



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE CUATRO ESPECIES FORESTALES
EN FASES TEMPRANA DE CRECIMIENTO.

PEDRO PEREZ CAMACHO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO

2009

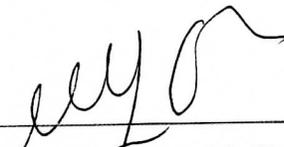
La presente tesis titulada FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE CUATRO ESPECIES FORESTALES EN FASES TEMPRANA DE CRECIMIENTO. Realizada por el estudiante: Pedro Pérez Camacho, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido a probada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRODUCCION AGROALIMENTARIA EN EL TROPICO

CONSEJO PARTICULAR:

CONSEJERO



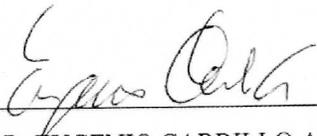
DR. JOSE JESUS OBRADOR OLAN

ASESOR:



DR. MEPIVOSETH CASTELAN ESTRADA

ASESOR:



DR. EUGENIO CARRILLO AVILA

ASESOR:



DR. ANGEL SOL SANCHEZ

H. Cárdenas, Tabasco 11 de Diciembre de 2009

DEDICATORIA

A nuestro DIOS:

Le daré siempre las gracias porque ha hecho posible alcanzar este logro en mi vida. Por la oportunidad de tener una maravillosa familia. Por tener una Madre ejemplar.

A mi Abuela (+) y mi Papá (+):

Por que aunque no están físicamente, recordaré toda la vida sus consejos y el apoyo inmenso que me brindaron.

A mí Querida Madrecita

Quien siempre ha creído en mí. Quien siempre me ha apoyado y por que en los momentos difíciles que he pasado siempre estas para apoyarme, este logro no lo lograría sin ti. Te quiero mucho “viejita linda”.

A la Lic. Juanita Patricia. Pereyra Susan

Quien siempre me ha brindado su apoyo, gracias.

A mis compañeros de generación, Por su amistad brindada, por todo lo vivido en esta fase de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por su apoyo otorgado para realizar mis estudios de maestría.

Al colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de estudiar la maestría y por superarme.

A todos los que laboran en el Laboratorio de Análisis Químico de plantas y agua (LASPA), por permitirme realizar mis análisis.

Al Dr. José Jesús Obrador Olán, por su amistad que me brindo, por su apoyo inmenso en la realización de esta tesis, por sus acertados consejos y enseñanza.

Al Dr. Mepivoseth Castelán Estrada, por el tiempo y dedicación invertido en este trabajo, por las revisiones hechas en este documento.

Al Dr. Eugenio Carrillo Ávila, por su aporte y participación en este trabajo.

Al Dr. Ángel Sol Sánchez, por su apoyo brindado en la realización de este trabajo.

Al Dr. Roberto Pacheco, por otorgarnos todas las facilidades de trabajar en su terreno, donde se estableció el experimento.

Al Dr. Wilder Camacho Chiu, por su amistad y apoyo brindado.

A todos los profesores del Colegio de Postgraduados por brindarme su amistad y por compartir conmigo sus enseñanzas.

A todos los que laboran en el Colegio de Postgraduados, muchas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. OBJETIVOS.....	3
2. HIPOTESIS	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. ESPECIES FORESTALES ESTUDIADAS	4
3.2. Cedro (<i>Cedrela odorata</i> L.)	8
4.Teca (<i>Tectona grandis</i> Linn. F.)	11
4.1. Plantaciones comerciales de teca	12
4.2. Condiciones Agroecológicas requeridas	13
4.3. Fertilización de la teca.....	13
4.4. Crecimiento	14
4.5. Melina (<i>Gmelina arborea</i> Roxb).....	15
4.6. Plantaciones comerciales de Melina	15
5. Impacto general del estudio.....	17
7. LITERATURA CITADA.....	19
CAPITULO 1. FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE CAOBA (<i>Swietenia macrophylla</i> King) Y CEDRO (<i>Cedrela odorata</i> L.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO.....	26

RESUMEN	26
ABSTRACT	27
INTRODUCCIÓN	28
MATERIALES Y MÉTODOS	31
Área de estudio	31
Selección de la Parcela y análisis preliminar del suelo	31
Establecimiento de la plantación experimental	32
Dosis de fertilización.....	32
Tratamientos	33
Diseño experimental.....	33
Variables evaluadas	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Propiedades fisicoquímicas del suelo	35
Caoba.....	36
Cedro	40
CONCLUSIONES	46
LITERATURA CITADA	47
CAPITULO II. FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE TECA (Tectona grandis linn.f.) Y MELINA (Gmelina arborea roxb.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO.....	54
RESUMEN	54

ABSTRACT	55
INTRODUCCIÓN	56
MATERIALES Y MÉTODOS	58
Área de estudio	58
Selección de la Parcela y análisis preliminar del suelo	58
Establecimiento de la plantación experimental	59
Dosis de fertilización.....	60
Tratamientos	60
Diseño experimental.....	61
Variables evaluadas.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
Propiedades fisicoquímicas del suelo.....	62
Teca	64
Melina.....	67
CONCLUSIONES	72
LITERATURA CITADA.....	72

LISTA DE CUADROS

Pàg.

Cuadro 1. Distribución del área original y área actual de bosques con caoba en América (la superficie se expresa en ha).....	5
Cuadro 2. Superficies plantadas con caoba a nivel nacional.....	6
Cuadro 3. Superficie plantada con <i>Cedreala odorata</i> L., a nivel nacional (1997-2004)	9
Cuadro 4. Superficies plantadas con teca a nivel mundial	12
Cuadro 5. Respuesta de plantaciones jóvenes de teca a la aplicación de fertilizantes en Panamá (Montero, 1995) (Crecimiento anual).	14
Cuadro 6. Estadísticas de Cultivos Georeferenciados de Melina en el Estado de Tabasco	16
Cuadro 7. Crecimiento de <i>Gmelina arborea</i> en algunos países de América Central.....	17
Cuadro 1.1. Dosis de fertilización probadas en el estudio nutrimental para caoba y cedro en suelos de sabana, en Tabasco.....	33
Cuadro 1.2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la parcela experimental. Rancho Las Acacias Huimanguillo, Tabasco. (Profundidad de 0-50 cm).....	35
Cuadro 1.3. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de la caoba en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante), en un suelo de sabana en Tabasco, México.....	44
Cuadro 1.4. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes del cedro en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante) en un suelo de sabana en Tabasco, México.....	44
Cuadro 2.1. Dosis de fertilización probadas en el estudio nutrimental para teca y melina en suelos de sabana, en Tabasco.	61

Cuadro 2.2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la parcela experimental. Rancho Las Acacias Huimanguillo, Tabasco. (Profundidad de 0-50 cm).	63
Cuadro 2.3. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de teca en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante), en un suelo de sabana en Tabasco, México.	70
Cuadro 2.4. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de melina en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante) en un suelo de sabana en Tabasco, México.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Relación altura-edad en plantaciones de Caoba en fase temprana de desarrollo, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	37
Figura 1.2. Relación diámetro-edad, en plantaciones de Caoba en fase temprana de desarrollo, en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.	38
Figura 1.3. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de caoba en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.....	39
Figura. 1.4. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de caoba en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.....	39
Figura 1.5. Relación altura-edad en plantaciones de cedro en fase temprana de desarrollo, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.....	40
Figura 1.6. Relación diámetro-edad en plantaciones de Cedro en fase temprana de desarrollo, en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.	41
Figura 1.7. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de cedro en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco, México.....	42

Figura 1.8. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de cedro en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco, México.	43
Figura 1.9. Demanda nutrimental NPK de la caoba con densidad de 1,111 árboles ha ⁻¹ , en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana, en Tabasco.	45
Figura 1.10. Demanda nutrimental NPK del cedro con densidad de 1,111 árboles ha ⁻¹ , en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco.	45
Figura 2.1. Relación altura-edad de plantas de teca, bajo diferentes tratamientos de fertilización.	64
Figura 2.2. Relación diámetro-edad de plantas de teca, bajo diferentes tratamientos de fertilización.....	65
Figura 2.3. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de teca en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.	66
Figura. 2.4. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de teca, en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.....	66
Figura. 2.5. Relación altura-edad de plantas de melina, bajo diferentes tratamientos de fertilización.....	67
Figura. 2.6. Relación diámetro-edad de plantas de melina, bajo diferentes tratamientos de fertilización.....	68
Figura 2.7. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de melina en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco, México.	69
Figura 2.8. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de melina en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco, México.	69
Figura 2.9. Demanda nutrimental N, P, K en teca (1111 árboles ha ⁻¹) en fase temprana de crecimiento.	71

Figura 2.10. Demanda nutrimental N, P, K en melina (1111 árboles ha⁻¹) en fase temprana de crecimiento.....71

INTRODUCCIÓN GENERAL

A nivel mundial las plantaciones forestales han crecido significativamente. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, 2002) el total de plantaciones forestales en el mundo aumentó de 17.8 millones de hectáreas en 1980, a 43.6 millones en 1990 y alcanzó 187 millones en 2000. El 62% de las plantaciones silvícolas del mundo se encuentran en Asia.

A pesar de su importancia económica y ecológica, no existe información cuantitativa sobre el crecimiento y desarrollo de las especies nativas de clima cálido en México; dicha información constituye una herramienta básica para la planeación y manejo de las plantaciones forestales (Gómez *et al.*, 2006).

México es un país que, debido a su ubicación geográfica, posee los tres grandes ecosistemas forestales (bosques, selvas y zonas áridas), los cuales albergan las más ricas y amplias variedades de flora del mundo. No obstante, la degradación de los recursos forestales constituye un serio problema que se ha agudizado en las últimas décadas (SEMARNAT-UNAM, 2001). De acuerdo con el Inventario Forestal, de 1970 a 1990 en el País se perdieron 2 millones 600 mil hectáreas de selvas, y las áreas perturbadas se incrementaron en 900 mil hectáreas en Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (SEMARNAT, 2002)

En Tabasco la actividad forestal era prácticamente desconocida, y el discurso predominante se centraba en una deforestación para favorecer a la agricultura y la ganadería, reduciendo sus selvas a relictos o fragmentos en las áreas más inaccesibles o alejadas de los núcleos de población. En este sentido, las selvas del estado de Tabasco han sido fuertemente afectadas perdiendo, en el período 1940-1996 el 95% de su área, debido sobre todo al incremento de los pastizales y las zonas agrícolas (Zavala y Castillo, 2002). La producción forestal era netamente extractiva y la selva se concebía como una mina de explotación sin pensar en la posibilidad de renovar este recurso y hacerlo sustentable. Fue hasta 1994 cuando se iniciaron los trabajos forestales enfocados hacia las plantaciones silvícolas comerciales, cuando en otros países la forestaría ya mostraba sus bondades económicas, sociales y ambientales.

Sin embargo, nuestro futuro seguramente será en parte forestal, ya que en Tabasco se tiene un clima propicio para el desarrollo de plantaciones forestales y tierras aptas que alcanzan una superficie de alrededor de un millón de hectáreas. El estado cuenta con varias ventajas comparativas para el desarrollo de plantaciones forestales de rápido crecimiento: altos niveles de precipitación pluvial durante casi todo el año, temperatura media anual de 26°C y una buena infraestructura carretera que permite el acceso rápido y fácil a las plantaciones (CONAFOR, 2000).

Las principales ventajas que presentan las especies nativas, como la caoba y el cedro, son los altos precios de sus maderas en los mercados nacionales e internacionales, además de favorecer la captura de carbono y disminuir la degradación de los suelos. Por otra parte, especies introducidas, como la teca y la melina, pueden producir beneficios en menos de 7 años, incrementando la producción forestal a corto plazo. El uso de especies introducidas ofrece, en la mayoría de los casos, ventajas respecto a otras nativas, relacionadas con la velocidad de crecimiento y turnos de aprovechamiento más cortos, que son fundamentales para desarrollar proyectos forestales. Las principales regiones que cuentan con las condiciones para desarrollar la forestaría tropical en México son: Campeche, Chiapas, Tabasco, Veracruz, Oaxaca, Quintana Roo y Yucatán, dado que satisfacen los requerimientos de altitud, tipo de suelo, temperatura, precipitación y humedad, pudiéndose alcanzar altos rendimientos unitarios (CONAFOR, 2004).

Por ello, en esta investigación se planteo estudiar de manera general la respuesta a diferentes dosis de fertilizantes NPK en dos especies nativas y en dos introducidas, información que es básica para estudios posteriores en los cuales determinar turnos de aprovechamiento, rentabilidad y otros aspectos necesarios para el establecimiento de la actividad forestal a escala comercial en Tabasco.

1. OBJETIVOS

En un suelo Acrisol distri-hiperférrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, se propuso:

- 1.- Evaluar el crecimiento de dos especies forestales nativas: Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Caoba (*Swietenia macrophylla* King) bajo diferentes dosis de fertilización NPK.
- 2.- Evaluar el crecimiento de dos especies forestales introducidas: Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y Teca (*Tectona grandis* L. f.) bajo diferentes dosis de fertilización NPK.
- 3.- Estimar la demanda de nutrimentos NPK (a la edad de año y medio) de dos especies forestales nativas: Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Caoba (*Swietenia macrophylla* King)
- 4.- Estimar la demanda de nutrimentos NPK (a la edad de año y medio) de dos especies forestales introducidas: Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y Teca (*Tectona grandis* L. f.)

2. HIPOTESIS

1. La mayor dosis de fertilización (N,P,K) permiten un mayor crecimiento de las meliáceas Cedro (*Cedrela odorata* L.) y Caoba (*Swietenia macrophylla* King) .
2. La mayor dosis de fertilización (N,P,K) permiten un mayor crecimiento de las dos especies introducidas Melina (*Gmelina arborea* Roxb) y Teca (*Tectona grandis* L. f.).
3. La demanda de nutrimentos NPK de la Caoba (*Swietenia macrophylla* King) es mayor que la del Cedro (*Cedrela odorata* L.).
4. La demanda nutrimental de la Melina (*Gmelina arborea* Roxb) es mayor que la de la Teca (*Tectona grandis* L. f.).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. ESPECIES FORESTALES ESTUDIADAS

3.1.1. Caoba (*Swietenia macrophylla* King)

La caoba es una especie forestal comercial que produce una de las maderas más conocidas y apreciadas del mundo para fabricación de muebles, comercializada y utilizada internacionalmente desde hace más de 400 años (Gillies *et al.* 1999). Es una especie de crecimiento moderadamente rápido con características favorables para plantaciones, que puede producir madera de aserrío en turnos de rotación de 30 a 40 años. Es originaria de América, su distribución natural es amplia y va desde la región Atlántica del sureste de México a través de América Central, el norte de América del Sur (Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú) y el sur de la cuenca del Amazonas en Bolivia y Brasil. Se desarrolla óptimamente en México en bosques tropicales perennifolios, bosques tropicales caducifolios, bosques subcaducifolios, bosques de galerías y bosques de Quercus; en forma natural se le encuentra en los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán (CONAFOR, 2004; Pennington y Sarukhán, 2005).

El alto valor comercial que tiene esta especie condujo a una explotación indiscriminada de la misma, aumentando la tasa de deforestación y ocasionando que la especie se haya incluido en noviembre del 2002 en la lista de especies amenazadas de fauna y flora silvestre, por lo que se requiere que las autoridades científicas y administrativas de cada país exportador definan los niveles sostenibles de explotación de la especie y expidan, en consecuencia, permisos de exportación (Grogan *et al.*, 2002).

Los principales mercados de destino para las maderas preciosas como la caoba, son los Estados Unidos, Japón y la Unión Europea, dichos países se han enfocado a apoyar plantaciones forestales comerciales en países del Sur y Centroamérica, dadas las tendencias de crecimiento de este mercado (CONAFOR, 2004).

3.1.2. Plantaciones Comerciales de Caoba

Los principales países que cuentan con producción de caoba en el contexto internacional son: Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Perú, Colombia y Brasil. También existen explotaciones de esta especie en algunas zonas de Asia y África; sin embargo, la mejor calidad de madera de esta especie se consigue en América Central.

Bolivia cuenta con 7,996.065 hectáreas de bosques naturales bajo planes de manejo forestal. De esta superficie, un 60% se encuentra en bosques que son considerados o fueron considerados zonas productoras de caoba. Brasil fue durante muchos años el principal abastecedor de caoba en el mercado internacional. Sin embargo, los volúmenes de exportación han venido disminuyendo progresivamente y ahora Perú lo ha reemplazado en el lugar de primer exportador mundial de esta madera (OIMT, 2004). En el año de 1999 se tenían establecidas 305,000 ha de plantaciones de caoba en Costa Rica, Belice, Honduras, Guatemala, México y Panamá (Alfaro, 1999).

Cuadro 1. Distribución del área original y área actual de bosques con caoba en América (la superficie se expresa en ha).

