABIO, Instituto de Ecología, UNAM y Agrupación Sierra Madre S.C., México. s/p
- Clutter, J.L., J Forston, L. Pienaar, G. Brister y R. Bailey. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. Wiley. Nueva York, USA. 333 p.
- Codina, J.C. 2003. El índice de sitio de Hart-becking y su justa medida. *Foresta* 24:50-52.
- CONABIO (Comisión Nacional de la Biodiversidad). 2001. Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 236 p.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2008. Programa Forestal de la Comisión Estatal Forestal De Tabasco. Disponible en línea: [www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx). Consultada el 23 de Septiembre de 2008.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2005. Informe de la situación del medio ambiente en México. Disponible en línea: [http://148.223.105.188:2222/gif/snif\\_portal?option=com\\_contenttask=viewid=50&Itemid=64/index.php](http://148.223.105.188:2222/gif/snif_portal?option=com_contenttask=viewid=50&Itemid=64/index.php). Consultada el 16 de Julio de 2009.

Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. (Trad. Ramón Elizondo Mata). McGraw-Hill. México D.F. 491 p.

Dawkins, H.C. 1961. Estimating total volumes of some Caribbean trees. *Caribbean Forester* 22(3-4):62-63.

Domínguez, D., M., F.O. Bravo y G.M. Del Rio. 2006. Modelo de tamaño de copa en *Pinus sylvestis* 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 J.W. Turnbull. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics: The Role, Silviculture, and Use of Planted Forests for Industrial, Social, Environmental, and Agroforestry Purposes*. Third Edition. Publicado por Oxford University Press, New, York. 467 p.

Gadow, K.V., O. S. Sánchez y J.G. Álvarez. 2007. *Estructura y Crecimiento del Bosque*. ISBN: 978-84-690-7535-7. IUFRO World Series. 242 p.

- García, C.X. 1998. Predicción del rendimiento de *Swietenia macrophylla* King (Caoba) en plantaciones forestales. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, México. 114 p.
- García, C.X., J.G. Flores, J.D.S. Benavides. 2007. Índice de sitio para *Cedrela Odorata* L. (Cedro rojo) en Quintana Roo, México. Ciencias Forestales en México 32(101):71-92.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. México D.F. 252 p.
- González, M.J. 2001. Introducción a la selvicultura general. Universidad de León. Escuela Técnica Superior de de Ingeniería Agraria. España. 271 p.
- Haggar, J., K. Wightman, L. Sosa, K.H. Van, J.A. Contreras y G. Hernández. 2000. Una estrategia para hacer rentable la producción de árboles por ejidatarios en la península de Yucatán. II foro internacional. Los aprovechamientos forestales y su relación con el ambiente. Veracruz, México. s/n.
- Huang, S., Y. Yang and Y. Wang. 2003. A critical look at procedures for validating growth and yield models. En: Amaro, A., Redd, D., Soares, P. (Eds.) Modelling Forest Systems. CABI. pp: 271-293.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2000. Marco Geoestadístico. Disponible en línea: <http://mapserver.inegi.gob.mx/>. Consultada el 20 de Agosto de 2008.
- Jerez, J., M. Vicent, L. Moret, y Y.R. González. 2003. Regímenes de espaciamiento inicial y aclareo en plantaciones de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Venezuela.

16 p. Disponible en línea: [www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/RegimenesdeEspaciamiento.pdf](http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/RegimenesdeEspaciamiento.pdf). Consultada el 06 de Agosto del 2008.

Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.

Langsaeter, A. 1941. Om tynning i enaldret gran-og furuskog (About thinning in even-aged stands of spruce, fir and pine), Meddel.F.D. Norske Skogforsoksvesen, 8:131-216.

Long, J.N. 1985. A practical approach to density management. Forestry Chronicle. 61:23-27.

Lonsdale, W.M. A.R. Watkinson. 1983. Plant geometry and self-thinning. Journal of Ecology. 71: 285-297.

Madrigal, H., S. y H.M. Ramírez. 1995. Comparación de nueve modelos empíricos para la determinación del índice de sitio en Michoacán. *In*. Ciencia forestal en México. Chapingo México. 115 p.

Mayhew, J.E. y A.C. Newton. 1998. The silviculture of mahogany (*Swietenia macrophylla*). First edition. CABI Publications. Wallingford, UK. 226 p.

Murillo, B., Y. 2008. Determinación de aclareo en plantaciones de Cedro (*Cedrela odorata* L.) en el estado de Tabasco. Tesis de maestría Campus Tabasco, H. Cárdenas, Tabasco. 88 p.

Ramírez, M.H. y B.M. Zepeda. 1994. Rendimientos maderables de especies forestales, actualidades en México. *In*: Memorias de la IV Reunión Nacional de Plantaciones Forestales.SFFS-INIFAP. México, D.F. pp:15-21.



- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. Journal agricultural. Research. 46 (7):627-637.
- Rodríguez, S., B. 1996. Estimación del crecimiento y relaciones dasométricas de caoba (*Swietenia macrophylla* King.) en plantaciones forestales. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 104 pp.
- Smith, D.M. B.C. Larson, M.J. Kelty y P.M. Ashton. 1997. The practice of Silviculture: applied forest ecology 9th edition. John Wiley and Sons. New York. USA. 537 p.
- Wescom, R.W. 1979. Silvicultural Research Division Annual Report 1978. Department of Forestry, Fiji. s/p.
- Vallejos, I.O. 1996. Productividad y relaciones de Índice de Sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. f, *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb en Costa Rica. Turrialba, CR, CATIE. 147 p.
- Wescom, R.W. 1979. Silvicultural Research Division Annual Report 1978. Department of Forestry, Fiji. s/p.
- Xue, L. y A. Hagihara. 2008. Growth analysis of the competition-density effect in non-self-thinning *Populus deltoids* and *Populus* and *Populus x euramericana* plantations. Journal of Forest Research. 13(4):241-248.

### **CAPÍTULO III**

**RELACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO CON LAS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS  
EN LAS PLANTACIONES DE *Swietenia macrophylla* King EN TABASCO,  
MÉXICO**

# RELACIÓN DEL ÍNDICE DE SITIO CON LAS CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS EN LAS PLANTACIONES DE *Swietenia macrophylla* King EN TABASCO, MÉXICO

Guadalupe Pérez González<sup>1</sup>, Marivel Domínguez Domínguez<sup>2\*</sup>  
Jorge D. Etchevers Barra<sup>3</sup> Pablo Martínez Zurimendi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Estudiante de postgrado del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados.  
lupi1904@hotmail.com

<sup>2\*</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Perif. Carlos A. Molina. Km 3.5. Carr. Cárdenas-Huimanguillo. Ap. 24. C. P. 86500. H. Cárdenas, Tabasco, México. E-mails: mdguez@colpos.mx. Autor para correspondencia.

<sup>3</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillos, Estado de México. C.P. 56230. E-mail: jetchev@colpos.mx

<sup>4</sup> Universidad de Valladolid, E. T. S. de ingeniería Agrarias. Depto. Prod. Veg. Recursos Forestales. Avda. de Madrid, No. 57. 34007 Palencia, España. E-mail: mzurimen@pvs.uva.es

## RESUMEN

Se estudiaron cuatro plantaciones de *Swietenia macrophylla* King con seis parcelas en el trópico de México cuyo índices de sitio era conocido, para relacionarlo con las características físicas y químicas del suelo. Se determinó la calidad de sitio de cada una de las parcelas de las plantaciones a una edad base de 10 años. Los suelos de las plantaciones son Fluvisol éutrico gléyico (Fleugl), Cambisol ferrali gléyico (CMfagl) y dos plantaciones con suelo Gleysol mólico (GLmo). Para relacionar el índice de sitio con las variables edáficas se hizo análisis de correlación de Pearson y se determinaron modelos lineales. Las variables de suelo que tuvieron mejor correlación con el índice de sitio fueron la arcilla ( $R_{0-30\text{ cm}}$ ) y el calcio ( $Ca_{0-30\text{ cm}}$ ) de la capa superficial (0-30 cm), y cuando se consideró toda la profundidad del suelo (0-90cm) fueron el nitrógeno-kjeldahl ( $N_{0-90\text{ cm}}$ ), el P-extraíble Olsen (P-Olsen<sub>0-90 cm</sub>) y la capacidad de retención de agua acumulada ( $CRA_{0-90\text{ cm}}$ ). El mejor modelo para el índice de sitio (IS) fue  $IS=8.88593+0.13343*R_{0-30\text{ cm}}+0.00029311*N_{0-90\text{ cm}}$  con un coeficiente de correlación ( $r^2=0,98$ ), resultando significativos la arcilla y el N- kjeldahl, indicando la relación con el potencial productivo de esta especie, importante a considerar los sitios donde se establezcan plantaciones de esta especie. Estos modelos ayudaran a los silvicultores a determinar las características del suelo que deberán considerar, para conocer su potencial productivo antes de la plantación de la especie y después de la plantación.

