



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

**Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de  
teca (*Tectona grandis*), y adaptación de leguminosas para control  
de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México**

por

Shenia Arely Sima González

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

*Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica

Turrialba, Costa Rica, 2010

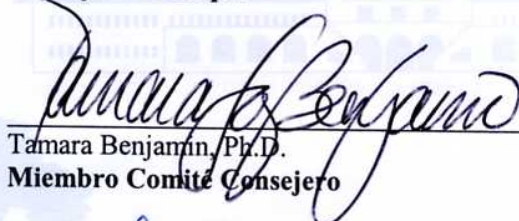
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGRICULTURA ECOLÓGICA**

**FIRMANTES:**



Luis Ugalde, Ph.D.  
**Consejera Principal**

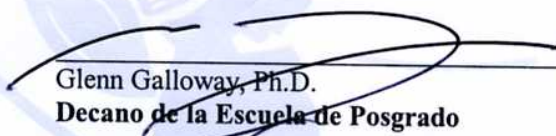


Tamara Benjamín, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

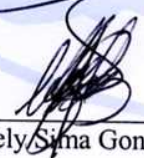


Gabriela Soto, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

Víctor Hugo Fernández, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



Glenn Galloway, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**



Shenía Arely Sima González  
**Candidata**

## DEDICATORIA

A mi familia, mi motivo de superación

A David

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Posgrado del CATIE por las facilidades otorgadas para la realización de mis estudios de maestría.

A la Fundación Pablo García por el financiamiento del segundo año de mis estudios de maestría.

A la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A de C.V. por las facilidades, apoyo en materiales, equipo y personal para la realización del trabajo de tesis. Y muy especialmente al personal en campo.

A los miembros del Comité Consejero, el Ph. D. Luis Ugalde, M. C. Víctor Hugo Fernández, Ph. D. Tamara Benjamin y M. Sc. Gabriela Soto por sus observaciones y aportes a este trabajo y la confianza que depositaron en mí.

Al Ph. D. Fernando Casanoves, M. Sc. Sergio Vilchez y M. Sc. Nelson Pérez por su tiempo y orientación en la realización de los análisis estadísticos del trabajo de tesis.

A Lorca y Francisco por su ayuda en la interpretación de algunos conceptos y sobre todo por haber sido parte del proceso.

A ti César, “por lo que eres y por lo que creo, por mis convencimientos que creo mutuos”.

A mis compañeros del programa de Agricultura Ecológica Orlando, Liseth, Rodrigo, Magdiel y Catalina.

A la Comunidad Mexicana de CATIE, especialmente a Nayeli, Cliserio, el matrimonio “OsMar” y a Miqueas.

A la Comunidad Edificio Andino 2009 por lo que con ellos y de ellos aprendí.

Y especialmente a ti Amor, mi compañero y amigo, por tu inestimable apoyo hasta el último momento de este proceso y... aún.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
CONTENIDO .....	V
RESUMEN .....	IX
SUMMARY .....	X
ÍNDICE DE CUADROS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	XIV
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Objetivos del estudio .....	2
1.1.1 <i>Objetivo general del Artículo 1</i> .....	2
1.1.1.1 <i>Objetivos específicos Artículo 1</i> .....	2
1.1.2 <i>Objetivo general Artículo 2</i> .....	3
1.1.2.1 <i>Objetivos específicos Artículo 2</i> .....	3
1.2 Hipótesis del estudio .....	3
1.2.1 <i>Hipótesis Artículo 1</i> .....	3
1.2.2 <i>Hipótesis Artículo 2</i> .....	3
2 MARCO CONCEPTUAL .....	4
2.1 Generalidades de teca ( <i>Tectona grandis</i> L.f.) .....	4
2.2 Factores limitantes para el desarrollo y crecimiento de la teca .....	5
2.2.1 <i>Factores edafo – climáticos</i> .....	5
2.2.2 <i>Factores de manejo</i> .....	6
2.3 Fertilización y riego en plantaciones .....	7
2.3.1 <i>Plantaciones con riego</i> .....	7

2.3.2	<i>Plantaciones con fertilización</i> .....	8
2.3.3	<i>Fertirriego</i> .....	8
2.3.4	<i>Diagnóstico nutricional</i> .....	9
	2.3.4.1 Análisis de suelo .....	9
	2.3.4.2 Análisis foliar .....	10
2.4	Manejo de arvenses .....	11
2.4.1	<i>Generalidades de coberturas</i> .....	12
	2.4.1.1 Características de las coberturas .....	13
	2.4.1.1.1 Clitoria ternatea L. ....	13
	2.4.1.1.2 Mucuna pruriens (L.) DC. ....	14
	2.4.1.1.3 Neonotonia wightii (Arn.) Lackey .....	14
2.5	El crecimiento y la productividad de la teca .....	14
2.5.1	<i>Calidad de sitio e Índice de Sitio</i> .....	15
3	BIBLIOGRAFÍA .....	17
4	Artículo 1. Evaluación del crecimiento y productividad inicial de plantaciones de teca ( <i>Tectona grandis</i> L. f.) bajo fertirriego en Campeche, México .....	22
4.1	Introducción .....	23
4.2	Materiales y métodos .....	24
4.2.1	<i>Área de estudio</i> .....	24
	4.2.1.1 Localización .....	24
	4.2.1.2 Clima y suelo .....	24
4.2.2	<i>Sistema fertirriego</i> .....	25
4.2.3	<i>Diseño de muestreo y selección de parcelas</i> .....	26
	4.2.3.1 Obtención de datos .....	26
	4.2.3.2 Base de datos .....	27
4.2.4	<i>Elaboración de clases de sitio y productividad</i> .....	28
4.2.5	<i>Identificación de variables de suelo relacionadas con el crecimiento</i> .....	29

4.2.5.1	Elaboración de modelos .....	30
4.2.6	<i>Identificación de variables del suelo relacionadas con el follaje</i> .....	30
4.3	Resultados y discusión.....	31
4.3.1	<i>Rangos de crecimiento y productividad</i> .....	31
4.3.2	<i>Estado nutricional de las plantaciones de teca</i> .....	35
4.3.2.1	Comparación de las características del suelo con los niveles de suficiencia y requerimientos de la teca .....	35
4.3.2.2	Variables del suelo relacionadas con el crecimiento de teca.....	38
4.3.2.2.1	Elaboración de modelos .....	39
4.3.2.3	Variables del suelo relacionadas con el follaje de teca .....	40
4.4	Conclusiones y recomendaciones .....	45
4.5	Bibliografía .....	46
5	Artículo 2. Establecimiento de coberturas vivas para control de maleza en plantaciones de teca ( <i>Tectona grandis</i> L. f.) menores de un año en Campeche, México.....	50
5.1	Introducción .....	51
5.2	Materiales y métodos .....	52
5.2.1	<i>Área de estudio</i> .....	52
5.2.1.1	Localización del área de estudio .....	52
5.2.1.2	Clima y suelos .....	52
5.2.2	<i>Sistema fertirriego</i> .....	53
5.2.3	<i>Establecimiento de las coberturas y diseño experimental</i> .....	53
5.2.3.1	Selección del sitio.....	53
5.2.3.2	Selección de las leguminosas .....	54
5.2.3.3	Variables de medición .....	56
5.2.3.3.1	Cobertura y altura de las leguminosas.....	56
5.2.3.3.2	Características biológicas de las coberturas .....	57
5.2.3.3.3	Porcentaje de cobertura de arvenses; <b>Error! Marcador no definido.</b>	

5.2.3.3.4	Crecimiento de árboles de teca.....	58
5.3	Resultados y discusión.....	58
5.3.1	<i>Cobertura y altura de las leguminosas.....</i>	58
5.3.1.1	Cobertura de leguminosas .....	58
5.3.1.2	Altura de leguminosas .....	60
5.3.2	<i>Características biológicas de las leguminosas.....</i>	62
5.3.2.1	Nodulación de raíces y peso fresco del follaje .....	62
5.3.2.2	Peso fresco del follaje.....	64
5.3.3	<i>Porcentaje de cobertura de arvenses.....</i>	<b><i>¡Error! Marcador no definido.</i></b>
5.3.4	<i>Crecimiento de árboles de teca .....</i>	64
5.3.4.1	Incremento del diámetro basal y altura total .....	64
5.4	Conclusiones y recomendaciones .....	65
5.5	Bibliografía .....	66
ANEXOS	.....	69



## RESUMEN

La investigación se realizó en plantaciones de teca de 2 a 6 años de edad bajo un sistema de fertirriego en Campeche, México, con una precipitación promedio de 900mm/año. El 62% de las plantaciones se ubica en las clases de crecimiento medio en índice de sitio a una edad base de 10 años ( $IS_{10}$ ). El  $IS_{10}$  varió de 9.9 – 19.3 y el IMA-vol de 1.3 – 18.9m<sup>3</sup>/ha/año. Los análisis de correlación indican que las diferencias en crecimiento están relacionadas principalmente a incrementos de CE, NO<sub>3</sub>, K, Cu y Ca en el suelo. Los valores obtenidos de CE superan el límite de tolerancia de la teca (0.03 – 0.14dS/m), lo que podría estar limitando la absorción de nutrientes. Las características del suelo correlacionadas negativamente con el crecimiento podrían estar influenciadas por la textura “arcillosa” del suelo (34 – 83%). Por otro lado *Mucuna pruriens* mostró mejor adaptación a las condiciones de temporada de seca y fertirriego, con 23% de cobertura del suelo, 39.2cm de altura y un total de 487 nódulos efectivos. Se requiere de un período mayor de tiempo para evaluar el efecto de las leguminosas sobre el crecimiento de los árboles jóvenes de teca.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*, fertirriego, índice de sitio, productividad inicial, análisis de suelo y foliar, *Mucuna pruriens*, porcentaje de cobertura.

## SUMMARY

In 2 – 6 years old teak plantation under a fertigation system at Campeche, Mexico, the 65.7% are in “medium” and “high” growth classes. The SI varied from 9.9 – 19.3 and IMA-vol values from 1.3 – 18.9m<sup>3</sup>/ha/yr. The correlation analyses indicate that differences in growth are mainly related to increases of EC, NO<sub>3</sub>, K, Cu and Ca in the soil. The EC values obtained exceeding the tolerance limit of teak (0.03 – 0.14dS/m), which could be limiting the uptake of nutrients. Soil characteristics negatively correlated with growth could be influenced by the texture "clay" soil (34 - 83%). On the other hand *Mucuna pruriens* showed better adaptation to dry season and fertigation conditions, with 23% of ground cover, 39.2cm in height and a total of 487 effective nodules. It requires a longer period of time to observe the effect of legumes on the growth of young teak trees.

**Key words:** *Tectona grandis*, fertigation, site index, initial productivity, soil and foliar analysis, *Mucuna pruriens*, cover percentage.

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. RENDIMIENTOS DE TECTONA GRANDIS EN GUANACASTE, COSTA RICA. ....	16
CUADRO 2. PROMEDIOS POR PARCELA PERMANENTE DE MONITOREO (PPM) DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD E ÍNDICE DE SITIO (IS), ESTIMADOS A TRAVÉS DE MIRASILV A PARTIR DEL DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (DAP) Y ALTURA DE LOS ÁRBOLES MEDIDOS EN CAMPO (VALLEJOS 1996).....	28
CUADRO 3. VARIABLES DE SUELO CONSIDERADAS EN EL PRESENTE ESTUDIO.....	29
CUADRO 4. RANGOS DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD OBTENIDOS DE LAS 53 PARCELAS PERMANENTES DE MONITOREO (PPM) DE TECTONA GRANDIS EN CAMPECHE, MÉXICO. ..	31
CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DE LAS PARCELAS PERMANENTES DE MONITOREO DE TECTONA GRANDIS BAJO TRES CLASES DE SITIO EN CAMPECHE, MÉXICO. ....	32
CUADRO 6. CLASIFICACIÓN EN CLASES DE PRODUCTIVIDAD PARA LAS PLANTACIONES DE TECTONA GRANDIS BAJO FERTIRRIEGO EN CAMPECHE, MÉXICO.....	33
CUADRO 7. CONCENTRACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE STA. GENOVEVA POR CATEGORÍA EN RELACIÓN A LOS NIVELES DE SUFICIENCIA (%) PARA LOS PRINCIPALES ELEMENTOS REQUERIDOS EN EL SUELO, A LA PROFUNDIDAD 0 – 20CM. ....	36
CUADRO 8. CONCENTRACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE STA. GENOVEVA POR CATEGORÍA EN RELACIÓN A LOS NIVELES DE SUFICIENCIA (%) PARA BASES INTERCAMBIABLE, A 0 – 20CM DE PROFUNDIDAD.....	37
CUADRO 9. CONCENTRACIÓN DE LAS PLANTACIONES DE STA. GENOVEVA POR CATEGORÍA EN RELACIÓN A LOS NIVELES DE SUFICIENCIA (%) PARA LOS PRINCIPALES ELEMENTOS REQUERIDOS EN EL FOLLAJE.....	37
CUADRO 10. VARIABLES DE SUELO CON LOS MEJORES COEFICIENTES ( $R^2$ ) DE CORRELACIÓN RESPECTO A LA VARIABLE DE CRECIMIENTO PARA CADA PROFUNDIDAD.....	38
CUADRO 11. RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS MODELOS PARA CADA VARIABLE DE CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD. ....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LA AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA S. A. DE C.V., EN EL ESTADO CAMPECHE, MÉXICO. FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE CAMPECHE. ....	24
FIGURA 2. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN DE LA RELACIÓN DE LOS INCREMENTOS MEDIOS ANUALES EN DIÁMETRO A LA ALTURA DEL PECHO (A), ALTURA (B), VOLUMEN (C) Y ÁREA BASAL (D), RESPECTO AL ÍNDICE DE SITIO. ....	35
FIGURA 3. TENDENCIAS DE LAS CORRELACIONES DE NITRATOS (N-NO <sub>3</sub> ) Y COBRE (CU) EN LA PRIMERA PROFUNDIDAD (A Y B), CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) EN LA SEGUNDA (C), Y CALCIO (CA) EN LA TERCERA (D) CON EL IMA-DAP. ... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 4. RANGOS DE SUFICIENCIA DE NITRÓGENO EN FOLLAJE Y SUELO A LA PRIMERA PROFUNDIDAD, 0–20CM (A) Y TERCERA PROFUNDIDAD, 40–60CM (B). LOS RANGOS DE SUFICIENCIA ESTÁN REPRESENTADOS POR LAS LÍNEAS DE CORTE DEL GRÁFICO. EL VALOR DE NITRÓGENO EN EL SUELO TIENE COMO REFERENCIA DATOS DE GHANA (FASSBENDER 1985). ....	41
FIGURA 5. RANGOS DE SUFICIENCIA DE POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO EN FOLLAJE Y SUELO A LA PRIMERA PROFUNDIDAD, 0–20CM (A, C Y E) Y TERCERA PROFUNDIDAD, 40–60CM (B, D Y F). LOS RANGOS DE SUFICIENCIA ESTÁN REPRESENTADOS POR LAS LÍNEAS DE CORTE DEL GRÁFICO..... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 6. RANGOS DE SUFICIENCIA DE ELEMENTOS MENORES EN FOLLAJE Y SUELO A LA PRIMERA PROFUNDIDAD, 0–20CM (A, C Y E) Y TERCERA PROFUNDIDAD, 40–60CM (B, D Y F). LOS RANGOS DE SUFICIENCIA ESTÁN REPRESENTADOS POR LAS LÍNEAS DE CORTE DEL GRÁFICO..... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 7. LOCALIZACIÓN DE LA AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA S. A. DE C.V., EN EL ESTADO CAMPECHE, MÉXICO. FUENTE: GOBIERNO DEL ESTADO DE CAMPECHE. ....	52
FIGURA 8. DISEÑO DEL EXPERIMENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LEGUMINOSAS COMO COBERTURA VIVA EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO. R (REPETICIÓN); 6,8 Y 10 (EDAD EN MESES); T (TESTIGO), C (CLITORIA), M (MUCUNA), S (SOYA)..... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 9. TOMA DE 5 SUB-MUESTRAS AL AZAR CON MARCO DE ALUMINIO DE 40×40CM PARA EL MUESTREO DEL PORCENTAJE DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE TECA MENORES DE UN AÑO CON FERTIRRIEGO EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO. ....	57
FIGURA 10. COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE COBERTURA PROMEDIO DE LAS LEGUMINOSAS EN EL TIEMPO EN PLANTACIONES DE TECA MENORES A UN AÑO BAJO FERTIRRIEGO EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO. .... <b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 11. COMPORTAMIENTO EN ALTURA PROMEDIO DE LAS LEGUMINOSAS A PARTIR DE LA PRIMERA MEDICIÓN A LOS 17 DDS (1) HASTA LOS 67 DDS (7). LAS MEDICIONES FUERON TOMADAS EN PLANTACIONES DE TECA MENORES DE UN AÑO EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO.....	61

FIGURA 12. COMPARACIÓN DEL PROMEDIO DE NÚMERO DE NÓDULOS BLANCOS DE CADA LEGUMINOSA, TOMADAS A LOS 150 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA (DDS) EN 30 PLANTAS EXTRAÍDAS AL AZAR EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO. ....	62
FIGURA 13. PESO FRESCO MEDIO DEL FOLLAJE DE 10 PLANTAS TOMADAS AL AZAR DE MUCUNA, CLITORIA Y SOYA, OBTENIDO A LOS 150 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO.....	64
FIGURA 14. PORCENTAJES PROMEDIOS DE LA COBERTURA DE ARVENSES EN TRES FECHAS DE MUESTREO EN AGROPECUARIA SANTA GENOVEVA, CAMPECHE, MÉXICO.....	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	

## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

dap:	Diámetro a la altura del pecho
H:	Altura
G:	Área basal
IMA:	Incremento Medio Anual
VT:	Volumen total
HD:	Altura dominante
IS:	Índice de sitio
IMA – dap:	Incremento medio anual en dap
IMA – H:	Incremento medio anual en altura
IMA – G:	Incremento medio anual en área basal

# 1 INTRODUCCIÓN

La producción y consumo de productos maderables ha ido en aumento, esta tendencia incrementa la presión a los bosques naturales y probablemente en un futuro la madera proceda de bosques plantados como mecanismo para reducir esta presión (FAO 2009). Debido al decrecimiento en el suministro de teca de bosques nativos y la demanda creciente de esta madera, en el futuro posiblemente solo se podrá obtener de nuevas plantaciones de teca (Anantha Padmanabha 2006). De las plantaciones forestales para producción establecidas hasta el 2005, el 4% corresponde a *Tectona grandis* (FAO 2007). Esta especie es utilizada en programas de reforestación por su rápido crecimiento y buena calidad de la madera, fustes rectos, resistencia a plagas, entre otras características (Chaves y Fonseca 1991). En los últimos 10 años las plantaciones de teca más importantes provienen de Ibero América, exportando troncos jóvenes de teca hacia India, Europa y EEUU (Anantha Padmanabha 2006). Actualmente la madera de teca para aserrío tiene un alto valor comercial, los precios de troncos de teca de plantación importados hasta el 2006 iban de US\$225 por m<sup>3</sup> a US\$1,000 por m<sup>3</sup>, dependiendo del tamaño y la calidad (Anantha Padmanabha 2006), cuyo periodo de corta se estima entre los 20 a 25 años de edad.

Dada la demanda de esta especie maderera, compañías privadas están interesadas en incrementar los rendimientos y en el menor tiempo posible. Para lograr tal objetivo han considerado e incluso implementado varias tecnologías como la fertilización y el riego por goteo, debido a que el desempeño que puede tener una plantación responde también a prácticas de manejo, además de la calidad del sitio y al complejo de factores climáticos y edáficos. Esta tecnología en plantaciones es considerada promisoría, ya que las evaluaciones realizadas sobre riego en plantaciones de teca han demostrado que éste tiene un efecto significativo sobre el crecimiento (Joshi y Farooqui 1997, Bhadran 1954).

Para explorar cuales son los posibles factores que afectan el crecimiento inicial (2 – 6 años) de las plantaciones de teca de la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A. de C.V., establecidas en Campeche, México, se realizaron mediciones de árboles para obtener sus rendimientos; muestreos de suelo y follaje para determinar el estado nutricional de las plantaciones y determinar si, el suelo tiene un efecto en tales rendimientos y si el sistema fertirriego está siendo eficiente. El sistema fertirriego fue instalado para complementar la demanda de agua y nutrientes de la teca, debido a que la precipitación en el estado de

Campeche se ubica entre 800 a 1100 mm anuales, con un promedio de 900 mm anuales (AGSA 2007, SMN 2007).

Por otra parte, considerando reducir costos en el mantenimiento de las plantaciones en los primeros dos años y utilizar tecnologías más limpias con el ambiente, la empresa se interesó también en probar la capacidad de adaptación y comportamiento de leguminosas inducidas como cobertura viva establecidas en temporada de sequía, en plantaciones de tecla menores a un año. De esta forma utilizar coberturas de leguminosas como alternativas de manejo de las arvenses dentro de sus plantaciones. Este término “arvense” permite un concepto más amplio de la planta no cultivada, pues reconoce su papel ecológico y social en el agroecosistema y los posibles beneficios adquiridos por su presencia (Gliessman 2002), por lo que en el presente estudio, “arvense” será el término empleado en lugar de “maleza”.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo general del Artículo 1***

Determinar y evaluar el crecimiento y la productividad inicial de las plantaciones de tecla de dos a seis años de edad bajo fertirriego a partir del incremento medio anual (IMA) e índice de sitio (IS), y su relación suelo-planta, en Campeche, México

#### **1.1.1.1 Objetivos específicos Artículo 1**

- Determinar rangos crecimiento y productividad de las plantaciones de tecla a partir del incremento medio anual (IMA) e índice de sitio a una edad base de 10 años ( $IS_{10}$ ), en Campeche, México
- Identificar las variables físicas y químicas del suelo que están más relacionadas con el crecimiento y productividad inicial de las plantaciones jóvenes de tecla
- Identificar las variables silviculturales (dap, número actual de árboles y edad) más relacionadas con el volumen total
- Determinar la relación suelo-planta a través de las propiedades físicas y químicas del suelo y la composición nutricional del follaje de los árboles de tecla



### ***1.1.2 Objetivo general Artículo 2***

Evaluar el establecimiento y manejo de diferentes coberturas para control de arvenses en plantaciones de teca menores a un año

#### ***1.1.2.1 Objetivos específicos Artículo 2***

- Evaluar el comportamiento de leguminosas inducidas como cobertura viva en plantaciones de teca con fertirriego establecidas en temporada de seca
- Determinar el grado de control de las diferentes coberturas inducidas sobre las arvenses en plantaciones de teca menores a un año
- Determinar la limitación del crecimiento de los árboles de teca en altura y diámetro basal debido a la presencia de las coberturas de leguminosas

## **1.2 Hipótesis del estudio**

### ***1.2.1 Hipótesis Artículo 1***

- Las plantaciones evaluadas pueden ser clasificadas en rangos de crecimiento y productividad con diferencias significativas
- Existe alta relación entre las variables físicas y químicas de los suelos con los niveles de crecimiento y productividad de las plantaciones jóvenes de teca
- Las variables silviculturales tienen relación significativa con el volumen total
- Existe alta relación entre las propiedades físicas y químicas de los suelos con los contenidos nutricionales del follaje de los árboles de teca

### ***1.2.2 Hipótesis Artículo 2***

- Las leguminosas inducidas pueden ser establecidas en cualquier época del año en las plantaciones de teca con fertirriego
- El crecimiento de las coberturas inducidas controla significativamente el desarrollo de las arvenses
- El desarrollo de las coberturas de leguminosas afecta el crecimiento de los árboles de teca

## 2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.1 Generalidades de teca (*Tectona grandis* L.f.)

*Tectona grandis* pertenece a la familia Verbenaceae, es una especie latifoliada y heliófila muy susceptible a la competencia interespecífica en su fase inicial de crecimiento (Briscoe 1995). Es originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India, en los bosques secos y húmedos deciduos. La especie ha sido sembrada extensamente fuera de estos lugares incluyendo países de América Central (Chaves y Fonseca 1991). En México el 1.6% de la superficie se destina a plantaciones forestales que incluye la teca (FAO 2009), ubicadas principalmente en los estados de Campeche, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Nayarit (CONAFOR 2005).

En condiciones naturales la teca requiere de temperaturas medias anuales entre 21°C y 28°C; y precipitación media anual que varía de 760 a 5000 mm, preferentemente entre 1000 a 1800 mm/año (Flinta 1960), con una estación seca bien definida entre tres a siete meses, y en sitios con altitudes desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm (Briscoe 1995). La teca generalmente evita aridez por una parte y anegamiento por otra. Los bosques de teca están asociados mucho más frecuentemente con suelos húmedos. Contrario a la creencia general, la teca ha sido reportada prosperando en ciertas partes de llanos en suelos arcillosos (Bebarta 1999).

La teca crece en diversos tipos de suelo, su mejor desarrollo se presenta en suelos franco-arenosos a arcillosos, fértiles, bien drenados y profundos (Lamprecht 1990), según Briscoe (1995) ligeramente ácidos o neutros. En Venezuela, Hernández *et al* (1993), encontraron que las plantaciones con mayores crecimientos se presentaron en suelos moderadamente drenados a bien drenados, al contrario encontraron limitaciones para el crecimiento en terrenos pobremente drenados. De esta forma la teca crece mejor en suelos bien aireados (Salazar y Albertin 1974).