País	Distribución Original de Caoba	Bosques con Caoba	Áreas protegidas con Caoba
México	14,824,528	3,626,171	563,252
Belice	1,414,391	950,028	138,111
Guatemala	5,251,984	2,774,212	588,163
El Salvador	708,070	136,158	0
Honduras	3,793,006	1,728,389	163,691
Nicaragua	9,404,289	5,052,702	126,431
Costa Rica	1,795,766	290,773	28,007
Panamá	4,024,151	1,049,682	263,382
Total	41,216,185	15,608,541	1,871,037

Fuente: Bolaños y Navarro, 1999.

Se ha mostrado preocupación porque la tala indiscriminada de árboles grandes afecta la fauna (Fimbel *et al.*, 2001), la diversidad genética de la especie extraída (Newton *et al.*, 1993) y la biodiversidad en general (Rice *et al.*, 2001). Más aún, la tala selectiva puede privar a una población de sus genotipos más favorecidos, causando erosión genética. En el cuadro 2. Se presentan los Estados con mayor superficie establecida de caoba en México (CONAFOR, 2004).

Cuadro 2. Superficies plantadas con caoba a nivel nacional

Estado	Superficie (ha)	Porcentaje del total
Campeche	9,209.00	24.31
Oaxaca	6,615.00	17.46
Veracruz	6229.25	16.45
Puebla	4,865.79	12.85
Tabasco	4,237.63	11.19
Quintana Roo	2,501.00	6.6
Chiapas	2,163.50	5.71
Guerrero	881.00	2.33
Michoacán	400.00	1.06
Nayarit	395.50	1.04
Jalisco	181.00	0.48
Sinaloa	100.00	0.26
Colima	100.00	0.26
Total	37,878.67	100.00

Fuente: CONAFOR 2004

3.1.3. Condiciones Agroecológicas requeridas

Altitud: El hábitat natural de la caoba es el bosque tropical y subtropical, a altitudes de 50-500 msnm, pudiendo llegar hasta los 1400 msnm (Mayhew y Newton, 1998).

Clima: Temperatura media de 25°C, lluvia anual: 1250 a 4000 mm. Es exigente en luz pero tolera la sombra en su etapa juvenil.

Suelos: Logra su mejor desarrollo en suelos aluviales de texturas francas o arcillosas, fértiles, profundos, húmedos y bien drenados, donde el manto freático no esté distante de la superficie, y el pH se encuentre entre 6.5 y 7.5. También puede alcanzar un buen desarrollo en suelos

ligeramente ácidos o alcalinos. Se adapta a suelos volcánicos, arcillas pesadas, suelos lateríticos, suelos derivados de calizas, granitos y otras formaciones rocosas de tipo sedimentario, ígneo o metamórfico, y en general, en suelos que presentan buena humedad.

Limitantes: No tolera las inundaciones y bajo esta situación presenta crecimiento lento. Se desarrolla mejor en climas húmedos que en secos, es sensible al fuego, a las heladas y es muy sensible a la sequía (una vez bien establecida es más tolerante). Es atacado por el barrenador de las meliáceas (*Hysipyla grandella* Zell) en plantaciones compactas, por eso debe plantarse en fajas o agroforestería (Trujillo, 2007).

En el territorio tabasqueño ocurren la mayor parte de las condiciones requeridas ya que la especie crecía de manera espontánea en amplias zonas. Por ello Tabasco presenta alto potencial para el establecimiento de cultivos silvícolas de esta especie.

3.1.4. Crecimiento

El incremento en altura y diámetro para plantas de caoba ha sido reportado desde 0.80 hasta 1.80 m, y desde 2 a 4 cm por año, respectivamente (Romero, 1983; Evans, 1984; Navarro y Hernández, 1998 y Gutiérrez 1998).

Mayhew y Newton (1998) mencionan que en países como Costa Rica, Honduras, Ecuador y Perú se han registrado incrementos cercanos a 2 cm por año y en ocasiones, un crecimiento sostenido de hasta 3 cm en diámetro, en cuanto al crecimiento en altura varía típicamente entre 1 y 2 m por año.

En Tabasco no se han estudiado las tasas de crecimiento para esta especie, por ello en esta investigación se evaluó la dinámica de crecimiento durante su primera fase de desarrollo en campo

3.1.5. Fertilización de la caoba

Fierros *et al.* (1999) recomiendan para caoba la fertilización 15 a 30 días después de la plantación; las dosis varían de 100 a 150 g árbol⁻¹ y las fórmulas más utilizadas son la 17-17-17, 10-34-6, 10-28-6, 5-30-10, 10-30-10, y 5-30-6; esta fertilización la recomiendan para todos los estados de México donde existen plantaciones comerciales de esta especie.

La fertilización que aplican los silvicultores de Tabasco, para especies forestales como: caoba, cedro, teca y melina consiste en suministrar básicamente N, P y K al momento de la siembra, o 15 días después una pastilla de lenta liberación proporcionada por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca (SEDAFOP). Dicha pastilla tiene un peso de 10 g y su fórmula es 20-10-5, sin embargo, no se han hecho estudios para conocer los efectos de esta práctica sobre el crecimiento y desarrollo de las especies forestales.

3.2. Cedro (*Cedrela odorata* L.)

Esta especie es originaria de México y Centroamérica, donde se distribuye en climas cálidos y semicálidos, crece asociado a la selva tropical caducifolia, subcaducifolia, subperennifolia y perennifolia (CONAFOR, 2004). Se le encuentra en la vertiente del Golfo, desde el sur de Tamaulipas y sureste de San Luis Potosí hasta la Península de Yucatán, y en la vertiente del Pacífico desde Sinaloa hasta Guerrero y en la Depresión Central y la costa de Chiapas.

Cedrela odorata L. (Cedro) junto con *Swietenia macrophylla* King (Caoba) son las especies forestales que más han sufrido en las últimas décadas la disminución de sus poblaciones debido a diversos factores, resaltando entre ellos el alto valor comercial de sus maderas y la gran demanda de las mismas; los procesos de deforestación y el aprovechamiento selectivo de los mejores individuos es una de las consecuencias de su valor económico, afectando la constitución genética de las poblaciones. Es evidente que los esfuerzos gubernamentales por conservar los recursos han sido ampliamente rebasados por la velocidad con que se están deteriorando (Patiño, 1997).

3.2.1. Plantaciones Comerciales de Cedro

Las reservas mundiales de cedro rojo en las selvas tropicales de Centro y Sudamérica se encuentran en franco descenso, situación que ha propiciado una oportunidad para el establecimiento de plantaciones comerciales de esta especie. México ocupa el onceavo lugar en cuanto a superficie forestal se refiere en el mundo, y el vigesimosexto lugar en producción forestal. Los principales países que cuentan con producción de cedro rojo en el contexto mundial son: Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Perú, Colombia y Brasil (CONAFOR, 2004).

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2004) reporta un total de 92,888.26 hectáreas de plantaciones comerciales de cedro rojo asociado con caoba, macuilís, primavera, palo de rosa, ceiba, melina, teca, palo colorado, etc., las cuales se establecieron entre 1997 y 2004 en varios estados mexicanos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie plantada con *Cedreala odorata* L., a nivel nacional (1997-2004)

Estado	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Veracruz	23,050.71	24.82
Campeche	17,112.00	18.42
Oaxaca	11,403.00	12.28
Chiapas	10,310.33	11.10
Puebla	8,476.23	9.13
Tabasco	4,435.63	4.78
Yucatán	3,803.00	4.09
Quintana Roo	3,517.00	3.79
Nayarit	2,218.50	2.39
Guerrero	1,731.00	1.86
Michoacán	1,681.41	1.81
Jalisco	1522.00	1.64
Tamaulipas	1,323.03	1.42
Colima	891.05	0.96
Querétaro	425.00	0.46
Sinaloa	422.80	0.46
San Luis Potosí	300.12	0.32
Hidalgo	255.00	0.27
México	10.00	0.01
	92,888.26	100.00

Fuente: CONAFOR, 2004

3.2.2. Condiciones Agroecológicas requeridas

Altitud: se adapta a altitudes desde el nivel del mar hasta 1000 msnm (CONAFOR, 2004)

Clima: Temperatura media anual de 20-32°C, lluvia anual: 1200 a 3000 mm. Es exigente en luz pero tolera la sombra en su etapa juvenil. (Mayhew and Newton, 1998).

Suelos: Según Galván (1996), *Cedrela odorata* crece en suelos de tipo Cambisol y Acrisol. “Suelos con pH neutro o ligeramente alcalino son los más favorables” (Urbina, 2000), Por otro lado, la Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF, 1996) afirma que el pH del suelo deberá estar entre 7 y 5, con buena disponibilidad de elementos mayores, especialmente fósforo, potasio y calcio, así como de bases intercambiables.

Limitantes: Aunque la sobrevivencia en plantaciones es alta, el crecimiento suele estar limitado por el perforador (*Hypsipyla grandella* Zell), que produce fustes torcidos. El insecto ataca el tallo principal, afectando el crecimiento en altura y causando bifurcaciones. Esto limita su uso en plantaciones puras (Mayhew and Newton, 1998).

3.2.3. Fertilización del cedro

En Costa Rica se han utilizado abonos químicos a base de NPK, macroelementos fundamentales para el desarrollo de los cultivos. Este tipo de fertilización es conveniente para plantaciones puras, las dosis tienen diferentes variaciones ya que están sujetas a la carencia de elementos en un determinado sitio. En suelos con baja fertilidad (pobres) se recomienda adicionar a la siembra un fertilizante formulado (10-30-10) en dosis de 80 g árbol⁻¹ y luego una segunda fertilización a los seis meses de edad del cultivo, de 120 g árbol⁻¹ (Montagnini, 1992)

Fierros *et al.* (1999) mencionan que la aplicación de fertilizante para el cedro debe ser de 15 a 30 días después de la plantación. Las dosis más recomendables varían de 100 a 150 g árbol⁻¹ de fórmulas a base de N-P-K y las fórmulas más utilizadas han sido las siguientes: 17-17-17, 10-34-6, 10-28-6, 5-30-10, 10-30-10 y 5-30-6.

La fertilización ha permitido obtener altas tasas de sobrevivencia, crecimiento rápido en altura, mayor crecimiento en diámetro. Se ha tenido respuesta a la aplicación del fertilizante al momento de la siembra, empleando fórmulas N-P-K como la 10-30-10 o 12-24-12, en dosis iniciales de 50 gramos (CONAFOR, 2000).

3.2.4. Crecimiento

En ausencia de daños por el barrenador *H. grandella*, y en buenas condiciones de sitio y luz, el crecimiento medio anual en los primeros años es 1.3-1.6 m en altura. Los árboles que crecen a espaciamientos mayores asociados a sistemas agroforestales (p.e. café, cacao y frutales) pueden mostrar mayor incremento en diámetro de 2 a 3 cm por año (Herrera y Lanuza, 1997). Una vez superada la etapa vulnerable de brinjal temprano, el cedro es un árbol de crecimiento muy rápido, añadiendo 2.5 cm o más en diámetro y 2 m de altura al año, bajo buenas condiciones (Omoyiola, 1973). (Bascopé *et al* (1957) reportan un crecimiento de 1.2 m en altura por año.

4. Teca (*Tectona grandis* Linn. F.)

Son árboles de gran altura, originarios de los bosques semi-húmedos de la India y Birmania. De esta especie se obtiene una de las maderas preciosas más valoradas en el mundo por su color, su excelente fibra y su durabilidad; ha adquirido una excelente reputación a escala mundial debido al atractivo y durabilidad de su madera. La demanda del mercado mundial por esta madera ha generado el establecimiento de plantaciones, dentro y fuera del ámbito natural de la especie (Bhat, 2000).

El rápido crecimiento de esta especie, su inmunidad natural a ataques de insectos y enfermedades, su facilidad de manejo en vivero, su magnífico porte forestal y las reconocidas propiedades cualitativas de su madera, hacen de la teca uno de los árboles maderables tropicales de uso más antiguo y más difundido en plantaciones comerciales.

El cultivo de teca comenzó en la India en el decenio de 1840 y alcanzó niveles significativos a partir de 1865. El primer país fuera de Asia donde se introdujo la teca fue Nigeria, en 1902 y en América Tropical, la primera plantación de teca se estableció en Trinidad y Tobago en 1913. Posteriormente se extendió a Honduras, Panamá y Costa Rica entre 1926 y 1929. Luego, el cultivo de la teca se ha extendido a casi todos los países latinoamericanos (Pandey y Brown, 2000).

Hoy en día, esta especie es de alto valor en el mercado, se estima que en unos años más generará grandes divisas debido a la poca oferta y la amplia demanda que tendrá a nivel comercial, sobre todo en el Lejano Oriente. Esto se debe a que en el sureste asiático la teca está sujeta a una veda permanente, sus bosques naturales se talaron de una manera tan indiscriminada que actualmente está prácticamente prohibida la comercialización. Por esta razón, muchos de los países del sureste asiático y de América Latina están planteando proyectos con esta especie que promete ser un producto muy rentable en el largo plazo (CONAFOR, 2004).

4.1. Plantaciones comerciales de teca

Cuadro 4. Superficies plantadas con teca a nivel mundial

Lugar	Superficie (ha)
Bangladesh	73,000
Sri Lanka	38,999
China	9,000
Filipinas	8,000
Nigeria	70,000
Costa de Marfil	52,000
Togo	4,500

También se encuentran plantaciones de teca en América tropical, donde se introdujeron a principios del siglo XX, cubriendo actualmente alrededor de 33,000 ha repartidas principalmente por Costa Rica, Trinidad y Tobago, El Salvador, Colombia, Guatemala, Venezuela y Ecuador (Pandey y Brown, 2000). Panamá en 1999 contaba con una superficie forestal de 20,000 ha plantadas con teca (Centeno, 1999).

A nivel nacional, existen 34 mil 700 hectáreas de plantaciones forestales comerciales con teca, que se ubican principalmente en los estados de Campeche, Veracruz, Tabasco, Chiapas y Nayarit. En Tabasco para el año 2007 se contaba con una superficie forestal comercial de 600 hectáreas de teca, distribuidas en los municipios de Balancán, Tenosique, Emiliano Zapata y Huimanguillo (CONAFOR, 2004).

4.2. Condiciones Agroecológicas requeridas

Altitud: Requiere altitudes que van desde los 300 msnm hasta los 1,000 msnm. En Centroamérica, los mejores rendimientos han sido obtenidos abajo de los 600 msnm (Ugalde, 2003).

Clima: Temperatura media anual de 22 a 28°C, precipitación de 1250 a 1500 mm. (Alvarado, 2003).

Suelos: Se adapta a gran variedad de suelos, pero prefiere los planos, aluviales, de textura franco-arenosa o arcillosa, profundos, fértiles, bien drenados y con pH neutro o ácido. Es exigente de elementos como calcio, fósforo y magnesio.

Limitantes: Chávez y Fonseca (1991), mencionan que para Centroamérica los factores limitantes para el desarrollo de la especie son los suelos poco profundos, que se encuentran compactados y que presentan bajos contenidos de calcio (Ca) y magnesio (Mg), terrenos con pendientes moderadas a fuertes y terrenos mal drenados. De esta misma manera, Alvarado y Fallas (2004) mencionan que la teca es una especie que requiere altos contenidos de calcio (Ca) para su desarrollo, lo que da por aseverado que es una especie determinada como basófila.

4.3. Fertilización de la teca

En Costa Rica se recomienda que la fertilización se realice de 15 a 30 días después de la plantación mediante aplicaciones de NPK en dosis de 100 a 250 g árbol⁻¹. También se sugieren dosis pequeñas al inicio (50 g árbol⁻¹ el primer año) y luego dosis anuales de 100 a 150 g árbol⁻¹ (Alvarado, 2003).

Sin embargo en Nicaragua recomiendan una o dos aplicaciones de fertilizante completo (NPK), con una dosis de 40-50 g árbol⁻¹ de la fórmula 12-30-10, al momento y al año de la plantación (Chávez y Fonseca, 1991).

Fonseca (2000) comparó el efecto de adicionar, al transplante de las plántulas de teca a sitio definitivo, una dosis de 25, 50 o 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno usando urea o las fórmulas 15-15-15, 12-24-12, y 18-15-6. Se encontró que los tratamientos no afectaron la sobrevivencia de las

plantas y que aquéllos con mayor contenido de N solo o en las combinaciones N-P-K produjeron el mayor incremento en altura y diámetro de los árboles. Este efecto tendió a desaparecer después de 54 meses de aplicado el fertilizante.

Por esta razón, se recomienda aplicar fertilizante al menos una vez por año hasta el cierre del dosel. Cuando se presentan deficiencias de elementos menores en una región, la adición de pequeñas cantidades de fertilizante portadores de estos elementos puede solventar el problema.