**Palabras clave:** Modelo matemático, producción maderable, trópico.

**RELATIONSHIP BETWEEN THE SITE INDEX AND THE SOIL  
CHARACTERISTICS IN *Swietenia macrophylla* King PLANTATIONS IN  
TABASCO, MEXICO**

**ABSTRACT**

We worked on four plantations of mahogany in six plots in the Tropic of Mexico where site index is known to be in relation with physical and chemical characteristics of the soil. We determined the site quality of parcels on these plantations from a base of 10 years old. The types of plantations soils are Fluvisols eutric gleyic (Fleugl), Cambisols ferralic gleyic (CMfagl) and two plantations with Gleysols mollic (GLmo). In order to show the relationship between the site index and soil variables, we did a correlation analysis of Pearson and we determined linear models. The soil variables that had better correlation with the site index were the clay ( $R_{0-30\text{ cm}}$ ) and calcium ( $Ca_{0-30\text{ cm}}$ ) in the surface layer (0-30 cm). In any depth soil (0-90 cm), were nitrogen kjeldahl ( $N_{0-90\text{ cm}}$ ), the P-removable Olsen ( $P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}$ ) and the ability of accumulated water retention ( $CRA_{0-90\text{ cm}}$ ). The best model for the site index (IS) was  $IS = 8.88593 + 0.13343 * R_{0-30\text{ cm}} + 0.00029311 * N_{0-90\text{ cm}}$  with a correlation coefficient of ( $r^2 = 0.98$ ), resulting in significant clay and N-kjeldahl. This result shows their relationship to the productive potential of this species and the importance considering the sites where established plantations of this kind. These models will help the foresters to determine the soil characteristics they should consider, in order to know the productive potential before and after the plantation of these species.

**Key words:** Mathematical model, timber production, tropic.

## INTRODUCCIÓN

Tabasco tiene un gran potencial para la producción de madera, pero se conoce poco acerca de la relación de los suelos con la productividad de las plantaciones de árboles forestales. El índice de sitio es un criterio útil para la identificación de sitios con alto potencial para crecimiento de árboles.

Relacionar el índice de sitio con las propiedades del suelo es un planteamiento útil para pronosticar la productividad forestal en tierras sin árboles y con plantaciones establecidas (Carmean, 1975). Cuando se evalúan los sitios en función de la productividad del suelo se determina el potencial de cada sitio y se planean actividades de manejo silvícola de manera sustentable (Mckenney y Pedlar, 2003). El índice de sitio permite determinar la capacidad natural que hace posible un buen crecimiento y desarrollo de las especies forestales, considerando factores del sitio como son efectos edáficos, climáticos, bióticos y genéticos para proyectar la producción esperada de la especie en un sitio específico (García *et al.*, 2007; Montoya y Mesón, 2004; Saturtevant y Seagle, 2004). Este índice es uno de los métodos más usados para determinar la calidad de sitio en masas coetáneas preferentemente puras, con base en relaciones de datos de altura dominante–edad. Se define como la altura dominante alcanzada por un rodal coetáneo a una edad de referencia o edad base determinada (Zepeda y Rivero, 1984).

El suelo provee una base para que las raíces sustenten el tronco y la copa de los árboles. Por medio de las raíces los árboles obtienen agua y minerales del suelo. La función de absorber, retener y suministrar agua y nutrientes a las plantas es una de las misiones ecológicas fundamentales que desempeña el suelo (Santos *et al.*, 2006). Sin embargo, los árboles pueden crecer aceptablemente en la mayor parte de los suelos debido a su naturaleza perenne que les permite extender sus raíces dentro de todos los niveles que componen el suelo (Harold y Hocker, 1984).

El árbol incrementa, la altura y grosor del tronco a medida que crece así como follaje ramas, flores, frutos y yemas que en su conjunto conforman la copa. Los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse se incorpora a éste (Ordóñez, 1998). La hojarasca que se deposita en la superficie y su posterior descomposición es el proceso principal de reciclaje de la materia orgánica desprendida de la parte aérea de los árboles. Todos los residuos que llegan al suelo se convierten en materia orgánica descompuesta mediante la degradación por los microorganismos y de esta manera retorna al ciclo de los nutrientes (Prause *et al.*, 2003).

Tabasco tiene 8,960 ha de plantaciones forestales comerciales (CONAFOR, 2005). Estas plantaciones tropicales están integradas por especies como *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* L. así como de *Tectona grandis* Linn, *Gmelina arborea* Roxb y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC. para la producción de madera, *Eucaliptus grandis* y *E. urophylla*, para la producción de celulosa, y *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. para la producción de látex (Palma *et al.*, 2007; INEGI, 2006; Domínguez y Martínez, 2007).

Para el estado se cuenta con estudios de suelos, principalmente para cultivos agrícolas y con levantamientos cartográficos y de clasificación de suelos (Palma *et al.*, 2007). Sin embargo; la información edafológica en los suelos del sector forestal es escasa, sobre todo en áreas con plantaciones de especies como *Swietenia macrophylla* King en donde no se tienen registros de estudios de fertilidad.

El objetivo de este estudio fue determinar los índices de sitio de las plantaciones *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, describir las características de los suelos de las plantaciones y relacionar el índice de sitio con las características edáficas mediante ecuaciones predictivas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del área de estudio

El estudio se realizó en el sureste de México en el estado de Tabasco, en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King establecidas en los municipios de Cunduacán y Huimanguillo (18°39' y 17°15' de latitud norte; y 91°00' y 94°07' de longitud oeste, INEGI, 2005). Tabasco colinda al norte con el Golfo de México y Campeche; al este con Campeche y la República de Guatemala; al sur con Chiapas; al oeste con Veracruz de Ignacio de la Llave (Figura 1).



Figura 1. Localización de las plantaciones analizadas de *Swietenia macrophylla* King.

De acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1988) el clima para la zona de estudio es (Af) cálido húmedo con lluvias todo el año (Am) cálido húmedo con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual mínima es 22.5 °C y máxima de 30.5°C. El régimen de precipitaciones varía desde los 1947 a

los 2290 mm anuales (INEGI, 2005). Los suelos predominantes en la zona de estudio son Fluvisol éútrico gléyico (Fleugl), Cambisol ferrali gléyico (CMfagl) y Gleysol mólico (GLmo) (Palma *et al.*, 2008).

#### Determinación del índice de sitio

Para la realización de este estudio se midieron seis parcelas permanentes establecidas en terrenos de los silvicultores en cuatro plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco. Cada parcela contaba con 75 árboles en promedio, haciendo un total de 449 árboles. Dicha medición se realizó en 2007.

A partir de los datos dasométricos de las parcelas de las plantaciones se determinó el índice de sitio para cada una de las parcelas estudiadas.

El índice de sitio fue representado por la altura dominante (altura media de los 100 árboles más gruesos por ha). El índice de sitio se determinó mediante el modelo de Korf, que emplea método de la curva guía a una edad base de 10 años, (Capítulo II de esta tesis) la curva resultante fue:

$$Ad = 12.34 * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$$

donde la *Ad* es la altura dominante, la *EXP* se refiere a la base del logaritmo natural y *t* es el tiempo.

El índice de sitio de una parcela determinada a partir de su edad y su altura dominante se calcula a partir de la fórmula:

$$IS = \frac{Ad}{12.34} * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$$

Con estos datos se calculó el índice de sitio para cada una de las parcelas edafológicas de las plantaciones en Tabasco.

#### Determinación del análisis de suelo en campo

En las cuatro plantaciones se estudiaron seis parcelas, en cada una de ellas se realizó un muestreo de suelo. Las muestras de suelo se obtuvieron sistemáticamente a las profundidades: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75, 75-90 cm.



En cada parcela y profundidad, se tomó una muestra compuesta de 12 submuestras. La distribución de las muestras se realizó según el criterio del investigador, tratando de cubrir toda la parcela (Valencia y Hernández, 2002). En cada plantación se describió un perfil de suelo para clasificarlo y se midió la densidad aparente (SEMARNAT, 2002), como indicador de la compactación del suelo. Las características físico-químicas de los suelos se analizaron de acuerdo a la metodología descrita en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002): pH en agua, materia orgánica (MO), nitrógeno-Kjeldahl (N), P-extraíble Olsen (P-Olsen), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y aluminio (Al) intercambiable; arcilla (R), limo (L), arena (A) y Da (densidad aparente). Para conocer el estado de fertilidad de los suelos se tomó, para cada variable medida en laboratorio, los valores máximos y mínimos en cada profundidad del suelo de las plantaciones.

Los suelos se identificaron usando la base de datos generada desde hace más de 30 años para Tabasco la cual ha sido actualizada (Palma *et al.*, 2008), de acuerdo a la Base de Referencia Mundial de Recurso Suelo o WRB FAO (FAO, 2006) (Tabla 1).

Tabla 1. Suelos de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

Parcela	Plantación	Tipo de suelo
1	27-037	Fluvisol éutrico gléyico
2	27-037	Fluvisol éutrico gléyico
3	27-053	Cambisol ferrali gléyico
4	27-053	Cambisol ferrali gléyico
5	27-042	Gleysol mólico
6	27-039	Gleysol mólico

## VARIABLES GENERADAS

Capacidad de retención de agua (CRA) y Humedad específica (He), de cada horizonte y para todo el perfil.