## **2.2 Factores limitantes para el desarrollo y crecimiento de la teca**

### **2.2.1 Factores edafo – climáticos**

El desarrollo y crecimiento de teca se ve limitado por varios factores. Estos factores han sido determinados por observación de las características presentes en los mejores sitios con los mejores crecimientos, tanto como en los que no son favorecidos estos crecimientos. También se han realizando ajustes en modelos de predicción, utilizando variables climáticas, edafológicas y el índice de sitio en estudios como los realizados por [Montero \(1999\)](#) y [Vaides \(2004\)](#) en Centroamérica.

En lo que se refiere a las variables climáticas, las de mayor correlación con el índice de sitio son: precipitación, temperatura y viento. Los mejores crecimientos de teca han sido localizados en sitios con precipitaciones entre 1300 y 3800 mm, debido a una mayor disponibilidad de agua ([Vásquez y Ugalde 1995](#)). Por otro lado, los rangos de temperatura adecuados para esta especie se encuentran entre 22 y 28 °C, menores o mayores temperaturas reducen su crecimiento. Además, han sido reportadas tendencias de reducción del crecimiento a mayor velocidad del viento ([Vallejos 1996](#)).

Dentro de las características de suelo se mencionan suelos poco profundos y/o compactados. La teca no se desarrolla bien en suelos pesados o arcillosos, excepto si tienen buen drenaje ([Rodríguez 1963](#) citado por [Chaves y Fonseca 1991](#)). Dentro de las características químicas del suelo que limitan el crecimiento de teca se encuentran el alto porcentaje de saturación de acidez, el bajo contenido de calcio y magnesio [Drechsel y Zech \(1990\)](#). Esta especie prefiere estas bases intercambiables y los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) ([Mahaphol 1954](#)). La teca es sensible a la reacción del suelo. La aparición de la teca se limita principalmente a suelos que van desde 6.5 hasta 7.75. En los suelos ácidos (pH inferior a 6) la teca se encuentra totalmente ausente y en suelos alcalinos se deteriora en calidad (pH mayor a 8.5), ya que no se desarrolla bien ([Bebarta 1999](#)).

Los suelos con pobre drenaje afectan a las raíces de teca debido a que éstas son sensibles a la deficiencia en oxígeno. La teca tiene un sistema de raíces grandes, laterales y fuertes que pueden penetrar profundamente en los estratos del suelo. Inicialmente produce una raíz principal gruesa y larga que puede persistir durante un período más largo o después de un período determinado suele desaparecer ([Bebarta 1999](#), [Weaver 1993](#)). Sin embargo la mayoría de las raíces se encuentran a poca profundidad. En los primeros 30cm del suelo es donde se

encuentra entre el 65 al 80% de la biomasa radical fina (Fonseca 2004). Esta podría ser una característica de adaptabilidad, por ejemplo en India se ha observado que las plantas jóvenes de teca desarrollan raíces finas en la capa superior del suelo durante el período de la mayoría de los monzones y éstas son las raíces que absorben los nutrientes de la solución del suelo (Bebarta 1999).

### **2.2.2 Factores de manejo**

La fertilidad del suelo tiene importancia durante los primeros años posteriores a la plantación, momento en que puede ser crítica la falta de ciertos elementos mayores. Según Chaves y Fonseca (1991), la deficiencia de estos elementos en la mayoría de las especies forestales es reducida. Por otra parte Bebarta (1999) menciona que el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son los nutrientes principales que se requieren en cantidades relativamente grandes. Una deficiencia a menudo produce síntomas visibles en la teca.

Otro factor de importancia en el manejo de plantaciones de teca es la humedad. Debido a este requerimiento de agua y que puede haber una distribución irregular de las precipitaciones durante el período de crecimiento del cultivo, aplicación de agua adicional en forma de riego para que sea utilizada por la planta podría ser esencial en dicho período (Bebarta 1999). Solo el agua almacenada en la zona de la raíz de la planta puede ser utilizada por ella para su transpiración y construcción de tejidos. Cuando esta agua disponible disminuye, el crecimiento de la planta es también afectada. De ahí que para estimular el crecimiento es necesario regar los árboles jóvenes (Bebarta 1999).

La teca es especialmente sensible a la humedad y a la competencia de las malezas (Laurie 1975). En árboles recién plantados o con meses de edad, estos son más susceptibles de ser cubiertos fácilmente por las malezas. En árboles un poco mayores, el espacio entre ellos favorece su crecimiento y reproducción, ya que buena parte del suelo está descubierta y la luz es aprovechada más eficientemente por las malezas. Las malezas pueden causar daño a los árboles ya sea por competencia directa por luz, humedad del suelo y nutrientes o porque pueden asfixiar a las plantas debido a su hábito de crecimiento. Este daño dependerá de las especies presentes, de la densidad que alcance cada una, del estado en que se encuentre el cultivo cuando éstas emergen y la duración de la competencia (Alán *et al* 1995), y puede ser desde deformaciones hasta un desarrollo pobre. Aunado a lo anterior, el control de malezas constituye una fuente significativa de costos en la operación forestal, al ser una de las

actividades más importantes durante los primeros años de crecimiento de los árboles, al menos hasta que la copa de éstos cierre.

## **2.3 Fertilización y riego en plantaciones**

### **2.3.1 Plantaciones con riego**

El riego en una plantación da lugar a una mejor tasa de supervivencia y crecimiento inicial más alto. Otra ventaja del riego para el crecimiento de la teca puede considerarse que éste es más homogéneo que la de secano en lo que se refiere a la altura y parámetros de la circunferencia. Sin embargo, las respuestas de crecimiento para el riego serán limitadas si el suelo y las condiciones climáticas no son favorables (Bebarta 1999).

Existen varios ejemplos de plantaciones de teca bajo riego en India. En Gujarat, con una precipitación 2500mm, se observó la respuesta de crecimiento de teca en condiciones con y sin riego. A los dos años, la altura fue 2.26m con riego y 0.8m sin riego; a los cuatro años fue de 3.54m y 0.85m, con y sin riego respectivamente. Respecto al diámetro a los dos años, este fue de 16.52cm y 6.6cm, con y sin riego y; a los cuatro años el crecimiento fue de 21.16cm y 7.67cm (Bebarta 1999). En Maharashtra sitios con calidad de sitio II y IV de “calidad estándar” con irrigación muestran patrones de crecimiento comparables a los sitios I y II (Joshi y Farooqui 1997).

Experimentalmente se ha demostrado en general que, el riego una vez a la semana es mejor que una vez a la quincena, y que después de la primera temporada de cultivo no hay diferencias significativas entre ellos. Por otra parte Bhadran (1959), menciona que en Madras State, un riego por tres horas una vez por quincena es adecuado y que el riego tuvo un efecto significativo en el crecimiento en altura solo hasta los seis años después de la siembra. En Tamil Nadu, India en plantaciones de regadío a pequeña escala, el riego se realiza 2 a 3 veces al mes hasta el 5° o 6° año (Kadambi 1993).

Los beneficios de la irrigación son múltiples en los primeros años; aunque este aumento va disminuyendo gradualmente. Esto es relevante considerando que hay una creencia que con mayores insumos en términos de riego, el crecimiento esperado de plantaciones de secano de 40 a 50 años de edad se puede alcanzar en un período de 6 a 20 años (Bebarta 1999).

### **2.3.2 Plantaciones con fertilización**

Los experimentos realizados con teca sobre fertilización han arrojado resultados contradictorios. Algunos de estos estudios indican que el nitrógeno cuando es aplicado junto con el fósforo provoca un incremento en el crecimiento. Sin embargo, en algunas ocasiones la aplicación del nitrógeno parece reducir dicho crecimiento, a lo que [Chaves y Fonseca \(1991\)](#), señalan que quizás se deba a la variedad de suelos y procedencias utilizadas en dichos experimentos.

En plantaciones de teca en Guanacaste, Costa Rica en donde fueron probadas 3 fórmulas completas de fertilizantes (N – P – K), a diferentes dosis, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Aunque el mayor incremento en diámetro y altura se produjo con los tratamientos que tienen mayor contenido de nitrógeno o la combinación nitrógeno y fósforo (urea, 187g/árbol; 18 – 5 – 15 – 6 – 2, 175g; 15 – 15 – 15, 208 g/árbol). El efecto del fertilizante persiste hasta los 66 meses y el incremento va reduciendo en el tiempo ([Fonseca 2000](#)). En plantas de teca de seis meses de edad también fue probada una fertilización y se observó un aumento de más del 60% en la altura de las plantas en comparación con el control, debido a la adición de nutrientes ([Singh 1997](#)).

### **2.3.3 Fertirriego**

El fertirriego es una práctica poco común en árboles, excepto para frutales como nogal y olivo en España, por mencionar un ejemplo ([Cadahía et al 2005](#)). Y los trabajos que existen sobre su evaluación en plantaciones forestales son aún más escasos. En el INTA en Argentina, [Del Castillo y Tarnowski \(2005\)](#), evaluaron el efecto de riego localizado en el desarrollo de magnitudes dasométricas a través del tiempo, comparando con plantaciones sin riego. En sus resultados encontraron que no hubo diferencias significativas entre las plantaciones (con y sin riego), pero observaron que la corta final se reducía en plantaciones con riego en al menos un año en especies de rápido crecimiento.

Este sistema fertirriego es un tipo de riego localizado que incluye la incorporación de fertilizantes (urea, fosfato monoamónico 11-52-00, entre otros) al agua de riego, a través del cual se dosifican racionalmente. Es considerado un complemento al manejo de la nutrición de los cultivos, por lo que su aplicación debe ir acompañada de un correcto análisis de suelo, de plantas y de agua. Además de la dosificación racional de fertilizantes, este sistema tiene

ventajas como ahorro de agua, una nutrición optimizada del cultivo y una mayor eficiencia y rentabilidad de fertilización. Por otro lado para su uso deben considerarse ciertos inconvenientes como el costo inicial de la infraestructura, la obturación de los goteros y requerimiento de personal especializado (Cadahía *et al* 2005).

En general se observa que el efecto del riego, fertilizantes y otros grandes insumos en muchas especies es muy alentador inicialmente, pero esto disminuye después. Considerado este contexto, el rápido crecimiento de los árboles de teca en la fase inicial está condicionado a bajar considerablemente después de pocos años. Ahí es necesario tomar precauciones acerca del gran optimismo con respecto a los altos rendimientos previstos para el mercado (Bebarta 1999).

### **2.3.4 Diagnóstico nutricional**

El análisis del suelo junto con el análisis foliar conforman una metodología complementaria de diagnóstico del estado nutricional en el que se encuentran los cultivos. Ninguno de ellos sustituye al otro, por el contrario, su uso de manera independiente es muy recomendado para programas de diagnóstico y supervisión de los cultivos.

#### **2.3.4.1 Análisis de suelo**

El diagnóstico de los aspectos químicos de la fertilidad del suelo recaba información del potencial de un suelo para abastecer los nutrimentos que requiere un cultivo. El diagnóstico de la fertilidad del suelo permite identificar problemas de carácter nutrimental o no nutrimental, que podrían estar afectando o afectarían el desarrollo y crecimiento de un cultivo. Este diagnóstico implica un análisis químico de suelo. Para realizar el análisis químico es necesario saber por qué y para qué es realizado, ya que se espera que el resultado cumpla una doble función. Por una parte se espera que indique la disponibilidad de un determinado nutrimento en el suelo, y por otro, que sea útil como base para formular recomendaciones de fertilización (Etchevers y Padilla 2007).

Los análisis químicos incluyen a las variables químicas asociadas directamente con la fertilidad de los suelos y los indicadores químicos de la disponibilidad nutrimental. Entre los primeros se encuentran el pH y conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), acidez intercambiable (AI), por mencionar algunos y; aunque están relacionados, no miden directamente la disponibilidad nutrimental de un elemento en particular sino que indica lo que

se puede esperar de la disponibilidad de uno o más nutrimentos. Los segundos son los indicadores específicos de la fertilidad del suelo, son valores, resultados de la prueba a una muestra representativa (Etchevers y Padilla 2007).

#### **2.3.4.2 Análisis foliar**

El análisis foliar es una técnica de diagnóstico de las necesidades nutritivas de las plantas cultivadas. Mientras el análisis de suelo indica la disponibilidad relativa o suministro potencial de nutrimentos de éste hacia la planta, el análisis foliar indica cuales y cuánto de los nutrimentos han sido absorbidos por dicha planta (Sánchez *et al* 2007). Este análisis se basa en que en las hojas se lleva a cabo la elaboración de las sustancias para el crecimiento y desarrollo de la planta (Bertsch 1995), por lo que se espera que las concentraciones de nutrimentos en ellas sea reflejo de cualquier cambio en la nutrición mineral y éste sea mejor que en otros órganos.

Una vez realizado el análisis es importante interpretar correctamente los resultados. Esto es complejo debido a que son muchos los factores que intervienen en el contenido de las hojas. Esta interpretación requiere en principio que existan estudios previos que auxilien en el establecimiento de índices o concentraciones de nutrimentos en hoja que correspondan a determinado estado de nutrición. Estos índices pueden ser niveles críticos o rangos de suficiencia. En cualquier caso la idea consiste en que los resultados del análisis químico sean comparados con los niveles propuestos como óptimos (Bertsch 1995).

Aunque la mayor parte de información sobre guías para interpretación del análisis foliar en árboles se tiene para especies de clima templado, Drechsel y Zech (1991) recopilaron información y elaboraron una guía sobre niveles de nutrientes en hojas de varias especies tropicales, tomada de diferentes estudios en diferentes lugares del mundo, incluyendo la teca. En esta guía fueron clasificados como deficiente, bajo, intermedio, alto y tóxico. El rango de deficiencia es aquel que está asociado a síntomas visibles de deficiencia en la planta, con una severa reducción del crecimiento; el bajo o marginal es en el que hay una reducción del crecimiento o producción, pero no hay sin síntomas visibles en el follaje; el rango de suficiencia es aquel en el que cualquier cambio en las prácticas de fertilización, el crecimiento o la producción no aumenta o disminuye (Sánchez *et al* 2007).



## 2.4 Manejo de arvenses

Una *arvense* es una planta no cultivada, comúnmente denominada “maleza”. Las arvenses son aquellas “plantas no deseadas dentro del sistema de cultivos o del cultivo principal y generalmente son perjudiciales para este”, pues compiten con ellos y suelen reducir la producción. Aunque frecuentemente tienen impactos negativos sobre los cultivos, estas plantas no cultivadas no necesariamente son “malas”, ya que pueden tener impactos benéficos como los cultivos de cobertura, debido a que pueden tener las mismas funciones ecológicas (Gliessman 2002). Este término permite un concepto más amplio de la planta no cultivada, pues reconoce su papel ecológico y social en el agroecosistema y los posibles beneficios adquiridos por su presencia (Gliessman 2002).

Las arvenses son plantas que siempre estarán presentes dentro de un cultivo ya que al eliminar una comunidad natural para establecer un cultivo, comienza la sucesión ecológica en busca de equilibrio. Estas plantas son parte de la fase inicial de este proceso. Estas plantas son exitosas por presentar varios atributos morfológicos y reproductivos que se lo permiten. Entre estos atributos se encuentran su capacidad reproductiva, su alta producción de semillas, la presencia de diversos mecanismos de dispersión efectivos como estructuras pilosas o aristas, su rápido crecimiento vegetativo, su difícil remoción del suelo y su fuerte reproducción vegetativa. Por tanto, la presencia de uno o más de estos atributos las convierten en fuertes competidoras por recursos limitados de espacio, agua, luz y/o nutrientes (Alán *et al* 1995).

El manejo de arvenses en plantaciones forestales es esencial para el buen establecimiento de estas. Cuando las arvenses no son controladas, el crecimiento y rendimiento inicial de los árboles se reduce (Maghembe *et al* 1986), por ello es indispensable mantener los árboles libres de ellas al menos durante los primeros seis meses después del establecimiento en campo. Esto se hace necesario debido a que el crecimiento de estas especies vegetales es muy rápido, además de que pueden absorber hasta 68% del nitrógeno aplicado en fertilizante a los árboles pues utilizan más rápido el N mineral del suelo (Woods *et al* 1992), o causar un severo estrés hídrico debido a la cantidad de arvenses presentes (Nambiar y Zed 1980). Se ha demostrado que el crecimiento en diámetro y altura durante el primer año para plantaciones de *Pinus taeda* (Zutter *et al* 1986), y en plantaciones de teca (Anoop *et al* 1994), estuvieron influidas significativamente por el nivel de vegetación herbácea y su control. Aunado a lo anterior, el manejo puede incrementar los costos de la preparación y plantación (Gutiérrez 1970 citado por Wadsworth 2000).

De los métodos existentes para el control de arvenses, el químico es el más común. Generalmente es más efectivo que el “desmalezado” mecánico debido a que requieren menor esfuerzo para su uso y la zona aplicada queda libre de arvenses por un período más largo (Wadsworth 2000). Sin embargo, tiene varios inconvenientes tales como el riesgo para la salud por su manejo o por “deriva” hacia otras áreas. También existen otros métodos, como el biológico, dentro del cual pueden mencionarse las coberturas vivas, que a diferencia de las arvenses, pueden ser establecidas deliberadamente y si son de rápido desarrollo y de “cobertura densa”, pueden reducir o suprimir el crecimiento de las arvenses y ser retiradas una vez que complete su ciclo (Evans 1982, Flores *et al* 1995). Se ha probado que el uso de coberturas de leguminosas como cultivos intercalados en plantaciones para el control de arvenses han resultado efectivos (Skerman *et al* 1991, Akobundu 1982).

#### **2.4.1 Generalidades de coberturas**

Un cultivo de cobertura es definido como "una cobertura vegetal viva que cubre el suelo y que es temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas (intercalado, en relevo o en rotación)". "Cultivos de cobertura" y "abono verde" por años fueron utilizados como sinónimos; sin embargo, los cultivos de cobertura están caracterizados por sus funciones más amplias y otros propósitos como su aporte como abono y mejoradores de suelo (Pound 1998).

Las coberturas vivas son muy competitivas, lo que las hace buenas candidatas para reducir la densidad de las arvenses. Sin embargo, es necesario un manejo cuidadoso para prevenir la competencia entre el cultivo de cobertura y los cultivos asociados. Por ejemplo, en plantaciones de palma africana en Honduras han establecido leguminosas de cobertura por más de diez años, principalmente “kudzu” y han observado, que al establecerse la leguminosa, las guías tienden a treparse en las palmas, por ello necesitan regular su crecimiento, eliminándolas del rededor de la palma (Flores *et al* 1995).

En cultivos como el café, las coberturas establecidas en condiciones normales de disponibilidad de agua, mostraron cierto grado de efectividad en el control de arvenses, sin embargo, el desarrollo del cultivo principal estuvo limitado en temporada de seca debido a la competencia por agua, ya que al estar relacionadas con las leguminosas la cantidad de raíces del café fueron menores (Bradshaw 1995), lo que coincide con lo observado por Cintra y Borges (1988), que bajo condiciones secas podría desarrollarse una competencia por agua y

consecuentemente una cobertura viva podría ser menos benéfica que una cobertura muerta. En un estudio realizado en Trinidad se introdujo *Flemingia strobilifera* como cubierta del sotobosque. El crecimiento después del primer año fue muy rápido; pero afectó también el crecimiento de la teca (Carter 1941 citado por Chaves y Fonseca 1991).

#### 2.4.1.1 Características de las coberturas

Las coberturas vivas han sido utilizadas ampliamente en el manejo de arvenses en cultivos anuales, debido a que muchas tienen una habilidad competitiva mayor que las arvenses y aportan nitrógeno y materia orgánica (Vallejos *et al* 2001). Las coberturas vivas controlan las arvenses en tres formas principales: por **competencia** por agua, nutrientes, luz y espacio durante el crecimiento, por su efecto inhibitorio o **alelopatía** sobre la germinación de las semillas o desarrollo de las plántulas, causado por exudados radiculares y/o sustancias químicas que se liberan durante su descomposición luego del manejo. Y también por presentar un efecto físico de **sombreado** que producen las guías o rastrojos, impidiendo que las semillas reciban estímulo para su germinación. El éxito de una planta de cobertura radica en la facilidad de establecimiento y la capacidad de formar rápidamente cobertura al suelo. Por ello, es importante que tenga buena producción de biomasa, que sea de gran cantidad y en el menor tiempo posible y, sin que interfiera o sea agresiva con el cultivo principal. La cobertura debe ser tolerante al sombreado debido a su uso en un cultivo perenne y tolerante a la sequía (Carreño y Ditchburn 1998, Labrada 1996).

##### 2.4.1.1.1 *Clitoria ternatea* L.

Esta leguminosa se considera originaria de Asia y América tropical y se encuentra distribuida en las regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios. Es una planta trepadora herbácea, con tallos que pueden alcanzar 5 m de largo, según las condiciones. Florece y fructifica todo el año. Se adapta a diferentes alturas, siendo óptimas entre 0-1600 msnm; con temperaturas entre 15-35 °C y óptima entre 20-28 °C y muy tolerante a la sequía, creciendo rápidamente en tiempo cálido y húmedo, produciendo una densa cubierta entre 4 y 6 meses después de la siembra (Skerman *et al* 1991). Se desarrolla en suelos con textura franco-arenosa a arcillosa; profundos, margosos, gruesos, negros, con poco contenido de fósforo, baja fertilidad, moderadamente tolerante a la salinidad, con pH de 4.5-8.7 y tolerante a la sequía (Ávila 2001, Carreño y Ditchburn 1998).

#### **2.4.1.1.2 *Mucuna pruriens* (L.) DC.**

Esta planta es originaria de China, Malasia o India; ahora dispersa en todo el mundo. Es común en matorrales secos y húmedos desde el Sur de México hasta Sur de América y los trópicos del viejo mundo. Trepadora herbácea, que puede ser pequeña o grande, crece sobre arbustos o árboles pequeños. Florece entre los meses de octubre a marzo (Ávila 2001). Crece en alturas bajas y medianas, entre 0-2100 msnm, en zonas con precipitaciones entre 600-2500 mm y temperaturas entre 15-35 °C; aunque se desarrolla mejor en condiciones de calor y humedad abundante (Buckles 1999). Tolera la sequía y un amplio rango de suelos desde arenosos a franco- arcillosos, con ligera acidez o poco contenido de fósforo, incluso de fertilidad baja y moderada, y pH entre 4.5-7.7 (Ávila 2001).

Esta especie ha sido utilizada como cultivo de cobertura en diferentes cultivos. En un estudio de tres años en Veracruz, México, Sandoval y Martín (2007) evaluaron el porcentaje de cobertura de leguminosas asociadas al naranjo, donde la mucuna tuvo la mayor cobertura promedio en los tres años del estudio (68%). Por otro lado, al evaluar la producción de naranjo encontraron que con mucuna obtuvieron un rendimiento de 13.2Ton/ha, superior al control químico (12.6 Ton/ha) y testigo enyerbado (9.4 Ton/ha).

#### **2.4.1.1.3 *Neonotonia wightii* (Arn.) Lackey**

Originaria de África, esta planta herbácea perenne de porte rastrero con tallos trepadores crece bien desde el nivel del mar hasta 2450 msnm. Es relativamente tolerante a la sequía, desarrolla lento bajo estas condiciones pero logra recuperarse bastante bien si posteriormente las condiciones de humedad son favorables (Skerman *et al* 1991). En plantaciones de guayaba esta especie logró reducir significativamente, en más del 80%, las especies arvenses en comparación con la cobertura natural (Negrín *et al* 2007). Y en plantaciones de cítricos en Martínez de la Torre, Veracruz, la soya presentó un 48% de cobertura en el suelo y los rendimientos de 15 Ton/ha, un 16% más que el control que tuvo 12.6 Ton/ha, y 48% más que el testigo enyerbado (Sandoval y Martín 2007).

En cuanto a su relación con bacterias fijadoras, clitoria es ligeramente específica en sus necesidades de *Rhizobium*. Esto significa que no es un cultivo promiscuo, nodula con un rizobio específico. Un cultivo promiscuo es poco específico, lo que se traduce en el establecimiento de una relación simbiótica con rizobios de diferentes géneros, los que a su vez son capaces de infectar a un grupo diverso de leguminosas. A la soya se asocia principalmente

*Bradyrhizobium* spp. *Mucuna pruriens* por otra parte, no tiene muchas restricciones, puede ser establecida y tener buena nodulación con rizobios nativos cuando le favorece el clima y el suelo (Ojo 2001).

## **2.5 El crecimiento y la productividad de la teca**

El crecimiento se refiere a la vida. Esto incluye cambios en volumen y forma. Este resulta de la división de células y su maduración y diferenciación. El crecimiento en altura es afectado por la calidad de sitio y la densidad de plantación. La calidad de sitio indica la productividad del sitio; esto es, la suma total de varios factores locales como condición del sitio, topografía, factores de clima y bióticos (Bebarta 1999). El desempeño de una plantación por lo tanto depende de todos estos factores e incluso del manejo. Cada uno de estos factores presenta diferentes variables que pueden afectar de manera positiva o negativa el establecimiento de una plantación, permitiendo de manera sencilla identificar los sitios que son o no favorables para el desarrollo de los árboles, al observarse si éstos no sobreviven o si logran su tasa máxima de crecimiento (X Congreso Nacional Agronómico 1996). Por otra parte, para evaluar este desempeño, es necesario determinar el tamaño promedio y volumen que los árboles tienen, como indicadores de su productividad, la cual está ligada a la calidad de sitio.