Montero (1995) evaluó la respuesta a la aplicación de dosis de 85, 170 y 255 g árbol⁻¹ de la fórmula NPK 12-24-12 y un testigo sin fertilización. La mejor respuesta se obtuvo con la dosis de 255 g árbol⁻¹ al medir las variables altura, diámetro, sobrevivencia, incremento medio en altura e incremento corriente anual (Cuadro 4).

Cuadro 5. Respuesta de plantaciones jóvenes de teca a la aplicación de fertilizantes en Panamá (Montero, 1995) (Crecimiento anual).

Tratamiento* g árbol ⁻¹	Altura media (m)	Diámetro medio (cm)	Área Basal m ² ha ⁻¹	Volumen m ³ ha ⁻¹
0	3.2	3.0	0.78	1.33
85	4.0	4.0	1.33	2.89
170	4.0	3.8	1.22	2.67
255	5.3	5.5	2.67	7.78

* El fertilizante aplicado 12-24-12

4.4. Crecimiento

De acuerdo con Chávez y Fonseca (1991), el crecimiento de la teca puede resumirse en una etapa inicial de rápido desarrollo, luego una etapa media de 3 a 4 años y finalmente una etapa lenta después de 8 o 10 años. Este mismo autor menciona que la teca presenta un crecimiento en altura de 2.62 a 3.06 m por año.

Por su parte (Vargas *et al.*, 2007) indican que crece a un ritmo de 2.9 a 3.7 cm/año en diámetro los 3 primeros años, y 2 cm/año en los siguientes 3 años para luego bajar hasta 1.5 cm en el año 9. El desarrollo en altura es de 2.8 a 3.6 m/año los primeros tres años, disminuye hasta 1.7 los siguientes tres años y luego baja hasta 1 m/año a partir del noveno año. El mejor desarrollo se observa en suelos nuevos y con precipitación arriba de 1500 mm

Mollinedo (2003) en un trabajo realizado en Costa Rica reporta que con la aplicación de 100 g de NPK en la fórmula 10-30-10 se obtiene una altura total a los siete meses de 1.90 metros. El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1997) reporta altura de 1.80 m y 3.4 m. por año, y diámetros de 1.0 cm y 3.22 cm por año.

Otros experimentos llevados a cabo en teca, sobre la aplicación de fertilizantes después de plantar, han proporcionado resultados contradictorios, esto se debe, quizá, a la variedad de suelos y procedencias utilizadas, lo cual hace difícil formular recomendaciones generales en cuanto a sitios y fertilizantes Chávez y Fonseca (1991).

4.5. Melina (*Gmelina arborea* Roxb)

Esta especie forestal es nativa del sureste asiático, ha sido introducida con éxito en el este de África, Centro y Sudamérica, ya que muestra características deseables para la reforestación incluyendo alta durabilidad y calidad para la producción de pulpa para papel, la elaboración de tableros de aglomerado, tableros de contrachapado así como para la fabricación de muebles (Dvorak, 2004).

La melina es una de las especies más promisorias para usar en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación en los que, por su rápido crecimiento, es fuente segura de materia prima. Se caracteriza por ser moderadamente liviana, de lustre alto y apariencia suave y sedosa. No presenta olor ni sabor distintivos. Entre la albura y el duramen no existe diferencia, su grano es recto a entrecruzado y su textura es gruesa. Su color varía de crema a pardo amarillento, tornándose pardo-rojizo con la edad (Alfaro y de Camino, 2002).

4.6. Plantaciones comerciales de Melina

Se estiman aproximadamente 694,000 hectáreas de plantaciones de melina en los trópicos y subtropicos. La India (Sudeste de Asia y Región Pacífica) es la mas extensa con 371,000 hectáreas (53%), seguida de África con 252,000 (36%) y Latinoamérica con 71,000 (11%) (Dvorak, 2004). En contraste con estos datos, Lauridsen y Kjaer (2002) aseguran que en Latinoamérica existían 130,000 hectáreas sembradas de esta especie para 1990, de las cuales actualmente en Costa Rica se encuentran aproximadamente 65,000 (Moya, 2004). La

Corporación Nacional de Investigación y Fomento (CONIF, 2003). Menciona que para el año 2002, existían en Colombia 14,000 hectáreas plantadas con melina.

En México, para el año de 1996 Campeche contaba con una superficie 28,000 hectáreas (SEMARNAT.2002); En el cuadro 4. Se presentan los Municipios con mayor superficie establecida de melina en el Estado de Tabasco (CONAFOR, 2008).

Cuadro 6. Estadísticas de Cultivos Georeferenciados de Melina en el Estado de Tabasco

Lugar	Productores	Superficie (ha)
Balancan	82	2,339
Emiliano Zapata	4	151
Huimaguillo	11	325
Tenosique	7	249
Total	104	3,064

Fuente: (CONAFOR, 2008). * Datos actualizados a septiembre 2007

4.6.1. Condiciones Agroecológicas requeridas

Altitud: su rango altitudinal va de 0 a 1500 msnm

Clima: En Centro y Suramérica se planta con éxito en sitios con temperaturas entre 24- 29°C. Naturalmente crece en áreas con precipitación media anual de 750 a 2000 mm, también puede desarrollarse en sitios hasta con 450 mm (Motta, 1996).

Suelos: Crece bien en suelos profundos, francos, franco arcillosos, húmedos y bien aireados, con buen contenido de nutrientes, alcalinos o ligeramente ácidos con un pH entre 5 y 8 (Espinosa, 2003). Puede crecer en suelos ácidos o calcáreos hasta lateritas, aunque su crecimiento se ve afectado en suelos superficiales con capas endurecidas, impermeables, pedregosas, o en suelos ácidos muy lixiviados.

Limitantes: Las plantaciones de melina no prosperan en suelos muy erosionados o compactados, de topografía quebrada y muy superficiales, en esos sitios los árboles muestran características indeseables como fustes torcidos, poca altura, muchas ramificaciones y aspecto arbustivo, por esta razón, se sugiere plantar esta especie en suelos profundos, húmedos pero bien drenados y sin obstáculos de desarrollo radical (Chavarría y Valerio, 1993).

Las experiencias registradas en Tabasco indican que existen condiciones agroecológicas adecuadas para el establecimiento de plantaciones a escala comercial, por lo que este trabajo de investigación genera información para los silvicultores en el uso y manejo adecuado de la fertilización.

4.6.2. Fertilización de la melina

No existen muchas experiencias reportadas en la literatura sobre el efecto de la fertilización en el crecimiento y la nutrición en plantaciones de melina; sin embargo, algunos ensayos señalan que la aplicación de triple 15 (NPK) mejora el crecimiento cuando se aplican dosis de 150 g árbol⁻¹ en plantaciones de un año (Alfaro y de Camino 2002). Las dosis mas recomendadas varían de 100 a 150 g árbol⁻¹ de NPK.

4.6.2. Crecimiento

Cuadro 7. Crecimiento de *Gmelina arborea* en algunos países de América Central

Sitio	Altitud (msnm)	TMA (°C)	PMA (mm)	dap		Altura	
				(cm)	IMA	(m)	IMA
El Salvador	520	23.8	1701	6.5	3.0	5.2	2.4
Guatemala	100	27.0	1860	8.9	3.2	9.8	3.6
Costa Rica	370	27.0	2223	10.1	2.6	11.6	2.9
Nicaragua	110	27.4	1559	12.9	1.7	10.4	1.4

Fuente: (CATIE, 1986).

Alfaro (2000) menciona que en un buen sitio, el incremento del diámetro para la melina es de 2.6 m/año en promedio.

5. Impacto general del estudio

Los resultados generales obtenidos con cuatro especies forestales, sembradas en la sabana de Huimanguillo, en cuanto a dosis de fertilización y su relación con el tipo de suelo en el cual fueron establecidas, arrojan información sobre la demanda nutrimental de cada una de las especies, así como sobre los efectos en el crecimiento en diámetro y altura de las especies caoba,

cedro, teca y melina en fase temprana. Este trabajo sienta las bases para determinar alternativas para un buen manejo forestal en plantaciones comerciales.

Los suelos Acrisoles distri-hiperférrico (ACdyhfr) son profundos, con horizonte superficial Ap, con un horizonte férrico dentro de los primeros 100 cm de profundidad, formando grandes moteados. La matriz presenta un marcado empobrecimiento de Fe, propiciando una pobre agregación de las partículas del suelo, y la compactación del horizonte (Marín, 2006). Estos suelos son conocidos localmente por los agricultores como tierras rojas, sabanas abiertas o barrojos. Se distribuyen principalmente en los lomeríos del sur de la sabana de Huimanguillo, sur de Jonuta, centro de Emiliano Zapata y suroeste de Balancan (Palma *et al.*, 2000). Esta subunidad ocupa, en el estado de Tabasco, una superficie de 12,792.30 ha considerándose como la más extensa de los Acrisoles, representando el 25.4% de la Sabana de Huimanguillo. El pH varía de fuerte a muy fuertemente ácido con la profundidad. En general, son suelos con muy bajos contenidos de nutrimento y con alta fijación de fósforo por hierro y aluminio.

En este trabajo se obtuvieron respuestas favorables en altura total de planta y diámetro por efecto de la aplicación de los tratamientos de fertilización) aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para altura y diámetro para caoba y cedro, si se presentó diferencia observable para el caso de la caoba la mayor altura (138 cm) se obtuvo con la dosis de 20 y 50 g de la fórmula 17-34-30 y en el diámetro se presentó un crecimiento similar para los cuatro tratamientos (2.7 a 2.9 cm). Con el cedro la altura mayor (177 cm) se obtuvo con las dosis de 35 y 50 g de la fórmula 17-17-60 y en diámetro (3.1) fue similar en las dosis de 35 y 50 g.

Con respecto a la teca y melina, tanto para altura y diámetro se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, para teca se encontró una altura (288 cm) y diámetro (4.7 cm) mayor con la aplicación de 50 g de la fórmula 17-34-30. y en melina la altura mayor (342 y 331 cm) se presentó con los tratamientos con pastilla (20-10-5) y 35 g de la fórmula 34-17-60, en diámetro fue mayor con el tratamiento de la pastilla (6.7 cm) y con los tratamientos 35 y 50 g de la fórmula 34-17-60. (6.6 y 6.3 cm).

Debemos de tomar en cuenta que antes de establecer las especies en el lugar definitivo, este venía de un acahual y que con respecto a las análisis de suelo este era un suelo rico en nutrientes, por

tanto las dosis bajas podrían ser aplicadas para mantenimiento de las plantaciones para este tipo de suelo, habría que realizarse estudios detallados sobre la microfauna presente, las micorrizas.

7. LITERATURA CITADA

- Alfaro, M. 1999. Iniciativa para agilizar el acceso al mercado para productos maderables certificados de Centroamérica, la oferta de productos certificados. Proyecto de Certificación LAC/HFTE. International Resources Group. 15 p.
- Alfaro, M. 2000. Melina: la madera del futuro. Revista Forestal Centroamericana 29: 34-38.
- Alfaro, M. M. y R.V. De Camino. 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central América. Edited by M. Varmola. Forest Resources Development Service. Forest Resources División. Forestry Department. Working Paper FP/20. FAO, Rome (Italy).
- Alvarado, A. 2003. Escogencia de tierras y manejo de nutrición en plantaciones tropicales. In: Memoria del “Seminario y grupo de discusión virtual sobre teca“. 26-28 de noviembre de 2003.
- Alvarado, A. y J. L. Fallas. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. San José, CR. Agronomía Costarricense. 28(1): 81-87.
- Bascopé, R., L. Bernardi, H. Lamprecht., y P. Martínez. 1957. El género *Cedrela* en América. Descripciones de Arboles Forestales 2. Mérida, Venezuela: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. [s.p.].
- Bhat, K. M. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. Bois Et Forêts des Tropiques 263 (1):5-29.
- Bolaños, R., y C. Navarro. 1999. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Mesoamérica. Costa Rica. CCT-PROARCA/CAPAS.

- CATIE (Centro Agropecuario Tropical de Investigación y Enseñanza) 1986. Silvicultura de especies promisorias de leña en América Central Turrialba, Costa Rica, CATIE 222 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. *Cedrela odorata*. L en Costa Rica, Proyecto Semillas Forestales (PROSEFOR). Nota técnica sobre manejo de semillas forestales No. 24. 2 p.
- Chavarría, M., y R. Valerio. 1993. Guía preliminar de parámetros silviculturales para apoyar los proyectos de reforestación en Costa Rica. MINAE; Costa Rica 202 p.
- Chávez, E., y W. Fonseca. 1991. *Tectona grandis* L.f. especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, CR. Proyecto cultivo de árboles de uso múltiple (Madeleña) CATIE/ROCAP (506-0117). CATIE. 47 p.
- Centeno, J. C. 1999. The management of Teak plantations. ITTO Tropical Forest Update 7(2): 1-5.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2000. Ficha técnica de *Cedrela odorata* L., Comisión Nacional Forestal. México. 6 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2004. Evaluación del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN ejercicio fiscal 2003). CONAFOR–Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Forestales. México.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 1996. Cedro. Latifoliadas Zona Baja. Santa Fe de Bogota-Colombia. N° 2, 23 – 35 p.
- CONIF (Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal). 2003. Guía Forestal para Melina. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, D.C.
- Dvorak, W. S. 2004. World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. New forest. 28: 111-116.

- Espinosa, J. A. 2003. Genetic Variation in Wood Density of *Gmelina arborea* planted on different sites in Western Venezuela. Tesis (Master of science). Universidad Estatal de Carolina del Norte. Departamento Forestal Raleigh. USA. 66p.
- Evans, J. 1984. Plantation forestry in the tropics. Oxford Univ. Press. New York. 472 pp.
- Fierros, A., A. Noguéz y E. Velasco. 1999. Paquetes Tecnológicos para el Establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales en Ecosistemas de Climas Templados-Fríos y Tropicales de México. Vol. I. SEMANARP.
- Fimbel, R.A., A. Grajal, y J. G. Robinson, eds. 2001. The Cutting Edge: Conserving Wildlife in Logged Tropical Forests. New York: Columbia University Press.
- Fonseca, W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en (*Tectona grandis* Linn. f.) en Guanacaste, Costa Rica. In. Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de la Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp. 39-44.
- Galván, O. 1996. Análisis comparativo del crecimiento de *Cedrela odorata*, *Swietenia macrophylla*, *Anburana cearensis* en fajas de enriquecimiento y viales de extracción. Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNALM-Perú.
- Gillies, A. C. M., C. Navarro., A.J. Lowe., A. C. Newton., M. Hernández., J. Wilson y J. P. Cornelius, 1999. La diversidad genética en las poblaciones de Mesoamérica de la caoba (*Swietenia macrophylla*) evaluó mediante RAPDs. Herencia 83: 722-732.
- Gómez T. J., H. M. P. de los Santos y M. A. G. Fierros. 2006. Modelos de crecimiento en altura dominante para *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en María Lombardo, Oaxaca, México.
- Grogan, J., P. Barreto y A. Veríssimo. 2002. Mahogany in the Brazilian Amazon: ecology and perspectives on management. Brasil, Belém, Imazon: 58 p.
- Gutiérrez, R. 1998. Plan de manejo de las plantaciones de Lancetilla: propuesta de zonificación. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras.
- Herrera, Z y B. Lanuza. 1997. Cedro. Afiche en Revista Forestal Centroamericana Oct-Dic 1997, No. 21. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

- Lauridsen, E. B. y E. D. Kjaer. 2002. Provenance research in *Gmelina arborea* Roxb. A summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. *International Forestry Review* 4 (1): 1-15.
- Marín, A. A. 2006. Caracterización, Clasificación y Cartografía de de Suelos Cítricos en Tabasco. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 117 p.
- Mayhew, JE and AC. Newton. 1998. *Silviculture of Mahogany*. CABI Publishing series. CABI, Wallingford, Reino Unido. 226 pp.
- Mollinedo García, MS. 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, CR, CATIE. 89 p.
- Montagnini, F. 1992. *Sistemas Agroforestales. Principios y Aplicaciones en los Trópicos*. San José Costa Rica. 622 p.
- Montero, M. 1995. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. In. *Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago, Veraguas, Panamá*. CATIE/ INRENARE. pp. 17-29.
- Motta, M. 1996. Latifoliadas zona baja. Guía técnica No. 2 Servicio de información y Documentación Seidal-Conif. Bogotá. 103 p.
- Moya, R. 2004. *Gmelina arborea* en Costa Rica. *Bois et forêts des tropiques*. No 279 (1) 47-58 p.
- Navarro, C. y M. Hernández. 1998. Evaluación de la diversidad genética de especies tropicales de importancia económica y ecológica en Centro América y el Caribe, implicaciones para la conservación, la utilización sostenible y el manejo. In *Memoria I Congreso Latinoamericano de IUFRO*. Valdivia, Chile. Noviembre 1998.
- Newton, A.C., R.R.B. Leakey, y J. F Mesén. 1993. Genetic variation in mahoganies: Its importance, capture and utilization. *Biodiversity and Conservation* 2:114-126.