Para obtenerlas se generaron las variables coeficiente de capacidad de cementación (C.C.C) y coeficiente de impermeabilidad debida al limo (C.I.L), parámetros definidos por Gandullo (1985), que se calcularon para cada profundidad del suelo con la siguiente fórmula C.C.C se calculó con la siguiente fórmula

$$C.C.C = (\text{arcilla} - 4 * \text{Materia Orgánica} / 100) / TF$$

$$C.I.L = \text{limo} * 100 / (10000 * TF)$$

TF= por ciento de tierra fina de ese horizonte, con respecto a tierra natural.

A partir de estos parámetros se calculó la permeabilidad de cada horizonte (PER): Gandullo (1985) propone que la permeabilidad de un horizonte edáfico pueda evaluarse mediante un número natural, de 1 a 5, de acuerdo con un gráfico establecido (Figura 2), que definió Gandullo a partir estudios ecológicos de diversas especies forestales.

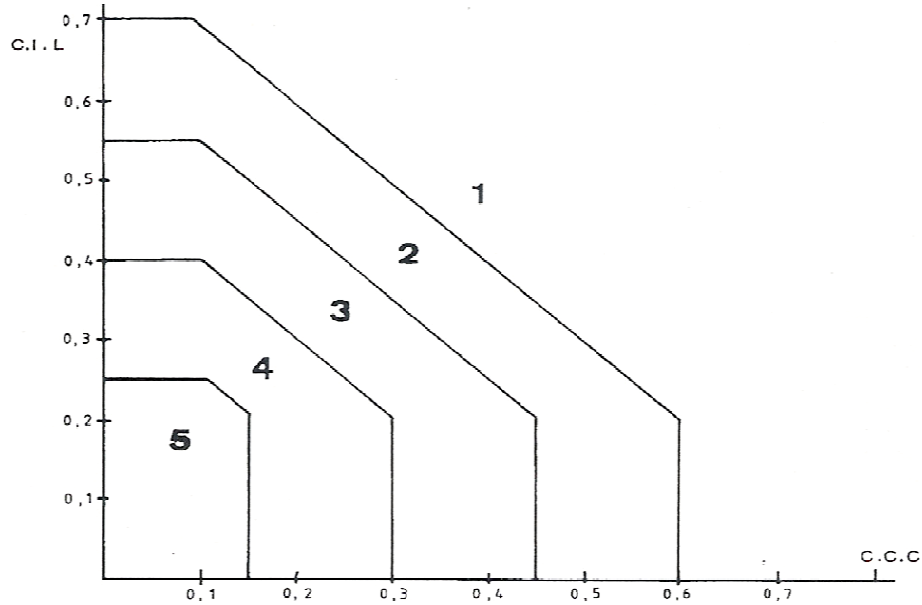


Figura 2. Valores del parámetro permeabilidad (PER) en función de C.C.C y C.I.L (tomado de Gandullo, 1985).

Se calculó el coeficiente de la permeabilidad de cada horizonte (k), en función del valor de permeabilidad de ese horizonte (PERs), del valor de permeabilidad del horizonte inmediato inferior (PERi) y de la pendiente del terreno.

A partir de estos valores se calculó la humedad equivalente de la tierra fina del horizonte (He) que depende de la textura y de la materia orgánica de cada horizonte y se calcula de acuerdo con Sánchez y Blanco (1985) mediante la fórmula:

$$He=4.6+0.43*\text{Arcilla}+0.25*\text{Limo}+1.22*\text{Materia orgánica}$$

se obtuvo He para cada profundidad calculándolo con las variables respectivas.

La capacidad de retención de agua (CRA) de cada horizonte se calculó mediante la fórmula:

$$CRA=(12.5*He+12.5*(50-He)*k/2)*c*(TF/100)$$

TF= por ciento de tierra fina de ese horizonte, con respecto a tierra natural

c = complemento a uno de la pendiente en que se encuentra dicho suelo, expresada en tanto por uno.

k= coeficiente que depende de la permeabilidad de ese horizonte (ps), de la permeabilidad del horizonte inmediato inferior (pi) y de la pendiente del terreno.

El coeficiente k vale 0 cuando en el horizonte inferior el valor de permeabilidad es igual o mayor que en el superior y, en caso contrario, varía entre 0 y 1 tomando los valores que se obtienen de la expresión:  $k = 1 - a_i - (1+a_s)(1-c)$  ; donde  $a_i$  y  $a_s$  se calculan en función de PER: si PER=1 → a=0; si PER=2 → a=0.2; si PER=3 → a=0.4; si PER=4 → a=0.6; y si PER=4 → a=0.8.

Con el valor de CRA de cada horizonte se calcula el valor de la capacidad de retención de agua para todo el suelo, sumando los productos de las CRA de cada horizonte por sus espesores respectivos medidos en metros.

Totales acumulados (en 90 cm de perfil) y totales superficiales (en 30 cm) de cada variable.

Para el total acumulado de las variables se obtuvo la suma acumulada de cada variable multiplicada por el volumen de la profundidad y por la densidad de esa profundidad, para calcular los kg/ha. Este procedimiento se realizó tanto para las capas superficiales (0-30 cm) como para el acumulado total en todo el suelo ( 0-90 cm), para la  $R_{0-30\text{ cm}}$ ,  $L_{0-30\text{ cm}}$ ,  $A_{0-30\text{ cm}}$ ,  $Ca_{0-30\text{ cm}}$ ,  $pH_{0-30\text{ cm}}$  y  $MO_{0-30\text{ cm}}$ ,  $N_{0-90\text{ cm}}$ , P-Olsen $_{0-90\text{ cm}}$ ,  $K_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Ca_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Mg_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Na_{0-90\text{ cm}}$  y  $Al_{0-90\text{ cm}}$  intercambiable, estas variables generadas fueron las usadas para la modelización.

Las variables utilizadas para este estudio fueron las que mostraron más correlación con el índice de sitio ( $\alpha \leq 0.05$ ):  $Ca_{0-30\text{ cm}}$ ,  $R_{0-30\text{ cm}}$ ,  $N_{0-90\text{ cm}}$ , P-Olsen $_{0-90\text{ cm}}$ ,  $K_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Mg_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Na_{0-90\text{ cm}}$ ,  $Al_{0-90\text{ cm}}$  y  $CRA_{0-90\text{ cm}}$ .

## Análisis estadístico

Se realizó análisis de regresión lineal para medir la relación que existe entre la variable dependiente (el índice de sitio) y las variables independientes (las características edáficas), empleando el procedimiento en el paquete estadístico SAS (SAS, 2003).

Para determinar las variables a usar en el análisis de regresión, se realizó análisis de correlación de Pearson para establecer el grado de asociación de las variables edáficas que estaban correlacionadas entre sí, y con el índice de sitio para evitar la multicolinealidad entre las variables del modelo.

Se generaron seis modelos de regresión lineal que incluyeron el IS y una variable edáfica, y siete modelos que incluyeron el IS con dos a tres combinaciones de variables edáficas en cada modelo elegidas de manera que se evitase la multicolinealidad.

## **RESULTADOS**

### Determinación de los índices de sitio de las parcelas de las plantaciones

El índice de sitio es un criterio útil para la identificación de sitios con alto potencial para crecimiento de árboles. El índice de sitio para las parcelas 1 y 2 de la plantación 27-037 fue 16.12 m y 16.70 m de altura dominante, respectivamente; para las parcelas 3 y 4 de la plantación 27-053 fue 14.77 m y 15.44 m de altura dominante respectivamente; la parcela 5 de la plantación 27-042 tiene 19.15 m de altura dominante y la parcela seis de la plantación 27-039 fue 12.12 m de altura dominante (Tabla 2). En todos los casos la altura dominante está referida al momento en que las plantaciones tengan 10 años.

Tabla 2. Índice de sitio de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

Parcela	Plantación	Edad	IS	Tipo de suelo
1	27-037	16	16.12	Fluvisol éutrico gléyico
2	27-037	16	16.70	Fluvisol éutrico gléyico
3	27-053	13	14.77	Cambisol ferrali gléyico
4	27-053	13	15.44	Cambisol ferrali gléyico
5	27-042	9	19.15	Gleysol mólico
6	27-039	9	12.12	Gleysol mólico

#### Descripción de las características de los suelos de las plantaciones

Las parcelas de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King se encuentran ubicadas en suelos Fluvisol éutrico gléyico (Fleugl), Cambisol ferrali gléyico (CMflgl) y Gleysol mólico (GLmo).

La plantación 27-037 está situada en un Fluvisol éutrico-gléyico (Fleugl), que presenta propiedades gléyicas, moteados grises u ocre y se inunda durante alguna época del año. Estos suelos se encuentran en vegas de río inundable temporalmente por lo que la circulación del agua internamente en época de lluvias, se ve reducida y presenta algunos fenómenos como la gleyzación.

La plantación 27-053 está remplazada en un suelo Cambisol ferrali gléyico (CMflgl), esta subunidad se ubica sobre las unidades geomorfológicas denominadas llanura proluvial, que presentan relieves planos a ligeramente cóncavos y reciben aporte de materiales de suelos que son arrastrados por los ríos en época de crecientes y presentan manto freático elevado. El suelo CMflgl presenta materiales con propiedades gléyicas debido a la saturación por el manto freático elevado, durante un periodo de pocos días en la época de lluvias fuertes e inundaciones.