### **2.5.1 Calidad de sitio e Índice de Sitio**

El sitio se refiere a la combinación de las condiciones bióticas, climáticas y edáficas de un área que dan capacidad de producir bosques u otra vegetación. La calidad de sitio es la interacción de los factores bióticos y abióticos con dicha vegetación, estimada a través de su productividad. La calidad de sitio puede ser clasificada en clases de sitio o clases de productividad. Para la clasificación en “clases de sitio” ha sido descrito el índice de sitio (IS).

El IS es la “expresión de la calidad de sitio basada en la estimación de la altura dominante (Hdom), que los árboles dominantes (100 árboles más altos por hectárea) de una plantación coetánea alcanzan a una edad en particular, conocida como edad base” (Vázquez y Ugalde 1995). Con el IS se puede estratificar en alto a la clase que agrupa plantaciones con el mejor crecimiento que es superior al promedio; en medio, a sitios con resultados alrededor del promedio y en bajo a los sitios con resultados menores al promedio, que no deberían ser

recomendados para la especie en cuestión (Vásquez y Ugalde 1995). En regiones del trópico como Centroamérica, principalmente Costa Rica, han sido realizadas tablas de clasificación de plantaciones jóvenes, de las cuales los rangos obtenidos podrían ser útiles como punto de comparación en productividad con otros lugares (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

*Cuadro 1. Rendimientos de Tectona grandis en Guanacaste, Costa Rica.*

Clase	IS <sub>10</sub> *	IMA-DAP (cm/año) **	IMA-Altura (m/año) **	IMA-Volumen (m <sup>3</sup> /ha/año) **
Alta	23	≥ 2.0	≥ 2.0	≥ 18.0
Media	21	1.6 - 1.9	1.6 - 1.9	12.1 - 17.9
Baja	19	≤ 1.5	≤ 1.5	≤ 12.0

\* Índice de sitio a edad base de 10 años. Fuente: Bermejo *et al* (2004)

\*\* Fuente: Vásquez y Ugalde (1995)

IMA = Incremento Medio Anual

Una vez que ha sido estratificada la calidad de sitio con base en el IS para cada parcela, esta puede ser evaluada a través de la búsqueda de los factores que podrían estar influyendo en el crecimiento de los árboles y que afectan al IS con el que se realizó dicha clasificación. Una de las formas de establecer esta relación es identificar cuáles variables de esos factores (por ejemplo en suelo: textura, materia orgánica u otros), afectan el crecimiento de estos árboles (Vásquez y Ugalde 1995).

### 3 BIBLIOGRAFÍA

- Akobundu, I.O. 1982. Live mulch crop production in the tropics. *World crops* 34 (4): 125 – 145.
- Alán, E.; Barrantes, U.; Soto, A. y Agüero, R. 1995. Elementos para el manejo de malezas en agroecosistemas tropicales. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 223 p.
- Anantha Padmanabha, H.S.2006. Informe internacional sobre la teca. 6p. (Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project "International Teak Market Report").
- Anoop, E.V.; Kumar, B.M. y Abraham, C.T. 1994. Teak (*Tectona grandis*) growth in response to weed control treatments. *Journal of Tropical Forest Science* 6(4):379 – 386.
- Ávila, C.; Cedillo, E. y Cervantes, V. 2001. Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura (en línea). Red de Grupos de Agricultura de Cobertura (RED/gac) patrocinado por la Fundación Rockefeller en México. Consultado 12 dic 2007. Disponible en [www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/abonoverde2.pdf](http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/abonoverde2.pdf)
- Bebarta, K.C. 1999. Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability. India. International Book Distributors. 379 p.
- Bermejo I., Cañellas, I. y San Miguel, A. 2004. Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* no. 189: 97–110.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bhadran, C. A. R. 1959. Irrigated teak plantations in Madras State. *The Indian Forester* 85 (6): 321 – 323.
- Borroto, P.M.; Pérez C., R.; Borroto P., A.; Cubillas, N.R. y Cepero, M. 2001. Impacto sobre el suelo de leguminosas herbáceas como mejoradores de las coberturas naturales en plantaciones de cítricos. *Ensaio e Ciência* 5(2):93-116.
- Bradshaw, L. y Lanini W.T. 1995. Use of perennial cover crops to suppress weeds in Nicaraguan coffee orchards. *International Journal of Pest Management (US)* 41(4):185-194.
- Briscoe, B. 1995. Silvicultura y manejo de teca, melina y pochote. CATIE. 45 p. Serie Técnica. Informe Técnico no. 270.
- Buckles, D.; Sain, G. y Triomphe, B. 1999. Los cultivos de cobertura en la agricultura en laderas: innovación de los agricultores con *Mucuna*. IDRC, Canadá; CATIE, Costa Rica y CIMMYT, México. 242 p.

- Cadahía, C.; Eymar A., E.; Lucena M., J.J.; Muñoz C., M.P.; Martín R., I.; Yáñez B., F.; Legaz P., F.; Sentís M., J.A.; Frutos V., I.; Montalvo L., T. 2005. Fertirrigación: cultivos agrícolas, frutales y ornamentales. 3 Ed. rev. Madrid (España). Mundi-Prensa. 681 p.
- Carreño, B. y Ditchburn, L. 1998. Abonos verdes para el Oriente Boliviano: Principios y bases para su selección. CIAT, Santa Cruz, Bolivia. 167 p.
- Castillo, E.M. del y Tarnowski, C.G. 2005. El riego localizado como alternativa silvícola para plantaciones de especies de alto valor. Estación Experimental de Cultivos Tropicales (EECT) – INTA Yuto. Argentina. Consultado 18 ene 2008. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/yuto/info/documentos/forestales/riego.pdf>
- Chaves, E. y Fonseca, W. 1991. Teca: *Tectona grandis* L. f., especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE. 47 p. Serie Técnica. Informe Técnico no. 179.
- Cintra, F.L.D. y Borges, A.L. 1988. Use of a legume and a mulch in banana production systems. *Fruits* 43(4): 211-217
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, México). 2005. Oro en la selva: La Teca, madera preciosa de gran valor. Vegetación de México No. 24. *In*: México forestal (en línea). Consultado 13 agosto 2009. Disponible en: [http://www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros\\_arboles.php?id=27](http://www.mexicoforestal.gob.mx/nuestros_arboles.php?id=27)
- Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2, 1996, San José, Costa Rica). 1996. ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva? Avances en la clasificación de sitios (tierras) forestales en Costa Rica. Eds. Vásquez, W.; Ugalde Arias, L.; Campos, J.J.; Herrera, B.E.; Alvarado, A. Bertsch, F.; Badilla, W.; Bornemisza, E. San José, Costa Rica. EUNED/EUNA. v.3, p. 50.
- Drechsel, P. y Zech, W. 1990. Relationships between growth, mineral nutrition, and soils in young teak plantations in Benin and Liberia. *Water, Air, and Soil Pollution* no. 54: 651 – 656.
- Drechsel, P. y Zech, W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. *Plant and Soil* 131 (1): 29 - 46.
- Etchevers B., J. D. y Padilla C., J. 2007. Diagnóstico de fertilidad del suelo. *In*: Nutrición de cultivos. G. Alcántar G. y L. Trejo – Téllez (Coord.). México. Mundi – Prensa, Colegio de Posgraduados. 454 p. p. 249 – 272.
- Evans, J. 1982. Plantation forestry in the tropics. Oxford, United States. Clarendon Press. 472p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Italia). 2007. Situación de los bosques del mundo 2007. Roma, Italia. 143 p.



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Italia). 2009. Situación de los bosques del mundo 2009. Roma, Italia. 158 p.
- Flinta, M.C. 1960. Prácticas de plantación forestal en América latina. FAO. Cuadernos de Fomento Forestal No. 15. 499p.
- Flores, B.M.; Alemán, R.; Solomon, T. y Zepeda, R. 1995. La Utilización de Leguminosas de Cobertura en Plantaciones Perennes: basado en las experiencias de la plantación de palma en San Alejo. 2 ed. Tegucigalpa, Honduras. 7 p. (Noticias Sobre Cultivos de Cobertura No. 7).
- Fonseca G., W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en *Tectona grandis* Linn. F. en Guanacaste, Costa Rica. *In*: Taller de nutrición forestal. Memoria. San José, CR. p. 39 – 44.
- Fonseca G., W. 2004. Manual para productores de teca (*Tectona grandis* L. f) en Costa Rica. Heredia, Costa Rica. 115p.
- Gliessman, S.R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en la agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 359 p.
- Hernández, R.; Torres, A; Márquez, O. y Franco, W. 1993. Contenido foliar de nutrimentos y crecimiento en plantaciones de teca en Ticoporo, Venezuela. Turrialba 43 (1): 11 – 15.
- Joshi, V.S. y Farooqui, U.M. 1997. Irrigated Teak Plantations in Maharashtra – a Case of Study. *In*: Chand Basha, S.; Mohanan, C.; Sankar, S. (eds). Teak, Proceedings of the International Teak Symposium. 2 – 4 December 1991. Kerala Forest Department – Kerala Forest Research Institute. India. p. 46 – 51.
- Kadambi, K. 1993. Silviculture and management of teak. Dehra Dun, India. Natraj Publishers. 137 p.
- Labrada, R.; Caseley, J.C. y Parker, C. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo (en línea). (Colección FAO Producción y protección vegetal No. 120. Consultado 15 nov 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s00.htm>
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Trad. A. Carrillo. Eschborn, Alemania. GTZ. 335 p.
- Laurie, M.J. 1975. Prácticas de plantación de árboles en la sabana africana. FAO. Cuadernos de Fomento Forestal No. 19. 203p.
- Maghembe, J.A.; Kaoneka, A.R.S. y Lulandala, L.L.L. 1986. Intercropping, Weeding and Spacing Effects on Growth and Nutrient Content in *Leucaena leucocephala* at Morogoro, Tanzania. Forest Ecology and Management no. 16: 269 – 279.
- Mahaphol, S. 1954. Teak in Thailand. Bangkok, Tailandia. Ministry of Agriculture. 30 p. (Royal Forest Department No. 16).

- Montero Mata, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 111p.
- Nambiar, E.K.S. y Zed, P.G. 1980. Influence of weeds on the water potential, nutrient content and growth of young radiata pine. Australian Forest Research no. 10: 249 – 288.
- Ojo, O.A. 2001. Assessment of nodulation of *Mucuna pruriens* by promiscuous indigenous rhizobia in the moist savanna zone of Nigeria. World Journal of Microbiology & Biotechnology no. 17: 429 – 432.
- Pound, B. 1998. Cultivos de Cobertura para la Agricultura Sostenible en América. Memorias. In: Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica". p. 97 – 120. Consultado 20 Abr 2009. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/FRG/AGROFOR1/pound7.pdf>
- Salazar, F.R. y Albertin, W. 1974. Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis*. Turrialba 24(1): 66-71.
- Sánchez G., P.; Silva, C.M. da; Alcántar G., G.; Sandoval V., M. 2007. Diagnóstico nutrimental en plantas. In: Nutrición de cultivos. G. Alcántar G. y L. Trejo – Téllez (Coord.). México. Mundi – Prensa, Colegio de Posgraduados. 454 p. p. 201 – 247.
- Sandoval R., J.A. y Martín F., C.M. 2007. Manejo de leguminosas como cobertura vegetal en huertas de naranjo “Valencia”. Ponencia en 1ª Semana Internacional de Citricultura. Veracruz, Méx. Consultado 17Ag 2009. Disponible en: <http://www.concitver.com/semana%20de%20la%20citricultura/ponencias/5.VIERNES30/13.%20Jose%20Alfredo%20Sandoval/1%20ER%20SEMANA%20DE%20CITRICULTURA%20%20NOV%202007.pdf>
- Singh, M. 1997. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and soil working on the growth of teak plants. In: Chand Basha, S; Mohanan, C; Sankar, S. (eds). Teak, Proceedings of the International Teak Symposium. 2 – 4 December 1991. Kerala Forest Department – Kerala Forest Research Institute. India. p. 43 – 45.
- Skerman, P.J.; Cameron, D.G. y Riveros, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Roma, Italia. (Colección FAO Producción y Protección Vegetal No. 2.)
- Vaides, E.; Ugalde, L. y Galloway, G. 2006. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. Recursos Naturales y Ambiente no. 46-47:137-145.
- Vallejos Barra, O. 1996. Productividad y relaciones del 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. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 147 p.

Vallejos, F.; Kliewer, I.; Florentín, M.A; Casaccia, J.; Calegari, A. y Derpsch, R. 2001. Abonos verdes y rotación de cultivos en siembra directa. Sistemas de producción tractorizados. San Lorenzo, Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 91p. (Proyecto Conservación de Suelos MAG-GTZ).

Vásquez C., W. y Ugalde A., L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. CATIE. 32 p. Serie Técnica. Informe Técnico No. 256.

Wadsworth, F.H. 2000. Producción Forestal para América Tropical. Washington, DC. Servicio forestal, USDA. 603 p. (Manual de agricultura 710. IUFRO-SPDC Textbook Project No.3).

Weaver, P.L. 1993. *Tectona grandis* L.f. Teak. SO-ITF-SM-64. New Orleans, LA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 18 p.

Woods, P.V.; Nambiar, E.K.S. y Smethurst, P.J. 1992. Effect of annual weeds on water and nitrogen availability to *Pinus radiata* trees in a young plantation. Forest Ecology and Management no. 48: 145 – 163.

Zutter, B.R.; Glover, G.R. y Gjerstad, D.H. 1986. Effects of herbaceous weed control using herbicides on a young loblolly pine plantation. Forest Science 32 (4): 882 – 899.

## 4 ARTÍCULO 1. RELACIÓN DEL SUELO CON EL CRECIMIENTO INICIAL Y CONTENIDO FOLIAR DE TECA BAJO FERTIRRIEGO EN CAMPECHE, MÉXICO

### Resumen

La investigación se realizó en plantaciones de teca de 2 a 6 años de edad bajo un sistema de fertirriego en Campeche, México, con una precipitación promedio de 900mm/año. El 62% de las plantaciones se ubica en las clases de crecimiento medio en índice de sitio (IS). El IS varió de 9.9 – 19.3 y el IMA-Vol de 1.3 – 18.9m<sup>3</sup>/ha/año. En general los índices de sitio (IS<sub>10</sub>) obtenidos, fueron menores en comparación a plantaciones de teca en zonas más húmedas en América Central. Los análisis de correlación indican que las diferencias en crecimiento están relacionadas principalmente a incrementos de CE, NO<sub>3</sub>, K, Cu y Ca en el suelo. Los valores obtenidos de CE superan el límite de tolerancia de la teca (0.03 – 0.14dS/m), lo que podría estar limitando la absorción de nutrientes. Las características del suelo correlacionadas negativamente con el crecimiento podrían estar influenciadas por la textura “arcillosa” del suelo (34 – 83%). En los mejores sitios, que muestran los mayores crecimientos a 5 – 6 años de edad, las plantaciones de teca alcanzan un IS<sub>10</sub> de hasta 19.3m y un rango de entre 14 – 19m<sup>3</sup>/ha/año. Lo que muestra que el fertirriego es un factor indispensable para lograr un buen desarrollo de las plantaciones de teca. Sin embargo es necesaria mayor información sobre la cantidad y frecuencia del fertirriego y sobre el período de años que se requiere para alcanzar y mantener un buen desarrollo de los árboles hasta la corta final.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*, índice de sitio, IMA-vol, fertirriego, análisis de suelo y foliar.

## 4.1 Introducción

La producción y consumo de productos maderables sigue en aumento y esta tendencia incrementa la presión a los bosques naturales, probablemente en un futuro la madera proceda de bosques plantados como mecanismo para reducir esta presión (FAO 2009). Debido al decrecimiento en el suministro de teca de bosques nativos y la demanda creciente de esta madera, en el futuro posiblemente solo se podrá obtener de plantaciones nuevas (Anantha Padmanabha 2006).

Dada la demanda de esta especie maderera, compañías privadas están interesadas en incrementar los rendimientos y en el menor tiempo posible. Para lograr tal objetivo han considerado e incluso implementado varias tecnologías como la fertilización y el riego por goteo, debido a que el desempeño que puede tener una plantación responde también a prácticas de manejo, además de la calidad del sitio y al complejo de factores climáticos y edáficos. Esta tecnología en plantaciones es considerada promisoría, ya que las evaluaciones realizadas sobre riego en plantaciones de teca han demostrado que éste tiene un efecto significativo sobre el crecimiento (Joshi y Farooqui 1997, Bhadran 1954).

Para explorar cuales son los posibles factores que afectan el crecimiento inicial de las plantaciones de teca establecidas en Campeche, México, se realizaron mediciones de árboles para obtener sus rendimientos; muestreos de suelo y follaje para determinar el estado nutricional de las plantaciones y determinar si, el suelo tiene un efecto en tales rendimientos y si el sistema fertirriego está siendo eficiente. El sistema fertirriego fue instalado para complementar la demanda de agua y nutrientes de la teca, debido a que la precipitación en el estado de Campeche se ubica entre 800 a 1100 mm anuales, con un promedio de 900 mm anuales (AGSA 2007, SMN 2007).

## 4.2 Materiales y métodos

### 4.2.1 Área de estudio

#### 4.2.1.1 Localización

La investigación fue realizada en el Valle de Edzná, Municipio de Campeche, Estado de Campeche, México. El Estado de Campeche se localiza al suroeste de la Península de Yucatán, 17°N y 92°O (Figura 1).

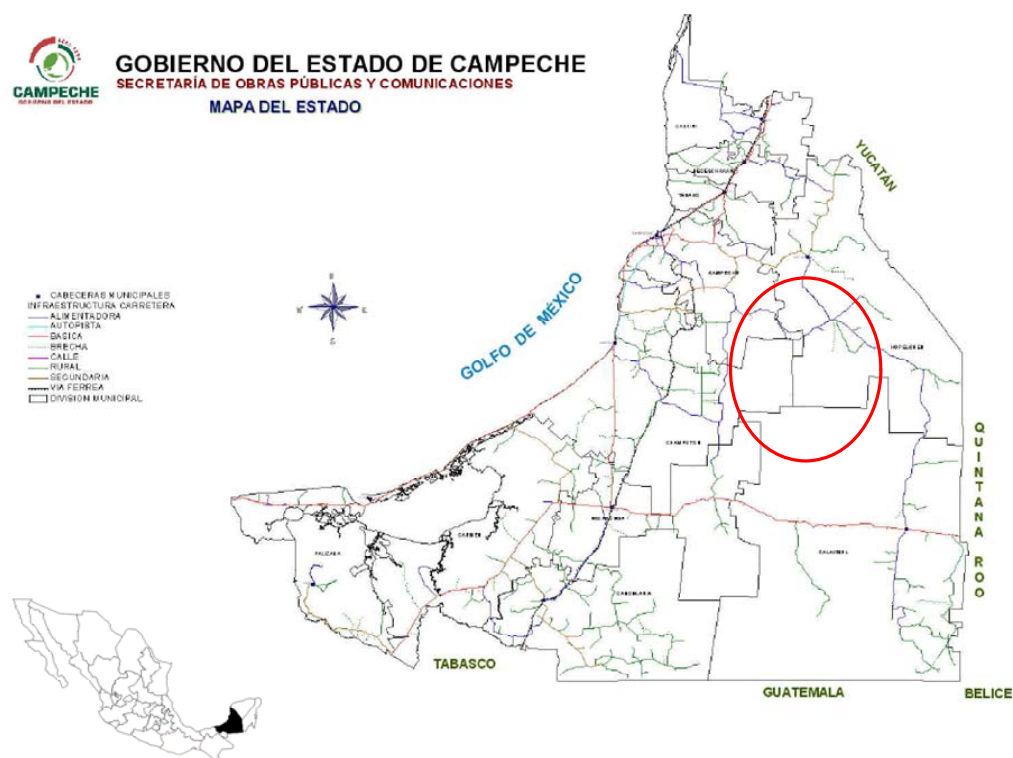


Figura 1. Localización de Agropecuaria Santa Genoveva S. A. de C.V., en el Estado Campeche, México. Fuente: Gobierno del Estado de Campeche.

#### 4.2.1.2 Clima y suelo

En el Estado de Campeche predomina el clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano. En el suroeste donde el clima es cálido – húmedo con abundantes lluvias en verano y al norte una pequeña superficie presenta clima semi – seco muy cálido. La precipitación media anual en el estado de Campeche es de 1138mm (Breña 2004). La empresa se encuentra entre una parte de la región de selva mediana y el norte del estado, teniendo precipitaciones entre 800 – 1100 mm anuales (AGSA 2007, SMN 2007).

La zona en la que se localiza la empresa, está clasificada como Litosol+Rendzina+Luvisol crómico de clase textural fina o arcilla (INEGI 1990). Estos suelos, Rendzinas y Litosoles (Leptosoles), son los de mayor extensión (67%), por lo que es notable que en estas zonas cársticas dominan las asociaciones con suelos poco profundos o someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos (Bautista *et al* 2005).

Según estudios recientes realizados en el centro y sur de Yucatán, se sugiere que los suelos desarrollaron sobre depósitos de sedimentos calizos, polvo meteórico o cenizas volcánicas depositadas y su combinación potencial. A partir de la disolución de la roca caliza fue formando un horizonte petrocálcico<sup>1</sup> en la parte baja del perfil y es probable que corresponda a un ciclo de formación más reciente, mientras que los suelos profundos presentes en la roca calcárea, corresponden a un antiguo ciclo de formación como un depósito superficial (Bautista *et al* 2005). Debido a esta formación a partir de rocas básicas y del proceso sedimentario, los suelos presentan valores de pH alrededor de la neutralidad y como la formación de sales está dominada por la presencia de materiales calizos, se traduce en una baja conductividad eléctrica (Hernández *et al* 2005).

Según el informe de Hernández *et al* (2005) acerca del manejo integral de cultivos en la empresa Agropecuaria Santa Genoveva, hay una gran cantidad de minerales secundarios que varía entre 40% y 60% de material fino menor a 2 µm. El desarrollo del perfil sigue la secuencia de los horizontes A-B<sub>(T)</sub>-C, con predominio de suelos arcillosos con capacidad de intercambio de cationes (CIC) baja, de color rojo o pardo rojizo. Predominan los filosilicatos del tipo 1:1 y sesquióxidos de hierro, y en menor proporción illitas y montmorillonitas y no se especifica que arcilla es la que se encuentra presente. Probablemente sea la arcilla que predomina en los suelos de la zona henequenera: la halloysita (Bautista *et al* 2005).

#### **4.2.2 Sistema fertirriego**

Los riegos y la aplicación de los fertilizantes están calendarizadas y se aplica principalmente en temporada de sequía, en la temporada de lluvias estos se ajustan conforme la humedad del suelo. La solución de fertilizantes está compuesta por urea (46 – 00 – 00) y fosfato monoamónico (11 – 52 – 00). Se aplican dos fertilizaciones por año. La cantidad de fertilizante varía cada año de 60 kg de N/ha durante el primer año a 70 kg de N/ha al quinto

---

<sup>1</sup> Horizonte petrocálcico: evidencia de acumulación de carbonato de calcio. Es un horizonte cálcico endurecido o cementado por carbonato cálcico. Accesoriamente puede contener algo de sílice (Bautista *et al* 2005).

año, y de 100 a 70 kg de P/ha del primer al quinto año, respectivamente. No se aplica potasio. Considerando el número de árboles por hectárea, aproximadamente se aplica de 48 a 112 gr N/árbol y 88 a 112 gr de P/árbol del primero al quinto año, esto conforme la reducción en el número de árboles debido al raleo.

Un solo riego dura seis horas y en época de sequía el intervalo es de cuatro días. Primero se aplica agua, luego la solución fertilizante y la última hora agua para remover la solución a la zona de raíces. La superficie promedio atendida es de aproximadamente 300 ha, aplicando un volumen de 625,000m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a una lámina de 208 mm si se aplicara uniformemente; sin embargo, como el riego es local, se estima que se humedece un poco menos de la tercera parte de dicha superficie. Por lo tanto, se tiene una lámina adicional de 625 mm agregada a la precipitación.

### ***4.2.3 Diseño de muestreo y selección de parcelas***

#### **4.2.3.1 Obtención de datos**

Fueron seleccionadas 53 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) de un total de 306 PPM, con base en observaciones en campo de diferencias de crecimientos de altura. Para ello fue utilizado un diseño de muestreo dirigido hacia las parcelas con los mejores y menores crecimientos. Dentro de cada parcela fueron obtenidos datos de mediciones de árboles, muestreos de suelo y muestras foliares. En cada caso se contó con una cuadrilla conformada por tres personas capacitadas para realizar la actividad correspondiente y reducir el error de muestreo.