- Omoyiola, B.O. 1973. Initial observation on *Cedrela odorata* provenance trial in Nigeria. En: Burley, J.; Nikles, D.G., eds. Tropical provenance and progeny research and international cooperation. Oxford, UK: Commonwealth Forestry Institute: 250-254.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2002. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2000; Informe principal. Estudio FAO-Montes 140. Roma, Italia. 468p.
- Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT 2004). Reseña anual y evaluación de la situación mundial de las maderas, 2003. OIMT, Yokohama, Japón.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco 2ª. Ed. ISPROTAB-FUNDACION PRODUCE-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. 118p
- Pandey, D. y C. Brown. 2000. La teca: una visión global. Unasyuva 51(2): s.p. Patel, V.J. 1991. Teak cultivation at Jivrajbhai Patel agroforestry center. In Teak: Proceedings of the international teak symposium, thiruvananthapuram, Kerala, India.
- Patiño, F. 1997. Recursos Genéticos de *Swietenia* y *Cedrela* en los Neotrópicos. Propuestas para Acciones Coordinadas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma-Italia. p 58.
- Pennington, T.D., y J. Sarukhan, K. 2005 (Tercera Edición). Árboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies. México 534 p.
- Rice, R., C. Sugal, P.C. Frumhoff, E. Losos, y R. Gullison. 2001. Options for conserving biodiversity in the context of logging in tropical forests. En: Footprints in the Jungle: Natural Resource Industries, Infrastructure and Biodiversity Conservation, ed. I. A. Bowles and G.T. Prickett, 168-179. Oxford: Oxford University Press.
- Romero, J. O. 1983. Crecimiento de dos plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla*) y su regeneración natural vista en Lancetilla. Tesis Ing. Forestal. CURLA-UNAH. La Ceiba, Atlántida.

- SEMARNAT-UNAM. 2001. Inventario nacional forestal de la República Mexicana. Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional Autónoma de México. México pags
- SEMARNAT, 2002. Programa Nacional de Sanidad Forestal 2002. Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos. México pags
- Ugalde, L. 2003. Sistema de manejo de información arbórea y silvicultural -*Mirasilv*-. CATIE, Turrialba. 35 p.
- Trujillo, N. E. 2007. Guía de Reforestación, Primera Edición 2007. Bogotá Colombia. 267 p.
- Urbina, M. 2000. Manejo y poda de raíces en árboles de *Schinus molle* “molle peruano”, *Jacaranda mimosifolia* “jacaranda”, *Grevillea robusta* “Grevillea” y *Cedrela odorata* “cedro” Tesis para optar el Título de Ingeniero Forestal. UNALM –Perú.
- Vargas, M. J., H. Quezada y M. Morales. 2007. Estado actual de las investigaciones de la Teca (*Tectona grandis* L.F.) en el valle de sacta, Cochabamba, Bolivia. vol. 3.
- Zavala, C. J. y O. Castillo A. 2002. "Cambios de uso de la tierra en el estado de Tabasco", en Palma-López, D. J. y A. Triano S. (eds.), Plan de uso sustentable de los suelos del Estado de Tabasco, Vol. II, ISPROTAB, Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados, Villahermosa, Tabasco, pp. 38-56.

**CAPITULO 1. FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE CAOBA
(*Swietenia macrophylla* King) Y CEDRO (*Cedrela odorata* L.) EN FASE TEMPRANA DE
CRECIMIENTO.**

FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) Y CEDRO (*Cedrela odorata* L.) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO.

Pedro Pérez-Camacho¹, José Jesús Obrador-Olán^{1*}, Mepivoseth Castelán-Estrada¹, Eugenio Carrillo-Ávila², Ángel Sol-Sánchez¹.

¹Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n. Cárdenas, Tabasco, México; ²Campus San Luís Potosí, Agustín de Iturbide No. 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P. México.

RESUMEN

La caoba y el cedro son especies nativas de América tropical y se consideran entre las maderas preciosas más valiosas a nivel mundial. La explotación selectiva de los bosques tropicales ha provocado que estas especies se encuentren en densidades extremadamente bajas en muchas de sus áreas de distribución natural e incluso que se hayan agotado bosques completos. Para contrarrestar la explotación excesiva de dichos bosques y para continuar disponiendo de las maderas, se han establecido plantaciones forestales de ambas especies, las cuales requieren de un manejo silvícola, siendo una de las prácticas más importantes la fertilización. Dado que se conoce poco acerca de las dosis de fertilización adecuadas para plantaciones comerciales de estas especies, se desarrolló el presente trabajo, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de cuatro dosis de fertilización sobre el crecimiento de caoba y cedro en fase temprana en un suelo ácido de sabana, así como determinar su demanda nutrimental NPK. Primeramente se realizaron análisis químicos y físicos de suelo para calcular las dosis de fertilización de NPK, empleando el modelo simplificado de Rodríguez (1992). En el experimento se probaron cuatro dosis de fertilización (tratamientos): la que utilizan los silvicultores, la dosis óptima calculada, además de una dosis mayor y otra menor que ésta. Las variables estudiadas en 12 árboles por tratamiento fueron altura total y diámetro del tallo, realizándose mediciones mensuales durante 10 meses. Para estimar la demanda final se muestrearon cuatro árboles completos por especie, de un año de edad con extracción completa de raíces, se pesó cada uno de los componentes (materia seca) y se determinó su concentración NPK en cada tejido. El cedro presentó mayor crecimiento en altura y diámetro que la caoba, aunque las dosis experimentales de fertilización no indujeron diferencias significativas en altura ni diámetro para ninguna de las especies. El cedro presentó mayor demanda nutrimental y mejor exploración de la rizósfera. Los resultados de este estudio servirán para calcular las dosis óptimas de fertilización para ambas especies cultivadas en suelos Acrisol distri-hiperferrico (ACdyhfr).

Palabras clave: demanda nutrimental, crecimiento de cedro, crecimiento de caoba, fertilización, suelos de sabana.

ABSTRACT

Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and Mexican cedar (*Cedrela odorata* L.) are native to tropical America and is considered among the most valuable hardwoods worldwide. Selective logging of tropical forests has meant that these species are at extremely low densities in many of its natural range and even entire forests have been exhausted. To counter the exploitation of these forests and to continue to have the woods, forest plantations have been established for both species, which require a forestry management, where one of the most important practices is fertilization. Since there is small known about the fertilizer suitable for commercial plantations, this work was developed, aimed to evaluating effects of four doses of fertilization on growth of in early stage in an acid savannah soil, and to determine their nutritional demand NPK. First chemical and physical analysis of soil were made to calculate dose of NPK fertilizer, using the simplified model of Rodriguez (1992). The experiment tested four doses of fertilization (treatments); this used by foresters, that calculated optimal dose, and a one higher and a one smaller. The variables studied in 12 trees per treatment were total height and stem diameter, the measurements monthly for 10 months. To estimate the final demand are four full shrubs by species, of one year of age with complete removal of roots, were weighed each of the components (dry matter) and NPK concentration was determined in each tissue. The cedar showed higher growth in height and diameter as mahogany, though the experimental dose of fertilization did not induce significant differences in height or diameter for any species. Cedar showed higher nutrient demand and better exploration of the rhizosphere. The results of this study will be used to calculate the optimal doses of fertilization for both species grown in soils distributed Acrisol hiperferrico (ACdyhfr).

Key words: nutritional demand, fertilization, Mexican cedar growth, Mahogany growth, savanna soils.

INTRODUCCIÓN

La caoba y el cedro son dos especies nativas de América, que crecen desde el sur de México hasta Bolivia, y se encuentran entre las maderas preciosas más importantes del trópico americano y del mundo debido a su valor comercial (Argüelles, 1999). A mediados del siglo pasado, la exportación mexicana de estas especies representaba 50% de las maderas importadas por USA, reduciéndose para el año 2000 a solo 1% (Robbins, 2002). Desafortunadamente, el abastecimiento de la industria forestal de México se ha basado en la extracción selectiva de las especies más valiosas de los bosques tropicales, de tal manera que en la actualidad, sólo 0.87% del total de maderas son preciosas, y cada vez la producción de madera de estas dos especies es menor (INEGI, 2007). La superficie ocupada por bosques tropicales, que contienen caoba, en México es de 1,470,000 ha; estimándose la eliminación de 8,000,000 ha entre 1960 y 1985 (Argüelles, 1999).

Barton y Merino (2004) describen el declive de la producción comercial de madera desde 1987 y su participación de menos de 1% al PIB nacional a comienzos de los años noventa. El declive se explica por la poca o nula inversión en la fase primaria de la producción forestal maderable y por el limitado acceso al crédito en terrenos forestales de uso común; resulta prácticamente imposible gravar una porción o la totalidad de un terreno asentado dentro de un núcleo agrario, incluso, no es posible gravar el suelo (masa forestal cosechable) de terrenos comunales, dado que la cosecha maderable tiene restricciones muy importantes. No obstante, este problema no es exclusivo de México de hecho en los bosques tropicales de Centro y Sudamérica, el cedro o la caoba cuando están presentes se encuentran en densidades extremadamente bajas, que van desde un árbol por cada dos hectáreas (mayormente uno por cada 10 ha) hasta un árbol por cada 100 hectáreas (Barton y Merino, 2004) . Una larga historia de explotación selectiva ha provocado que estas especies devinieran raras en muchas partes de sus áreas de distribución natural, aunque también ha contribuido sustancialmente a su disminución la pérdida del hábitat por la deforestación masiva que se realiza con el fin de incrementar áreas para actividades agropecuarias (Meli, 2003; CITES, 2006; Marmillod, 2007). Para contrarrestar esta tendencia se requiere fomentar los cultivos silvícolas, que pueden disminuir la presión antropogénica sobre los bosques tropicales (Fredericksen y Putz, 2003). Actualmente la silvicultura cuenta con un nivel tecnológico que le

permite fijar, regenerar, gestionar, proteger los bosques y cosechar sus productos de una manera más racional y durable (Putz *et al.*, 2001; Montagnini, 2002; FAO 2005).

En México se han establecido alrededor de 6,000 ha de plantaciones forestales con cedro y caoba, de las cuales el 50% se localiza en la península de Yucatán (Patiño, 2002). Tabasco cuenta con una superficie de 8,960 hectáreas de plantaciones forestales comerciales en las que tienen, especies nativas como cedro, caoba, macuilís (*Tabebuia rosea* B.) e introducidas como teca (*Tectona grandis* L.F.), melina (*Gmelina arborea* R.) y acacia (*Acacia melanoxylon* R.Br.). Las mayores superficies dentro del estado, se encuentra en los municipios de Balancán, Tenosique, Emiliano Zapata y Huimanguillo (CONAFOR, 2004). La potencialidad forestal que tiene Tabasco y la inminente pérdida de fertilidad que han mostrado los suelos a través del tiempo debido al cambio de uso (de selva a actividad pecuaria), ha generado una serie de estrategias entre la que se encuentra la de establecer plantaciones forestales de valor comercial, tanto nativas como introducidas (Barrosa y Hernández, 1992).

Las plantaciones forestales pueden ser afectadas negativamente en su crecimiento y desarrollo debido a que en muchos casos son establecidas en zonas edafoclimáticas no aptas para la ecología de la especie (García *et al.*, 2000). En México y América Central, el cedro y la caoba son comunes en los suelos bien drenados y fértiles, pero se han efectuado pocos estudios sobre su comportamiento en diferentes ambientes, así como sus requerimientos de nutrientes más allá de la etapa de plántula. Generar información sobre estos aspectos es fundamental para el desarrollo de sistemas sustentables de producción silvícola en los trópicos húmedos (Webb *et al.*, 2000, Blanco y Lal, 2008).

Dado que las fórmulas de fertilización son tan variables y no está probada su efectividad, sugiero no mencionarlas en este artículo; solo citar las indicaciones generales sobre fertilización forestal. En lo referente a la fertilización de plantaciones forestales, en algunos estudios no se ha encontrado respuesta en crecimiento y desarrollo (Bubb *et al.*, 1999; Fonseca, 2004), lo cual puede ser explicado porque la demanda de nutrimentos de las plantas (sobre todo jóvenes) no supera el suministro de nutrimentos del suelo (Bubb *et al.*, 1998), o bien por las características propias de las especies arbóreas, que pueden ser capaces de fijar N y tolerar suelos degradados con baja fertilidad (Otsamo, 2002). Sin embargo, otros autores (Bendfeldt, *et al.*, 2001)

mencionan que la fertilización permite obtener altas tasas de sobrevivencia y crecimiento rápido en altura y diámetro, empleando sobre todo fórmulas que incluyen a los elementos mayores N-P-K. Las dosis son función de factores ambientales como el tipo de suelo y la magnitud de la precipitación pluvial, de los cuales depende en gran medida la respuesta en crecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales (Barahona, 2000).

En Tabasco no existe experiencia documentada en determinar dosis de fertilización para plantaciones forestales, incluso para los nutrimentos mayores NPK. Sin embargo se sabe que los suelos agrícolas tropicales son principalmente deficitarios de N y P y aquellos con pH menor de 5 presentan además deficiencias importantes de micronutrimentos (Palma-López *et al.*, 2007). La fertilización que emplean los silvicultores en Tabasco consiste en suministrar básicamente N, P y K al momento de la siembra, mediante la colocación de una pastilla de lenta liberación al pie de cada árbol (CONAFOR, 2006). Esta pastilla tiene un peso de 10 g y su fórmula es 20-10-5 (NPK), sin embargo no se han determinado las ventajas que tiene para el crecimiento y desarrollo de las plantaciones.

Los suelos de la sabana de Huimanguillo Tabasco son ácidos, con bajos niveles de fertilidad natural lo cual no favorece el desarrollo de los cultivos; presentan altos contenidos de arcilla y buen drenaje interno. Se ubican dentro de los grupos mayores Acrisoles y Cambisoles (suelos de alto a mediano desarrollo), y donde la ganadería extensiva e intensiva ha sido su uso predominante, en detrimento de las plantas leñosas (Bustamante *et al.*, 2006, Scholes y Archer, 1997). En el estado Tabasco, Palma *et al.* (2007) mencionan que la vocación de los Luvisoles y Acrisoles son considerados para uso forestal; El INEGI, 2007 menciona que estos suelos son usados para la ganadería. La WRB (2006), indica que son suelos de alta acidez, deficientes en bases y propensos a deficiencia de micronutrimentos. Tomando en cuenta el potencial que tiene la silvicultura para la región y la necesidad que existe de establecer dosis de fertilización para las plantaciones forestales en la entidad, se realizó este estudio el cual tuvo por objetivos: Evaluar el crecimiento en altura y diámetro para la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y cedro (*Cedrela odorata* L.) en un suelo Acrisol distri-hiperferrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo, en respuesta a cuatro dosis de fertilización NPK y; Determinar la demanda de NPK para la fase temprana de crecimiento de estas mismas especies.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Rancho Las Acacias, ubicado en el Ejido Las Flores, localizado entre las coordenadas 17°49'57" y 17°50'03" de latitud norte, y 93°44'40" y 93°44'32" de longitud oeste, en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, que se localiza a una altitud de 20-50 msnm, donde se registran temperatura y precipitación medias anuales de 26.2°C y 2,290 mm, respectivamente; el clima se clasifica como Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 1996).

Selección de la Parcela y análisis preliminar del suelo

Para que los resultados obtenidos en el presente estudio sean aplicables al mayor número de silvicultores, la selección de la parcela experimental se realizó en una de las unidades de suelos más representativas de la sabana de Huimanguillo; Acrisol distri-hiperférrico (ACdyhfr). La región se ubicó con base a estudios anteriores (INEGI, 2006; Palma *et al.* 2007) además de tomar en cuenta las observaciones de campo (barrenaciones de suelos) y entrevistas con productores cooperantes. Para estimar la fertilidad y el suministro nutrimental del suelo, se realizaron muestreos en la parcela después que ésta fue mecanizada, tomando muestras de suelo a una profundidad de 0-50 cm para formar muestras compuestas de 15 submuestras (Brady y Weil, 1999). Las determinaciones realizadas en laboratorio fueron: pH (1:2.5 suelo:agua), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black (1932), Nitrógeno-total (semi-micro Kjeldahl), P disponible por el método de Olsen y Dean (1965), Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio (1.0 M, pH 7.0) de Bigham and Bartels (1996) y bases intercambiables (BI) por extracción con acetato de amonio 1.0 M: el sodio (Na) y el potasio (K) se cuantificaron por espectrometría de emisión de flama; el calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica (CSTPA, 1980). También se determinó N mineral a través del NH_4^+ (extracción con KCl 2 N por FIAS), NO_3^- (por extracción con KCl 2 N por FIAS con columna de reducción de Cd). Los métodos

químicos para el diagnóstico nutrimental de suelos son los establecidos por la NOM-021-2000 (SEMARNAT, 2000).