Las plantaciones 27-042 y 27-039 se sitúa en un Gleysol mólico (GLmo), Gleysoles con horizonte A mólico sin propiedades asociadas a las cenizas volcánicas (ándicas) al menos en los primeros 200 cm de profundidad. El material parental de estos suelos es derivado de sedimentos aluviales del Cuaternario reciente, modificados por el efecto de sedimentación palustre que acompaña a estas zonas bajas. Localmente se les conoce como “Popalerías” o bajiales”. Su horizonte A es friable y está enriquecido por material orgánico en proceso de descomposición. Son suelos profundos, sin embargo, el manto freático se encuentra cercano a la superficie la mayor parte del año.

A continuación se describen las características físico-químicas máximas y mínimas de la fertilidad de estado actual de los suelos de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en la profundidad de 0-90 cm (Tabla 2).

El suelo Fluvisol éutrico gléyico de la plantación 27-037 presentó una textura migajón arcillosa, pH en el rango 5.8 a los 5.2, esto es, moderadamente ácido, y un porcentaje de materia orgánica en el intervalo de 3.56 a 0.13 %. Se observó una mayor acumulación de hojarasca en el piso forestal de esta plantación, así como humedad en el suelo y un paso de luz a través del dosel de los árboles hacia el piso forestal. Se considera que esto último influyó para que los microorganismos degradaran la materia orgánica y los productos de tal degradación pudiesen quedar a disposición de los árboles; los árboles forestales son los que aportan mayor cantidad de materia orgánica al suelo mediante la hojarasca y por esta razón se han considerado más fértiles.

La densidad aparente varió 1.77 a 0.94 gr·cm<sup>-3</sup> en la profundidad (0-90 cm) de éste suelo. Estos suelos tienen malas condiciones físicas porque están más compactados, pisoteo del ganado y las labores que realiza el agricultor, como la siembra de otros cultivos.

El porcentaje de N-kjeldahl en el suelo varió de 0.21 a 0.1 %. En cuanto al contenido de P-Olsen se ubicó en 10.7 a 3.7 mg.kg<sup>-1</sup> en el suelo.

El K intercambiable se encontró en un estrecho rango de 0.2 a 0.1  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Ca de 16.4 a 13.8  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Mg de 5.3 a 4.3  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , y por último, el Al intercambiable 0.05 a 0.01  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ .

El Fluvisol ferrali gléyico de la plantación 27-053 presentó una textura migajón arenoso, pH en el rango 4.86 a los 4.53 esto es fuertemente ácido, y un porcentaje de materia orgánica en el intervalo de 5.41 a 0.46 %. Se observó una mayor acumulación de hojarasca, pero ésta no fue degradada por los microorganismos debido a su acidez alta y al contenido de aluminio presente, además de otros factores.

La densidad aparente varió 1.94 a 1.4  $\text{gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  en la profundidad de (0-90 cm) de este suelo. Este suelo se considera con malas condiciones físicas.

El porcentaje de N-kjeldahl en el suelo varió de 0.21 a 0.03 %. En cuanto al contenido de P-Olsen se ubicó en 5.71 a 1.0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en el suelo.

El K intercambiable se encontró en un estrecho rango de 0.2  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  a 0.1  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Ca de 4 a 2.8  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Mg de 0.4 a 0.2  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , por último, el Al intercambiable 1.57 a 0.4  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ .

El Gleysol mólico de la plantación 27-042 presentó una textura arcillosa, pH en el rango de 7.75 a los 7.28 esto es neutro a medianamente alcalino; y un porcentaje de materia orgánica en el intervalo de 3.17 a 0.86 %. Se observó una cantidad de hojarasca presente en este suelo, además de contar con buena humedad y entrada de luz a través de dosel de los árboles hacia el piso forestal lo que permitió la degradación de la materia orgánica en el suelo.

La densidad aparente varió de 1.48 a 1.17  $\text{gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  en la profundidad de (0-90 cm) de éste suelo. Este suelo tiene buenas condiciones físicas favorables, es decir sin compactación que afecte la estructura del suelo.

El porcentaje de N-kjeldahl en el suelo varió de 0.17 a 0.03 %. En cuanto al contenido P-Olsen se ubicó en 4.4 a 2.0  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  presente en el suelo.



El K intercambiable se encontró en un estrecho rango de 5.8 a 1.0  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Ca de 34.8 a 30.7  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Mg de 4.1 a 3.3  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , y por último, el Al intercambiable 0.05 a 0.05  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ .

El Gleysol mólico de la plantación 27-039 presentó una textura limo arenoso, pH en el rango 7.51 a 7.16 esto es neutro, y un porcentaje materia orgánica en el intervalo de 1.19 a 1.2 %. Se observó menor cantidad de hojarasca en el suelo, además de una entrada de luz total a través de dosel de los árboles hacia el piso forestal. Se considera que esto permitió que el suelo no guardara una humedad suficiente para que los microorganismos pudieran degradar la materia orgánica de este suelo.

La densidad aparente varió 1.61 a 1.44  $\text{gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  en la profundidad de (0-90 cm) de este suelo. Este suelo tiene malas condiciones físicas, porque están más compactados.

El porcentaje de N-kjeldahl en el suelo varió de 0.07 a 0.03 %. En cuanto al contenido de P-Olsen se ubicó en 6.71 a 3.14  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en el suelo.

El K intercambiable se encontró en un estrecho rango de 5.3  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  a 2.1  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Ca de 30.7  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  a 10.6  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , el Mg de 2.5  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  a 1.2  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ , y por último, el aluminio intercambiable 0.05  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$  a 0.05  $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ .

De acuerdo a estos resultados los suelos Fluvisol éutrico gléyico y el Gleysol mólico de la plantación 27-037 y 27-042 fueron las que presentaron mejor estado nutricional en el suelo.

Tabla 3. Características químico-físicas de 0-90 cm en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

Variables	27-037 Fluvisol éutrico gléyico		27-053 Fluvisol ferrali gléyico		27-042 Gleysol mólico		27-039 Gleysol mólico	
	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
pH	5.8	5.15	4.86	4.53	7.75	7.28	7.51	7.16
Da(gr·cm <sup>-3</sup> )	1.77	0.94	1.94	1.4	1.48	1.17	1.61	1.44
MO (%)	3.56	0.13	5.41	0.46	3.17	0.86	1.19	0.2
Arcilla (%)	35	27	41	15	51	31	15	13
Limo (%)	37	7	18	9	55	11	42	26
Arena (%)	65	27	67	43	47	13	61	43
Textura	Migajón-arcilloso		Migajón-arenoso		Arcilloso		limo-arenoso	
N-Kjeldahl (%)	0.21	0.1	0.21	0.03	0.17	0.03	0.07	0.03
P-Olsen (mg.kg <sup>-1</sup> )	10.7	3.7	5.71	1	4.4	2	6.71	3.14
K (cmol(+)·kg <sup>-1</sup> )	0.2	0.1	0.2	0.1	5.8	1	5.3	2.1
Ca (cmol(+)·kg <sup>-1</sup> )	16.4	13.8	4	2.8	43.6	34.8	30.7	10.6
Mg (cmol(+)·kg <sup>-1</sup> )	5.3	4.3	0.4	0.2	4.1	3.3	2.5	1.2
Al (cmol(+)·kg <sup>-1</sup> )	0.05	0.01	1.57	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05

Nota: pH= pH en agua, Da= Densidad aparente gr·cm<sup>-3</sup>, MO= Materia orgánica (%), Arcilla (%), Limo (%), Arena (%), N-Kjeldahl = Nitrógeno (%), P= P-extraíble-Olsen (mg·Kg<sup>-1</sup>), K= Potasio (cmol(+)·kg<sup>-1</sup>), Ca= Calcio (cmol(+)·kg<sup>-1</sup>), Mg= Magnesio (cmol(+)·kg<sup>-1</sup>), Na= Sodio (cmol(+)·kg<sup>-1</sup>), Al= Aluminio (cmol(+)·kg<sup>-1</sup>).

#### Relación del índice de sitio con las características edáficas

Se relacionó el índice de sitio con las características edáficas generadas: R<sub>0-30 cm</sub> (arcilla), L<sub>0-30 cm</sub> (limo), A<sub>0-30 cm</sub> (arena), Ca<sub>0-30 cm</sub> (calcio), pH<sub>0-30 cm</sub> y MO<sub>0-30 cm</sub> determinadas en la capa superficial 0 a 30 cm, y con la capacidad de retención de agua total de la capa de 0 a 90 cm (CRA<sub>0-90 cm</sub>); esto es, la sumatoria de la capacidad de retención de agua de cada incremento de profundidad hasta los 90 cm, así como las siguiente variables: N<sub>0-90 cm</sub> (N-Kjeldahl), P-Olsen<sub>0-90 cm</sub> (P-extraíble-Olsen), Ca<sub>0-90 cm</sub> (calcio), Mg<sub>0-90 cm</sub> (magnesio), Na<sub>0-90 cm</sub> (sodio) y Al<sub>0-90 cm</sub>

(aluminio). Estas variables fueron las usadas para los modelos, resultando algunas correlacionadas (Tabla 4).