Las plantaciones de teca fueron establecidas por la empresa Agropecuaria Santa Genoveva S.A. de C.V. El total de parcelas fue establecido bajo los formularios y la metodología de campo del sistema MiraSilv<sup>2</sup>, que recomienda parcelas rectangulares con un tamaño aproximado de 1000 m<sup>2</sup> (Ugalde 1995). Las mediciones de altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) fueron realizadas a los 100 árboles dominantes y co-dominantes correspondientes a la PPM. La altura fue medida con un clinómetro Suunto Modelo PM5/360,

---

<sup>2</sup> Base de datos generada a través de una red de PPM, el cual permite llevar un control sobre el monitoreo y evaluación del crecimiento de los árboles en programas de reforestación, sistemas agroforestales y silvopastoriles, y bosques naturales coetáneos (Ugalde 2002).



con precisión de un grado (1°), y los datos fueron anotados en metros. El diámetro a la altura de pecho fue medido con cinta diamétrica a una altura estándar de 1.30m y cuya precisión es de 0.1mm.

#### **4.2.3.2 Base de datos**

La evaluación del crecimiento y productividad de las plantaciones de teca fue realizada en dos fases. La primera consistió en la medición de los árboles dentro de cada PPM y obtención de los promedios por parcela de crecimiento y productividad e índice de sitio (IS) estimado a través de MiraSilv, con el modelo de [Vallejos y Ugalde \(1998\)](#). La segunda fue la obtención de las variables de suelo que fueron consideradas las causantes de las diferencias de crecimiento de los árboles.

Agropecuaria Santa Genoveva S.A. de C.V., realiza mediciones de los árboles de todas las PPM cada año a partir de un año del establecimiento de las plantas en campo. Estas son realizadas después de la temporada de lluvias y a partir del mes de octubre. Las variables medidas en campo en 2008 fueron introducidas al programa MiraSilv, el cual calcula a través de ecuaciones y fórmulas los promedios por parcela con las que fue generada la base de datos utilizada en el presente estudio (Cuadro 2).

*Cuadro 2. Promedios por parcela permanente de monitoreo (PPM) de crecimiento y productividad e índice de sitio (IS), estimados a través de MiraSilv a partir del diámetro a la altura del pecho (dap) y altura de los árboles medidos en campo (Vallejos 1996).*

<b>Sigla</b>	<b>Variable</b>	<b>Estimación</b>
N1	Número inicial de árboles plantados por hectárea	Densidad inicial
N2	Número actual de árboles plantados por hectárea	Por marco de plantación
HD	Altura dominante	Altura promedio de los 100 árboles más gruesos por hectárea
IS <sub>10</sub>	Índice de sitio a edad base de 10 años	Modelo de predicción basado en el modelo de Shumacher (1939), que indica $Ln(Hdom)=a+b 1/E^k$ Hdom= Altura dominante a= Intercepto; ( $2 \leq a \leq 7$ ); b= Pendiente ( $b < 0$ ); k= Exponente ( $0,2 \leq k \leq 2$ ); E= Edad del rodal; Ln= Logaritmo natural
G	Área basal en m <sup>2</sup> /Ha	
V1	Volumen total con corteza	Por la fórmula: $V1=\pi/4 \times dap^2 \times H \times 0.46 \times N2$ Factor de forma = 0.46
V2*	Volumen comercial	Por la fórmula: $V2=(0.0359+0.0000216 \times dap^2 \times H) \times N2^{**}$
E	Edad	Edad de plantación conocida

\*V2=Volumen comercial sin corteza en m<sup>3</sup>/Ha desde 0.3m de altura y diámetro mínimo superior de 8 cm

\*\*Keogh (1987), citado por Chaves y Fonseca (1991)

#### **4.2.4 Elaboración de clases de sitio y productividad**

Para elaborar los rangos de crecimiento y productividad de las plantaciones de teca se utilizó el promedio por parcela del índice de sitio a una edad base de 10 años (IS<sub>10</sub>), incremento medio anual en diámetro a la altura del pecho (IMA-DAP), incremento medio anual en altura (IMA-ALT), incremento medio anual en volumen (IMA-VOL), incremento medio anual en área basal (IMA-AB) e incremento medio anual en altura dominante (IMA-HDOM), de las 53 PPM estimadas a través de MiraSilv a partir de la altura (H) y diámetro a la altura del pecho (DAP) medidas en campo. Con los promedios por parcela fueron realizadas tablas de frecuencias con tres clases para determinar los rangos de crecimiento y productividad

alto, medio y bajo. Se realizaron correlaciones entre el IS y los IMA's para determinar si el IS es un buen indicador de la productividad de las plantaciones.

#### 4.2.5 Identificación de variables de suelo relacionadas con el crecimiento

Se realizaron muestreos de suelo para determinar qué variables de suelo influyen en las diferencias de crecimiento de las plantaciones de teca. Las muestras de suelo fueron tomadas de perfiles de suelo en cada una de las 53 parcelas del sub-“set” para ser sometidas a un análisis completo de fertilidad de suelo. Los perfiles de suelo fueron realizados al centro de cada PPM, cada uno con medidas aproximadas de 1m ancho × 1m largo × 1m de profundidad. Fueron tomadas muestras de las paredes de cada perfil a tres profundidades (0 – 20cm, 20 – 40cm y 40 – 60cm), a la mitad del rango de cada profundidad, es decir, en la primera profundidad a 10cm, en la segunda profundidad a 30cm y en la tercera profundidad a 50 cm, según la metodología propuesta por Vallejos (1996). Las muestras pesaron aproximadamente 500g y fueron colocadas dentro de una bolsa de plástico debidamente rotulada. Las variables de suelo obtenidas a través del laboratorio (Cuadro 3), fueron capturadas y etiquetadas para cada profundidad como 1,2 y 3.

*Cuadro 3. Variables de suelo consideradas en el presente estudio.*

Abreviatura	Variable	Estimación
MO	Materia orgánica	Metodología de Walkley y Black (1938). Oxidación de la materia orgánica con $K_2Cr_2O_7$ 1N. Reacción catalizada por $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ . Obtención de porcentaje de carbono orgánico por titulación y multiplicado por factor 1.72
N-NO <sub>3</sub>	Nitratos	Columna de cadmio
B	Boro	Extracción con $CaCl_2$
S	Azufre	Extracción con $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$
K, Ca, Mg, Na	Potasio, Calcio, magnesio y Sodio	Extracción con Acetato de Amonio
Fe, Zn, Mn, Cu, Mo	Fierro, Zinc, Manganeso y Cobre	Extracción con DTPA
pH	pH en agua	Potenciómetro. Relación suelo-agua 10:25
AcExtr	Acidez extractable en Cmol(+)/L	Titulación con solución básica (NaOH 0.01N) y una sal neutra de KCl 1N. Proporción 2.5:25
Textura	Contenido porcentual de arena, limo y arcilla	Método de Bouyoucos modificado
P	Fósforo	Método de Bray.

Análisis Técnicos, S.A de C.V. Pachuca, Hidalgo

#### 4.2.5.1 Elaboración de modelos

Fueron realizados análisis de correlación de Pearson entre las variables de suelo por cada profundidad y las variables de crecimiento y productividad. Una vez obtenidas las variables de suelo más relacionadas con los rendimientos fueron realizadas regresiones lineales por pasos (*stepwise*) y regresiones lineales múltiples considerando como variable respuesta el índice de sitio y el IMA – volumen para cada profundidad para obtener los modelos de regresión lineal que mejor expliquen el comportamiento del crecimiento respecto a las variables de suelo.

#### 4.2.6 Identificación de variables del suelo relacionadas con el follaje

Se tomó una muestra de follaje (18 a 22 hojas con un peso aproximado de 500g), a los árboles caracterizados como dominantes y co-dominantes (entre seis a ocho árboles) al centro de la parcela y próximos al perfil de suelo. Las hojas fueron tomadas del tercio superior de la copa viva, iluminadas por completo y libres de daños o enfermedades, conforme a la metodología propuesta y utilizada por [Vallejos \(1996\)](#). Todas las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos, agua y tejido vegetal Análisis Técnicos S. A. de C. V., en Pachuca, Hidalgo, México.

Los elementos analizados en el follaje fueron nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio y se reportó en porcentaje; mientras que el hierro, zinc, manganeso, cobre y boro en partes por millón ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). El tejido foliar fue digerido con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  más  $\text{H}_2\text{O}_2$ , para la cuantificación de nitrógeno total (NT) por el método de Kjendhal y nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) por columna de cadmio. Mientras que la digestión del tejido foliar por  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HClO}_4$  se utilizó para el análisis de cloro (Cl) para su cuantificación por titulación con  $\text{AgNO}_3$ ; sulfatos ( $\text{S-SO}_4$ ) y fosfatos por espectrofotómetro, potasio (K) por extracción con agua, fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y sodio (Na). La relación de las variables del suelo y del follaje fue evaluada a través de un análisis de correlación de Pearson.

Los rangos o niveles de suficiencia en el suelo fueron tomados de la “Guía de interpretación de análisis de suelos” del laboratorio agrícola Análisis Técnicos S.A. de C.V. El rango de nitratos ( $\text{N-NO}_3$ ) fue tomado de [Etchevers y Padilla \(2007\)](#), de una interpretación sugerida para condiciones de producción en invernadero (**¡Error! No se encuentra el origen**

de la referencia.). En cuanto a los rangos de suficiencia del follaje, se tomaron datos recopilados y reportados por Drechsel y Zech (1991) para plantaciones de teca, de las edades disponibles en esta revisión que coinciden con las edades de las plantaciones bajo estudio: dos, cinco y seis años. Fueron utilizados los valores mínimos de los rangos para marcar los niveles de suficiencia de nutrientes en los gráficos de comparación suelo y follaje (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

### 4.3 Resultados y discusión

#### 4.3.1 Rangos de crecimiento y productividad

Fueron obtenidas tres clases para las plantaciones de teca en Campeche, México. Cada clase contiene los rangos de crecimiento y productividad entre los que se encuentran estas plantaciones (Cuadro 4).

*Cuadro 4. Rangos de crecimiento y productividad obtenidos a partir de las 53 Parcelas Permanentes de Monitoreo (PPM) de Tectona grandis en Campeche, México.*

Clase	Rangos					
	IS <sub>10</sub>	IMA-dap (cm/año)	IMA-H (m/año)	IMA-VT (m <sup>3</sup> /ha/año)	IMA-G (m <sup>2</sup> /ha/año)	IMA-HD (m/año)
Bajo	≤ 14.0	≤ 2.0	≤ 2.0	≤ 5.0	≤ 1.5	≤ 2.0
Medio	14.1 - 18.0	2.1 - 3.0	2.1 - 2.5	5.1 - 10.0	1.6 - 2.0	2.1 - 3.0
Alto	≥ 18.1	≥ 3.1	≥ 2.6	≥ 10.1	≥ 2.1	≥ 3.1

IS<sub>10</sub> = Índice de sitio a edad base de 10 años; IMA = Incremento medio anual; dap = Diámetro a la altura del pecho; H = Altura; VT = Volumen total; G = Área basal; HD = Altura dominante

Considerando el índice de sitio a una edad base de 10 años (IS<sub>10</sub>), 19% de la muestra (53 PPM), se encuentra en la clase de crecimiento bajo (IS<sub>10</sub>=11.8 m); 68% en la clase de crecimiento medio (IS<sub>10</sub>=16.1m) y un 13% en la clase de crecimiento alto (IS<sub>10</sub>=18.7 m). En la muestra, el 81% de las plantaciones clasifican con buenos crecimientos de IS<sub>10</sub>, de acuerdo con la clasificación elaborada en este estudio para Campeche. Tomando en cuenta el total de parcelas de las plantaciones de teca (306 PPM) que representan 1,572 has de plantaciones, el 34% (540 has) se encuentra en la clase de crecimiento bajo (IS<sub>10</sub>=11.9m), un 62% (970 has) en

la clase de crecimiento medio ( $IS_{10}=16.1m$ ) y un 4% (62 has) en la clase de crecimiento alto ( $IS_{10}=18.8m$ ) (Cuadro 5).

*Cuadro 5. Clasificación de las parcelas permanentes de monitoreo de Tectona grandis bajo tres clases de sitio en Campeche, México.*

Clase	Área (Has)	$IS_{10}^*$		IMA HD (m/año) **		
		PPM	%	PPM	%	
Muestra (53 PPM)	Bajo	10	18.9	5	9.4	
	Medio	36	67.9	38	71.7	
	Alto	7	13.2	10	18.9	
Total (306 PPM)	Bajo	540.56	105	34.3	27	8.8
	Medio	969.83	189	61.8	225	73.5
	Alto	62	12	3.9	54	17.7

$IS_{10}$  = Índice de sitio a edad base de 10 años; IMA = Incremento medio anual. Rangos obtenidos:

\*  $IS_{10}$  **bajo** ( $\leq 14.0$ ), **medio** (14.1 - 18.0), **alto** ( $\geq 18.1$ )

\*\* IMA-HD **bajo** ( $\leq 2.0$ ), **medio** (2.1-3.0), **alto** ( $\geq 3.1$ )

En este estudio, el valor promedio de  $IS_{10}$  para la clase de crecimiento bajo (11.8), es similar al reportado por [Vaides et al \(2006\)](#) en plantaciones de teca en Guatemala (11.87). El porcentaje reportado por este autor es del 52% de las plantaciones mientras que en el presente estudio, solo el 34% conforma esta clase de crecimiento bajo. Estudios realizados en Centroamérica en sitios con mucho mayor precipitación, el  $IS_{10}=18$  ha sido establecido para clases de crecimiento medio, por lo que en comparación con esas clasificaciones, las plantaciones en Campeche, México los crecimientos en relación a altura total clasificarían como bajos; sin embargo en este estudio, hay un menor rango de variación ( $IS_{10}$  entre 7.4 y 20.4m), comparado con los valores encontrados por [Vallejos \(1996\)](#), entre 6.7 y 34.9m y los encontrados por [Vaides et al \(2006\)](#), entre 4.9 y 34.1m.

En cuanto al incremento medio anual en volumen total (IMA-VT), el 26% de las plantaciones se encuentran en la clase de productividad bajo ( $2.7 m^3/ha/año$ ), un 44% en clase de productividad medio ( $7.8 m^3/ha/año$ ) y un 30% en clase de productividad alto ( $12.6 m^3/ha/año$ ) (Cuadro 6), teniendo así que predomina un crecimiento de nivel medio. El 13% de estas parcelas supera el promedio de la clase alta y el 5% presenta IMA mayor a  $14 m^3/ha/año$ , con un promedio de  $15 m^3/ha/año$  y un rango entre 14 y  $19 m^3/ha/año$ . De acuerdo con [Enters \(2000\)](#), “rendimientos de 15 a  $20 m^3/ha/año$  en una rotación corta de 20 años debe

considerarse como límite máximo con las tecnologías disponibles hasta entonces, al menos en lo que respecta a las de mejoramiento genético”.

*Cuadro 6. Clasificación en clases de productividad para las plantaciones de Tectona grandis bajo fertirriego en Campeche, México.*

	Clase	IMA-dap (cm/año) *		IMA-VT (m <sup>3</sup> /ha/año) **		IMA-G (m <sup>2</sup> /ha/año) ***	
		PPM	%	PPM	%	PPM	%
Muestra (53 PPM)	Bajo	4	7.5	8	15.1	13	24.5
	Medio	23	43.4	19	35.8	14	26.4
	Alto	26	49.1	26	49.1	26	49.1
Total (306 PPM)	Bajo	30	9.8	80	26.1	104	34.0
	Medio	156	51.0	133	43.5	88	28.2
	Alto	120	39.2	93	30.4	114	37.2

IMA = Incremento medio anual; dap = diámetro a la altura del pecho; VT = Volumen total; G = Área basal

\* IMA-dap **bajo** ( $\leq 2.0$ ), **medio** (2.1-3.0), **alto** ( $\geq 3.1$ )

\*\* IMA-VT **bajo** ( $\leq 5.0$ ), **medio** (5.1-10.0), **alto** ( $\geq 10.1$ )

\*\*\* IMA-G **bajo** ( $\leq 1.5$ ), **medio** (1.6-2.0), **alto** ( $\geq 2.1$ )

Los rangos utilizados en IMA-VT son similares a los obtenidos por [Vaides et al \(2006\)](#) en Guatemala. Este autor obtuvo promedios más altos para cada clase en comparación con el presente estudio; sin embargo [Vaides et al \(2006\)](#) reportó el 44% de las plantaciones entre clase medio y alto, mientras en este se tiene que el 74% de las plantaciones se encuentra en la clase de crecimiento medio y alto. Por otra parte los resultados de este estudio son similares a los obtenidos por [Mollinedo \(2003\)](#) en Panamá, quien reporta para la clase baja un promedio de 3.44 m<sup>3</sup>/ha/año, en la clase media 7.06 y en la clase alta 11.93. En apariencia las plantaciones del presente estudio son superiores, pero hay que tomar en cuenta que estas tienen parcelas con edades de hasta cinco y seis años, mientras que las evaluadas por [Mollinedo \(2003\)](#) son de dos a cuatro años.

En cuanto a IMA-dap el 39% de las plantaciones se encuentra en clase de crecimiento alto (3.3 cm/año), el 51% en clase de crecimiento medio (2.6 cm/año) y solo el 10% en clase de crecimiento bajo (1.7 cm/año). Estos crecimientos pueden considerarse buenos en comparación al promedio obtenido por [Vaides et al \(2006\)](#), cuyo valor para la clase alta corresponde a 2.54 cm/año o a los promedios obtenidos por [Rodas \(2006\)](#), quien reporta para las respectivas clases alta, media y baja: 2.3, 1.8 y 1.6 cm/año para plantaciones entre cinco y

siete años y bajo condiciones en las que el origen del suelo son similares a las del presente estudio.

Respecto al IMA-G el 37% de las parcelas se encuentran en clase de productividad alto ( $2.5 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ ), un 28.2% en clase medio ( $1.8 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ ) y un 34% en clase de crecimiento bajo ( $1.0 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ ). Se tiene entonces que el 65% de las plantaciones presenta buen crecimiento. Estos valores son similares a los obtenidos por [Vaides et al \(2006\)](#), con 1.12, 2.23 y  $2.59 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ , respectivamente. Y son superiores a los obtenidos por [Mollinedo \(2003\)](#), reportando los siguientes valores: 0.95, 0.70 y  $0.47 \text{ m}^2/\text{ha}/\text{año}$ .

El IS puede considerarse adecuado para evaluar la productividad de las plantaciones de tecla en Campeche ya que este mostró tener alta relación con las variables silviculturales. De acuerdo con los coeficientes obtenidos, el IS refleja bien el comportamiento del crecimiento y productividad (Figura 2). El IMA-dap en un 88%, el IMA-H en 92%, IMA-AB en un 87% y el IMA-VT en 93%. Los coeficientes de correlación encontrados superan los valores obtenidos por [Vaides et al \(2006\)](#), quién reportó un  $R^2=0.62$  para la relación  $IS_{10}$  con IMA-DAP,  $R^2=0.72$  para IMA-ÁB y  $R^2=0.81$  para el IMA-Vol. Incluso [Montero \(1999\)](#) obtuvo una relación muy baja del IMA-AB ( $R=0.59$ ) e IMA-Vol ( $R=0.74$ ) respecto al IS.



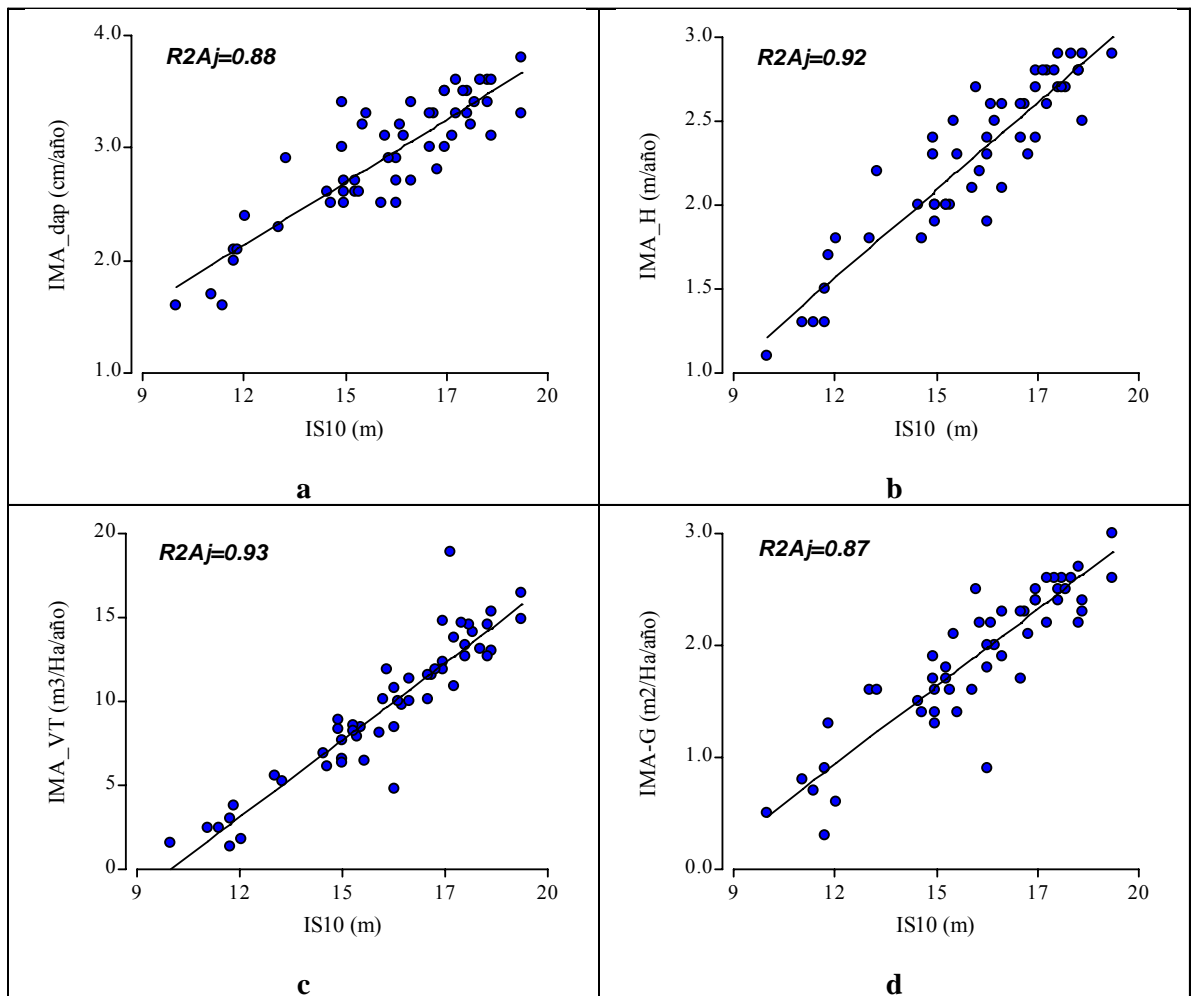


Figura 2. Gráficos de dispersión de los incrementos medios anuales en diámetro a la altura del pecho (a), altura (b), volumen (c) y área basal (d), respecto al índice de sitio.

### 4.3.2 Estado nutricional de las plantaciones de teca

#### 4.3.2.1 Comparación de las características del suelo con los niveles de suficiencia y requerimientos de la teca

La mayoría de los elementos en el suelo se encuentran dentro del rango de suficiencia (Cuadro 7), excepto el fósforo, que en todas las muestras estuvo en el nivel bajo. Esto concuerda con otros estudios en los cuales el P es uno de los nutrientes más deficientes después del nitrógeno (Drechsel y Zech 1994), lo cual es muy común en la mayoría de los suelos del mundo (Fassbender 1985). En el caso de los nitratos toda la concentración se encuentra en el nivel bajo; sin embargo la mayoría (89%) se encuentra dentro de lo aceptable

(40 – 99 mg/Kg). La saturación de acidez fue tan baja que en la mayoría de las muestras no fue detectada.

*Cuadro 7. Porcentaje de concentración nutrimental del suelo por categoría en relación a los niveles de suficiencia (%) a la profundidad 0 – 20cm, en las plantaciones de Sta. Genoveva.*

Categoría	mg Kg <sup>-1</sup>							
	Nitratos N-NO <sub>3</sub>	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Zinc (Zn)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)
Alto	0	0	94	100	98	-	100	-
Medio	0	0	4	0	0	60	0	96
Bajo	100	100	2	0	2	40	0	4
Rango de suficiencia	100 - 199	21 - 30	150 - 249	1000	> 70	> 1	1.5	> 0.6

Los rangos de arcilla y limo obtenidos para cada profundidad fueron: 34 – 68% para la primera y 38 – 83% para la segunda y tercera. Estos porcentajes superan los límites reportados para teca en India, donde los porcentajes de arcilla son 21 – 50 y limo 22 – 40 (Jha 1999). Como la teca crece mejor en suelos franco arenosos, se tiene que los valores de la capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de estos suelos son de 15% y 7% respectivamente (Bebarta 1999). Los porcentajes obtenidos en el presente estudio fueron para la CC de 24 – 47, 24 – 53 y 24 – 52 para la primera, segunda y tercera profundidad y, para el PMP, de 17 – 28 y 17 – 31, de la primera a la tercera profundidad, rebasando los porcentajes reportados para esta especie.

Los datos obtenidos de la conductividad eléctrica (CE) en diferentes edades de teca en pie para una de las mejores regiones de cultivo en Haldwani, India van de 0.03 a 0.14 (Jha 1999). Bajo esta consideración, los resultados obtenidos (0.27 – 0.8, 0.18 – 1.2 y 0.16 – 1.5, primera, segunda y tercera profundidad, respectivamente), rebasan por mucho este rango. Sin embargo este punto habría que evaluarlo con más detalle puesto que no hay muchos reportes sobre los rangos de CE para teca.