Establecimiento de la plantación experimental

Las semillas que se utilizaron para establecer la plantación provienen de rodales certificados en Costa Rica. Las plántulas fueron producidas en vivero mediante tubetes, dándoles un seguimiento agronómico desde su germinación hasta el trasplante (Marmillod, *et al.* 2007) en campo. Antes de plantarlas en el sitio definitivo se tomó una muestra de 12 plantas por especie, sobre las que se realizaron análisis elementales NPK en hoja, tallo y raíz. Los métodos analíticos utilizados son los de la NOM-021-2000 (SEMARNAT, 2000). La plantación se estableció en noviembre de 2006, en marco real a 3X3 m. Las plantas de caoba tenían, al momento de trasplantarlas, un promedio 32 cm de altura y 0.4 cm de diámetro y las de cedro 22 cm de altura y 0.5 cm de diámetro; 15 días después del trasplante se aplicaron 300 g de cal agrícola por planta para compensar la deficiencia de bases (Ca y Mg) del suelo.

Dosis de fertilización

Los resultados del análisis químico del suelo sirvieron para definir una dosis de fertilización óptima de nitrógeno, fósforo y potasio, empleando el modelo simplificado de Rodríguez (1992), cuya ecuación es la siguiente:

(1)

$$DF = \frac{DC - SS}{EF}$$

Donde:

DF es la dosis de fertilización a aplicar (kg ha^{-1}), **DC** la demanda de nutrimento del cultivo (kg ha^{-1}), **SS** el suministro del nutrimento que aporta el suelo (kg ha^{-1}) y **EF** la eficiencia del fertilizante en relación a la absorción de la planta (adimensional).

Como DC depende del potencial productivo que tiene una plantación en una región dada, se consultaron estudios previos para estimar la demanda de las plantaciones, dada la escasa información, se partió de los valores que maneja la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2005) y en la que no se considera el tipo de suelo. En cuanto al suministro de nutrimentos por el

suelo, los análisis de las muestras indicaron un suministro alto de N y K, medio de P (Cuadro 2); de hecho, sólo el P mostró un suministro menor a la demanda de la plantación, por lo cual N y K se aplicaron como reposición a la reserva del suelo (Vanmechelen, *et al.* 1997). Finalmente, por lo que respecta a EF, de acuerdo con el trabajo realizado por Obrador (1991), para la unidad de suelo en estudio se consideró con una eficiencia de fertilización del 30%. Las dosis de fertilización utilizadas fueron tres la optima calculada por el método mencionado y otras dos: una menor y otra por mayor a ésta. Esto explica porque no se observaron efectos de tratamientos; el nivel del suelo es alto. A tomar en cuenta para la interpretación y discusión de resultados

Tratamientos

En el Cuadro 1.1. Se muestran las dosis de fertilización NPK calculadas para el estudio nutrimental de las especies forestales en estudio, consideradas como tratamientos. Cabe mencionar que los silvicultores en el estado de Tabasco aplican, para especies forestales en general, la pastilla de lenta liberación, que fue considerada como tratamiento testigo.

Cuadro 1.1. Dosis de fertilización probadas en el estudio nutrimental para caoba y cedro en suelos de sabana, en Tabasco.

Especie	Dosis			
	10 g árbol ⁻¹ (Pastilla)	20 g árbol ⁻¹	35 g árbol ⁻¹	50 g árbol ⁻¹
	Fórmula(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)			
Caoba	20-10-5	17-34-30	17-34-30	17-34-30
Cedro	20-10-5	17-17-60	17-17-60	17-17-60

Los tratamientos se aplicaron 30 días después del transplante de los árboles.

Diseño experimental

La caoba y el cedro se establecieron en parcelas rectangulares independientes de 540 m² de superficie, con 72 árboles de cada especie cada una, incluyendo unidades experimentales (UE) y bordos. Los tratamientos se aplicaron a grupos de 18 árboles, y fueron asignados de manera

aleatoria, por lo que la respuesta de ambas especies a los tratamientos probados fue analizada de manera independiente bajo un diseño completamente al azar (DCA). Las variables de respuesta fueron cuantificadas en los 12 árboles centrales de cada grupo, que fueron repeticiones, es decir cada árbol fue una UE (Hinkelmann y Kempthorne, 1994).

Variables evaluadas

Las variables estudiadas fueron altura total y diámetro del tallo. Se realizaron mediciones mensuales en todas las repeticiones de cada tratamiento durante 10 meses (noviembre 2006-agosto 2007). Para medir el diámetro se utilizó un vernier metálico (± 0.1 mm), realizando las mediciones a 15 cm de la base del tallo y para la altura total se usó una cinta métrica (± 0.1 cm).

Para estimar la demanda final de NPK se talaron cuatro arboles por especie, al año de edad extrayendo además sus raíces. La biomasa aérea fue dividida en tronco, ramas y hojas (Santa Regina y Tarazona, 2001; Gayoso *et al.* 2005) Para extraer la máxima cantidad de raíces, se escarbó a una profundidad de 55 cm y en un diámetro de 150 cm alrededor del tallo, que es el espacio medio que comparten los árboles (Jackson *et al.*, 1996; Moreno *et al.*, 2005). Se seleccionaron los arboles que tenían mayor crecimiento, independientemente del tratamiento, tomando como supuesto que a partir de estos se puede calcular la demanda nutrimental máxima. Una vez talados los arboles, fueron separados en follaje, tallo y raíz; la biomasa se secó por separado en una estufa de aire forzado para obtener el peso de la materia seca (MS) de cada componente. Se tomaron muestras vegetales para determinar la concentración NPK en follaje, tallo y raíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas del suelo

De acuerdo al valor de pH, el suelo se clasifica como moderadamente ácido (Russel, 1992). Los altos contenidos de MOS concuerdan con el manejo al que fue expuesta la parcela en los últimos años, el cual corresponde a un acahual de 12 años. Dado los altos contenidos de MO del suelo y la relación que ésta tiene con el N (Tisdale y Nelson, 1985) se presentaron valores de N que lo ubican también en la clase alta (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la parcela experimental. Rancho Las Acacias Huimanguillo, Tabasco. (Profundidad de 0-50 cm).

pH 1:2	MO	N	P	Acidez inter.	Al+H inter.	K	Ca	Mg	Na	CIC
	%		mg kg ⁻¹	Cmol (+) kg ⁻¹						
5.2	6.5	0.16	6.45	0.30	0.45	0.06	0.71	0.44	0.34	6.9
Fe	Cu	Zn	Mn	B	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación textural		
mg kg ⁻¹				%						
133	0.47	0.24	18	1.94	28	13	59	Migajón arcillo arenoso		

Los contenidos de P-Olsen en el suelo fueron medios (CSTPA, 1980). Dadas las características de los suelos ácidos de la región de estudio y de la dinámica misma del nutrimento en cuestión, se recomienda la aplicación suficiente de este elemento. No obstante, se recalca que no se espera una respuesta inmediata a la fertilización fosforada.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo lo ubica en la clase baja. Es importante considerar que el fraccionamiento de nutrimentos y el uso de productos de liberación lenta hacen más eficiente el uso de los elementos nutritivos. Para el caso del suelo en estudio, es preocupante la deficiencia de bases que se observa en el suelo: todas ellas muestran contenidos muy bajos, por lo que es recomendable suministrar estos nutrimentos poco después de plantadas las diferentes

especies. El Ca y el Mg pueden ser aplicados al inicio, vía cal dolomítica y, posteriormente realizar la aplicación de los nutrimentos mayores dando énfasis a la de K (Etchevers *et al.* 1971), el contenido de K que presentó el suelo fue de $0.06 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$ el cual se encuentra en la clase muy baja < 0.2 .

Los contenidos de micronutrimentos encontrados en el suelo de la parcela en estudio presentaron, en casi todos los casos, valores adecuados (Viets y Lindsay 1973), excepto para el zinc, el cual estuvo en la clase deficiente, por lo que es importante considerar su aplicación mediante de fertilizantes foliares.

Caoba

Altura de planta

En la Figura 1.1 Se ilustra la evolución temporal de la altura de las plantas en los tratamientos evaluados. Se observa que, de noviembre a febrero el crecimiento fue muy similar en los cuatro tratamientos, y de febrero a julio el tratamiento con 50 g (17-34-30) mostró un mayor incremento en altura. De julio a Agosto los tratamiento con 20 y 50 g (17-34-30) mostraron la mayor tasa de desarrollo.

Por otra parte, no se observaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos para esta variable aunque al final de la evaluación, los tratamientos con 20 y 50 g de la fórmula (17-34-30; N-P₂O₅-K₂O) indujeron un crecimiento ligeramente mayor (138 cm) con respecto a los otros tratamientos.

Al parecer a la caoba, por ser una especie de lento crecimiento, le basta con el suministro de fertilizante aplicado mediante los 20 g de la fórmula (17-34-30) para satisfacer sus necesidades nutrimentales. Aunado a que el suelo de la parcela experimental tenía una fertilidad alta con buen aporte de N y K.

Navarro y Hernández (1998) reportan un crecimiento en altura de planta de 2 m año^{-1} en sitios fértiles con abonamiento de 50 g de fertilizante año^{-1} . Los mismo autores reportan crecimiento de 114 cm año^{-1} en un suelo Latosol amarillo rojizo (Aquic dystropept) con arcilla fina mezclada isohipertérmica, poco evolucionado, de características ácidas y tendencia arcillosa, con algunos

problemas de drenaje y de 142 cm año⁻¹ establecidas en un suelo Latosol pardo rojizo (Oxic dystropept) con arcilla fina mezclada isohipertérmica, profundo, bajo en bases de intercambio y pobremente drenado. Así mismo Gutiérrez (1998), Hazlett y Montecinos(1980), reportan crecimiento de 135 cm año⁻¹ y 106 cm año⁻¹ respectivamente; en plantaciones establecidas en suelos Aluvio-Coluviales, profundos, de pendientes planas, de buen drenaje superficial, sin embargo, no mencionan prácticas de fertilización. Los resultados encontrados en nuestro estudio se sitúan en el rango de lo mencionado por la literatura lo cual obedece en gran parte a que el suelo tiene buen aporte de nutrimentos.

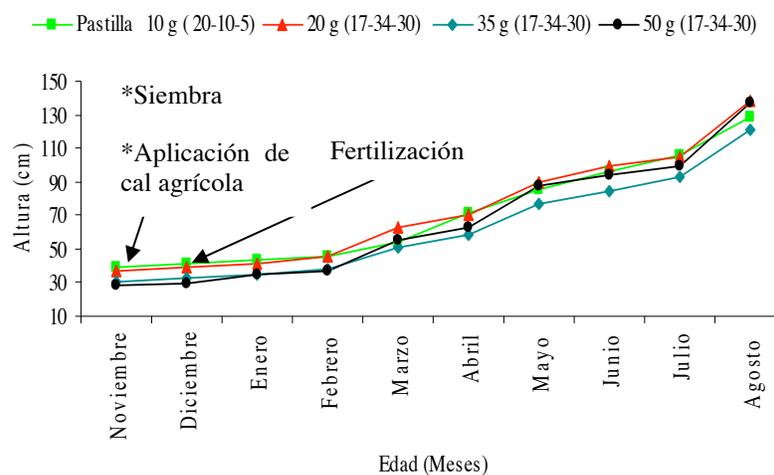


Figura 1.1. Relación altura-edad en plantaciones de Caoba en fase temprana de desarrollo, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Diámetro del tallo

La evolución del diámetro promedio de las plantas muestra cómo el crecimiento de noviembre a Febrero sigue un mismo patrón de comportamiento (Figura 1.2) mientras que de febrero a julio se observan diferentes tasas de crecimiento del diámetro del tallo entre tratamientos, con una mayor tasa de crecimiento en el tratamiento de 50 g (17-34-30; N-P-K). En el último periodo de observación, de julio a agosto, se observan tasas de crecimiento muy similares, aunque ligeramente mayores en los tratamientos de 20 y 50 g. No se observaron diferencias estadísticas significativas para la variable diámetro de planta durante los 10 meses de evaluación en campo.

Navarro y Hernández, (1998) reportan un aumento en diámetro de 2.9 cm año⁻¹ en plantaciones establecidas en un suelo Latosol amarillo rojizo (Aquic distropept) con arcilla fina mezclada, isohipertérmica. En relación a lo reportado en la literatura, los resultados encontrados en el presente estudio coinciden con otros suelos (Gutiérrez, 1998),

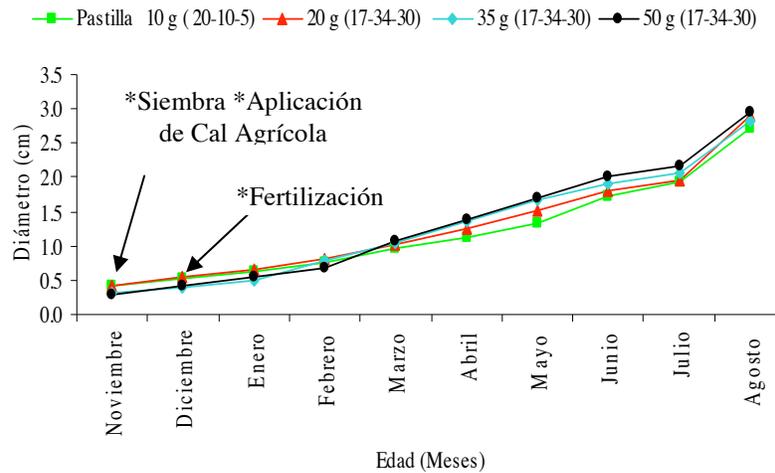


Figura 1.2. Relación diámetro-edad, en plantaciones de Caoba en fase temprana de desarrollo, en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Crecimiento acumulado

Aunque no se observaron diferencias estadísticas significativas para las variables altura y diámetro de planta durante los 10 meses de evaluación en campo, los tratamientos con 20 y 50 g de la fórmula (17-34-30) mostraron un crecimiento mayor en altura y el de 50 en diámetro, con respecto a los otros tratamientos. En la Figura 1.3 y 1.4 se muestra el crecimiento acumulado para altura ($P > F = 0.58$) y diámetro de planta ($P > F = 0.87$), respectivamente, durante los 10 meses (Noviembre-Agosto). Esta falta de efecto puede deberse a que el aporte nutrimental en este suelo es elevado debido a un alto nivel de fertilidad, debido a los altos contenidos de MO ya que anteriormente era un acahual bien establecido. Dado que hay una disponibilidad alta de NPK la falta de efecto podría obedecer a la ley de los rendimientos decrecientes.

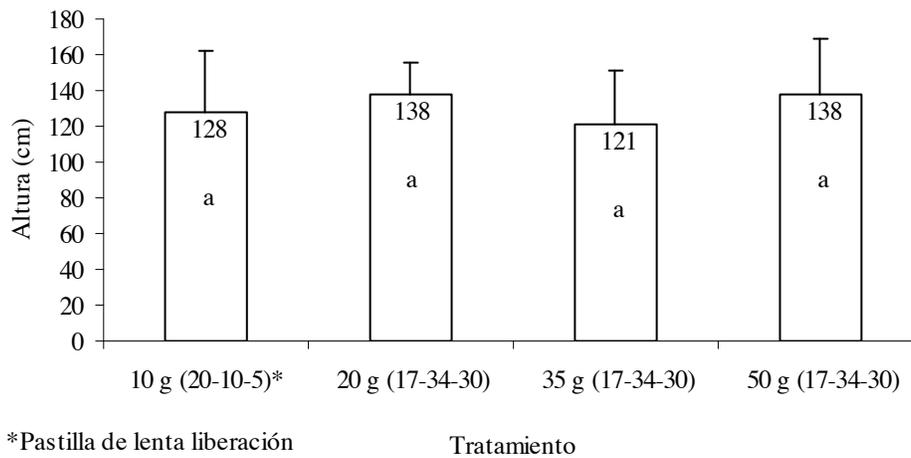


Figura 1.3. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de caoba en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.

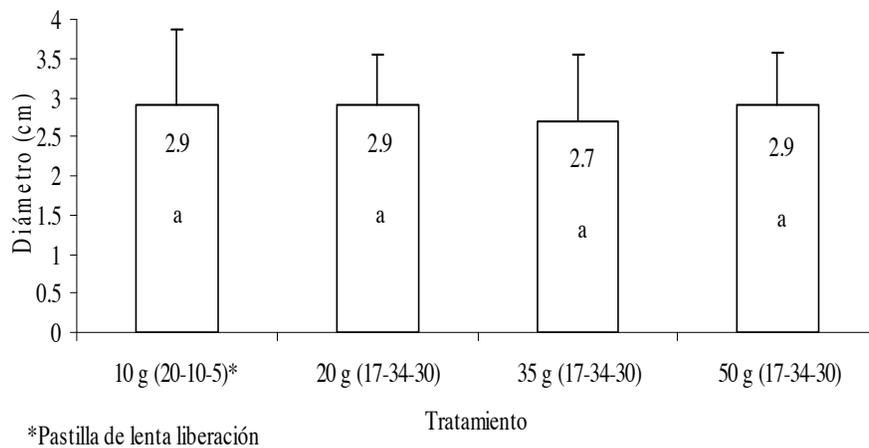


Figura. 1.4. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de caoba en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.