El coeficiente de correlación de Pearson entre el índice de sitio y  $R_{0-15\text{ cm}}$ ,  $R_{0-30\text{ cm}}$  fue el más elevado en las capas del suelo 0-15 y 15-30 cm ( $r= 0.85$  y  $0.84$ ,  $P<0.03$  respectivamente). El índice de sitio se relacionó también con: el  $Ca_{0-30\text{ cm}}$  de la profundidad de 0-30 cm ( $r=0.73$ ,  $P< 0.09$ ); la  $CRA_{0-90\text{ cm}}$  ( $r=0.68$   $P< 0.14$ ); el P-Olsen- $_{90\text{ cm}}$  en la profundidad de 0-90 cm ( $r=0.68$   $P< 0.20$ ); el  $N_{0-90\text{ cm}}$  en la profundidad de 0-90 cm ( $r=0.47$   $P< 0.34$ ) (Tabla 5).

Se generaron seis modelos lineales simples que incluyeron el IS y una variable edáfica, y siete modelos múltiples que incluyeron el IS con dos a tres combinaciones de variables edáficas en cada modelo, haciendo un total de 13 modelos (Tabla 6).

Tabla 4. Datos de los suelos usados para la modelización de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

Parcela	Plantación	IS	Capa superficial acumulada (0-30 cm)						Acumulado en todo el perfil (0-90 cm)							
			R	L	A	Ca	pH	MO	CRA	N	P-Olsen	K	Ca	Mg	Na	Al
			%		cmol (+) kg <sup>-1</sup>	H <sub>2</sub> O	%	Kg·ha <sup>-1</sup>								
1	27-037	16.1	35	37	27	16.8	5.6	3.6	282	10357	111	628	82667	15484	1950	135
2	27-037	16.7	35	5	60	15.5	6.2	1.9	298	9607	76	722	88618	13917	1269	69
3	27-053	14.7	15	18	67	3.9	4.8	5.4	300	12791	35	703	19391	1146	1349	3515
4	27-053	15.4	11	10	79	3	4.3	4.8	182	15241	56	413	28082	451	1227	1456
5	27-042	19.1	51	11	39	34.8	7.3	3.1	380	11459	105	14091	192508	12182	1264	56
6	27-039	12.1	13	26	61	10.6	7.5	1.1	237	4843	62	17423	128361	5364	1157	91

Nota: IS= índice de sitio, R<sub>0-30 cm</sub>= arcilla superficial, L<sub>0-30 cm</sub>= limo superficial, A<sub>0-30 cm</sub>= arena superficial, Ca<sub>0-30 cm</sub>= calcio superficial, pH<sub>0-30 cm</sub>= superficial, MO<sub>0-30 cm</sub>= materia orgánica superficial, CRA<sub>0-90 cm</sub>= capacidad de retención de agua en todo la profundidad según la definición de Gandullo, N<sub>0-90 cm</sub>= nitrógeno acumulado en todo la profundidad, P<sub>0-90 cm</sub>= fósforo acumulado en todo la profundidad, K<sub>0-90 cm</sub>= potasio acumulado en todo la profundidad, Ca<sub>0-90 cm</sub>= calcio acumulado en todo la profundidad, Mg<sub>0-90 cm</sub>= magnesio acumulado en toda la profundidad, Na<sub>0-90 cm</sub>= sodio acumulado en todo la profundidad, Al<sub>0-90 cm</sub>= aluminio acumulado en toda la profundidad.

Tabla 5. Matriz de coeficiente de correlación de Pearson de las variables del modelo básico de la predicción del índice de sitio con las características del suelo.

IS	IS	R <sub>0-15</sub> cm	R <sub>0-30</sub> cm	Ca <sub>0-30</sub> cm	CRA <sub>0-90</sub> cm	P- Olsen <sub>0-90</sub> cm	N <sub>0-90</sub> cm
	1.000 0						
R <sub>0-15</sub> cm	0.85 0.03	1.000 0					
R <sub>0-30</sub> cm	0.84 0.03	0.963 0.002	1.000 0				
Ca <sub>0-30</sub> cm	0.73 0.09	0.934 0.006	0.866 0.026	1.0000			
CRA <sub>0-90</sub> cm	0.68 0.14	0.834 0.039	0.797 0.052	0.811 0.051	1.0000		
P- Olsen <sub>0-90</sub> cm	0.61 0.20	0.837 0.037	0.715 0.110	0.809 0.051	0.481 0.334	1.0000	
N <sub>0-90</sub> cm	0.47 0.34	-0.035 0.509	0.042 0.936	0.812 0.049	0.696 0.192	-0.016 0.760	1.000 0

Nota: IS=índice de sitio, R<sub>0-15</sub> cm = arcilla en la capa superficial de 0-15 cm (%), R<sub>0-30</sub> cm = Arcilla en la capa superficial de 0-30 cm (%), Ca<sub>0-15</sub> cm=Calcio en la capa superficial 0-15 cm (Kg ha<sup>-1</sup>), CRA<sub>0-90</sub> cm= Capacidad de retención de agua acumulado en toda la profundidad 0-90 cm (mm), P-Olsen<sub>0-90</sub> cm = fósforo-Olsen acumulado en toda la profundidad 0-90 cm (Kg ha<sup>-1</sup>), N<sub>0-90</sub> cm= nitrógeno acumulado en toda la profundidad 0-90 cm (Kg ha<sup>-1</sup>).

Tabla 6. Modelos lineales que incluyen el IS y las variables edáficas.

Modelos con una variable	Modelos con dos a tres variables
1. IS= F(R <sub>0-15</sub> cm)	7. IS=F(R <sub>0-30</sub> cm, N <sub>0-90</sub> cm)
2. IS= F(R <sub>0-30</sub> cm)	8. IS= F(CRA <sub>0-90</sub> cm, P-Olsen <sub>0-90</sub> cm)
3. IS= F(Ca <sub>0-30</sub> cm)	9. IS= F(P-Olsen <sub>0-90</sub> cm, N <sub>0-90</sub> cm)
4. IS= F(CRA <sub>0-90</sub> cm)	10. IS=F(CRA <sub>0-90</sub> cm, P-Olsen <sub>0-90</sub> cm, N <sub>0-90</sub> cm)
5. IS= F(P-Olsen <sub>0-90</sub> cm)	11. IS=F(Ca <sub>0-30</sub> cm, N <sub>0-90</sub> cm)
6. IS = F(N <sub>0-90</sub> cm )	12. IS=F(CRA <sub>0-90</sub> cm, P-Olsen, N <sub>0-90</sub> cm)
	13. IS= F(Ca <sub>0-30</sub> cm, P-Olsen <sub>0-90</sub> cm, N <sub>0-90</sub> cm)

De estos 13 modelos se seleccionaron los que presentaron mejores ajustes con las variables edáficas: la  $R_{0-30\text{ cm}}$  superficial con el  $N_{0-90\text{ cm}}$  acumulado en la profundidad del suelo, el  $Ca_{0-30\text{ cm}}$  superficial con el  $P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}$  y el  $N_{0-90\text{ cm}}$  acumulado en la profundidad del suelo, la  $CRA_{0-90\text{ cm}}$  con el  $P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}$  y el  $N_{0-90\text{ cm}}$  acumulado en toda la profundidad del suelo (Tabla 7).

Tabla 7. Coeficiente de determinación de los modelos de índice de sitio con las características edáficas.

Variabes	R <sup>2</sup>
$R_{0-15\text{ cm}}$	0.72
$R_{0-30\text{ cm}}$	0.71
$Ca_{0-15\text{ cm}}$	0.54
$CRA_{0-90\text{ cm}}$	0.46
$P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}$	0.37
$N_{0-90\text{ cm}}$	0.22
$R_{0-30\text{ cm}}, N_{0-90\text{ cm}}$	0.98
$CRA_{0-90\text{ cm}}, P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}$	0.56
$P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}, N_{0-90\text{ cm}}$	0.71
$CRA_{0-90\text{ cm}}, P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}, N_{0-90\text{ cm}}$	0.91
$Ca_{0-30\text{ cm}}, P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}, N_{0-90\text{ cm}}$	0.93

De los modelos lineales desarrollados, se proponen cuatro modelos básicos:

1-Modelo  $IS = \beta_0 + \beta_1 * R_{0-30\text{ cm}} + \beta_2 * N_{0-90\text{ cm}}$

2-Modelo  $IS = \beta_0 + \beta_1 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_2 * N_{0-90\text{ cm}}$

3-Modelo  $IS = \beta_0 + \beta_1 * CRA_{0-90\text{ cm}} + \beta_2 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_3 * N_{0-90\text{ cm}}$

4-Modelo  $IS = \beta_0 + \beta_1 * Ca_{0-30\text{ cm}} + \beta_2 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_3 * N_{0-90\text{ cm}}$

La presencia del nitrógeno en todos ellos se atribuye al hecho de ser un nutriente esencial para los árboles. Los modelos dos, tres y cuatro incluyen nitrógeno, fósforo y calcio que también son nutrientes presentes en los residuos orgánicos de las plantaciones. Estos modelos se podrán usar para aquellas plantaciones de *Swietenia macrophylla* que ya están establecidas, ya que los índices de sitios que generan permiten conocer el potencial productivo de las plantaciones.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros estimados para cada uno de los modelos, con los cuales se predice el índice de sitio de cada plantación estudiada (Tabla 8).