Una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) indica la presencia de un total alto de bases. Los rangos obtenidos para cada profundidad fueron: 7.5 – 45.8, 3.9 – 60.4 y 4.3 – 53.8 para la primera, segunda y tercera, respectivamente. En cuanto a las bases intercambiables, la mayor concentración de calcio y magnesio se encuentra en el nivel medio y por encima (Cuadro 8), satisfaciendo los requerimientos mínimos reportados por Vallejos (1996) y Mollinedo (2005) para Costa Rica y Panamá, con cantidades de calcio equivalentes

de 1600 – 3600 mg/kg de saturación de calcio. La teca tiene preferencia por estas bases intercambiables (Ca y Mg), suelos con alta cantidad de estas son los preferidos de esta especie (Bebarta 1999).

*Cuadro 8. Porcentaje de concentración de pH y bases intercambiables por categoría en relación a los niveles de suficiencia (%) a 0 – 20cm de profundidad en las plantaciones de Sta. Genoveva.*

Categoría	meq / 100 g suelo				
	pH (agua)	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Alto	11	85	21	87	0
Medio	79	15	57	8	2
Bajo	10	0	22	5	98
Rango de suficiencia	6.5 - 7.75	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6

La mayoría de las plantaciones se encuentra dentro del rango de suficiencia en el follaje (Cuadro 9). En algunos casos como en nitrógeno, los valores quedan en el límite para pertenecer al nivel medio.

*Cuadro 9. Concentración nutrimental foliar en plantaciones de Sta. Genoveva agrupadas por categoría en relación a los niveles de suficiencia (%).*

Mineral	Alto	Medio	Bajo	Rango de suficiencia	
Nitrógeno	-	98	2	1.6 - 2.7	
Fosforo	9	66	25	0.12 - 0.23	
Potasio	0	28	72	1.54 - 2.43	%
Calcio	72	26	2	0.75 - 1.35	
Magnesio	11	40	49	0.21 - 0.31	
Fierro	64	23	13	58 - 79	
Zinc	32	60	8	16 - 25	
Manganeso	2	62	36	48 - 114	mg Kg <sup>-1</sup>
Cobre	-	87	13	7 - 25	
Boro	36	64	-	19 - 63	

\* Según revisión propuesta por Drechsel y Zech (1991).

### 4.3.2.2 Variables del suelo relacionadas con el crecimiento

Las variables de suelo más relacionadas con las variables de crecimiento y productividad fueron Conductividad eléctrica (CE), Nitratos (N-NO<sub>3</sub>), Cobre (Cu), Potasio (K) y Calcio (Ca), todas negativamente. Esto parece indicar que los mejores crecimientos de teca estuvieron relacionados con las menores cantidades de estas variables, de acuerdo con los coeficientes de correlación observados. Sin embargo estos coeficientes son bajos, por lo que estos resultados no son contundentes (Cuadro 10).

*Cuadro 10. Variables de suelo con los mejores coeficientes ( $R^2$ ) de correlación respecto a la variable de crecimiento para cada profundidad.*

Profundidad	Variable regresora	IS OCT (m)		IMA DAP (cm/año)		IMA H (m/año)		IMA VOL (m <sup>3</sup> /Ha/año)		IMA AB (m <sup>2</sup> /Ha/año)		IMA Hdom (m/año)	
		$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$	$R^2$	$p$
0-20	CE	-0.38	0.01	-	-	-	-	-0.44	1.10E-03	-0.36	0.01	-	-
	N-NO <sub>3</sub> (ppm)	-0.46	5.20E-04	-0.35	0.01	-0.42	1.80E-03	-0.51	1.10E-04	-0.46	5.80E-04	-0.37	0.01
	<b>Cu (ppm)</b>	-	-	<b>-0.36</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.35</b>	<b>0.01</b>	-	-	<b>-0.36</b>	<b>0.01</b>	-	-
20-40	CE	-0.38	0.01	-0.37	0.01	-0.38	0.01	-0.39	4.20E-03	-0.36	0.01	-0.36	0.01
	N-NO <sub>3</sub> (ppm)	-0.51	1.00E-04	-0.52	7.30E-05	-0.51	1.10E-04	-0.49	2.10E-04	-0.42	1.90E-03	-0.45	8.30E-04
	<b>K (ppm)</b>	-	-	-	-	-	-	<b>-0.43</b>	<b>1.50E-03</b>	<b>-0.43</b>	<b>1.20E-03</b>	-	-
40-60	N-NO <sub>3</sub> (ppm)	-0.43	1.40E-03	-0.41	2.10E-03	-0.38	4.70E-03	-0.41	2.50E-03	-	-	-	-
	<b>Ca (ppm)</b>	<b>-0.42</b>	<b>2.10E-03</b>	<b>-0.46</b>	<b>6.10E-04</b>	<b>-0.44</b>	<b>1.20E-03</b>	<b>-0.38</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.37</b>	<b>0.01</b>	<b>-0.43</b>	<b>1.70E-03</b>

En la Figura 3 puede observarse el comportamiento de las variables que resultaron con mayor correlación individual con las de crecimiento. Las tendencias son mínimas y es más notable en el calcio.

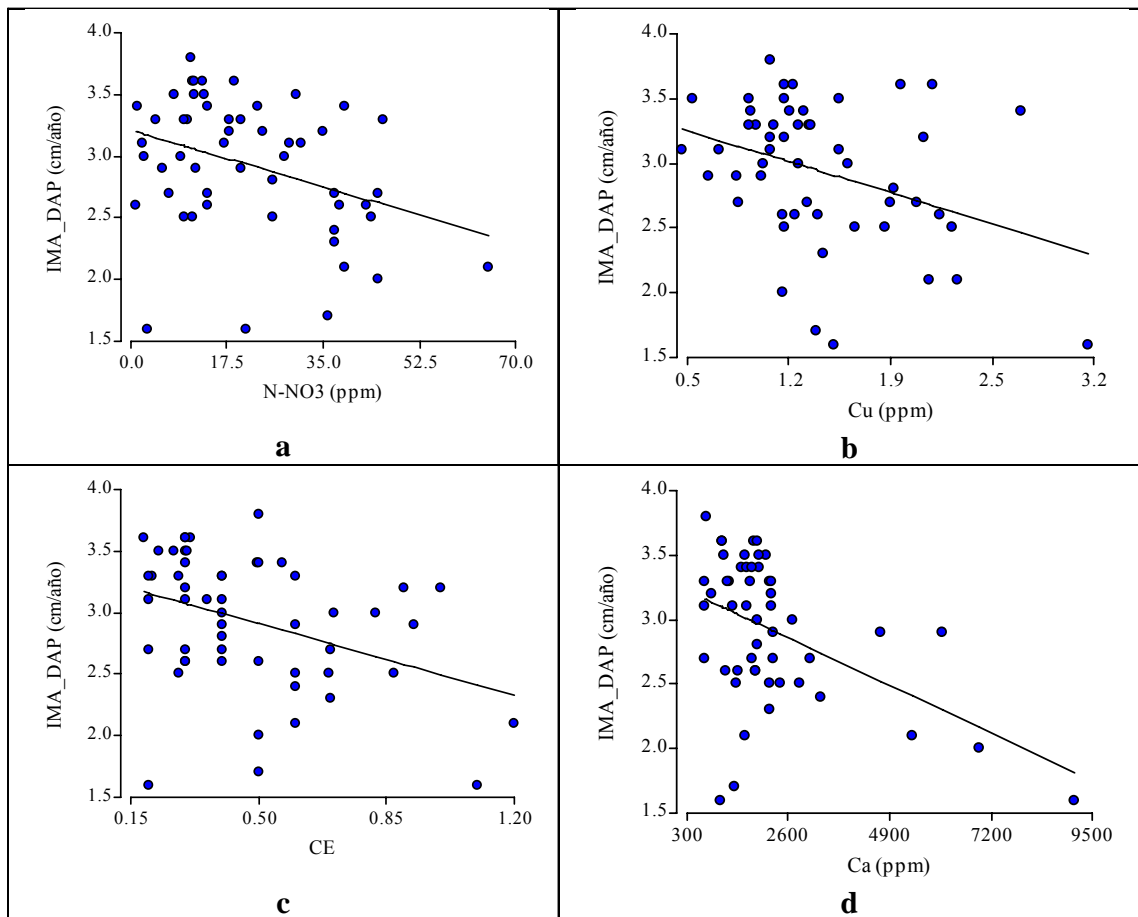


Figura 3. Tendencias de las correlaciones del IMA–dap respecto a los nitratos ( $N-NO_3$ ) y cobre ( $Cu$ ) en la primera profundidad (a y b), conductividad eléctrica ( $CE$ ) en la segunda (c), y calcio ( $Ca$ ) en la tercera (d).

#### 4.3.2.2.1 Modelos obtenidos

Los modelos obtenidos a través del “stepwise” y regresiones lineales se presentan en forma de resumen en el Cuadro 11. Para señalar cuáles fueron los mejores modelos fueron utilizados los siguientes criterios, coeficiente  $R^2$  y además los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Con base en los tres criterios los mejores modelos para proyectar o predecir el crecimiento de las plantaciones de teca en Campeche, fueron los de la primera profundidad para IMA-DAP, IMA-ALT, IMA-VOL e IMA-ÁB. Para el IS y el IMA-Hdom las variables corresponden a la tercera profundidad.

De las variables incluidas en los modelos destaca que, cuando se observa el comportamiento de las variables en conjunto, sigue presente la CE en la primera profundidad,  $N-NO_3$  en la primera y segunda profundidad. Los  $N-NO_3$  en la segunda profundidad tuvieron

peso con todas las variables de crecimiento. Por otra parte es notable la presencia de la *CC* en las tres profundidades; aunque no para todas las variables de crecimiento, la de calcio y la de arcilla en la tercera profundidad (ANEXOS). La presencia de arcilla y calcio en algunos modelos en la tercera profundidad, quizás se deba más a la presencia de las arcillas, ya que según [Hernández et al \(2005\)](#), hay una gran cantidad de arcillas con baja capacidad de absorción y dada esta es capaz de retener suficiente cantidad de elemento cambiables en el suelo, como el calcio.

*Cuadro 11. Resumen de los criterios de selección de los modelos para cada variable de crecimiento y productividad.*

Variables	Modelo 1				Modelo2				Modelo 3			
	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	AIC	BIC	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	AIC	BIC	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	AIC	BIC
IS OCT (m)	0.37	0.33	222.36	232.12	0.37	0.33	225.07	234.92	0.42	0.37	<b>215.85</b>	<b>227.45</b>
IMA_DAP (cm/año)	0.44	0.39	<b>65.11</b>	<b>76.82</b>	0.32	0.29	71.9	79.78	0.44	0.39	65.94	77.76
IMA_ALT (m/año)	0.6	0.54	<b>39.4</b>	<b>54.86</b>	0.4	0.36	55.25	65.1	0.48	0.44	49.92	61.51
IMA_VOL (m <sup>3</sup> /Ha/año)	0.52	0.45	<b>266.21</b>	<b>281.67</b>	0.36	0.34	286.03	293.91	0.43	0.38	274.62	286.21
IMA AB (m <sup>2</sup> /Ha/año)	0.34	0.3	<b>92.35</b>	<b>102.1</b>	0.31	0.29	96.85	104.73	0.36	0.3	97.21	109.03
IMA Hdom (m/año)	0.45	0.39	57.06	70.72	0.28	0.25	65.61	73.49	0.49	0.44	<b>51.63</b>	<b>63.22</b>

Valores menores indican mejor ajuste

#### 4.3.2.3 Variables del suelo relacionadas con el follaje

Existe relación positiva entre el zinc en el suelo con el nitrato en el follaje a la primera profundidad ( $R^2=0.61$ ,  $p=1.80E-06$ ), relación negativa del pH CaCl ( $R^2=-0.58$ ,  $p=6.10E-06$ ) y positiva del Na<sup>+</sup> meq/100gr ( $R^2=0.56$ ,  $p=1.60E-05$ ) del suelo con el cloro foliar en la tercera profundidad. Mientras que el fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc y cobre no tuvieron relación con sus homólogos en el follaje, indicando que tal vez una mayor o menor disponibilidad de nutrientes en el suelo no implica que la planta esté absorbiendo más o menos de ese nutriente.

El nitrógeno en el follaje se encuentra en un 98% en la categoría “Alto” aún cuando en el suelo la disponibilidad es relativamente baja (aceptable). Por otro lado, mientras hay una deficiencia de fósforo en el suelo, en el follaje el 75% de las concentraciones se encontraron entre la categoría media y alta, similar a lo reportado por [Vallejos \(1996\)](#) y [Montero \(1999\)](#), lo que podría indicar una eficiencia en la absorción de este elemento (Figura 4).

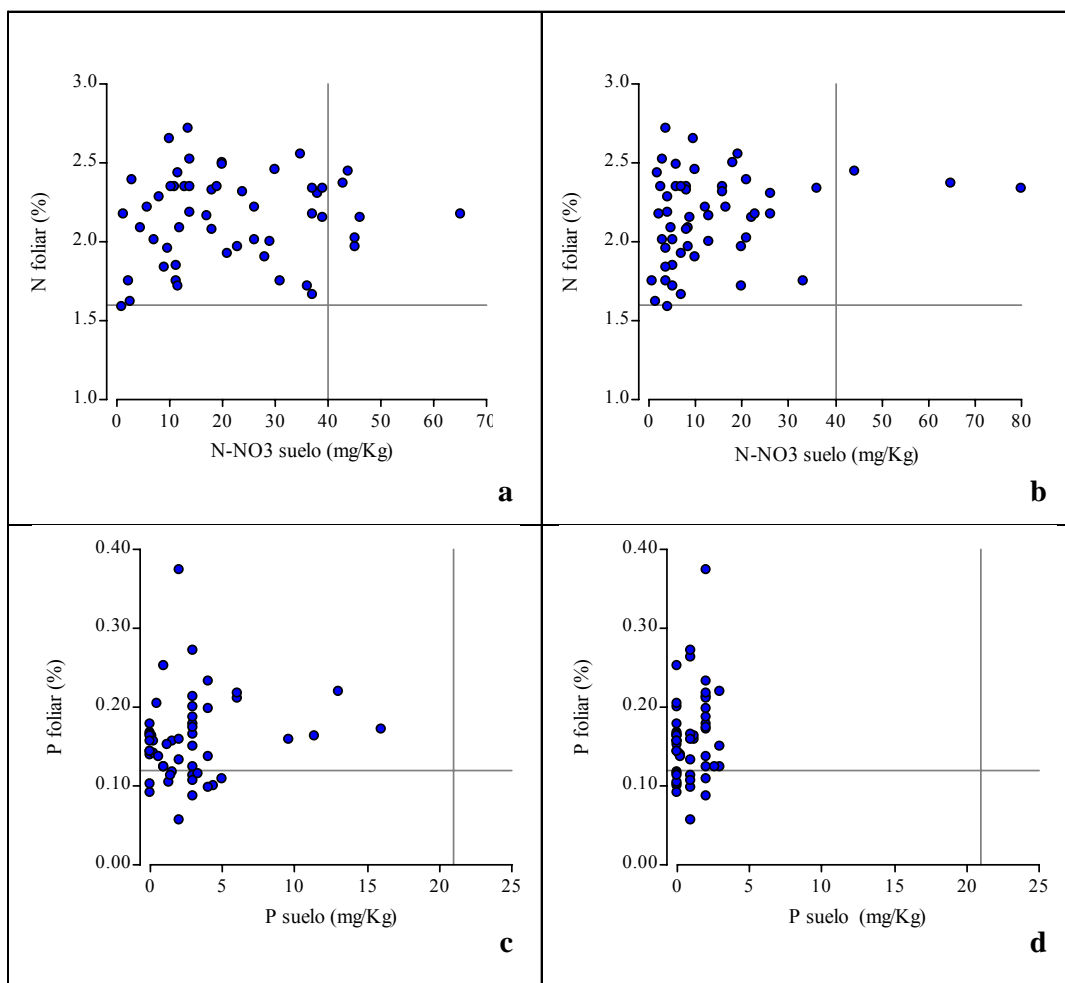


Figura 4. Rangos de suficiencia de nitrógeno y fósforo en follaje y suelo a la primera profundidad, 0–20cm (a) y tercera profundidad, 40–60cm (b). Estos rangos están representados por las líneas de corte del gráfico. Rangos tomados de (Drechsel y Zech, (1991), y Etchevers y Padilla (2007).

Aún cuando en el suelo se supone hay una gran cantidad de potasio y magnesio, esto no se ve reflejado en el follaje, en donde más del 72% de potasio se encuentra en el nivel bajo y, el magnesio 49% de la concentración (Figura 5). La concentración del pH indica que la mayoría de las plantaciones no sería limitada, al menos por esta variable, tal como sugiere Bertsch (1995), que con un pH superior a 5.5 hay buena disponibilidad de elementos esenciales.

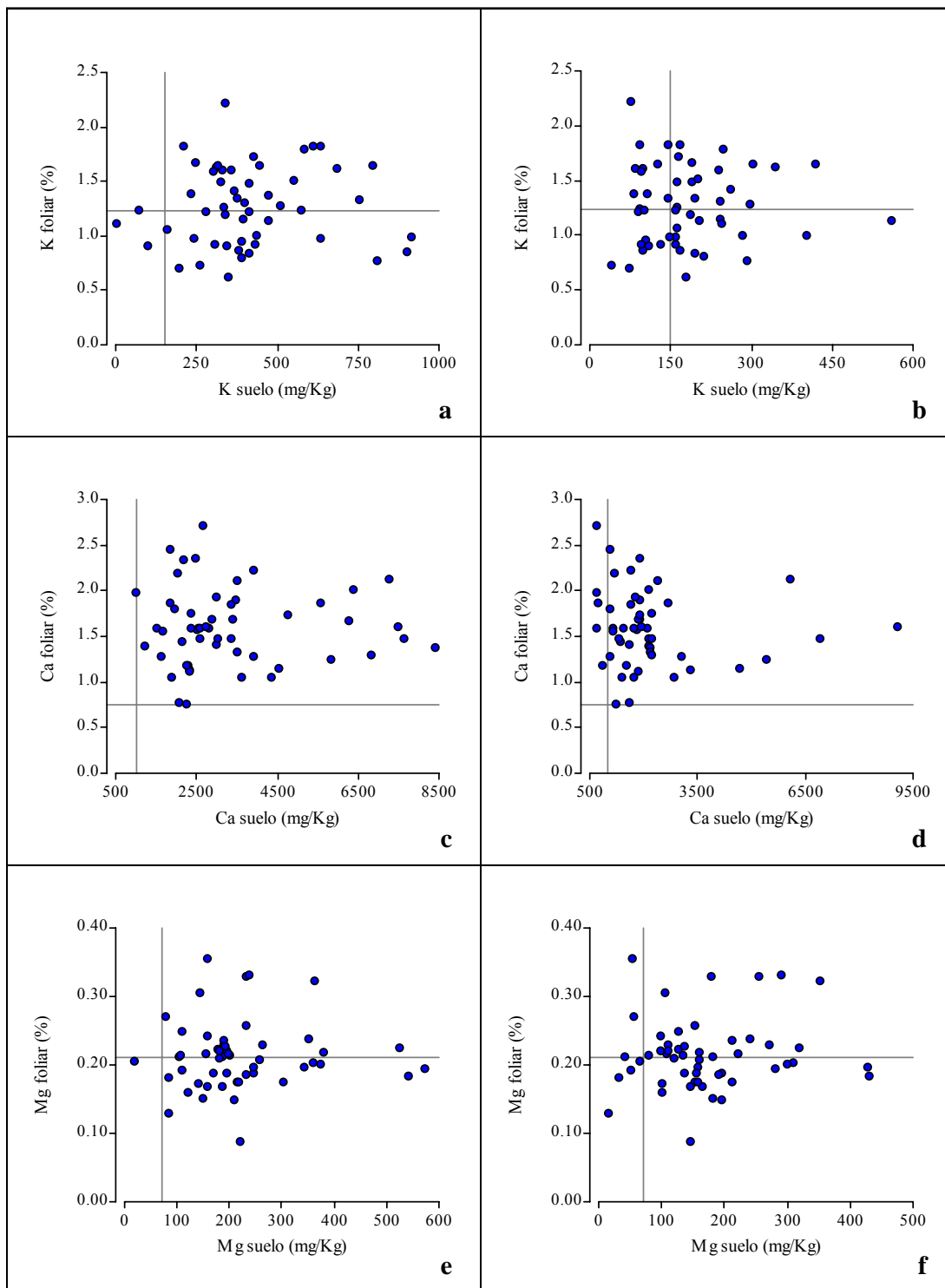


Figura 5. Rangos de suficiencia de potasio, calcio y magnesio en follaje y suelo a la primera profundidad, 0–20cm (a, c y e) y tercera profundidad, 40–60cm (b, d y f).



En lo que respecta a los elementos menores zinc y cobre, las concentraciones en el suelo son satisfactorias. El zinc con un 60% de la concentración del suelo en categoría media y el 40% restante en bajo y su concentración en el follaje el 92% se encuentra entre “medio” y “alto”. Algo similar sucede con el cobre, cuya concentración en el suelo es de 96% en nivel medio y en el follaje se encontró que el 87% se encuentra también en esta categoría. El manganeso en cambio, en el suelo tiene una concentración del 100%, y solo el 62 % se encuentra en el follaje (Figura 6).

### **Conductividad eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica es el estimador de la concentración total de sales. Cada cultivo tiene su nivel de tolerancia a la salinidad y este nivel condiciona el crecimiento y desarrollo de cada especie. Valores de CE entre 0 y 2 dS/m son despreciables para la mayoría de los cultivos (Etchevers y Padilla 2007), con valores a los 3.0 dS/m, el crecimiento del cultivo disminuye debido a que una alta concentración de elementos minerales disueltos en la solución inhibe la absorción de agua por las plantas, por lo tanto reduce también la absorción de nutrientes (Carrasco e Izquierdo 1996). Probablemente las tendencias observadas en las correlaciones entre la CE y las variables de crecimiento de la teca se deba a esta especie sea “ultrasensible”.

### **Nitratos (NO<sub>3</sub>)**

Los nitratos son sales solubles y pueden estar considerados en la medición de la CE, por lo tanto un incremento en la cantidad de N-NO<sub>3</sub> podría incrementar la CE o el incremento en la CE podría indicar que hay mayor cantidad de N-NO<sub>3</sub>, lo cual no es una garantía puesto que hay otras sales en el extracto. Sin embargo esto es lo que podría deducirse de las correlaciones.

Los vegetales pueden absorber nitrógeno en exceso cuando se encuentra disponible y, almacenarlo para utilizarlo después. Esto es posible especialmente si el suministro de otro nutriente como fósforo, potasio o el agua, es inadecuado. Cuando el suministro supera los requerimientos de las plantas, éstas producen un crecimiento vegetativo suculento y de color verde oscuro. Este exceso puede resultar de la aplicación de fertilizantes en gran cantidad o de condiciones locales, por las que la velocidad con la que la actividad microbiana libera nitrógeno soluble, es superior a la tasa de absorción del nitrógeno por parte del cultivo (Thompson y Troeh 1988).