Cedro

Altura de las plantas

No encontraron diferencias estadísticas significativas para la variable altura de planta durante los 10 meses de evaluación en campo. En la Figura 1.5 se muestra la evolución temporal de la altura de las plantas, en la que se observa que de noviembre a febrero el crecimiento fue similar en los cuatro tratamientos; de febrero a julio los tratamientos con 20 y 50 g (17-17-60; N-P-K) mostraron una mayor respuesta, de julio a agosto se observa como los tratamientos con 35 y 50 g (17-17-60; N-P-K) mostraron la mayor tasa de desarrollo (177 cm), no obstante sólo son tendencias. Viera y Pineda (2004), reportan un crecimiento en altura de 109 cm año^{-1} en plantas establecidas en un suelo franco arenoso, muy fértil, con alto contenido (90%) de bases de intercambio, 6.38% de materia orgánica y micronutrientes en cantidades altas, sin problemas de acidez, en tanto que Montenegro *et al*, (1997) reportan una ganancia en alturas de 270 cm año^{-1} en plantaciones con manejo tecnificado, asociadas con cultivo de café; aunque dichos autores no mencionan la aplicación de algún fertilizante. Cabe mencionar que la literatura es escasa en cuanto a trabajos realizados en otros lugares; sin embargo, con los resultados obtenidos en este trabajo se puede tener una referencia de la ganancia en altura de los árboles de esta especie para regiones donde se presenten las mismas características ambientales.

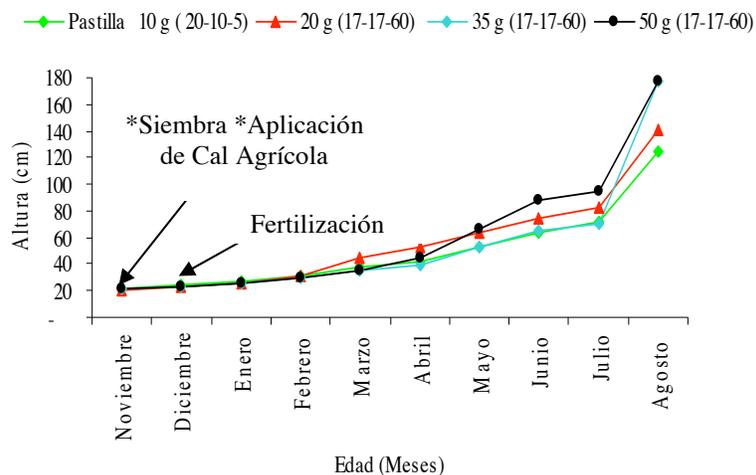


Figura 1.5. Relación altura-edad en plantaciones de cedro en fase temprana de desarrollo, en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Diámetro del tallo

En cuanto a la variable diámetro del tallo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas durante los 10 meses de evaluación en campo. En la Figura 1.6 se ilustra la evolución temporal del diámetro promedio del tallo en las plantas de cedro; de noviembre a diciembre se observa un crecimiento similar, pero a partir de este mes (diciembre) los tratamientos presentan un comportamiento distinto no obstante al igual que el caso sólo son tendencias que se observaron a favor de los tratamientos con 35 y 50 g (17-17-60) mostrando un tasa de desarrollo (3.1 cm). Viera y Pineda (2004), reportan un crecimiento en diámetro de 3.77 cm año⁻¹ en plantas establecidas en un suelo franco arenoso, muy fértil (sin problemas de acidez) con alto contenido de bases intercambiables (90%), 6.38% de materia orgánica y altas cantidades de micronutrientes, en tanto que Montenegro *et al* (1997) reportan un incremento en el diámetro de 4.4 cm año⁻¹ en plantaciones con un manejo tecnificado asociadas con cultivo de café; sin embargo estos autores no mencionan aplicación de algún fertilizante. Cabe mencionar que la literatura es escasa en cuanto a trabajos realizados en otros lugares, y sobre el manejo de la fertilización y su relación con el crecimiento en altura y diámetro en fase temprana.

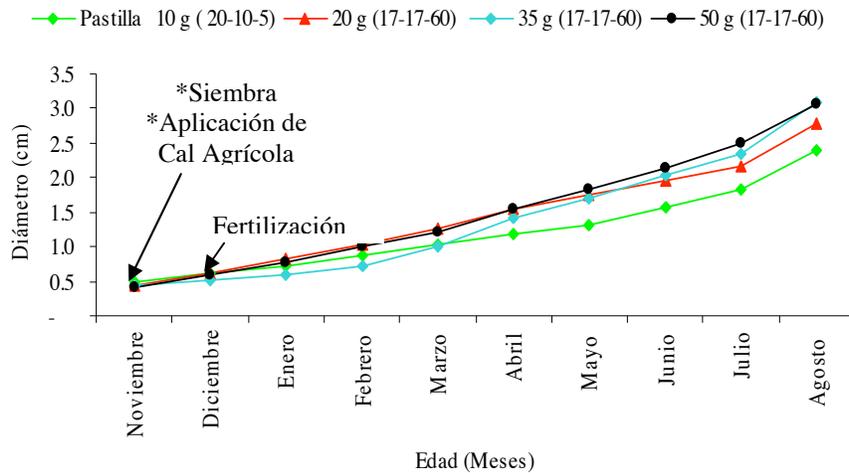


Figura 1.6. Relación diámetro-edad en plantaciones de Cedro en fase temprana de desarrollo, en la Sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Crecimiento acumulado

Para el caso del cedro en la variable altura tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos de fertilización, observándose (tendencias) los mejores resultados en los tratamientos de fertilización en los que se aplicaron 20, 35 y 50 g (17-17-60; N-P-K) (Figura 1.7) para el crecimiento final obtenido al concluir el trabajo (noviembre-agosto) ($P > F = 0.039$).

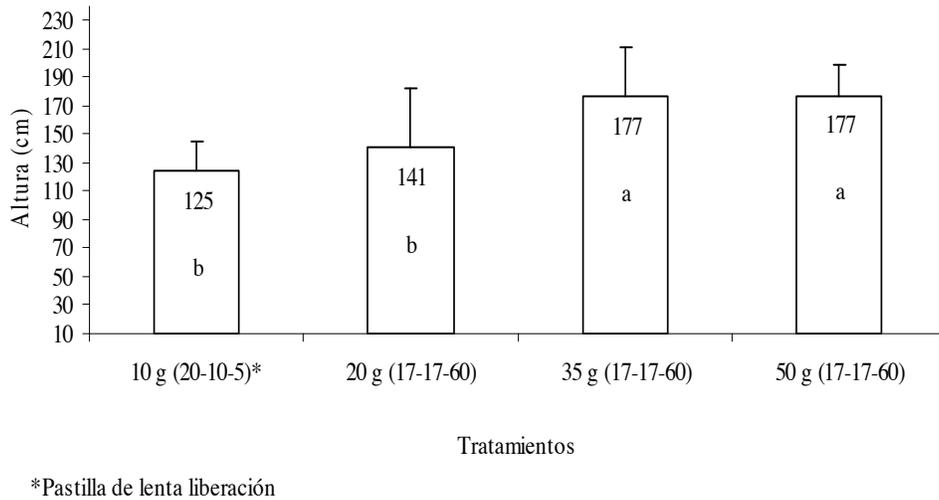


Figura 1.7. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de cedro en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco, México.

La variable diámetro no presentó diferencias estadísticas entre los tratamientos (Figura 1.8) al analizar los datos de crecimiento final del cedro 10 meses después del trasplante (noviembre-agosto) ($P > F 0.161$).

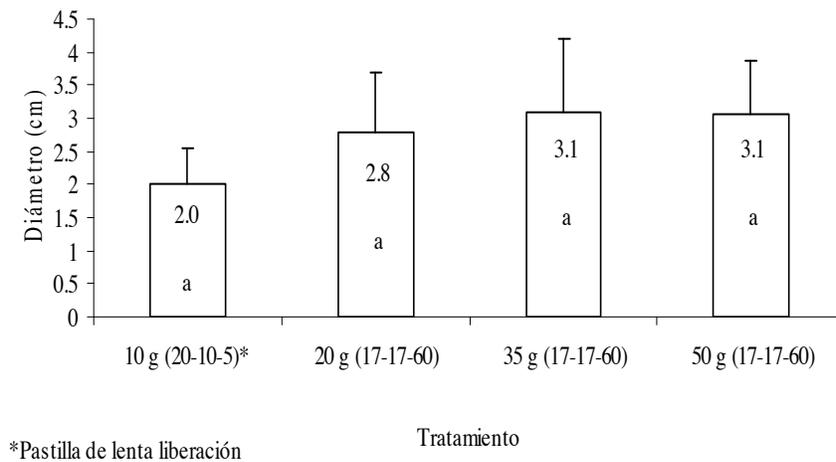


Figura 1.8. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de cedro en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco, México.

La demanda nutrimental NPK de caoba y cedro

En los Cuadros 1.3 y 1.4 se muestran los valores promedio estimados para cada uno de los componentes de árbol en caoba y cedro. En estas especies en estudio, la mayor extracción para el N, P y K la realiza el tallo y la menor la raíz (con excepción de N en hojas de cedro), sin embargo en todos los casos la mayor concentración de estos nutrimento se encuentra en las hojas, este comportamiento es similar al encontrado para otras especies (Montero *et al.*, 1999; Montagnini, 2000; Montagnini y Jordan, 2002). Los tres nutrimentos se encuentran en altas concentraciones en las hojas dado el papel fundamental que tienen en la fotosíntesis (Schroth y Sinclair, 2003). De las dos especies en estudio la mayor biomasa fue generada por el cedro ($701.5 \text{ g planta}^{-1}$). Además en presentó mayor concentración nutrimental NPK y en todos sus componentes, lo que indica que la demanda por nutrientes de éstas especies (Meliáceas) es considerablemente diferente, sin importar su relación filogenética. La relación biomasa radical (Br)-biomasa aérea (Ba)(Br/Ba), para la caoba fue de 0.20 y de 0.40 para el cedro, está última especie muestra mejor exploración radical, lo cual es importante en suelos ácidos que por lo general son deficitarios de nutrimentos (Herrera y Alvarado, 1998).

Cuadro 1.3. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de la caoba en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante), en un suelo de sabana en Tabasco, México.

Componente	Peso seco (g árbol ⁻¹)	Concentración Nutrimental (%)			Extracción de nutrimentos g árbol ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
Hoja	416	1.3	0.09	0.16	5.4	0.37	0.65
Tallo	1123	0.7	0.05	0.06	7.8	0.61	0.71
Raíz	308	0.5	0.04	0.07	1.6	0.11	0.20
Total	1847				14.8	1.09	1.57

Cuadro 1.4. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes del cedro en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante) en un suelo de sabana en Tabasco, México.

Componente	Peso (g árbol ⁻¹)	Concentración Nutrimental (%)			Extracción de nutrimentos g árbol ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
Hoja	241	2.40	0.17	0.28	5.80	0.41	0.68
Tallo	1510	0.96	0.05	0.11	14.50	0.74	1.63
Raíz	797	1.35	0.05	0.12	10.79	0.40	0.93
Total	2548				31.09	1.55	3.24

La cantidad de nutrientes NPK que demanda una plantación de caoba y cedro, con densidad de plantación de 1,111 plantas ha⁻¹ se observa en las Figuras 1.9 y 1.10 respectivamente, la relación es N>K>P, lo cual está de acorde con diversos trabajos reportados (Foucard, 1997). Como se señaló con anterioridad llama la atención que el cedro demandó mayor cantidad de nutrimentos y una mejor adaptación a los suelos Acrisol distr-hiperferrico (ACdyhfr), que fueron objeto de estudio y que son representativos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

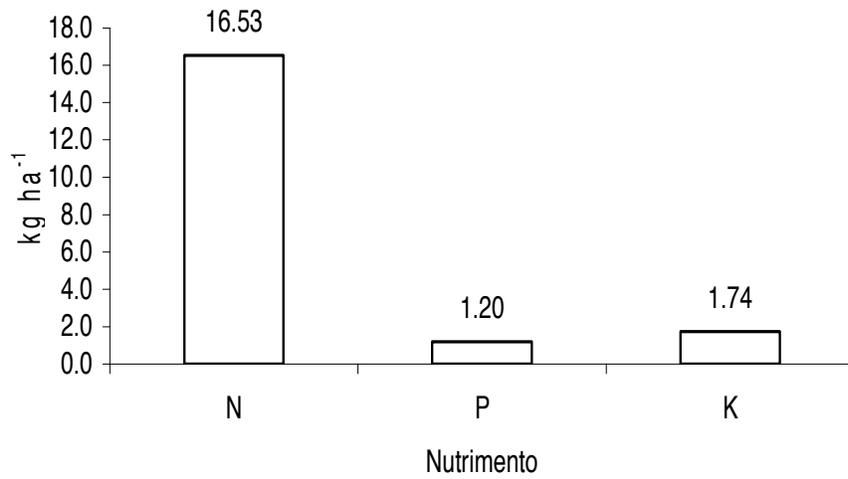


Figura 1.9. Demanda nutrimental NPK de la caoba con densidad de 1,111 árboles ha⁻¹, en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana, en Tabasco.

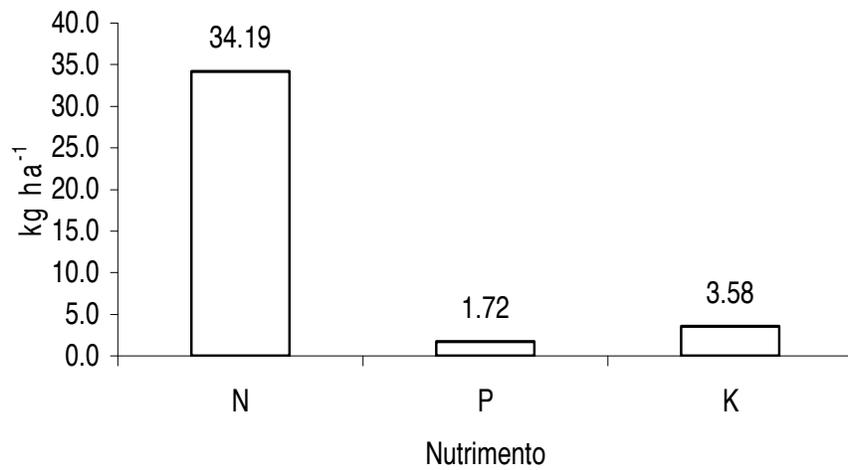


Figura 1.10. Demanda nutrimental NPK del cedro con densidad de 1,111 árboles ha⁻¹, en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco.

CONCLUSIONES

El cedro (*Cedrela odorata* L.) presentó mayor crecimiento en altura y diámetro que la caoba (*Swietenia macrophylla* King) plantados en un suelo Acrisol distri-hiperférico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo.

Los diferentes tratamientos de fertilización no mostraron efectos significativos sobre altura y diámetro de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y ni en el cedro (*Cedrela odorata* L.), evaluadas durante 10 meses, no obstante se observan tendencias en las que las dosis más altas favorecieron más desarrollo.

El cedro (*Cedrela odorata* L.) presentó mayor demanda nutrimental que la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y mejor exploración radical en un suelo Acrisol distri-hiperférico (ACdyhfr),

El presente estudio sienta las bases para la generación de fórmulas de fertilización para la caoba (*Swietenia macrophylla* King) y el cedro (*Cedrela odorata* L.) cultivados en un suelo Acrisol distri-hiperférico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo.

LITERATURA CITADA

- Argüelles, A. 1999. Diagnóstico caoba Mesoamérica México. Diagnóstico de la caoba (*Swietenia macrophylla* king), México. CCT-PROARCA/CAPAS. México. 50 p.
- Barahona, R. 2000. Caracterización detallada de los suelos de San Nicolás y prácticas recomendadas para su uso sostenible, El Zamorano, Honduras. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 56 p.
- Barton B.D. y Merino, P. L. (2004), La experiencia de las comunidades forestales en México, INE-Semarnat, México.
- Barrosa, C. J., Hernández, P. L., De La Cruz, P.E. 1992. Folleto Técnico No. 13: Producción de Planta y establecimiento de Plantaciones de Caoba en el Estado de Tabasco. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-INIFAP. Tabasco, México.
- Blanco, H. and Lal, R. 2008. Soil erosion under forest (chapter 12). In: *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer. p. 321-343.
- Brady, N.C. and Weil, R.R.. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bendfeldt, E. S., Feldhake, C. M. and Burger J. A. 2001. Establishing trees in an Appalachian silvopasture: response to shelters, grass control, mulch, and fertilization. *Agroforestry Systems*. 53: 291–295.
- Bigham, J.M. and Bartels J.M. (editors) 1996: *Methods of soils analysis*, SSSA book series 5 (part 3): Chemical Methods. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. 1390 pp.
- Bubb K.A, Xu Z.H, Simpson J.A and Saffigna P.G.1998. *In situ* measurements of soil mineral-nitrogen fluxes in hoop pine plantations of subtropical Australia.
- Bubb K.A., Xu Z.H., Simpson J.A. and Saffigna P.G. 1999. Growth response to fertilisation and recovery of ¹⁵N-labelled fertiliser by young hoop pine plantations of subtropical Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. **54**: 81–92.