Tabla 8. Parámetros estimados para los modelos en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.

Modelo	IS	$B_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
1	$IS = \beta_0 + \beta_1 * R_{0-30\text{ cm}} + \beta_2 * N_{0-90\text{ cm}}$	8.8859	0.1334	0.0003	
2	$IS = \beta_0 + \beta_1 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_2 * N_{0-90\text{ cm}}$	6.5537	0.0495	0.0005	
3	$IS = \beta_0 + \beta_1 * CRA + \beta_2 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_3 * N_{0-90\text{ cm}}$	2.2546	0.0313	0.0303	0.0001818
4	$IS = \beta_0 + \beta_1 * Ca_{0-30\text{ cm}} + \beta_2 * P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}} + \beta_3 * N_{0-90\text{ cm}}$	8.1105	0.1408	0.1408	0.0004755

Para los modelos seleccionados se compararon los valores reales del índice de sitio con los valores predichos por los cuatro modelos. De los cuatro modelos el que se recomienda para las plantaciones forestales de *Swietenia macrophylla* es aquel que tuvo mayor correspondencia entre los valores predichos por el modelo y los valores reales medidos (Tabla 9). Se ha demostrado estadísticamente, que las variables se relacionan bien con el crecimiento del árbol y pueden predecir la productividad futura para *Swietenia macrophylla*, además que podemos observar que el modelo uno se acerca más a la realidad de los índices de sitio encontrados.

Tabla 9. Valores de índice de sitio medidos y predichos por cada modelo.

Parcela	Plantación	IS	Valores predichos			
		Medido	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
1	27-037	16.12	16.67	17.64	16.96	16.21
2	27-037	16.70	16.42	15.37	15.66	15.49
3	27-053	14.77	14.95	14.35	15.45	14.76
4	27-053	15.44	15.26	16.45	15.11	15.75
5	27-042	19.15	18.97	17.75	18.90	19.47
6	27-039	12.12	12.04	12.74	12.22	12.62

Se seleccionó el modelo uno que incluye el contenido de arcilla de 0 a 30 cm de profundidad y el N-Kjeldahl acumulado en toda la profundidad de 0-90 cm, siendo estas variables edáficas las que mejor predicen la calidad de sitio en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* (Tabla 10).

En la siguiente tabla se muestra el análisis de regresión lineal de las variables R, N-Kjeldahl que resultaron significativas ( $\alpha \leq 0.05$ ) (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de la varianza estimada en arcilla y N-Kjeldahl (0-90 cm) por regresión lineal de los modelos básicos del índice de sitio.

Fuente	G.L.	S.C	C.M	Prob>F
Modelo	2	26.35	13.17	0.0024
Error	3	0.4826	0.16087	
Total corregido	5	26.82613		

Las texturas finas tienen más capacidad de retención de agua y disponibilidad de los elementos nutritivos como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio, y el índice de sitio mejora; por eso los suelos arcillosos tienen capacidad de almacenar más agua que los suelos arenosos.

Los resultados expuestos demuestran en forma bastante precisa que el crecimiento de esta especie está en gran parte influido por la presencia en el suelo de elementos como el nitrógeno, fósforo acumulado en toda la profundidad, de calcio y la textura superficial, así como también la capacidad de retención de agua en el suelo. Éste es un factor importante en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King.



## DISCUSIÓN

Los índices de sitio que se determinaron para cada una de las parcelas de las plantaciones 1 y 2 fueron de 16.12 m y 16.70 m de altura dominante respectivamente para la plantación 27-037 sobre Fluvisol gléyico éutrico; la parcela 3 y 4 con 14.77 m y 15.44 m de altura dominante, respectivamente, en la plantación 27-053 en el Cambisol ferrali gléyico; la parcela 5 de 19.15 m de altura dominante de la plantación con 27-042 y la parcela 6 con 12.12 m altura dominante en la plantación 27-039 creciendo ambas sobre un Gleysol mólico. Al comparar estos resultados con los de estudios conducidos en Quintana Roo, que tuvieron índices de sitio para las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King de 16.03 m (Rendzina), 16.07 m (Luvisol crómico), 19.66 m (Vertisol pélico), 18.20 m (Puslum), 17.60 m (Luvisol crómico), 18.93 m (Vertisol), 20.85 m (Vertisol pélico), 20.41 m (Rendzina), 18.89 m (Rendzina), 19.82 (Rendzina), 20.22 m (Rendzina), 20.20 m (Rendzina), 21.34 m (Rendzina), 21.30 m (Rendzina) y 21.25 m (Luvisol crómico) con edad de 30 años se observó que las plantaciones en Tabasco tienen un índice de sitio con un alto potencial y se puede esperar que a la edad de 30 años estos serían más productivos que estos índices de sitio de Quintana Roo; además el mejor índice de sitio lo presentó el Gleysol mólico con 19,15 m de altura dominante para Tabasco (García *et al.*, 2007).

En plantaciones de *Cedrela odorata* L. los mismos autores determinaron el índice de sitio de 15.47 m en suelos de Rendzina, de 15.01 m en Litosol, de 14.58 m en Vertisol (García *et al.*, 2007).

De acuerdo con los resultados para las plantaciones *Swietenia macrophylla* King y las características de los suelos seleccionados en Tabasco que se compararon con los resultados de Wescom (1979) para esta misma especie se encontró para edad base de 10 años, seis calidades de sitio desde 10 hasta 25 m. Con base en estos resultados se considera que las plantaciones en Tabasco se encuentran dentro de las calidades de sitio medio y alto.

Los resultados obtenidos en este estudio, las plantaciones se están desarrollando en suelo con pH que va desde fuertemente ácido a ligeramente alcalino, lo cual coincide con estudios de Mayhew y Newton (1998). Estos autores comentan que esta especie puede desarrollarse bien en suelos con un pH de 4.5, sin toxicidad de aluminio, a pH neutro o ligeramente alcalino, en suelos bien drenados, si tienen buen manejo silvícola.

El pH en los suelos forestales desempeña un papel importante ya que de él depende, en parte la presencia de la población microbiana del suelo para degradar la materia orgánica y que esté disponible para los árboles (Young y Giese, 2003).

Los suelos Fluvisol éutrico gléyico de las plantaciones presentan densidad aparente de  $1.77 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  a  $0.93 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  resultando ligeramente compactado, y el Gleysol mólico de  $1.48 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  a  $1.17 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  se presentó sobre suelos con condiciones físicas favorables sin problemas de compactación, sin embargo el Fluvisol ferrali gléyico ( $1.94 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  a  $1.4 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) presentan compactación. Arias (2007), considera que los suelos con densidades bajas ( $1.3 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) son considerados no compactados y aquellos suelos con densidades altas ( $1.6 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) son suelos compactados. Vera *et al.*, (2003) mencionan que las densidades de suelo en selvas varían de  $0.51$  a  $1.49 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$  compactándose con las actividades agrícolas.

El contenido de N-Kjeldahl en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King está influenciado por factores ambientales como las precipitaciones y la vegetación acumulada. El nitrógeno también es afectado por la textura del suelo, los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de nitrógeno que aquellos limosos o arenosos (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Estos suelos presentan un alto contenido de materia orgánica por la acumulación de hojarasca de los árboles, además la presencia del fósforo en las zonas tropicales está ligada al contenido de materia orgánica que existe en los suelos, ya que al aumentar el contenido de materia orgánica y fosfatos

orgánicos se dispondrá de una mayor cantidad de fósforo total en el suelo (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Los contenidos de calcio y potasio determinados en los suelos de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King se han considerado altos. Esto es debido a la cantidad de hojarasca que acumula esta especie, sobre todo en los primeros horizontes por ser perenne. En estos se acumula más potasio, debido a que los residuos vegetales se mineralizan, siendo liberados al suelo y se adsorbe en el complejo de intercambio, quedando disponible para los árboles (Sadzawka *et al.*, 1995). El calcio es otro catión que también se acumula en las primeras profundidades; investigaciones de Harold y Hocker, (1984) mencionan que los nutrientes del suelo más importantes como el nitrógeno, el fósforo, el potasio y el calcio, quedan retenidos en mayor cantidad por la plantación forestal debido a que son incorporados en el suelo cada año por la cantidad de hojarasca que cae, además de ser estos retenidos por las arcillas. El calcio es un componente estructural de la pared celular y por lo tanto, es vital para la formación de nuevas células, por lo que en los árboles es requerido para el engrosamiento de los tallos (Thomson y Troeh, 2002). Existen estudios que demuestran que el 70 % de los nutrientes extraídos por los árboles se acumulan en hojas, ramas y cortezas, y el otro 30 % en tallos o fustes principales (Medeira *et al.*, 1998). *Swietenia macrophylla* King al igual que *Tectona grandis* Linn. son especies que requieren para su desarrollo que el suelo esté saturado con calcio (Mollinedo *et al.*, 2005).