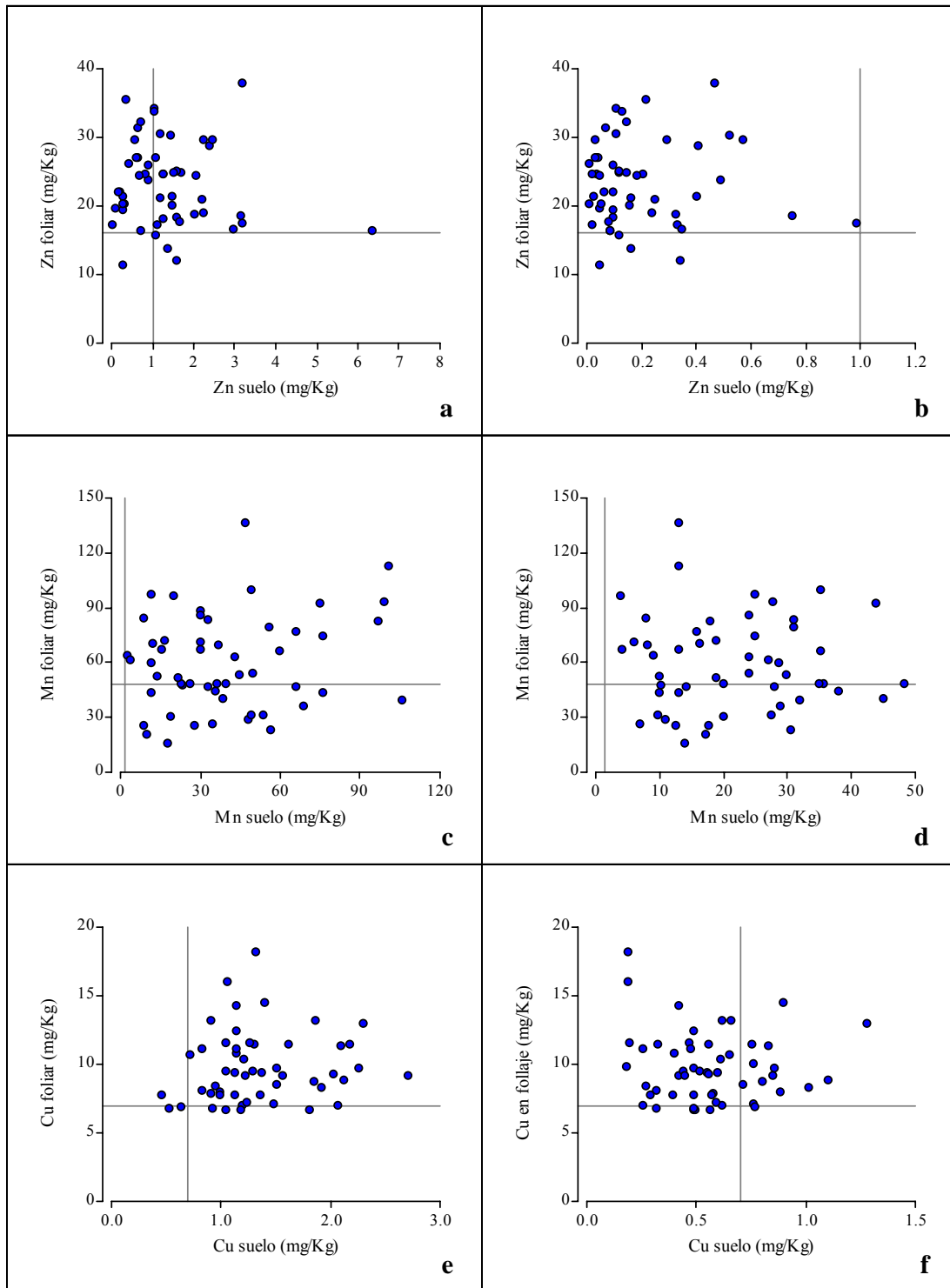


Figura 6. Rangos de suficiencia de elementos menores en follaje y suelo a la primera profundidad, 0–20cm (a, c y e) y tercera profundidad, 40–60cm (b, d y f). Los rangos de suficiencia están representados por las líneas de corte del gráfico.

Quizás el nitrógeno absorbido por los árboles sea dirigido más hacia la formación de follaje que a la de fuste. De acuerdo con la ley de los incrementos decrecientes mencionada por [Thompson y Troeh \(1988\)](#), al aplicar cantidades mayores de cualquier elemento, este aumenta su concentración en la planta, es decir, absorbe más de este elemento sin que implique que el crecimiento del cultivo lo haga también. Las tendencias observadas podrían indicar tal suposición (Figura 3 y Figura 4).

### **Calcio (Ca)**

Otra posible explicación de las tendencias observadas es sobre la cantidad de calcio influyendo en el crecimiento, especialmente en los modelos, podría ser la presencia de un horizonte petrocálcico. Este horizonte se forma por la disolución de la roca caliza y queda endurecida la parte baja del perfil ([Bautista 2005](#)). Esto coincide con lo mencionado por [Ryan \(1982\)](#), de que los crecimientos son pobres sobre piedra dura caliza debido a que el suelo no es profundo. En otro estudio realizado en la Península de Yucatán, [Zech et al \(1991\)](#) encontraron que en suelos ligeramente pedregosos con horizontes cálcicos los crecimientos de las especies evaluadas, entre ellas teca, fueron lentos.

### **Arcilla**

No existe una relación entre la textura del suelo y el crecimiento de la teca. Sin embargo, aproximadamente el 80% de los suelos son de textura “arcillosa” según los resultados reportados por el laboratorio por lo que de alguna forma la cantidad de arcilla en el suelo podría inducir a otras características que sí influyen en dicho crecimiento. Por ejemplo, en plantaciones de eucalipto, pequeñas cantidades de limo (1 a 7%) y de arcilla de (3.5 a 12%) contribuyen a explicar diferencias en productividad. Sin embargo, cuando estos porcentajes se elevan considerablemente, la relación es inversa: a mayor contenido de arcilla menor crecimiento, lo que estaría relacionado con la menor aireación de estos suelos ([Dalla Sf.](#)). [Drechsel y Zech \(1994\)](#) tampoco encontraron relación entre la textura y el crecimiento, solo una capa de arcilla que indujo a propiedades de estancamiento.

## **4.4 Conclusiones y recomendaciones**

En términos de crecimiento en altura total, las plantaciones de Campeche en sitios con 800 – 900 mm/año tiende a crecer menor en altura total en comparación con sitios de mayor

precipitación en zonas del trópico húmedo. El fertirriego resulta suficiente para mantener las plantaciones con crecimientos y productividad medio.

En general, las plantaciones se encuentran en sitios por encima de los niveles de suficiencia en el suelo y en el follaje. Aún con cantidades deficientes de fósforo en el suelo, el fósforo en el follaje presentó buena concentración (75%), por lo que la fertilización parece ser suficiente. Respecto al calcio no se encontraron reportes de daños por exceso, por lo que las tendencias de los resultados podrían ser sólo un indicador de otras variables o factores relacionados con el calcio del suelo.

En suelos arcillosos, la capa endurecida en la parte baja del perfil del suelo, podría explicar la tendencia negativa de los N-NO<sub>3</sub> sobre el crecimiento.

También se sugiere enfatizar en evaluaciones de las variables que presentaron relación como la CE, los N-NO<sub>3</sub>, K, Cu y Ca y una mayor investigación para identificar si la cantidad y tipo de fertilizantes utilizados en el fertirriego son los más apropiados. Así como la cantidad y frecuencia del fertirriego para asegurar un buen crecimiento de los árboles hasta la corta final. Además realizar un análisis de costo – beneficio de la aplicación de este paquete tecnológico.

#### **4.5 Bibliografía**

- AGSA (Agropecuaria Santa Genoveva S.A. de C.V, México). 2007. Registro diario de precipitación en AGSA a partir de 2004. Área de riego.
- Anantha Padmanabha, H.S.2006. Informe internacional sobre la teca. 6p. (Product Disclosure Statement - Rewards Group Teak Project "International Teak Market Report").
- Bautista, F., G. Palacio-Aponte, M. Ortiz Pérez, E. Batllori Sampedro y M. Castillo González, 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán. *In*: F. Bautista y G. Palacio (Eds.) Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282p. p. 21-32.
- Bautista, F.; Batllori S., E.; Palacio, G.; Ortiz P., M.; Castillo G., M. 2005. Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. *In*: F. Bautista y G. Palacio (Eds.), Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de

- Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282p. p. 33 – 58.
- Bebarta, K.C. 1999. Teak: Ecology, Silviculture, Management and profitability. India. International Book Distributors. 379 p.
- Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- Bhadran, C. A. R. 1959. Irrigated teak plantations in Madras State. *The Indian Forester* 85 (6): 321 – 323.
- Breña, P.A. 2004. Precipitación y Recursos Hidráulicos en México (en línea). México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana. 316p. Consultado 17 ene 2007. Disponible en: <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/precipitacion/PRHM04-libro.pdf>
- Carrasco, G. e Izquierdo, J. 1996. Manual Técnico: La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). FAO – Universidad de Talca, Chile. 61p.
- Dalla T., F. (Sf.). Factores del suelo que afectan la productividad del *Eucalyptus grandis* (en línea). Concordia, Argentina. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Concordia. 6 p. Consultado 16 Ag 2009. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/concordia/info/indices/tematica/cd-informacion-forestal/C9.pdf>
- Drechsel, P. y Zech, W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. *Plant and Soil* 131 (1): 29 - 46.
- Drechsel, P. y Zech, W. 1994. DRIS evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) mineral nutrition and effects of nutrition and site quality on teak growth in West Africa. *Forest Ecology and Management* no. 70: 121-133.
- Enters, T. 2000. Terrenos, tecnología y productividad de las plantaciones de teca en Asia sudoriental (en línea). *Unasyuva* 51(201): 55 - 61. Consultado 4 Ag 2009. Disponible en: <http://localhost:8020/file/web/docrep/x4565s/x4565s09.htm?index=main>
- Etchevers B., J. D. y Padilla C., J. 2007. Diagnóstico de fertilidad del suelo. *In: Nutrición de cultivos*. G. Alcántar G. y L. Trejo – Téllez (Coord.). México. Mundi – Prensa, Colegio de Posgraduados. 454 p. p. 249 – 272.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Italia). 2009. Situación de los bosques del mundo 2009. Roma, Italia. 158 p.

- Hernández M., T.M.; Galvis S., A. y Galván R., G. 2005. Manejo Integral de la Nutrición de los Cultivos de la Empresa Agropecuaria Santa Genoveva, S.A. de C.V. Informe. 87p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México). 1990. Atlas Nacional del Medio Físico: Guías para la interpretación de cartografía geológica. México. Esc. 1:4.000.000. Color.
- Jha, K.K. 1999. Teak (*Tectona grandis*) Farming. India. Forestal Department Uttar Pradesh. International Book Distributing Co. 125 p.
- Joshi, V.S. y Farooqui, U.M. 1997. Irrigated Teak Plantations in Maharashtra – a Case of Study. In: Chand Basha, S.; Mohanan, C.; Sankar, S. (eds). Teak, Proceedings of the International Teak Symposium. 2 – 4 December 1991. Kerala Forest Department – Kerala Forest Research Institute. India. p. 46 – 51.
- Mollinedo García, M. S. 2003. Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona Oeste, Cuenca del canal de Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 89p.
- Montero Mata, M. 1999. Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinatum* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 111p.
- Rodas Castellanos, A. F. 2006. Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis* L. f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 90 p.
- Ryan, P.A. 1982. The management of Burmese teak forests. Commonwealth Forestry Review 61(2): 115-120.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional, México). 2007. Mapa de precipitación del estado de Campeche (en línea). México. Comisión nacional del Agua (CONAGUA). Consultado 19 dic 2007. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/lluv-media-a.html>
- Thompson, L.M y Troeh, F.R. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4ª Ed. Barcelona. Editorial Reverté. 649p.
- Ugalde A., L. 1995. Establecimiento y medición de parcelas de crecimiento en investigación y programas de reforestación con la metodología del sistema MIRA. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 43p.
- Ugalde A., L. 2002. Monitoreo y evaluación del crecimiento de especies nativas con la utilización del sistema MIRA-Sil. Seminario Nacional sobre especies nativas. INISEFOR. 5p.

- Vaides, E.; Ugalde, L. y Galloway, G. 2006. Crecimiento y productividad de teca en plantaciones forestales jóvenes en Guatemala. *Recursos Naturales y Ambiente* no. 46-47:137-145.
- Vallejos Barra, O. 1996. Productividad y relaciones del 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. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 147 p.
- Vallejos, B.O.S. y Ugalde, A.L. Congreso Forestal Latinoamericano. Valdivia, Chile. Nov. 1998.
- Zech, W.; Drechsel, P. y Neugebauer, B. 1991. Mineral deficiencies of forest trees in Yucatan (Mexico) and consequences for land-use. *Turrialba* 41(2): 230 – 236.

## **5 ARTÍCULO 2. ADAPTACIÓN DE LEGUMINOSAS PARA CONTROL DE ARVENSES EN PLANTACIONES DE TECA BAJO FERTIRRIEGO EN CAMPECHE, MÉXICO**

### **Resumen**

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de adaptación y comportamiento de *Mucuna pruriens* var. *Utilis*, *Clitoria ternatea* y *Neonotonia wightii* como cobertura viva para control de arvenses, establecidas en temporada seca en plantaciones de teca de 6, 8 y 10 meses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México. El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con las leguminosas como parcelas principales y las fechas de muestreo como sub – parcelas. El cultivo de cobertura *Mucuna pruriens* mostró mejor adaptación a las condiciones de temporada de seca y fertirriego, con 23% de cobertura del suelo y 39.2cm de altura. Se formaron 487 nódulos efectivos en las plantas de esta especie. Se requiere de un período mayor de tiempo para evaluar el efecto de las leguminosas sobre el crecimiento de los árboles jóvenes de teca.

**Palabras clave:** *Tectona grandis*, coberturas vivas, *Mucuna pruriens*, arvenses, porcentaje de cobertura



## 5.1 Introducción

El manejo de arvenses en plantaciones forestales es esencial para el buen establecimiento de estas. Cuando las arvenses no son controladas en una plantación, el crecimiento y rendimiento inicial de los árboles se reduce (Maghembe *et al* 1986), por ello es indispensable mantener los árboles libres de ellas al menos durante los primeros seis meses, debido a que el crecimiento de estas especies vegetales es muy rápido y su manejo puede, además, incrementar los costos de la preparación y plantación (Gutiérrez 1970 citado por Wadsworth 2000). Para llevar a cabo este manejo, el método químico es el más común. Generalmente es más efectivo que el “desmalezado” mecánico debido a que requieren menor esfuerzo para su uso y la zona aplicada queda libre de arvenses por un período más largo (Wadsworth 2000).

Para el manejo de arvenses existen otros métodos entre los cuales se puede mencionar las coberturas vivas como método biológico. Tienen la ventaja de ser establecidas deliberadamente y pueden suprimir el crecimiento de las arvenses mientras dure su ciclo (Evans 1982, Flores *et al* 1995). Se ha probado que el uso de coberturas de leguminosas como cultivos intercalados en plantaciones para el control de arvenses han resultado efectivos (Skerman *et al* 1991, Akobundu 1982).

El propósito de esta investigación fue determinar la capacidad de adaptación y comportamiento de leguminosas inducidas como cobertura viva establecidas en temporada de seca, en plantaciones de teca menores a un año con fertirriego para determinar si la siembra de estas coberturas de leguminosas es útil en el control de arvenses y por lo tanto en la reducción de herbicidas. Para establecer estas plantaciones se ha convertido una zona natural a un área productiva por lo que estos datos contribuyen al manejo de plantaciones cuidando aspectos ecológicos.

## 5.2 Materiales y métodos

### 5.2.1 Área de estudio

#### 5.2.1.1 Localización del área de estudio

El experimento fue realizado en el Valle de Edzná, Municipio de Campeche, Estado de Campeche, México. Este se localiza al suroeste de la Península de Yucatán, 17°N y 92°O (Figura 7).

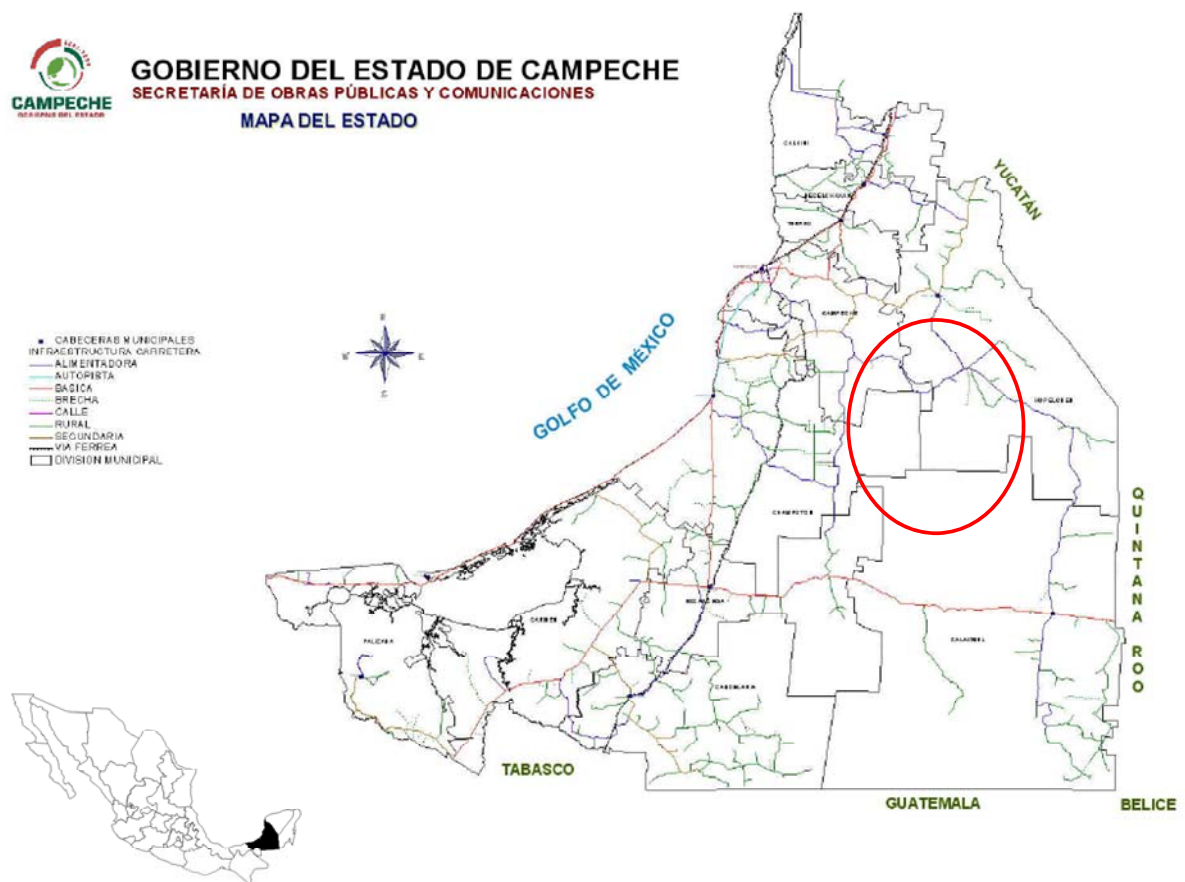


Figura 7. Localización de Agropecuaria Santa Genoveva S. A. de C.V., en el Estado Campeche, México. Fuente: Gobierno del Estado de Campeche.

#### 5.2.1.2 Clima y suelos

Predomina el clima cálido sub-húmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual es de 1138mm; sin embargo, la región en la que se encuentra el experimento es entre la selva mediana y el norte del estado, teniendo precipitaciones entre 800 – 1100 mm anuales.

Los suelos de la zona están clasificados como Litosol+Rendzina+Luvisol crómico de clase textural fina. Estos suelos (Leptosoles), son los de mayor extensión (67%), por lo que es notable que en estas zonas cársticas dominan las asociaciones con suelos poco profundos o someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos.

### **5.2.2 Sistema fertirriego**

Los riegos y la aplicación de los fertilizantes están calendarizadas, realizados principalmente en temporada de sequía, durante la temporada de lluvias se ajustan conforme la humedad del suelo. La solución de fertilizantes que se prepara está compuesta por urea (46 – 00 – 00) y fosfato monoamónico (11 – 52 – 00). Se aplican dos fertilizaciones por año. La cantidad de fertilizante varía cada año de 60 kg de N/ha durante el primer año a 70 kg de N/ha al quinto año, y de 100 a 70 kg de P/ha del primer al quinto año, respectivamente. No se aplica potasio. Considerando el número de árboles por hectárea, aproximadamente se aplica de 48 a 112 gr N/ árbol y 88 a 112 gr de P/árbol del primero al quinto año, esto conforme la reducción en el número de árboles debido a los raleos.

Un solo riego dura seis horas y en época de sequía el intervalo es de cuatro días. Primero se aplica agua, luego la solución fertilizante y la última hora agua para remover la solución a la zona de raíces. La superficie promedio atendida es de aproximadamente 300 ha, aplicando un volumen de 625,000m<sup>3</sup>/año. Esto equivale a una lámina de 208 mm si se aplicara uniformemente; sin embargo, como el riego es local, se estima que se humedece un poco menos de la tercera parte de dicha superficie. Por lo tanto, se tiene una lámina adicional de 625 mm agregada a la precipitación.

### **5.2.3 Establecimiento de las coberturas y diseño experimental**

#### **5.2.3.1 Selección del sitio**

Las coberturas de leguminosas fueron establecidas en plantaciones de teca con seis, ocho y diez meses de edad para observar cómo podría verse afectado el crecimiento de los árboles de teca por el desarrollo de las leguminosas. Para el establecimiento de las parcelas experimentales fueron seleccionadas áreas en donde el crecimiento en altura de los árboles de teca fuera más homogéneo y que estas alturas correspondieran a su edad.

### 5.2.3.2 Selección de las leguminosas

Las leguminosas probadas fueron seleccionadas con ayuda del programa “Decision Support for the Integration of Legumes into Tropical Farming Systems” (Cobbina *et al Sf*). Para esta selección fueron consideradas algunas condiciones de campo a la que estarían expuestas las leguminosas: precipitación de 800 – 900 mm anuales, capacidad de supresión de arvenses, opcional para cultivo perenne (plátano), que pueda ser sembrada antes de la temporada de lluvias y que pueda reducir costos en el primer año de establecimiento. De las siete especies que arrojó finalmente el software, se seleccionó trabajar con *Mucuna pruriens*; además se utilizaron *Clitoria tarnatea*, ya que la empresa contaba con semillas de esta especie, y *Neonotonia wightii*, que fue incluida debido a la característica de tolerancia a sequía (Skerman *et al 1991*). Las semillas de mucuna y soya forrajera fueron obtenidas a través de productores de la localidad San Rafael, Municipio Martínez de la Torre, Veracruz. Las semillas de clitoria son propiedad de “Agropecuaria Santa Genoveva”.

La siembra de las leguminosas fue realizada en el mes de abril durante la temporada de sequía. Las áreas destinadas a cada tratamiento se dejaron libres de arvenses los primeros 60 días después de la siembra (DDS), mediante chapeos o paso de rastra para facilitar el crecimiento de las leguminosas. Las leguminosas fueron sembradas en semillas próximas al pie de cada árbol y a lo largo del surco, próximo a la zona de goteo del sistema de riego. El área de cada tratamiento fue de 7.0×10.5m, conteniendo 12 árboles de teca (Figura 8).

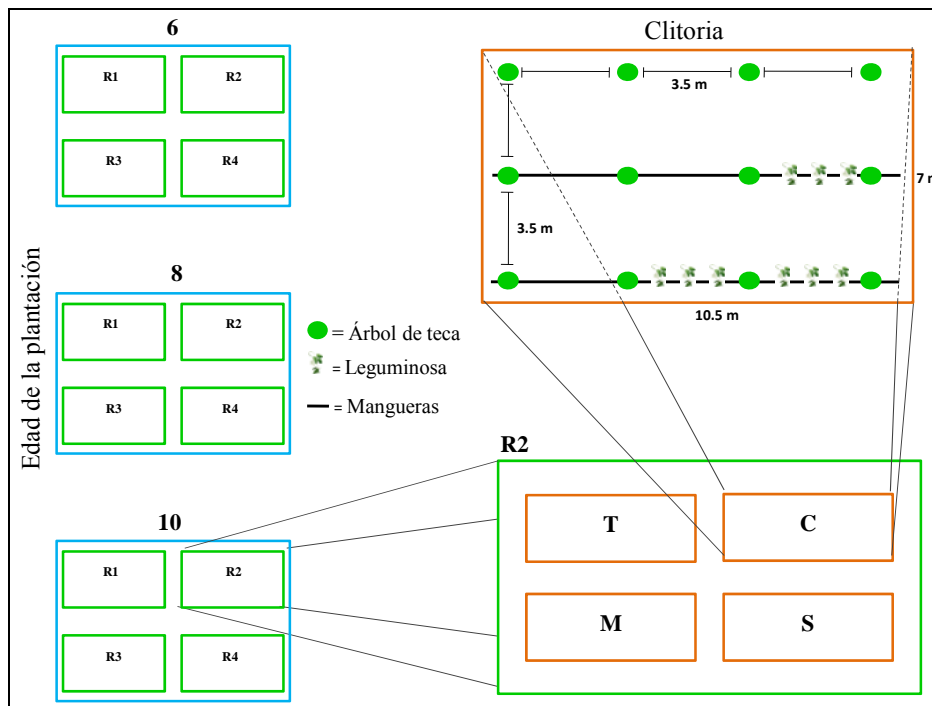


Figura 8. Diseño del experimento para la evaluación de leguminosas como cobertura viva en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México. R (Repetición); 6,8 y 10 (Edad en meses); T (Testigo), C (Clitoria), M (Mucuna), S (Soya).