- Bustamante M. M.C., Medina, E., Asner G.P., Nardoto G.B. and García-Montiel, D.C.2006. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas *Biogeochemistry*. 79: 209–237
- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) 2006. Decimosexta reunión del Comité de Flora. 48. p. Lima (Perú).
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2005), Guía para la elaboración de la propuesta técnica forestal y ambiental. México.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2004). Evaluación del programa para el desarrollo de plantaciones forestales comerciales (PRODEPLAN–2003). CONAFOR–UANL. Facultad de Ciencias Forestales. México.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2006), Datos a los bosques. Número de incendios forestales, Gerencia de Incendios Forestales, México, D.F. http://148.223.105.188:2222/gif/sni/%5fportal/index.php?option=com_content&task=view&id=51&itemid=65.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Athens, Georgia, USA. 459 p.
- Etchevers-Barra, J.D., Espinosa, W. y Riquelme, E. 1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2ª ed. Facultad de agronomía, Universidad de Concepción. Chillan, Chile.
- FAO 2005. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. FAO Forestry Paper 147. Rome, Italy. 181 p. (<http://www.fao.org/forestry>).
- Fonseca, W. 2004. Guía de Teca, para los agricultores. 120 Pág. <http://www.fonafifo.com/Reforesta/ManualProductoresTeca.pdf>
- Foucard, J.C. 1997. Viveros de la producción a la plantación: innovaciones técnicas. Trad. Carlos de Juan. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 439p.
- Fredericksen T. S. and Putz E. F. 2003 Silvicultural intensification for tropical forest conservation. *Biodiversity and Conservation*. 12: 1445–1453. Kluwer Academic Publishers. Printed in Netherlands.

- García P. O. 1996. Historia y Geografía de Tabasco. Editorial Santillana. México.
- García, E.; Sotomayor, A.; Silva, S.; Valdebenito, G. 2000. Establecimiento de Plantaciones Forestales. Eucalyptus sp. INFOR-FDI. 32 p.
- Gayoso A, J. y Guerra C, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. Bosques: vol. 26 (2) 33-38. Valdivia, Chile.
- Gutiérrez, R. 1998. Plan de manejo de las plantaciones de Lancetilla: propuesta de zonificación. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras.
- Hazlett, D.; Montecinos J.L. 1980. El crecimiento de 27 especies maderables en Plantaciones de Lancetilla. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras.
- Herrera, B., Alvarado, A., 1998. La calidad de sitio y factores ambientales en bosques de Centro América. Agronomía Costarricense 22(1), 99-117.
- Hinkelmann, K., Kempthorne, O., 1994. Design and Analysis of Experiments. vol. I: Introduction to Experimental Design. John Wiley y Sons, Inc., New York, p. 495.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2007. Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica. México
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2006. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, 1:250 000. Serie III. México.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. and Schulze E.D. (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*.108: 389-411.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World Reference Base for Soil Resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Marmillod, D., De La Rosa, T., Panduro M. Y., Cornejo A. C., Correa D, V. 2007. Diagnostico para evaluar estrategias de manejo para la caoba. Documento técnico No. 18. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana – BIODAMAZ. Perú. 28 p.

- Montagnini, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management*. 134: 257-270.
- Montagnini, F. 2002. Tropical plantations with native trees: their function in ecosystem restoration. In: Reddy, M.V., ed. *Management of Tropical Plantation- Forests and Their Soil Litter System. Litter, Biota and Soil-Nutrient Dynamics*. Science Publishers, Enfield
- Montagnini, F y Jordan, C. 2002: *Reciclaje de nutrientes*. In: *Ecología y Conservación de Bosques Neotropicales*. Guariguata, M. y Catan, G. (Edit.). Cartago, Ediciones. pp. 167-191. (NH) USA, Plymouth, UK, pp. 73–94.
- Meli, P. 20003. Restauración ecológica de bosques tropicales. veinte años de investigación académica. INCI, vol.28, no.10, p.581-589.
- Montenegro, J.; Ramirez, G.; Blanco, H. 1997. Evaluación del establecimiento y crecimiento inicial de seis especies maderables asociadas con café. *Agroforestería en las Americas*. Vol.13, pp14-20.
- Montero, G., C. Ortega, I. Cañellas y A. Bachiller. 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* Ait. sometida a distintos regímenes de claras. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.*
- Moreno, G., Obrador, J.J., Cubera, E., Dupraz, C. 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277:153–162. Springer.
- Navarro, C. y Hernández, M. 1998. Colección de *Swietenia macrophylla* en América Central y México. CATIE, Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales. No. 20:8-15.
- Obrador O. J.J., 1991. Dinámica del fósforo en unidades de suelos del estado de Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Veracruzana. Orizaba, Veracruz, México.
- Olsen, S.R. and Dean, L.A. (1965): *Methods of soil analysis*. Part 2. *Agronomy* 9: 1035-1049. Pérez-Corona ME, García-Ciudad A, García-Criado B, Vázquez-Aldana B (1995)

- Patterns of aboveground herbage production and nutritional quality structure on semiarid grasslands. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 26: 1323-1341.
- Otsamo R. 2002. Early effects of four fast-growing tree species and their planting density on ground vegetation in Imperata grasslands. *New Forests* 23: 1–17.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Patiño, F. 2002. Estudio de la diversidad genética en poblaciones de caoba y cedro para fines de conservación y mejoramiento genético, en la Península de Yucatán. Proyecto de Investigación. INIFAP-CIRSE. Mocochoá, Yucatán, México.
- Putz F.E., Blate G., Redford K.H., Fimbel R. and Robinson J.G. 2001. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology*. 15: 7–20.
- Robbins, C. 2002. Mahogany matters: the US market for big-leafed mahogany and its implications for the conservation of the species. TRAFFIC North América.
- Rodríguez S., J. 1992. Manual de fertilización, Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, 362 p
- Russel, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid, Mundi-Prensa. España. 632 p.
- Santa Regina, I., T. Tarazona. 2001. Nutrient cycling in a natural beech forest and adjacent planted pine in northern Spain. *Forestry*, vol. 74 N° 1, p. 11-28.
- Scholes R.J. and Archer S.R. 1997. Tree–grass interactions in savannas. *Ann. Rev. Ecol. System.* 28: 517–544.
- Schroth, G. and Sinclair, F.L. 2003. Trees, crops and soil fertility: Concepts and research methods. CABI Publishing. Bangor, 421.p.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca). 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- SEMARNAT/CONAFOR. 2006. Programa nacional forestal 2001-2006. 118 pp
- Styles, B.T. 1981. Subfamily Swietenioideae. En: Meliaceae. Flora neotropica. New York: New York Botanical Garden: 359-418. Vol. 28.
- Tisdale, S. y W. Nelson. 1985. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Unión Tipográfica. Editorial Hispano-Americana, S.A. México.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., and Van Ranst, E.1997. Forest soil condition, results of a large scale soil survey. Forest Soil Coordinating Center, Belgium. 261 p.
- Viera J. C. y Pineda A. 2004. Productividad de lindero maderable de *cedrela odorata*, Agronomía Mesoamericana, vol. 15, No. 001, Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica pp 85-92.
- Viets F. G., Lindsay W. L. 1973. Testing soils for zinc, copper, manganese and iron. In: Soil testing and plant analysis. Ed. by L.M. walsh y J. D. Beaton, Madison, Wisconsin, SSSA. P.153-172.
- Walkley, A. and Black, I.A. 1932. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic acid titration method. J. Amer. Soc. Agron. 24:256-275.
- Webb, M. J., Reddell, P., Hambleton, A. And Robson, K. 2000. Growth response of four tropical plantation timber species to increasing phosphorus supply and assessment of phosphorus requirements using foliar análisis. New Forests. 20: 193–211.

**CAPITULO II. FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE TECA
(*Tectona grandis* linn.f.) Y MELINA (*Gmelina arborea* roxb.) EN FASE TEMPRANA DE
CRECIMIENTO.**

FERTILIZACIÓN NPK Y DEMANDA NUTRIMENTAL DE TECA (*Tectona grandis* linn.f.) Y MELINA (*Gmelina arborea roxb.*) EN FASE TEMPRANA DE CRECIMIENTO

Pedro Pérez Camacho¹, José Jesús Obrador-Olán^{1*}, Mepivoseth Castelan-Estrada¹, Eugenio Carrillo-Ávila², Ángel Sol-Sanchez¹,

Colegio de Postgraduados, ¹Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina s/n. H. Cárdenas, Tabasco, México; Colegio de Postgraduados, ²Campus San Luis Potosí, Agustín de Iturbide No. 73, Salinas, S.L.P. Mexico.

RESUMEN

La teca y la melina pertenecen a la familia botánica Vervaceae; ambas son especies forestales de crecimiento rápido, las cuales ofrecen amplias posibilidades para el desarrollo de reforestaciones industriales. Estas especies maderables son poco conocidas en algunos países de Latinoamérica, a pesar que han tenido éxito para la reforestación comercial en varios países tropicales. Para ambas especies se desconoce el manejo adecuado de la fertilización, por tanto el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de cuatro dosis de fertilización sobre el crecimiento de teca y melina en fase temprana, cultivadas en un suelo ácido, así como determinar su demanda nutrimental NPK. Se realizaron análisis químicos y físicos de suelo para calcular las dosis de fertilización NPK, empleando el modelo simplificado de Rodríguez (1992). Para este trabajo se evaluaron cuatro dosis de fertilización (tratamientos): la que emplean los silvicultores, la dosis óptima calculada, además de una dosis mayor y otra menor. Las variables estudiadas en 12 árboles por tratamiento fueron; altura total y diámetro del tallo, realizándose mediciones mensuales durante 10 meses. Para estimar la demanda final se muestrearon cuatro arboles completos por especie, de un año de edad, extrayendo además todo el sistema radical, se pesó cada uno de los componentes (materia seca) y se determinó su concentración NPK en los tejidos. La melina presentó mayor crecimiento en altura y diámetro que la teca, y mayor demanda nutrimental y mejor exploración de la rizósfera. Los resultados de este estudio permiten estimar dosis óptimas de fertilización para teca y melina plantadas en un suelo Acrisol distri-hiperferrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo.

Palabras clave: **demanda nutrimental, fertilización, crecimiento de melina, crecimiento de teca, suelos de sabana.**

ABSTRACT

Common Teak (*Tectona grandis* Linn. F.) and Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb) belong to the botanic family Vervaceae; they are two fast-growing tree species, which provide ample opportunities for the development of industrial reforestation. Both are little-known wood tree species in some Latin American countries, although these species have been successful in commercial reforestation in several tropical countries. Management of fertilization is unknown for both species, therefore this study aimed to evaluate effects of four doses of fertilization on growth of Common Teak and Gmelina in early development stage, grown in an acidic soil, and to determine its nutrient demand NPK. To calculate doses of NPK fertilizers using the simplified model of Rodriguez (1992), chemical analysis of soil and leaves were done previously. For this work four doses of fertilization (treatments) were used; that employed by growers, that calculated optimal dose, and a larger and a smaller dose. The variables studied in 12 trees per treatment were total height and stem diameter; the measurements were done monthly through 10 months. To estimate the complete demand, four trees a year old, were sampled per species, removing all root system from soil, weighed separately each of the organs (dry matter) and determined NPK concentration in tissues. Gmelina showed greater growth in height and diameter than Common Teak, and increased nutritional demand and better exploration of the rhizosphere. Results of this study are useful for estimating optimum dose for Common Teak and Gmelina fertilization in a soil Acrisol distri-hiperferrico (ACdyhfr) from the savanna of Huimanguillo.

Key words: Gmelina grown, Teak grown, fertilization, nutrient demand, savanna soils.

INTRODUCCIÓN

La teca es una especie forestal nativa del Sur y Oeste de la India, Burma, Java (Indonesia) y Tailandia. Cobra gran importancia por su color claro, su excelente fibra y su durabilidad, se ha aclimatado en Java, donde probablemente se introdujo desde hace unos 400 a 600 años, también se ha establecido en toda la zona tropical de Asia, en el África tropical y en América Latina y el Caribe (Moya, 2002). Se introdujo por primera vez en México en 1950 por la extinta Comisión del Papaloapan en Tabasco, Veracruz, Chiapas y Campeche; estableciéndose un total de 50 hectáreas en los cuatro estados mencionados (INEGI, 2002).

La melina, al igual que la teca pertenece a la familia de las Verbenáceas, es nativa de India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra en Indonesia, es una especie de rápido crecimiento que ofrece amplias posibilidades para el desarrollo de reforestaciones industriales, la especie ha sido introducida en muchos países tropicales incluyendo Filipinas, Malasia, Brasil, Gambia, Costa Rica, Costa de Marfil, Nigeria y Malawi; también es común en Cuba, Colombia, Brasil, Venezuela, Guatemala y en la zona tropical de México (Alfaro y de Camino, 2002).

Ambas son especies forestales maderables, poco conocidas en algunos países de Latinoamérica, a pesar que estas especies tienen un gran éxito en la reforestación comercial en la región tropical de América desde hace aproximadamente 15 años. (Arce y Fonseca, 2003).

A pesar de que el crecimiento depende de muchos factores como localidad, la edad, la densidad de la plantación y el manejo del rodal, estas especies se han usado con éxito en sistemas agroforestales y de enriquecimiento (Wiersum, 1983).

En el Estado de Tabasco existe poca información relacionada con las dosis de fertilización en plantaciones forestales, incluso para los nutrientes mayores NPK. Es ampliamente conocido que los suelos tropicales bajo manejo agrícola son principalmente deficitarios de N y P y aquellos suelos con pH menor de 5 presentan además deficiencias importantes de micronutrientes (Palma-López *et al.*, 2000).

La teca ha demostrado repuestas positivas a la fertilización de nutrimentos mayores (Fonseca, 2000; Alvarado, 2003) en altura y diámetro (Montero, 1995; Fonseca, 2000). Además se ha encontrado que con aplicaciones de nutrimentos se mejora la supervivencia de las plantas después del trasplante (SEMARNAP, 2003).

Para las plantaciones de melina en el trópico americano no hay suficiente información reportada sobre el efecto que tiene la fertilización en el crecimiento en sus diferentes etapas; sin embargo, algunos ensayos señalan que la aplicación de triple 15 (NPK) mejora el crecimiento en plantaciones de un año cuando se aplican dosis de 150 g planta⁻¹ (Rojas y Murillo, 2004).

Las practicas de fertilización que emplean los silvicultores del estado de Tabasco, es suministrar (a cualquier especie) N, P y K al momento de la siembra o 15 días después una pastilla de lenta liberación proporcionada por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario Forestal y Pesca (SEDAFOP), ésta tiene un peso de 10 g y su fórmula es 20-10-5; sin embargo no se han hecho seguimientos para conocer las ventajas que tiene el uso de mencionada práctica en el crecimiento y desarrollo de estas especies.

Batis *et al.* (1999) recomiendan para teca y melina, la aplicación de 100 a 150 g planta⁻¹ de N-P-K, en las formulas 17-17-17, 10-34-6, 10-28-6, 5-30-10, y 5-30-6 para los estados de México donde se encuentran establecidas plantaciones comerciales. La SERMANAT (2003) indica que éstas especies tienen respuestas en crecimiento a la fertilización con dosis iniciales de 50 g planta⁻¹, empleando las fórmulas 10-30-10 o 12-24-12.

Una de las variables que influye de forma directa sobre la producción forestal es el suelo, por ello es de vital importancia determinar sus características físicas, químicas y morfológicas para diseñar el manejo de la fertilidad que permita la producción sostenible. (Barahona, 2000).

En particular, los suelos de la sabana de Huimanguillo, son ácidos con bajos niveles de fertilidad nativa, que no favorece el desarrollo de muchos cultivos, presentan altos contenidos de arcilla y baja capacidad de intercambio cationico, estos suelos son reconocidos principalmente dentro de los grupos mayores Acrisoles (Suelos de alto desarrollo) (Palma *et al.* 2007), son los suelos con vocación forestal en Tabasco.