Mayhew y Newton (1998) han reportado que *Swietenia macrophylla* King, en Filipinas, demanda en los primeros 6 años aproximadamente  $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de NPK y después de los 7 a 20 años solo requiere  $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de urea.

El pequeño número de parcelas analizado no permitió la validación de los modelos y aconseja realizar más mediciones conforme vayan creciendo las plantaciones jóvenes de *Swietenia macrophylla* King en el estado. El valor predictivo de los modelos será mayor cuando nos encontremos con valores próximos a los utilizados para la generación del modelo:  $\text{N}_{0-90 \text{ cm}}$  (15241 a  $4842 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  $\text{P-Olsen}_{0-90 \text{ cm}}$  (111 a  $35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),  $\text{Ca}_{0-30 \text{ cm}}$  (192507 a  $28081 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ),

$R_{0-30\text{ cm}}$  (51 a 11 %), capacidad de retención de agua ( $CRA_{0-90\text{ cm}}$ ) acumulado en toda la profundidad (380 a 182 mm), que son los valores máximos y mínimos de las plantaciones estudiadas.

Aquellas parcelas que mantuvieron una alta capacidad de retención de agua en las capas superficiales del suelo, tuvieron mejor crecimiento de los árboles y por lo tanto mejor índices de sitio, que aquellas plantaciones donde la capacidad de retención de agua fue menor.

Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King, que tenían un contenido alto de arcilla presentaron un mejor índice de sitio, que las plantaciones que presentaron mayor contenido de arena.

Lamb (1966) y Cárdenas y Vásquez (1987) consideraron que los suelos de textura franco arenosa o arcillosa, y estructura granular son los más apropiados para esta especie, con un adecuado suministro de humedad la mayor parte del año. Esta última variable se relaciona mejor con el índice de sitio.

El índice de sitio tuvo una alta relación con la arcilla y el nitrógeno de éste ( $R^2$  0.98), cual indica que *Swietenia macrophylla* King mantendrá mayor productividad en suelos con textura más fina, los suelos que tienen más del 40% de arcilla y buena aireación, presentan una mayor capacidad de retención de agua y nutrimentos (Castellano *et al.*, 2000). La disponibilidad de nitrógeno se relaciona generalmente con el crecimiento del árbol dado que el nitrógeno es el nutriente más limitante en comunidades de plantas (Fisher y Binkley, 2000), el nitrógeno aprovechable por los árboles y los microorganismos se acumula en los horizontes orgánicos, donde los procesos de humificación están más activos, y disminuye marcadamente con la profundidad del suelo (Sadzawka *et al.*, 1995). En plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* de Costa Rica se encontró una relación entre la textura del suelo, el nitrógeno y el índice de sitio (Delgado *et al.*, 2009).

En tanto que Broquen *et al.*, (1998) y Delgado *et al.*, (2009) encontraron una relación entre el índice de sitio y la textura, el calcio y el nitrógeno en

plantaciones de *Tectona grandis* Linn., *Pinus ponderosa* Dougl, *Pinus caribaea* Mor. Var. *caribaea*.

Las raíces tienden a extenderse más densamente en una capa superficial con apenas unos pocos centímetros de espesor, porque es aquí donde adquieren más rápidamente los nutrientes, los cuales son liberados por la descomposición de la hojarasca (Raven *et al.*, 1992). Todo esto documenta la importancia del nitrógeno y del calcio para las plantaciones forestales y explica por qué estas variables están muy relacionadas con el crecimiento de los árboles de *Swietenia macrophylla* King.

La capacidad de retención del agua y la arcilla fueron otras de las variables relacionadas con el crecimiento de las plantaciones forestales. Los árboles obtienen el agua necesaria para satisfacer las necesidades de transpiración y crecimiento. La capacidad capilar del agua del suelo depende de las proporciones relativas de arena, limo y arcilla, estructura y densidad del suelo, la capacidad de retención de agua son variables edáficas de la cual depende mucho la productividad de los árboles, ya que gracias a la humedad óptima los nutrientes pueden estar disponibles para la planta.

Estudios sobre la importancia de las características edáficas, como la profundidad efectiva, la profundidad del horizonte A y contenido total de arcilla que se relacionan con el índice de sitio en plantaciones de *pino Oregón* son las variables que más coinciden con el índice de sitio (Steinbrenner, 1979), ya que influyen principalmente sobre la disponibilidad de agua en el periodo de crecimiento y retención de nutrientes en el suelo. El nitrógeno acumulado en toda la profundidad en las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King fue de 2466.8 a 7958 Kg·ha<sup>-1</sup>, lo cual es comparable con otros estudios de suelos forestales tropicales donde se reportan 5850 Kg·ha<sup>-1</sup> (Harold y Hocker, 1984). En el caso de *Swietenia macrophylla* King, el nitrógeno acumulado en toda la profundidad está más relacionado con el crecimiento, porque las raíces de esta especie pueden obtener el nitrógeno a cualquier profundidad.

## CONCLUSIÓN

Las parcelas con mayor índices de sitio la presentaron la 1 y 2 de la plantación 27-037 con índices de sitio de 16.12 m y 16.70 m de altura dominante y la parcela 5 de la plantación 27-042 con 19.15 m de altura dominante.

Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco están establecidas en suelos Fluvisol éutrico gléyico (Fleugl), Cambisol ferrali gléyico (CMflgl) y Gleysol mólico (GLmo), sin embargo los mejores índices de sitio se presentaron en los suelos Gleysol mólico.

La arcilla superficial (0-30 cm), la capacidad de retención de agua acumulado en toda la profundidad (CRA), el calcio acumulado (0-90 cm), el fósforo acumulado y el nitrógeno acumulado están más relacionados con productividad de los árboles de *Swietenia macrophylla* King.

El modelo uno  $IS=8.88593+0.13343*R_{0-15\text{ cm}}+0.0003*N_{0-30\text{ cm}}$  fue el que presentó la mejor relación y puede ser usado para predecir la calidad potencial de plantaciones que todavía se van a establecer. Los demás modelos:  $IS=\beta_0+\beta_1*P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}+\beta_2*N_{0-90\text{ cm}}$ ;  $IS=\beta_0+\beta_1*CRA_{0-90\text{ cm}}+\beta_2*P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}+\beta_3*N_{0-90\text{ cm}}$ ; y  $IS=\beta_0+\beta_1*Ca_{0-30\text{ cm}}+\beta_2*P\text{-Olsen}_{0-90\text{ cm}}+\beta_3*N_{0-90\text{ cm}}$  pueden ser usados para predecir la potencialidad en una plantación de *Swietenia macrophylla* King establecida.

También se pudo observar que aquellas plantaciones con mejor índices de sitio, fueron las que presentaron en el piso forestal mayor cantidad de hojarasca, iluminación y humedad.

Con los resultados obtenidos se puede evaluar otras plantaciones establecidas o por establecer de esta especie, en otros municipios de Tabasco.

## LITERATURA CITADA

- Arias, J.A.C. 2007. Suelos tropicales. 1ª edición. Editorial Universidad estatal a distancia, San José Costa Rica. 188 p.
- Broquen, P., J.L. Girardin, G. Falbo, y O. Álvarez. 1998. Modelos predictores de índice de sitio en *Pinus ponderosa* Dougl. En base a características del suelo andinopatagónico oriental, 37°-41° S, República Argentina. *Bosque* 19(1): 71-79 p.
- Cárdenas, L. y M. Vásquez. 1987. Alcances ecológicos-silviculturales de la especie *Swietenia macrophylla* King. En: *Matero*. Año 1 (1): 18-19.
- Carmean, W.H. 1975. Forest site quality evaluation in the United States. *Adv. Agronomy*. 27:209-269.
- Castellanos, J.Z., J.X. Uvale-Bueno, y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Segunda edición. Colección INCAPA. 226 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2005. Las plantaciones forestales comerciales en Tabasco. *Revista Forestal* 21(10):3.
- Delgado-Caballero, C.E, Gómez-Guerrero A., Valdez-Lazalde J.R., Santos-Posadas H., Fierros-González A. M., y W. R. Horwath. 2009. Índice de sitio y propiedades del suelo en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México. *Agrociencia*, 43: 61-72.
- Domínguez, D., M. y P. Martínez Z. 2007. Análisis de la situación del sector Forestal en el estado de Tabasco. En: Estado del arte de la investigación en el trópico. Colegio de postgraduados Campus Tabasco. 59-62.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006. World Reference Base for Soil Resources. A Framework for international Classification, Correlation and Communication. IUSS, FAO, ISRIC. Roma, Italy. Reports No. 103.
- Fassbender, H.W., y E. Bornemisza.1994. Química de los suelos con énfasis en suelos de América Latina.2ª .ed.rev. San José C.R.IICA. ISBN 93-9039-1243. 420 p.
- Fisher, R.F., and D. Binkley. 2000. Ecology and management of forest soils. 3<sup>e</sup> Edi. Wiley. USA. 489 p.
- Gandullo, J.M., 1985. Ecología Vegetal. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid. 208 p.
- García, C. X., J.G. Flores, y J.D. Benavides. 2007. Índice de sitio para *Cedrela odorata* L. (cedro rojo) en Quintana Roo, México. Ciencias Forestales en México. 32(101):71-92.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geografía. México D.F. 252 p.
- García, C.X., Ramírez M.H., Rodríguez F.C., Jasso M., y J.S.C.A. Ortiz. 2007. Ecuaciones de índice de sitio para caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Quintana Roo, México. Ciencias Forestales en México 23(84):9-18 p.
- Harold, W. y J.R. Hocker. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT editor, S.A, México. 433 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2005. Cuaderno estadístico municipal de Jalapa, Tabasco. Impreso en México. ISBN 970-13-471-5. 207 p.



- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2006. Cuaderno estadístico municipal Balancán, Tabasco, Impreso en México. Disponible en línea [http://www.balancan.gob.mx/transparencia/transparencia\\_archivos2/datostransparencia/fraccionV/d\)reservas\\_ecologicas\\_acuiferas\\_territoriales/reservas\\_ecologicas\\_acuiferas\\_territoriales/medio\\_ambiente](http://www.balancan.gob.mx/transparencia/transparencia_archivos2/datostransparencia/fraccionV/d)reservas_ecologicas_acuiferas_territoriales/reservas_ecologicas_acuiferas_territoriales/medio_ambiente). Consultada en 29 de agosto del 2007.
- Lamb FB. 1966. Mahogany of Tropical America. Its ecology and management. University of Michigan Press. 220 p.
- Madeira, M., Azevedo, A., P. Soares. 1998. Effects of site preparation on soil properties and growth in an *Eucalyptus globules* plantation. Actes du Xvième congres mondial des Sciences du sol (20-26 Août 1998) A.F.E.S eds Contribution 18-90- poster.
- Mayhew, J.E. y A.C. Newton. 1998. The silviculture of mahogany. Edinburgh, UK, University of Edinburgh, CABI Publishing. 226 pp.
- Mckenney, D.W. and J.H. Pedlar. 2003. Spatial models of site index based on climate and soil properties for two boreal tree species in Ontario, Canada. Forest ecology and management 175:497-507.
- Mollinedo, M., Ugalde L., Alvarado A., Verjans M.J. y L.R. Carles. 2005. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de Teca (*Tectona grandis L.*), en la zona oeste de la cuenca del canal de panamá. Agronomía Costarricense 29(1): 67-75.
- Montoya, O., J.M., y M. Mesón G. 2004. Silvicultura. Tomo II. Fundación Conde del Valle de Salazar ediciones Mundi-prensa. 1,139 p.
- NOM-021-RECNAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaria del medio ambiente y Recursos Naturales En

línea:<http://www.semarnat.gob.mx/leyesyformas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf>. Consultada el 20 de mayo 2007.

Ordóñez, A. 1998. Estimación de la captura de carbono en un estudio de caso para bosque templado: San Juan Nuevo, Michoacán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F. 190 p.

Palma-López, D.J., E. Moreno C., J.A. Rincón- Ramírez, E.D. y T. Shirman. 2008. Degradación y conservación de los suelos de estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, Tabasco, México. 74 p.

Palma-López, D.J., Cisneros J.D., Moreno E. C. y J.A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.

Prause, J., Lifschitz A.P., y D.M. Toledo. 2003. Dinámica de la mineralización del N, P y K en hojas de *Schinopsis balansae* Engl. Sobre un suelo forestal del parque de Chaqueño Húmedo. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. Quebracho revista ciencias forestales, diciembre. No. 010.

Raven, P.H., Evert R.F., y S.E. Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. N° edición 1 ISBN: 9788429118421 Editorial Reverté, S.A. 773 p.

Sadzawka, R.A. Peralta P.M., Ibarra M. M., Peralta A.J., M. Y Fuentes E.J.P. 1995. Características químicas de suelos forestales chilenos Bosque 16(1): 9-28.

Sánchez, P. O., Blanco A., 1985. Un modelo de estimación del equivalente de humedad de los suelos. Montes. 4, 26-30.

- Santos, D.J.M. Hernández de V.S.J.R., Corral E.C.P.J y I.A Rapp. 2006. Estimación de la capacidad de retención de agua y suelo: revisión del parámetro CRA. Sistema de Recursos Forestales 15(1), 14-23.
- SAS. 2003. User's Guide, versión 9.1.3.SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. 140 p.
- Saturtevant, B.R. y S.W. Seagle. 2004. Comparing estimates of forest site quality in old second-growth oak forests. Forest ecology and management 1991:311-328.
- Steinbrenner, E.C. 1979. Forest soil productivity relationships. Forest soils of the Douglas-fir Region. Washington State University. 199-229.
- Thomson, L.M. y F.R. Troeh. 2002. Los suelos y su fertilidad. 4ª ed. Reverté, S.A. España. ISBN: 84-291-1041-0. 639 p.
- Valencia, I.C.E. y B.A. Hernández. 2002. Muestreo de suelos Preparación de Muestras y Guía de Campo. México: Universidad Nacional Autónoma de México. 117 p.
- Vera, S.G., Obrador O.J.J., Palma-López D.J., G.S. Salgado. 2003. Densidad aparente en un Vertisol con diferentes agrosistemas. Caracas Venezuela. Interciencia. 28(006): 347-351.
- Wescom, R.W. 1979. Silvicultural Research Division Annual Report 1978. Department of Forestry, Fiji. s/p.
- Young, R.A y Giese R.L. 2003. Introduction to forest ecosystem science and management. Editori. University of Wisconsin-Madison, EUU. 513 p.
- Zepeda, B., E.M. y P. Rivero B. 1984. Construcción de curvas anamórficas de Índice de sitio: ejemplificación del método de la curva guía. Ciencia forestal. 9(51):3-38.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIÓN GENERAL**

## CONCLUSIÓN GENERAL

Con la información generada es posible conocer la situación actual de las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en el estado de Tabasco, y proporcionar información útil a los silvicultores que están interesados en plantar dicha especie.

Se puede concluir que las plantaciones que están establecidas a densidades de 1.2 x 2 m afectan el crecimiento de *Swietenia macrophylla* King siendo preferibles espaciamientos superiores a 3 x 3 m.

El modelo de Korf fue el mejor con una curva guía de:  $Ad = 12.34 * EXP^{-4.9(t)^{-0.29}}$  que representó la altura dominante a una edad base de 10 años.

Las plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Tabasco quedaron representadas por tres curvas anamórficas alta de 17.5 m, media de 14.5 m y baja de 11.5 m. Los índices de sitio son una fuente de información importante para conocer el potencial productivo de *Swietenia macrophylla* King. Las plantaciones que se encuentran dentro de las calidades de sitio alta son: 27-037 y 27-048; en la calidad media 27-042 y 27-036; en la calidad baja las plantaciones 27-013, 27-039, 27-053 y 27-034.

En cuanto a las conclusiones sobre la relación del índice de sitio con las características edafológicas quedaron de la siguiente manera:

*Swietenia macrophylla* King prefiere en la región los suelos Fluvisol éutrico gléyico (Fleugl) y Gléysol mólico (GLmo) por su mayor cantidad de materia orgánica en el piso forestal, así como una estructura migajón arcilloso que tiene la capacidad de retener más nutrientes en el suelo. Los suelos Cambisol ferrali gléyico (CMflgl) no son muy aptos para el crecimiento de esta especie debido a la acidez en el suelo y aluminio; además de tener una textura migajón arenoso que provoca la lixiviación de los nutrientes.

*Swietenia macrophylla* King puede crecer en suelos ácidos o alcalinos, siempre y cuando no sea afectado por la toxicidad de aluminio en caso de los suelos ácidos.

Los índices de sitio quedaron determinados para las parcelas 1 y 2 de la plantación 27-037 con 16.12 m y 16.70 m de altura dominante, respectivamente; la parcela 3 y 4 de la plantación 27-053 con 14.77 m y 15.44 m de altura dominante respectivamente; la parcela 5 de la plantación 27-042 fue 19.15 m de altura dominante y la parcela seis de la plantación 27-039 fue 12.12 m de altura dominante.

La plantación 27-042 presentó las parcelas con mayor calidad de sitio con 19.15 m de altura dominante y con la calidad de sitio más baja la 27-039 con 12.12 m de altura dominante.

Los índices de sitio se relacionaron más con las características edáficas del suelo como la arcilla y calcio superficial, el nitrógeno, la capacidad de retención de agua y el fósforo acumulado en toda la profundidad.

De acuerdo a los resultados sobre la relación del índice de sitio con las características edáficas esta especie, es influenciada en su crecimiento por las características como la arcilla superficial y el nitrógeno acumulado en todo el suelo; debido a que por ser una especie arbórea puede tomar los nutrientes por medio de la raíz de cualquier parte del suelo.

Los modelos matemáticos de índice de sitio determinados aportan información práctica y útil para futuras investigaciones en el trópico sobre el potencial productivo de *Swietenia macrophylla* King.

*Swietenia macrophylla* King requiere atención urgente de parte de especialistas forestales que brinden asesoría a los silvicultores para que sus plantaciones puedan ser manejadas de manera eficiente.

Y por último se pueden generar modelos de índices de sitio mediante estudios edafológicos para determinar el potencial productivo de cualquier especie.