Fue realizado un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba LSD Fisher, con un nivel de significancia  $p \leq 0.05$ . El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas en bloques determinados por edad de la plantación con leguminosas como parcelas principales y fechas de muestreo como sub – parcelas para determinar el comportamiento de las variables en el tiempo. En todos los casos fue verificado el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba Shapiro-Wilks modificado; homogeneidad de varianzas e independencia. El modelo estadístico para el análisis fue:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \delta_{ij} + b_k + p_{ik} + \epsilon_{ijk}; \quad i=1, \dots, 4; j=1, 2, 3 / 1, \dots, 7; k=1, 2, 3$$

donde:

$y_{ijk}$  = respuesta observada en el k-ésimo bloque; i-ésimo nivel del factor principal y j-ésimo nivel del factor asociado a la sub-parcela

$\mu$  = media general

$\tau_i$  = efecto de la leguminosa

$\beta_j$  = efecto de la fecha de muestreo

$\delta_{ij}$  = efecto de la interacción del tipo de leguminosa y la fecha

$b_k$  = efecto aleatorio de los bloques supuestamente distribuido  $\sim N(0, \sigma_b^2)$

$p_{ik}$  = efecto aleatorio dentro de cada bloque supuestamente distribuido  $\sim N(0, \sigma_p^2)$

$\varepsilon_{ijk}$  = término de error independiente supuestamente distribuido  $\sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$

Fueron utilizados Modelos Lineales Mixtos para contemplar heterogeneidad de varianzas en algunos casos, cuando no se cumplió el supuesto de homocedasticidad. Se utilizó la función de varianza *Identidad* ( $var(e_{ij}) = \sigma^2 \delta_{si}^2$ ), con la que se ajustó una varianza distinta para cada tipo de leguminosa; el modelo estadístico para estos casos fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \delta_{ij} + b_k + p_{ik} + \varepsilon_{ijk}; \quad i=1, \dots, 4; j=1, 2, 3 / 1, \dots, 7; k=1, 2, 3$$

Donde:

$y_{ijk}$  = respuesta observada en el k-ésimo bloque; i-ésimo nivel del factor principal y j-ésimo nivel del factor asociado a la sub-parcela

$\mu$  = media general

$\tau_i$  = efecto de la leguminosa

$\beta_j$  = efecto de la fecha de muestreo

$\delta_{ij}$  = efecto de la interacción del tipo de leguminosa y la fecha

$\varepsilon_i$  = error experimental  $\sim N(0, \sigma_{leg}^2)$

$\varepsilon_{ijk}$  = error experimental  $\sim N(0, \sigma^2)$

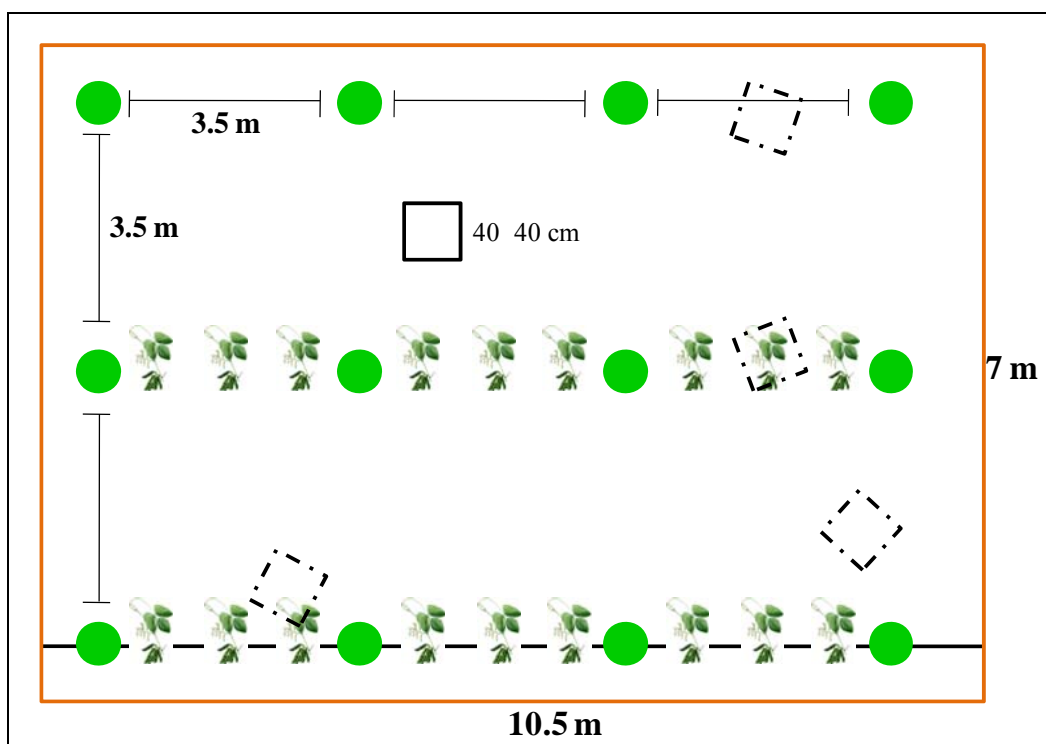
Como criterio de selección del modelo más adecuado en los casos requeridos, fueron usados los criterios de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC). Para el análisis de datos fue utilizado el programa estadístico InfoStat Profesional versión 2008 ([Grupo InfoStat 2008](#)).

### 5.2.3.3 Variables de medición

#### 5.2.3.3.1 Cobertura y altura de las leguminosas

Para evaluar el establecimiento y desarrollo de las coberturas fueron utilizadas las variables porcentaje de cobertura de las leguminosas y altura de las coberturas de leguminosas. Los muestreos para la obtención del porcentaje de cobertura fueron a los 75, 90 y 150 días después de la siembra (DDS) y la toma fue realizada mediante calificación visual de cinco sub-muestras, en una escala de 0 a 100 % con un marco de aluminio de 40×40 cm, tomadas al azar en cada tratamiento (Figura 9). Para obtener la altura de la cobertura (cm) fueron tomadas mediciones con cinta métrica sobre cinco plantas a partir del cuello de la raíz hasta la base de

la última hoja desarrollada, metodología propuesta por Domínguez (1990). A partir de los 17 días después de la siembra se realizaron seis mediciones más a intervalos de 10 días. En la leguminosa mucuna se realizaron dos cortes para evitar que las guías se enredaran en los árboles de teca. Para el análisis de datos del porcentaje de cobertura fue utilizado un Modelo Lineal Mixto heterocedástico, debido que en el caso de mucuna los valores iban de 0 a 100. Después de la comparación de medias fueron eliminados los valores de las sub-muestras tomadas en la calle para evaluar el efecto de las coberturas sobre el crecimiento de los árboles de teca. En el caso de altura de leguminosas fueron eliminados los valores de 0 cm de altura solo en los casos en donde no hubo germinación.



*Figura 9. Toma de 5 sub-muestras al azar con marco de aluminio de 40×40cm para el muestreo del porcentaje de cobertura en plantaciones de teca menores de un año con fertirriego en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México.*

### **5.2.3.3.2 Características biológicas de las coberturas**

Se determinó la nodulación de cada leguminosa mediante el número de nódulos en las raíces de las plantas. Para ello fueron extraídas al azar diez plantas de cada especie con la raíz completa; las raíces fueron lavadas en campo y colocadas en cajas térmicas para trasladarlas al

laboratorio y realizar el conteo de los nódulos. El suelo fue humedecido previamente. Los nódulos fueron separados en nódulos efectivos (pocos, situados principalmente en la raíz primaria; voluminosos, con superficie lisa o rugosa; interior con coloración rojo o rosada por la leghemoglobina), y nódulos inefectivos (numerosos y repartidos en todo el sistema radicular, pequeños con superficie lisa y blancos) (Vincent 1973, Carrillo 2003). La mucuna estaba por comenzar la floración y la clitoria ya se encontraba en floración.

También se comparó la biomasa de cada leguminosa mediante la medición de su peso en fresco (PF). Fueron tomadas al azar diez plantas, cortadas a partir de la ramificación y pesadas en una balanza con capacidad de 5kg (tallos y hojas). Las muestras para ambas variables fueron tomadas en la última medición de cobertura a los 150 DDS. El análisis de datos fue realizado mediante un Modelo Lineal Mixto heterocedástico y respectiva comparación de medias ajustadas.

#### **5.2.3.3.3 *Crecimiento de árboles de teca***

Fueron medidas variables altura (H) y diámetro basal (DB) de los árboles de teca en cada tratamiento (leguminosa) para estimar incremento de crecimiento en cada una de estas variables. Se realizaron dos mediciones, la primera al momento de establecer las coberturas en el mes de abril y la segunda seis meses después. Para la altura fue utilizada una barra estadimétrica de 15m. El incremento en altura y diámetro basal fue estimado sacando la diferencia de la segunda medición respecto de la primera.

La comparación de medias fue realizada mediante una prueba LSD Fisher con nivel de significancia  $p \leq 0.05$ , fue contemplado el efecto de la primera medición de la altura ( $1^{\text{a}}\text{H}$ ) y del diámetro basal ( $1^{\text{a}}\text{DB}$ ), como covariable y determinar su efecto sobre el incremento.

### **5.3 Resultados y discusión**

#### **5.3.1 *Cobertura y altura de las leguminosas***

##### **5.3.1.1 *Cobertura de leguminosas***

La leguminosa Mucuna tuvo el mayor porcentaje de cobertura en el suelo con un promedio de 23%. Sin embargo en algunos de los cuadros de muestreo se obtuvieron porcentajes de hasta 100% en la línea en donde están las cintas de riego. Considerando



solamente los cuadros sobre estas líneas, se obtuvo un promedio de 42%. La clitoria tuvo un porcentaje promedio de 0.5, con un rango de 0 a 18% y la soya forrajera con un promedio de 1.3% y un rango de 0 a 40%. No hay diferencias entre Soya y clitoria y ambas difieren significativamente de Mucuna, obtenido mediante comparación de medias LSD Fisher y nivel de significancia  $p=0.05$ . Este comportamiento fue sostenido en las tres fechas de muestreo (Figura 10).

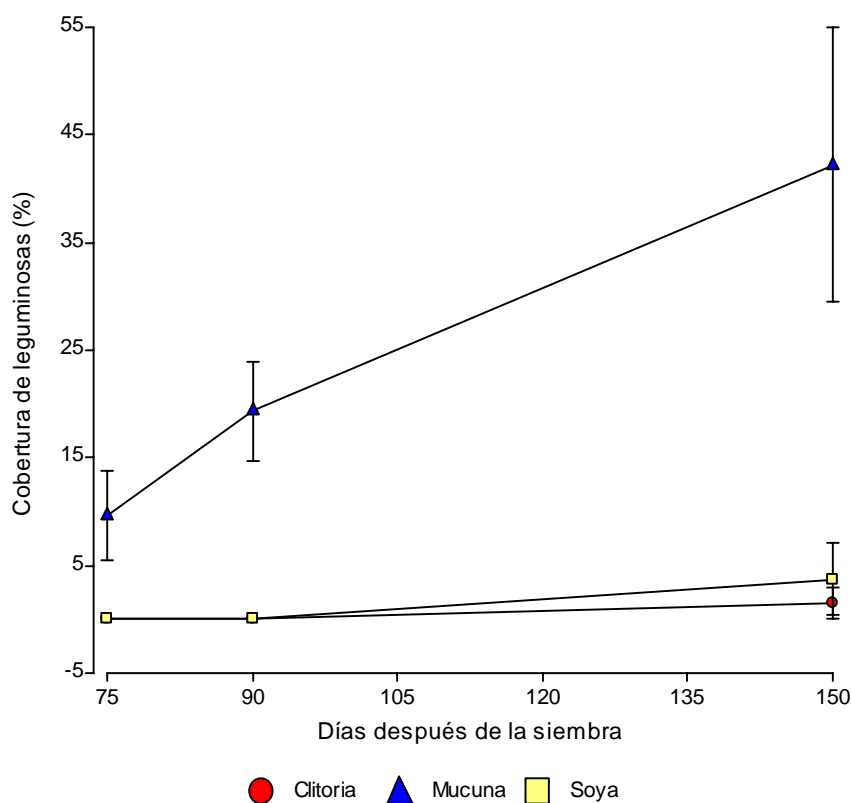


Figura 10. Comportamiento del porcentaje de cobertura promedio de las leguminosas en el tiempo en plantaciones de teca menores a un año bajo fertirriego en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México.

La Mucuna es una leguminosa que ha mostrado el mejor desarrollo en plantaciones de plátano (Sánchez 1993) y pejibaye (Domínguez 1990). Los valores alcanzados en estos estudios alcanzaron el 100% de la cobertura del suelo, en el caso del plátano incluso desde los 30 DDS, y del pejibaye con promedio de 80% a los 150 DDS, ambos estudios fueron realizados en lugares donde la precipitación mínima anual es 1800 mm. El comportamiento que tuvo la soya con muy poca cobertura en el suelo quizás se deba a que esta especie crece con lentitud en los periodos secos Skerman *et al* (1991). También Negrín *et al* (2007),

reportaron que de las leguminosas probadas para el control de arvenses en plantaciones de guayaba, esta especie fue la que tuvo menor control debido a la menor producción de biomasa. La clitoria por otro lado; aunque es bastante tolerante a la sequía, crece rápidamente con tiempo cálido y húmedo y además produce cubierta densa entre 4 y 6 meses después de la siembra.

El fertirriego auxilió muy poco a estas leguminosas, ya que los intervalos de 3 días entre riegos fueron muy prolongados para abastecerlas de suficiente agua. Sin embargo no se puede adjudicar completamente el bajo porcentaje de cobertura al fertirriego, ya que el último muestreo fue tomado a los cinco meses y no se pudo observar, en el caso de clitoria, si efectivamente a los seis meses desarrollaba más guías y por lo tanto cobertura al suelo; la soya por otra parte tarda en iniciarse, según lo descrito por [Skerman et al \(1991\)](#). La excepción fue mucuna, la cual fue más eficiente al aprovechar mejor la poca humedad facilitada por el fertirriego, aunque este no fue suficiente como para obtener porcentajes de cobertura como los reportados por [Sánchez \(1993\)](#) y [Domínguez \(1990\)](#).

#### **5.3.1.2 Altura de leguminosas**

En la última fecha de muestreo, las leguminosas mucuna y clitoria presentaron las mayores alturas de planta (39.2cm y 35.3cm, respectivamente), las cuales no difieren significativamente entre ellas y sí ambas son diferentes a soya (14.1 cm) (Figura 11). Por otro lado soya y clitoria no tienen diferencias significativas hasta la cuarta fecha de muestreo, mientras que mucuna si es diferente de las dos especies desde la primera fecha de muestreo, por lo que parece que mucuna tuvo un crecimiento más rápido en altura en las primeras mediciones.

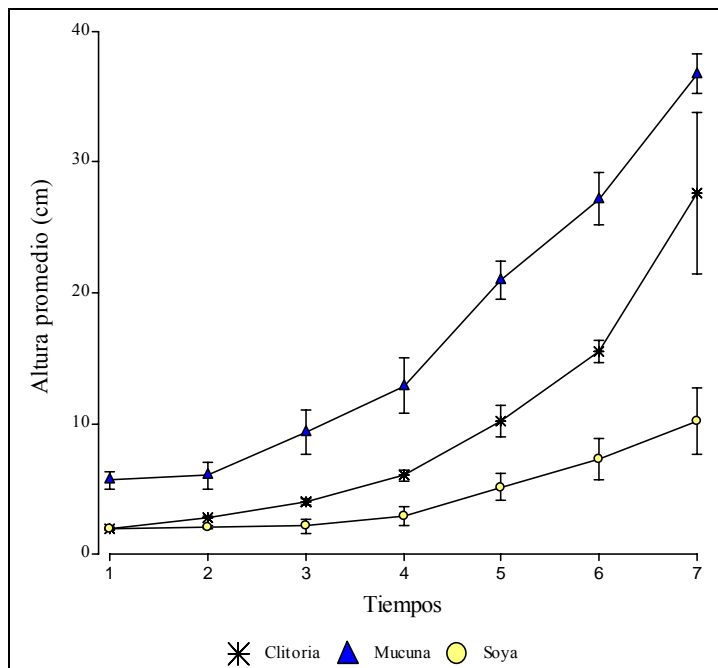


Figura 11. Comportamiento en altura promedio de las leguminosas a partir de la primera medición a los 17 DDS (1) hasta los 67 DDS (7), con un intervalo de 10 días entre mediciones. Las mediciones fueron tomadas en plantaciones de teca menores de un año en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México.

En el último muestreo (150 DDS), la altura de mucuna fue menor debido quizás a que la planta comenzó a extenderse alcanzando de esta forma una cobertura del suelo más rápida y mayor. Resultados similares fueron obtenidos evaluando la adaptación de leguminosas en plantaciones de plátano [Sánchez \(1993\)](#), donde mucuna fue una de las especies que superaron en altura al resto de leguminosas erectas y a partir de los 120 DDS comenzó a declinar este crecimiento en altura. [Domínguez \(1990\)](#) encontró a mucuna dentro de las especies con mejor adaptación al sitio en plantaciones de cacao, siendo una de las especies que mostró mejor cobertura a través del tiempo (80% a los 150 DDS), y fue la más agresiva. Mucuna al presentar estas características tiene la capacidad de competir exitosamente con las arvenses al desplazarlas.

### 5.3.2 Características biológicas de las leguminosas

#### 5.3.2.1 Nodulación de raíces y peso fresco del follaje

Se presentó nodulación en las tres leguminosas probadas. En soya y clitoria solo se presentaron nódulos blancos y, la nodulación efectiva solo estuvo presente en mucuna. La mayor cantidad de nódulos blancos fue encontrada en soya con un total de 109 nódulos y una media de 0.65, seguida de clitoria con un total de 36 y un promedio 0.3 y finalmente mucuna que tuvo la menor cantidad con un total de 11 y un promedio de 0.09 nódulos. Solo existen diferencias significativas entre la soya y la mucuna ( $p=<0.05$ ) (Figura 12). El total de nódulos efectivos en mucuna fue de 487 y un promedio de 4.06 en las 120 plantas (30 por repetición), a los 150 DDS. El total de nódulos y promedio fue obtenido de 120 plantas para cada especie.

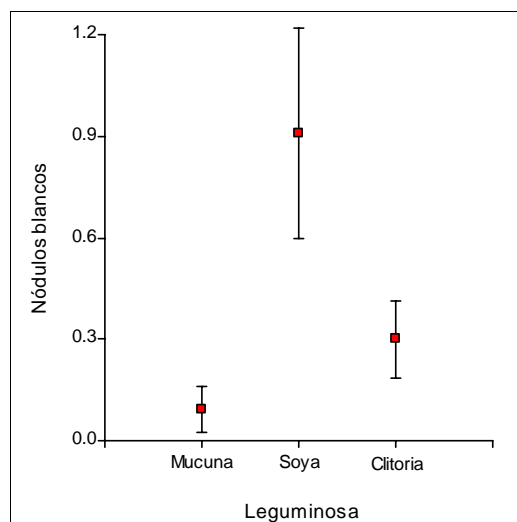


Figura 12. Comparación del promedio de número de nódulos blancos de cada leguminosa, tomadas a los 150 días después de la siembra (DDS) en 30 plantas extraídas al azar en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México.

La capacidad de fijación efectiva de mucuna quizás se deba a que no es específica en sus necesidades de *Rhizobium* Skerman *et al* (1991), es decir, es capaz de establecer una relación simbiótica con rizobios de diferentes géneros, o tal vez podría estar relacionada con la cantidad de biomasa producida por área tal como se menciona en el Congreso Nacional Agronómico X (1996). Aunque cabe destacar que el promedio fue muy bajo en comparación con los promedios obtenidos por Sanginga *et al* (1996), donde el promedio mínimo en una zona fue de 19 nódulos.

La soya presentó la mayor cantidad de nódulos blancos y no tuvo nodulación efectiva. Sin embargo tomando en cuenta que la nodulación está indicada por un crecimiento vigoroso de la propia planta (Skerman *et al* 1991), el bajo porcentaje de cobertura del suelo y altura que presentó esta especie podría explicar esta baja nodulación y quizás una vez establecida podría presentar nódulos efectivos. En lo que respecta a Clitoria, el hecho de que la presencia de nódulos blancos fue baja podría deberse a que es ligeramente específica en sus necesidades de *Rhizobium*, como indica Skerman *et al* (1991).

Además de las características que tiene cada especie respecto a la nodulación, podría considerarse también algún efecto del fertirriego. La nodulación es reducida significativamente por la fertilización de nitrógeno (Sanginga *et al* 1996), debido a que la infección de los pelos de la raíz se ve inhibida por una elevada proporción de nitrato (Skerman *et al* 1991). Por otro lado las leguminosas son intolerantes a la deficiencia o exceso de agua y esto se debe principalmente a la ultra sensibilidad de la simbiosis al estrés hídrico (Sprent 1984); en suelos secos la infección es restringida por la ausencia de pelos radicales normales, debido a que en su lugar aparecen pelos radicales cortos y gruesos, los cuales son inadecuados para la infección del rizobio (Lie 1981). El presente estudio pudo bien provocar ambas condiciones, ya que por un lado las dosis de fertilizantes aplicadas están destinadas para los árboles y no para las leguminosas, por lo que las cantidades pudieron ser muy altas para estas últimas. Y por el otro lado el estrés hídrico pudo ser provocado por las aplicaciones abundantes en unas horas, seguido de al menos dos días sin riego.

### 5.3.2.2 Peso fresco del follaje

En el presente estudio solo fue tomado el peso fresco del follaje y se puede observar que mucuna presentó la mayor cantidad de peso fresco (2767.54), valor que difiere significativamente ( $p=0.0002$ ) de la clitoria (156.68) y soya (122.82) (Figura 13).

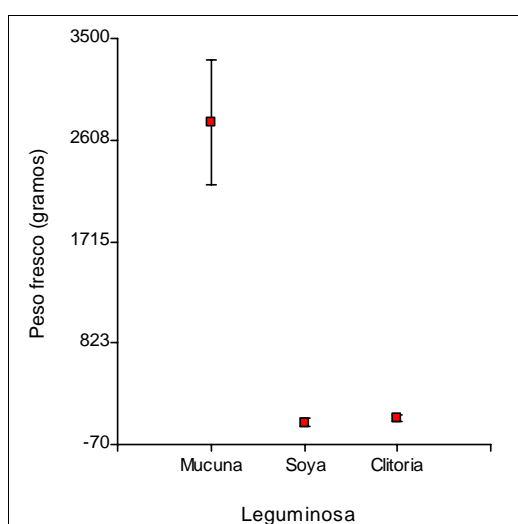


Figura 13. Peso fresco medio del follaje de 10 plantas tomadas al azar de mucuna, clitoria y soya, obtenido a los 150 días después de la siembra en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México.

### 5.3.3 Crecimiento de árboles de teca

#### 5.3.3.1 Incremento del diámetro basal y altura total

El incremento promedio en diámetro basal (DB) de los árboles de teca fue de 1.71 cm, incremento obtenido de la primera medición en el mes de abril a la medición realizada seis meses después. Los árboles que quedaron dentro de la leguminosa mucuna tuvieron un incremento promedio de 1.66 cm en seis meses, los delimitados por soya, clitoria y el testigo fueron 1.70, 1.73 y 1.77 cm, respectivamente. Debido a que solo mucuna desarrolló lo suficiente y abundantemente en la proximidad de la base de los árboles de teca, se hizo una correlación del porcentaje de cobertura de mucuna que se encontraba sobre las líneas de riego, próximas a los árboles. De dicha correlación no se obtuvo un efecto de esta especie sobre el incremento en DB ( $p=0.36$ ).

En altura el incremento promedio de los árboles de teca fue de 3.18m. El incremento promedio de los árboles asignados a la mucuna fue de 3.31m, en soya fue de 3.22m, en clitoria

3.09m y en el testigo los fue de 3.10m. De la misma forma que con el diámetro basal, debido a que las plantas de mucuna desarrollaron mas y algunas alcanzaron a trepar los árboles, se realizó una correlación del porcentaje de cobertura de esta leguminosa con la altura y, no se obtuvo efecto sobre el incremento en altura ( $p=0.06$ ).

En estudios como los realizados en plantaciones de cacao (Domínguez 1990) y de plátano (Sánchez 1993), donde fue observada la adaptación de coberturas en plantaciones, las leguminosas con mejor desarrollo fueron también las más agresivas y las que requirieron en determinado momento de un manejo para regular su desarrollo. Considerando lo anterior era probable que mucuna al tener buen desarrollo, al mismo tiempo afectara el crecimiento de los árboles de teca, ya sea compitiendo por agua y nutrientes o solo suprimiendo el crecimiento al trepar en ellos. Por otro lado, probablemente el corto tiempo en el que se realizó este estudio es insuficiente para observar algún efecto de las leguminosas en el crecimiento. Un ejemplo para considerar esta posibilidad fue un estudio en el cual se evaluó el efecto de los árboles de *Leucaena leucocephala* intercalada en plantaciones de teca, en este se observó que el efecto de esta leguminosa fue evidente solo hasta 44 meses después del establecimiento de la plantación (Kumar *et al* 1998).

## 5.4 Conclusiones y recomendaciones

La única especie que mostró eficiencia en la utilización del fertirriego fue *Mucuna pruriens* var. *Utilis*, la cual mostró el mayor porcentaje de cobertura del suelo en las líneas donde se encuentran los árboles de teca, con mayor crecimiento en altura y nodulación efectiva. Por lo que podría ser establecida aún en temporada seca del año bajo este sistema de riego.

El establecimiento de leguminosas de cobertura en temporada de sequía no se recomienda para evaluar la adaptación de éstas, aún con el fertirriego, ya que se encontró que el intervalo de aplicación es insuficiente para estas especies. Además se recomienda en futuras investigaciones bajo estas condiciones, establecer el experimento al comienzo de temporada de lluvias con el fin de verificar si el comportamiento de las leguminosas fue debido a que durante su instalación la humedad facilitada con el fertirriego fue insuficiente.

Se requiere de un período mayor de tiempo para la evaluación del efecto de las leguminosas sobre el crecimiento de los árboles jóvenes de teca, medido en incrementos promedio de altura (ALT) y diámetro basal (DB).

Para observar si existe algún efecto de la leguminosa mucuna sobre el crecimiento en altura y diámetro de los árboles de teca podría extenderse el estudio al menos dos años consecutivos mas, además agregar la evaluación de la fertilidad del suelo al inicio y al final de dicho estudio.

## 5.5 Bibliografía

- AGSA (Agropecuaria Santa Genoveva S.A. de C.V, México). 2007. Registro diario de precipitación en AGSA a partir de 2004. Área de riego.
- Akobundu, I.O. 1982. Live mulch crop production in the tropics. *World crops* 34 (4): 125 – 145.
- Bautista, F., G. Palacio-Aponte, M. Ortiz Pérez, E. Batllori Sampedro y M. Castillo González, 2005. El origen y el manejo maya de las geoformas, suelos y aguas en la Península de Yucatán. *In:* F. Bautista y G. Palacio (Eds.) *Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282p. p. 21-32.
- Bautista, F.; Batllori S., E.; Palacio, G.; Ortiz P., M.; Castillo G., M. 2005. Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. *In:* F. Bautista y G. Palacio (Eds.), *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. 282p. p. 33 – 58.
- Breña, P.A. 2004. *Precipitación y Recursos Hidráulicos en México* (en línea). México, D.F. Universidad Autónoma Metropolitana. 316p. Consultado 17 ene 2007. Disponible en: <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/precipitacion/PRHM04-libro.pdf>
- Carrillo, L. 2003. *Microbiología Agrícola*, Trabajo No. 3: Fijación simbiótica de N<sub>2</sub> en leguminosas (en línea). *In:* Apéndice, guía de trabajos prácticos. p. 13 – 15. Consultado 5 feb 2008. Disponible en <http://www.unsa.edu.ar/matbib/micragri/micagriapendice.pdf>



- Cobbina, J.B.; Darko, O. y Anglaaere, L. *Sf. Legume Incorporation: LEGINC* (disco compacto). United Kingdom Department for International Development (DFID). University of Wales, Bangor.
- Congreso Nacional Agronómico y de Recursos Naturales (10), Congreso Nacional de Fitopatología (3), Congreso Nacional de Suelos (2, 1996, San José, CR). 1996. ¿Puede la agricultura sostenible ser competitiva? Fijación simbiótica atmosférica bajo condiciones de campo de la *Mucuna* sp. y del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Veracruz de Pérez Zeledón, Costa Rica. Eds. Vásquez, W.; Ugalde Arias, L.; Campos, J.J.; Herrera, B.E.; Alvarado, A. Bertsch, F.; Badilla, W.; Bornemisza, E. San José, CR, EUNED/EUNA. v.3, 105 p.
- Domínguez Valenzuela, J.A. 1990. Leguminosas de cobertura en cacao *Theobroma cacao* L. y pejíbaye *Bactris gasipae* H. B. K. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 85p.
- Evans, J. 1982. Plantation forestry in the tropics. Oxford, United States. Clarendon Press. 472p.
- Flores, B.M.; Alemán, R.; Solomon, T. y Zepeda, R. 1995. La Utilización de Leguminosas de Cobertura en Plantaciones Perennes: basado en las experiencias de la plantación de palma en San Alejo. 2 ed. Tegucigalpa, Honduras. 7 p. (Noticias Sobre Cultivos de Cobertura No. 7).
- Grupo InfoStat. 2008. Modelos Mixtos en Insfostat. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, 127p.
- Hernández M., T.M.; Galvis S., A. y Galván R., G. 2005. Manejo Integral de la Nutrición de los Cultivos de la Empresa Agropecuaria Santa Genoveva, S.A. de C.V. Informe. 87p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México). 1990. Atlas Nacional del Medio Físico: Guías para la interpretación de cartografía geológica. México. Esc. 1:4.000.000. Color.
- Kumar, B.M; Kumar, S.S. y Fisher, R.F. 1998. Intercropping teak with *Leucaena* increases tree growth and modifies soil characteristics. *Agroforestry Systems* 42(1): 81-89.
- Lie, T.A. 1981. Environmental Physiology of the legume-*Rhizobium* symbiosis. *In: Nitrogen Fixation*. Broughton, W.J. (ed.). Clarendon Press, Oxford. Vol.1: Ecology. p. 104 – 134.
- Maghembe, J.A.; Kaoneka, A.R.S. y Lulandala, L.L.L. 1986. Intercropping, Weeding and Spacing Effects on Growth and Nutrient Content in *Leucaena leucocephala* at Morogoro, Tanzania. *Forest Ecology and Management* no. 16: 269 – 279.
- Negrín, B.A.; Pérez, R.; Mazorra, C. y Gutiérrez, I. 2007. Control de especies arvenses en plantaciones de guayaba (*Psidium guajava*) mediante el uso de coberturas vivas de leguminosas. *Avances en Investigación Agropecuaria (México)* 11(2): 57 – 69

- Sanchez J., H.R. 1993. Comportamiento de leguminosas de cobertura en establecimiento de plátano (*Musa* AAB grupo, subgrupo plátano, c.v. Curraré). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 72p.
- Sanginga, N.; Ibewiro, B.; Houngnandan, P.; Vanlauwe, B.; Okogun, J.A.; Akobundu, I.O. y Versteeg, M. 1996. Evaluation of symbiotic properties and nitrogen contribution of mucuna to maize grown in the derived savanna of West Africa Plant and soil 179(1):119-129.
- Skerman, P.J.; Cameron, D.G. y Riveros, F. 1991. Leguminosas forrajeras tropicales. Roma, Italia. (Colección FAO Producción y Protección Vegetal No. 2.)
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional, México). 2007. Mapa de precipitación del estado de Campeche (en línea). México. Comisión nacional del Agua (CONAGUA). Consultado 19 dic 2007. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/precipitacion/lluv-media-a.html>
- Sprent, J.I. 1984. Effects of drought and salinity on heterotrophic nitrogen fixing bacteria and on infection of legumes by rhizobia. *In*: Advances in Nitrogen Fixation Research. Veeger, C. y Newton, W.E. (eds). p. 295 – 302.
- Vincent, J.M. 1973. Manual práctico de rizobiología. Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur. 200p.
- Wadsworth, F.H. 2000. Producción Forestal para América Tropical. Washington, DC. Servicio forestal, USDA. 603 p. (Manual de agricultura 710. IUFRO-SPDC Textbook Project No.3).

## **ANEXOS**

*Anexo 1. Niveles de suficiencia de elementos en el suelo para diversos cultivos agrícolas. Tomados de la “Guía de interpretación de análisis de suelos”, Análisis Técnicos S.A. de C.V., en Pachuca, Hidalgo y Etchevers y Padilla (2007).*

Elemento en el suelo	mg · kg <sup>-1</sup>		
	Bajo	Medio	Alto
Contenido de N - NO <sub>3</sub>	0 - 99	100 - 199	200 - 299
Fósforo Bray P1	5 - 20	21 - 30	26 - 35
Zinc <sup>b</sup>	-	> 1	-
Cobre <sup>b</sup>	-	> 0.6	-
Manganeso <sup>b</sup>	-	1.5	-
Potasio extractable	0 - 159	150 - 249	250 - 349
Magnesio extractable	0 - 69	> 70	-
Calcio extractable	0 - 199	1000	-
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	-	10 <sup>c</sup>	-
Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE <sub>ES</sub> )	0 - 2	2 - 4 <sup>d</sup>	> 4

a Interpretación sugerida para condiciones de producción en invernadero (Etchevers y Padilla 2007)

b Por el método de extracción DPTA

c Valores superiores causan toxicidad

d Disminución del rendimiento en cultivos muy sensibles (Etchevers y Padilla 2007)

Anexo 2. Concentraciones foliares de minerales (% o mg kg<sup>-1</sup>) en hojas de *Tectona grandis* L.f. Tomado de *Drechsel y Zech (1991)*.

Mineral	Edad teca	Síntomas deficiencia	Bajo	Medio	
%	N	2	0.79	1.05	
		5	< 1.20	-	1.60 - 2.49
		6	-	1.45	2.78
	S	2	0.08	0.11	-
		6	0.05	-	0.10
	P	2	0.13	-	-
		5	< 0.10	-	> 0.12
		6	-	0.145	0.23
	K	5	-	0.53 - 0.87	1.54 - 2.43
		6	-	-	1.23 - 1.98
	Ca	5 <sup>a</sup>	< 0.55	-	> 0.80
		6	-	-	0.75 - 1.35
Mg	2, 5	-	-	0.21 - 0.31	
	6	-	-	0.33 - 0.37	
mg kg <sup>-1</sup>	Fe	5	-	75 - 390	
		2, 6	-	58 - 79	
	Mn	5 <sup>a</sup>	< 30	-	> 50
2		-	24	-	
Zn	1.5, 6	-	-	48 - 114	
	2, 6, 23, 28	-	11	16 - 25	
	5	-	13 - 19	23 - 62	
Cu	2, 6, 23, 28	-	-	7 - 12	
	1.5, 5, sem.	-	-	10 - 25	
B	2, 5 - 7	-	-	19 - 63	
	6	-	-	15 - 17	

<sup>a</sup> Hojas jóvenes (no completamente desarrolladas)

*Anexo 3. Rangos obtenidos de las 53 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) muestra, en Agropecuaria Santa Genoveva, Campeche, México. Laboratorio Análisis Técnicos, S.A de C.V.*

Profundidad (cm)	Características físicas (%)						Reacción del suelo		
	Arena	Arcilla	Limo	PS	CC	PMP	pH agua	pH CaCl	CE (dS/m)
0 - 20	20 - 55	34 - 68	9 - 42	33 - 63	24 - 47	17 - 28	6 - 8.3	5.5 - 7.8	0.27 - 0.8
20 - 40	9 - 47	38 - 83	2 - 25	33 - 71	24 - 53	17 - 31	5.7 - 8.1	5.2 - 7.7	0.18 - 1.2
40 - 60	7 - 45	38 - 83	1 - 27	32 - 70	24 - 52	17 - 31	0.6 - 8.3	5.2 - 7.8	0.16 - 1.5

% = Porcentaje; dS/m = deciSiemens por metro; PS = Puntode saturación; CC = Capacidad de campo; PMP = Punto de marchitez permanente; CE = Conductividad eléctrica

*Anexo 4. Rangos obtenidos de las 53 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) muestra en Agropecuaria Santa Genoveva en Campeche, México. Laboratorio Análisis Técnicos, S.A de C.V.*

Profundidad (cm)	Fertilidad (mg Kg <sup>-1</sup> )						
	MO (%)	Nitratos N-NO <sub>3</sub>	Fósforo (Olsen)	Fósforo (Bray)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)
0 - 20	1.1 - 10.4	1.2 - 65	0 - 15	0 - 16	74 - 1300	1032 - 8413	19 - 806
20 - 40	0.6 - 9.1	1.1 - 57	0 - 9	0 - 5.8	47 - 1384	545 - 11,568	45 - 745
40 - 60	0.1 - 9.6	0.7 - 80	0 - 8	0 - 3	42 - 561	703 - 10,079	16 - 807

mg Kg<sup>1</sup> = miligramo por kilogramo; MO = Materia orgánica

*Anexo 5. Rangos obtenidos de las 53 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) muestra en Agropecuaria Santa Genoveva en Campeche, México. Laboratorio Análisis Técnicos, S.A de C.V. Continuación "Fertilidad".*

Profundidad (cm)	Fertilidad (mg Kg <sup>-1</sup> )					
	Sodio (Na)	Fierro (Fe)	Zinc (Zn)	Manganeso (Mn)	Cobre (Cu)	Boro (B)
0 - 20	0- 67	1.3 - 45	0.02 - 6.3	3 - 106	0.46 - 3.16	0.5 - 3.5
20 - 40	1 - 96	1.9 - 235	0 - 1.4	4.3 - 75	0.73 - 10.4	0.4 - 2.6
40 - 60	0 - 109	2.0 - 37	0.01 - 9.0	4 - 51	0.18 - 1.28	0.3 - 4.6

mg Kg<sup>1</sup> = miligramo por kilogramo; MO = Materia orgánica

Anexo 6. Rangos obtenidos de las 53 parcelas permanentes de monitoreo (PPM) muestra en Agropecuaria Santa Genoveva en Campeche, México. Laboratorio Análisis Técnicos, S.A de C.V.

Bases de cambio (meq/100gr)				
Calcio (Ca++)	Magnesio (Mg+)	Potasio (K+)	Sodio (Na+)	CIC
6.2 - 85.6	0.16 - 19.5	0.01 - 7.86	0 - 0.39	7.5 - 45.8
2.7 - 78.9	0.38 - 12.4	0.12 - 6.83	0 - 1.73	3.9 - 60.4
3.5 - 50.4	0.13 - 6.7	0.11 - 1.44	0 - 3	4.3 - 53.8

Anexo 7. Correlaciones entre variables de suelo y variables de crecimiento y productividad a la primera profundidad (0-20cm).

Variable regresora	IS OCT (m)		IMA DAP (cm/año)		IMA ALT (m/año)		IMA VOL (m <sup>3</sup> /Ha/año)		IMA AB (m <sup>2</sup> /Ha/año)		IMA Hdom (m/año)		VT (m <sup>3</sup> /Ha)		AB (m <sup>2</sup> /Ha)	
	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p	R <sup>2</sup>	p
Arena%_1	-0.06	0.66	-0.05	0.73	-0.06	0.65	0.04	0.79	0.04	0.77	-0.09	0.53	0.06	0.69	0.06	0.68
Arcilla%_1	0.09	0.54	0.06	0.67	0.05	0.71	-0.01	0.96	-0.03	0.84	0.09	0.51	-0.01	0.93	-0.03	0.85
Limo%_1	-0.29	0.03	-0.26	0.06	-0.29	0.04	-0.3	0.03	-0.27	0.05	-0.27	0.05	-0.3	0.03	-0.28	0.05
Punto sat%_1	0.28	0.05	0.28	0.04	0.26	0.06	0.17	0.22	0.19	0.18	0.3	0.03	0.13	0.35	0.15	0.28
Cap. Campo_1	0.28	0.05	0.28	0.04	0.26	0.06	0.17	0.22	0.19	0.18	0.3	0.03	0.13	0.35	0.15	0.28
P. M. Permanente	0.28	0.05	0.28	0.04	0.26	0.06	0.17	0.22	0.19	0.18	0.3	0.03	0.13	0.35	0.15	0.28
pH agua_1	0.13	0.34	0.08	0.57	0.1	0.46	0.14	0.32	0.12	0.38	0.06	0.69	0.15	0.29	0.15	0.3
PH CaCl_1	-0.07	0.6	-0.08	0.55	-0.06	0.67	-0.07	0.6	-0.05	0.75	-0.1	0.5	-0.08	0.56	-0.06	0.69
CE_1	-0.38	0.01	-0.3	0.03	-0.31	0.02	-0.44	1.10E-03	-0.36	0.01	-0.27	0.05	-0.47	4.10E-04	-0.43	1.30E-03
MO_1	-0.02	0.91	0.01	0.96	-0.05	0.7	-0.1	0.49	-0.08	0.56	-0.06	0.67	-0.05	0.7	-0.04	0.76
N-NO3_ppm_1	-0.46	5.20E-04	-0.35	0.01	-0.42	1.80E-03	-0.51	1.10E-04	-0.46	5.80E-04	-0.37	0.01	-0.53	4.20E-05	-0.51	8.10E-05
P-Olsen_ppm_1	0.16	0.24	0.27	0.05	0.25	0.07	0.16	0.25	0.19	0.17	0.27	0.05	0.07	0.63	0.07	0.6
P-Bray_ppm_1	0.22	0.11	0.32	0.02	0.32	0.02	0.15	0.28	0.2	0.15	0.35	0.01	0.01	0.92	0.04	0.75
K_ppm_1	-0.09	0.54	-0.11	0.43	-0.1	0.5	-0.12	0.38	-0.11	0.44	-0.09	0.51	-0.13	0.35	-0.14	0.33
Ca_ppm_1	-0.21	0.13	-0.24	0.08	-0.19	0.16	-0.13	0.35	-0.08	0.59	-0.21	0.13	-0.12	0.41	-0.08	0.56
Mg_ppm_1	-0.05	0.7	-0.16	0.24	-0.14	0.31	-0.13	0.36	-0.15	0.28	-0.16	0.25	-0.04	0.79	-0.07	0.63
Na_ppm_1	0.14	0.33	0.08	0.57	0.06	0.68	0.11	0.43	0.08	0.57	0.03	0.83	0.18	0.2	0.17	0.21
Fe_ppm_1	0.09	0.5	0.19	0.17	0.18	0.2	0.05	0.7	0.13	0.37	0.21	0.13	-0.03	0.81	0.01	0.96
Zn_ppm1	0.06	0.68	0.03	0.85	-0.01	0.97	-0.06	0.66	-0.06	0.7	0.04	0.8	-0.11	0.44	-0.1	0.49
Mn_ppm1	0.17	0.22	0.11	0.44	0.12	0.41	0.2	0.16	0.15	0.29	0.11	0.44	0.24	0.08	0.22	0.12
Cu_ppm1	-0.26	0.07	-0.36	0.01	-0.35	0.01	-0.31	0.03	-0.36	0.01	-0.31	0.03	-0.23	0.09	-0.27	0.05
B_ppm_1	0.02	0.9	0.07	0.6	0.01	0.94	-0.06	0.68	-0.01	0.96	0.1	0.5	-0.14	0.32	-0.1	0.48
Ca/Mg_meq/l_1	-0.13	0.36	-0.03	0.84	-0.01	0.95	-0.02	0.88	0.09	0.54	-0.01	0.96	-0.11	0.44	-0.03	0.86
Mg/K_1	-0.03	0.84	0.1	0.49	-1.10E-03	0.99	-0.1	0.46	-0.11	0.45	1.10E-03	0.99	-0.11	0.41	-0.12	0.37
Ca+Mg/K_1	0.1	0.48	0.1	0.49	0.11	0.46	0.12	0.38	0.13	0.35	0.06	0.69	0.16	0.26	0.17	0.22
Ca/K_1	-0.22	0.11	-0.29	0.04	-0.24	0.08	-0.19	0.18	-0.2	0.16	-0.24	0.08	-0.16	0.26	-0.16	0.25
Ca++ meq/100 gr_1	-0.16	0.26	-0.24	0.08	-0.18	0.19	-0.08	0.56	-0.05	0.7	-0.24	0.09	-0.01	0.95	0.03	0.84
Mg+ meq/100 gr_1	-0.03	0.85	-0.15	0.28	-0.09	0.51	-0.03	0.81	-0.06	0.65	-0.15	0.27	0.07	0.62	0.06	0.67
K+ meq/100 gr_1	0.01	0.92	-0.06	0.67	-3.00E-03	0.98	0.04	0.78	0.02	0.91	-0.06	0.69	0.09	0.5	0.09	0.52
Na+ meq/100 gr_1	0.11	0.45	0.01	0.94	0.03	0.81	0.11	0.44	0.08	0.55	-0.02	0.87	0.2	0.15	0.21	0.14
CIC del suelo_1	-0.2	0.14	-0.25	0.07	-0.2	0.15	-0.14	0.31	-0.1	0.5	-0.22	0.12	-0.12	0.4	-0.09	0.52





*Anexo 10. Variables de suelo con significancia en los modelos para cada profundidad y variable de crecimiento y productividad.*

Variables explicativas	IS OCT (m)				IMA DAP (cm/año)				IMA ALT (m/año)						
	Relación	IC*	SC% **	p ***	Relación	IC*	SC% **	p ***	Relación	IC*	SC% **	p ***			
CE_1	(-)	-7.69	-0.12	15.48541368	0.0435	(-)	-1.69	-0.44	32.0610687	0.0013	-	-	-	-	
N-NO3_ppm_1	(-)	-0.1	-0.01	18.85222382	0.0266	-	-	-	-	-	(-)	-0.03	-0.01	25.64469914	0.0002
P-Bray_ppm_1	(+)	0.09	0.44	33.92635103	0.0035	-	-	-	-	-	(+)	0.06	0.23	4.154727794	0.1078
P-Bray_ppm_1^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(-)	-0.02	-3.20E-03	14.61318052	0.0036
Cap. Campo_1	-	-	-	-	-	(+)	0.01	0.05	17.70992366	0.0144	-	-	-	-	-
Fe_ppm_1	-	-	-	-	-	(+)	0.01	0.04	26.87022901	0.003	(+)	0.01	0.04	12.03438395	0.0075
Cu_ppm1	-	-	-	-	-	(-)	-0.71	-0.26	49.61832061	0.0001	(-)	-0.55	-0.18	19.77077364	0.0008
Zn_ppm1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	0.06	0.34	23.63896848	0.0003
Mn_ppm1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-NO3_ppm_2	(-)	-0.13	-0.05	69.81203363	<0.0001	(-)	-0.03	-0.01	94.10569106	<0.0001	(-)	-0.03	-0.01	78.55670103	<0.0001
Cap. Campo_2	(+)	0.14	1.57	13.33711155	0.0553	(+)	-5.60E-05	0.04	16.8699187	0.0507	(+)	-3.10E-04	0.03	11.95876289	0.0545
Cap. Campo_2^2	(-)	-0.02	-9.40E-04	16.85085482	0.032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn_ppm_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	1.40E-03	0.01	19.17525773	0.0157
K_ppm_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arcilla%_3	(-)	-0.16	-0.02	21.41190198	0.0098	(-)	-0.03	-2.30E-03	14.34977578	0.0247	(-)	-0.03	-0.01	20.65404475	0.0048
Cap. Campo_3	(+)	0.1	0.3	47.58293049	0.0002	(+)	0.02	0.07	49.47683109	0.0001	(+)	0.02	0.06	44.06196213	0.0001
Ca_ppm_3	(-)	-1.20E-03	-4.20E-04	53.32555426	0.0001	-	-	-	-	-	(-)	-2.40E-04	-8.50E-05	41.99655766	0.0001
Cu_ppm_3	(-)	-5.89	-1.15	26.34605768	0.0045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-NO3_ppm_3	-	-	-	-	-	(-)	-0.02	-0.01	32.28699552	0.0011	(-)	-0.02	-3.50E-03	20.48192771	0.0049
CIC_del_suelo_actual	-	-	-	-	-	(-)	-0.04	-0.01	31.98804185	0.0011	-	-	-	-	-

\* IC = Intervalo de Confianza  
 \*\* SC = Suma de Cuadrados (porcentaje)  
 \*\*\* p = Probabilidad

*Anexo 11. Variables de suelo con significancia en los modelos para cada profundidad y variable de crecimiento y productividad. Continuación...*

Variables explicativas	IMA VOL (m <sup>3</sup> /Ha/año)				IMA AB (m <sup>2</sup> /Ha/año)				IMA Hdcm (m/año)						
	Relación	IC*	SC% **	p ***	Relación	IC*	SC% **	p ***	Relación	IC*	SC% **	p ***			
CE_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
N-NO3_ppm_1	(-)	-0.25	-0.1	42.99704361	<0.0001	(-)	-0.03	-0.01	46.68435013	0.0015	(-)	-0.03	-0.01	40.03527337	0.0003
P-Bray_ppm_1	(+)	0.22	1.78	5.972838137	0.1002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P-Bray_ppm_1^2	(-)	-0.11	-3.10E-03	9.599039172	0.0389	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cap. Campo_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	2.30E-03	0.04	13.58024691	0.0285
Fe_ppm_1	-	-	-	-	-	(+)	3.90E-03	0.04	24.00530504	0.0195	(+)	0.01	0.03	25.57319224	0.0034
Cu_ppm1	(-)	-4.82	-1.09	8.100055432	0.0569	(-)	-0.72	-0.11	30.76923077	0.0086	(-)	-0.56	-0.13	27.33686067	0.0025
Zn_ppm1	(+)	0.04	2.49	14.19761641	0.013	-	-	-	-	-	(+)	0.02	0.25	13.9329806	0.0275
Mn_ppm1	(+)	0.01	0.09	19.13109756	0.0044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N-NO3_ppm_2	(-)	-0.21	-0.07	50.0746046	0.0004	(-)	-0.03	-0.01	39.86754967	0.0041	(-)	-0.03	-0.01	85	0.0002
Cap. Campo_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(+)	3.40E-03	0.04	29.44444444	0.0204
Cap. Campo_2^2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn_ppm_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K_ppm_2	(-)	-0.01	-2.30E-03	34.18979409	0.003	(-)	-1.80E-03	-4.10E-04	44.2384106	0.0026	-	-	-	-	-
Arcilla%_3	(-)	-0.33	-0.09	35.39685875	0.0011	(-)	-0.05	-0.01	37.4566474	0.0027	(-)	-0.04	-0.01	26.12903226	0.0015
Cap. Campo_3	(+)	0.17	0.53	44.42401639	0.0003	(+)	0.03	0.09	61.84971098	0.0002	(+)	0.03	0.06	50.96774194	<0.0001
Ca_ppm_3	(-)	-2.10E-03	-7.40E-04	51.93045123	0.0001	-	-	-	-	-	(-)	-2.50E-04	-9.60E-05	45.16129032	0.0001
Cu_ppm_3	(-)	-10.97	-2.54	30.57729684	0.0023	(-)	-1.74	-0.34	32.94797688	0.0046	-	-	-	-	-
N-NO3_ppm_3	-	-	-	-	-	(-)	-	-	-	-	(-)	-0.02	-2.20E-03	15.32258065	0.0128
CIC_del_suelo_actual	-	-	-	-	-	(-)	-0.05	-0.02	53.17919075	0.0004	-	-	-	-	-

\* IC = Intervalo de Confianza  
 \*\* SC = Suma de Cuadrados (porcentaje)  
 \*\*\* p = Probabilidad