Los suelos de vocación forestal en el estado, son principalmente aquellos de alta acidez (Luvisoles y Acrisoles), bajos en bases y propensos a deficiencia de micronutrientes (Palma *et al.* 2007), dada la relevancia que tiene la forestería para Tabasco y la necesidad de establecer dosis de fertilización para las principales especies silvícolas se plantea el presente estudio el cual tiene como objetivos: 1. Evaluar el crecimiento en altura y diámetro, de la teca y melina en un suelo Acrisol distr-hiperferrico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo, bajo diferentes dosis de fertilización 2. Determinar la demanda de N-P-K en estas especies en su fase temprana de crecimiento.

A lo largo de la historia del manejo forestal en México. La silvicultura ha estado orientada hacia el manejo de las especies particulares que cuentan con valor comercial, y se ha demostrado poco interés por el resto del bosque (SEMARNAP, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Rancho Las Acacias, ubicado en el Ejido Las Flores, localizado entre las coordenadas 17°49'57" y 17°50'03" de latitud norte, y 93°44'40" y 93°44'32" de longitud oeste, en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, que se localiza a una altitud de 20-50 msnm, donde se registran temperatura y precipitación medias anuales de 26.2°C y 2,290 mm, respectivamente; el clima se clasifica como Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (García, 1996).

Selección de la Parcela y análisis preliminar del suelo

Para que los resultados obtenidos en el presente estudio sean aplicables al mayor número de silvicultores, la selección de la parcela experimental se realizó en una de las unidades de suelos más representativas de la sabana de Huimanguillo; Acrisol distri-hiperferrico (ACdyhfr). La región se ubicó con base a estudios anteriores (INEGI, 2006; Palma *et al.* 2007) además de tomar en cuenta las observaciones de campo (barrenaciones de suelos) y entrevistas con productores

cooperantes. Para estimar la fertilidad y el suministro nutrimental del suelo, se realizaron muestreos en la parcela después que ésta fue mecanizada, tomando muestras de suelo a una profundidad de 0-50 cm para formar muestras compuestas de 15 submuestras (Brady y Weil, 1999). Las determinaciones realizadas en laboratorio fueron: pH (1:2.5 suelo:agua), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica del suelo (MOS) por el método de Walkley y Black (1932), Nitrógeno-total (semi-micro Kjeldahl), P disponible por el método de Olsen y Dean (1965), Capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el método de acetato de amonio (1.0 M, pH 7.0) de Bigham and Bartels (1996) y bases intercambiables (BI) por extracción con acetato de amonio 1.0 M: el sodio (Na) y el potasio (K) se cuantificaron por espectrometría de emisión de flama; el calcio (Ca) y magnesio (Mg) por espectrometría de absorción atómica (CSTPA, 1980). También se determinó N mineral a través del NH_4^+ (extracción con KCl 2 N por FIAS), NO_3^- (por extracción con KCl 2 N por FIAS con columna de reducción de Cd). Los métodos químicos para el diagnóstico nutrimental de suelos son los establecidos por la NOM-021-2000 (SEMARNAT, 2000).

Establecimiento de la plantación experimental

Las semillas que se utilizaron para establecer la plantación provienen de rodales certificados en Costa Rica. Las plántulas fueron producidas en vivero mediante tubetes, dándoles un seguimiento agronómico desde su germinación hasta el trasplante en campo. Antes de plantarlas en el sitio definitivo se tomó una muestra de 12 plantas por especie, sobre las que se realizaron análisis elementales NPK en hoja, tallo y raíz, para determinar el contenido nutrimental en el tejido. Los métodos analíticos utilizados son los de la NOM-021-2000 (SEMARNAT, 2000). La plantación se estableció en Noviembre de 2006, en marco real a 3 X 3 m. Las plantas de teca tenían, al momento de trasplantarlas, un promedio 25 cm de altura y 0.4 cm de diámetro y las de melina 55 cm de altura y 0.5 cm de diámetro; 15 días después del trasplante se aplicaron 300 g de cal agrícola por planta para compensar la deficiencia de bases (Ca y Mg) del suelo.

Dosis de fertilización

Los resultados del análisis químico del suelo sirvieron para definir una dosis de fertilización óptima de nitrógeno, fósforo y potasio, empleando el modelo simplificado de Rodríguez (1992).

Cuya ecuación es la siguiente:

$$(1) \quad DF = \frac{DC - SS}{EF}$$

Donde:

DF es la dosis de fertilización a aplicar (kg ha^{-1}), **DC** la demanda de nutrimento del cultivo (kg ha^{-1}), **SS** el suministro del nutrimento que aporta el suelo (kg ha^{-1}) y **EF** la eficiencia del fertilizante en relación a la absorción de la planta (adimensional).

Como DC depende del potencial productivo que tiene una plantación en una región dada, se consultaron estudios previos para estimar la demanda de las plantaciones, dada la escasa información, se partió de los valores que maneja la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2005) y en la que no se considera el tipo de suelo. En cuanto al suministro de nutrimentos por el suelo, los análisis de las muestras indicaron un suministro alto de N y K, medio de P (Cuadro 2); de hecho, sólo el P mostró un suministro menor a la demanda de la plantación, por lo cual N y K se aplicaron como reposición a la reserva del suelo (Vanmechelen, *et al.* 1997). Finalmente, por lo que respecta a EF, de acuerdo con el trabajo realizado por Obrador (1991), para la unidad de suelo en estudio se consideró con una eficiencia de fertilización del 30%. Las dosis de fertilización utilizadas fueron tres la óptima calculada por el método mencionado y otras dos: una menor y otra por mayor a ésta.

Tratamientos

En el Cuadro 2.1. Se muestran las dosis de fertilización NPK calculadas para el estudio nutrimental de las especies forestales en estudio, consideradas como tratamientos. Cabe mencionar que los silvicultores en el estado de Tabasco aplican, para especies forestales en general, la pastilla de lenta liberación, que fue considerada como tratamiento testigo.

Cuadro 2.1. Dosis de fertilización probadas en el estudio nutrimental para teca y melina en suelos de sabana, en Tabasco.

Especie	Dosis			
	10 g árbol ⁻¹ (Pastilla)	20 g árbol ⁻¹	35 g árbol ⁻¹	50 g árbol ⁻¹
	Fórmula(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)			
Teca	20-10-5	17-34-30	17-34-30	17-34-30
Melina	20-10-5	34-17-60	34-17-60	34-17-60

Los tratamientos se aplicaron 30 días después del transplante de los árboles.

Diseño experimental

La teca y melina se establecieron en parcelas rectangulares independientes de 540 m² de superficie, con 72 árboles de cada especie cada una, incluyendo unidades experimentales (UE) y bordos. Los tratamientos se aplicaron a grupos de 18 árboles, y fueron asignados de manera aleatoria, por lo que la respuesta de ambas especies a los tratamientos probados fue analizada de manera independiente bajo un diseño completamente al azar (DCA). Las variables de respuesta fueron cuantificadas en los 12 árboles centrales de cada grupo, que fueron repeticiones, es decir cada árbol fue una UE (Hinkelmann y Kempthorne, 1994).

Variables evaluadas

Las variables estudiadas fueron altura total y diámetro del tallo. Se realizaron mediciones mensuales en todas las repeticiones de cada tratamiento durante 10 meses (Noviembre 2006-Agosto 2007). Para medir el diámetro se utilizó un vernier metálico (± 0.1 mm), realizando las mediciones a 15 cm de la base del tallo y para la altura total se usó una cinta métrica (± 0.1 cm).

Para estimar la demanda final de NPK se talaron cuatro arbustos por especie, al año de edad extrayendo además sus raíces. La biomasa aérea fue dividida en tronco, ramas y hojas (Santa Regina y Tarazona, 2001; Gayoso *et al.* 2005) Para extraer la máxima cantidad de raíces, se escarbó a una profundidad de 55 cm y en un diámetro de 150 cm alrededor del tallo, que es el

espacio medio que comparten los árboles (Jackson *et al.*, 1996; Moreno *et al.*, 2005). Se seleccionaron los arbustos que tenían mayor crecimiento, independientemente del tratamiento, tomando como supuesto que a partir de estos se puede calcular la demanda nutrimental máxima. Una vez talados los arbustos, fueron separados en follaje, tallo y raíz; la biomasa se secó por separado en una estufa de aire forzado para obtener el peso de la materia seca (MS) de cada componente. Se tomaron muestras vegetales para determinar la concentración NPK en follaje, tallo y raíz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades fisicoquímicas del suelo

Se presentan las propiedades fisicoquímicas del suelo donde se estableció la plantación (Cuadro 2.2). De acuerdo al valor de pH, el suelo se clasifica como moderadamente ácido (RUSSEL, 1992), estos suelos no presentan problemas por toxicidad para las especies consideradas en el presente estudio, no obstante, es importante tener en cuenta los valores de las bases y suministrarlas, en caso de que sea necesario.

Los valores altos de MOS son acordes con el manejo al que fue expuesta la parcela en los últimos años, la cual se encontraba en un proceso de regeneración natural (acahual). Dado los altos contenidos de MO del suelo y la relación que ésta tiene con el N (Tisdale y Nelson, 1985) el suelo en estudio presentó valores que lo ubican en la clase alta, no obstante, es importante considerar aplicaciones de fertilizante para mantener una mineralización óptima así como para evitar posibles deficiencias (Rhoman y Cox, 1988).

Cuadro 2.2. Propiedades fisicoquímicas del suelo de la parcela experimental. Rancho Las Acacias Huimanguillo, Tabasco. (Profundidad de 0-50 cm).

pH rel 1:2	MO %	N %	P mg kg ⁻¹	Acidez int.	Al+H Int.	K	Ca	Mg	Na	CIC
				Cmol (+) kg ⁻¹						
5.2	6.5	0.16	6.45	0.30	0.45	0.06	0.71	0.44	0.34	6.9
Fe	Cu	Zn	Mn	B	Arcilla	Limo	Arena	Clasificación textural		
mg kg ⁻¹				%						
133	0.47	0.24	18	1.94	28	13	59	Migajón arcillo arenoso		

Los contenidos de P-Olsen detectados en el suelo en estudio fueron medios (CSTPA, 1980). Dadas las características de los suelos ácidos de la región de estudio y de la dinámica misma del nutrimento en cuestión se recomienda la aplicación suficiente de este elemento, no obstante, se recalca que en una primera etapa no se espera una respuesta inmediata a las dosis de fertilización fosforada. Se espera que ésta se vea reflejada en el transcurso del tiempo. (Boult *et al.*, 1984).

El valor de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) lo ubica en la clase baja, es un suelo poco fértil, es importante considerar que prácticas como el fraccionamiento del abonado y el uso de productos de liberación lenta hacen más eficiente el uso de los fertilizantes. la deficiencia de bases en el suelo es alta, todas ellas muestran contenidos muy bajos, por lo que es recomendable suministrar estos nutrimentos poco después de plantadas las especies, el Ca y el Mg pueden ser aplicados al inicio, vía cal dolomítica y, a posteriori, realizar la aplicación de los nutrimentos mayores dando énfasis a la de K (Etchevers *et al.* 1971). Los contenidos de micronutrimentos encontrados en el suelo de la parcela experimental presentaron, en casi todos los casos, valores adecuados, excepto para el zinc, el cual estuvo en la clase deficiente, por lo que es importante considerar el manejo de fertilizantes foliares para el caso de este micronutriente (Viets y Lindsay 1973).

Teca

Altura de planta

En la altura de planta Se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos, en la Figura 2.1, se observa que en los meses de noviembre a abril, los cuatro tratamientos presentan un crecimiento similar, pero a partir de abril los tratamientos con 20 y 50 g (17-34-30; N-P-K) presentan (con diferencias estadísticas) mayor tasa de desarrollo que los otros tratamientos, de julio a agosto el tratamiento con 50 g (17-34-30; N-P-K) fue el que tuvo mayor respuesta (288 cm) en 10 meses. El crecimiento en altura de la teca es superior a lo reportado por Aparicio *et al.* (2004) quienes encontraron una altura total promedio de 184 cm en una plantación de teca de 11 meses de edad al igual que lo reportado por Mollinedo (2003) 190 cm año⁻¹ con aplicación de 100 g de NPK10-30-10

Otros autores como Chávez y Fonseca (1991), reportan altura de planta de 262 a 306 cm año⁻¹, Vargas *et al.*, (2007) 280 a 360 cm año⁻¹, El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1997) reporta crecimiento en altura de planta mínimo de 180 cm año⁻¹ y máximos de 340 cm año⁻¹.

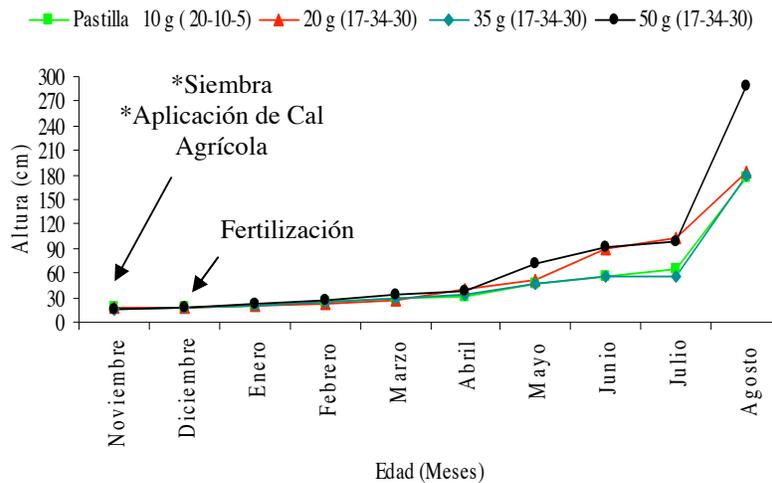


Figura 2.1. Relación altura-edad de plantas de teca, bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Diámetro del tallo

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para la variable diámetro de planta durante los 10 meses de evaluación en campo. En la figura 2.2 se observa que desde el inicio de la evaluación, el tratamiento con 50 g (17-34-30; N-P-K) muestra una mayor respuesta a la fertilización (4.7 cm en diámetro). El crecimiento en diámetro de la teca encontrado en este estudio es superior a lo reportado por Aparicio *et al.* (2004) Quienes encontraron crecimientos en diámetro de 4.1 cm, al igual que lo reportado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1997) que reporta un crecimiento de 3.22 cm año⁻¹ y Vargas *et al.*, (2007) de 2.7 cm año⁻¹ estos mismos autores mencionan que esta especie crece a un tasa de 2.9 a 3.7 cm año⁻¹ en diámetro los 3 primeros años, y 2 cm año⁻¹ en los siguientes 3 años para luego bajar hasta 1.5 cm en el año 9.

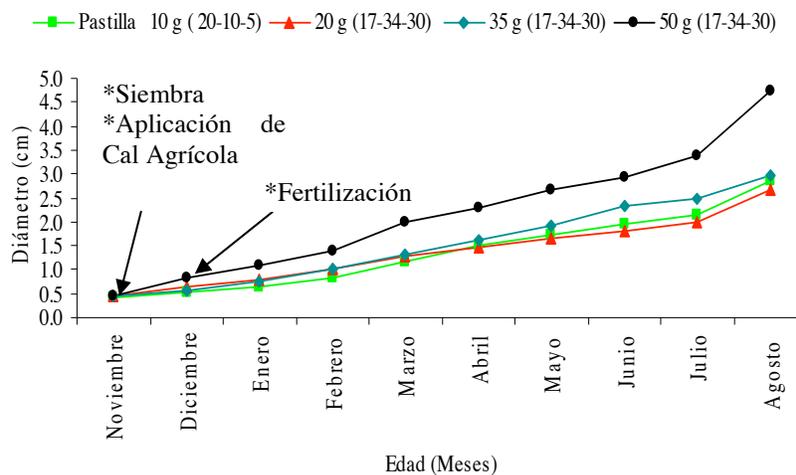


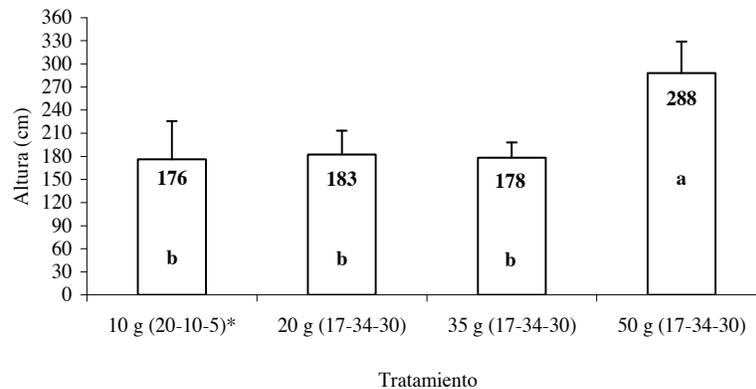
Figura 2.2. Relación diámetro-edad de plantas de teca, bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Crecimiento acumulado

El análisis de varianza indica diferencia altamente significativa para las variables altura, y diámetro de planta, durante los 10 meses de evaluación en campo, el tratamiento con 50 g de la fórmula (17-34-30) mostró un crecimiento mayor en altura y diámetro con respecto a los otros

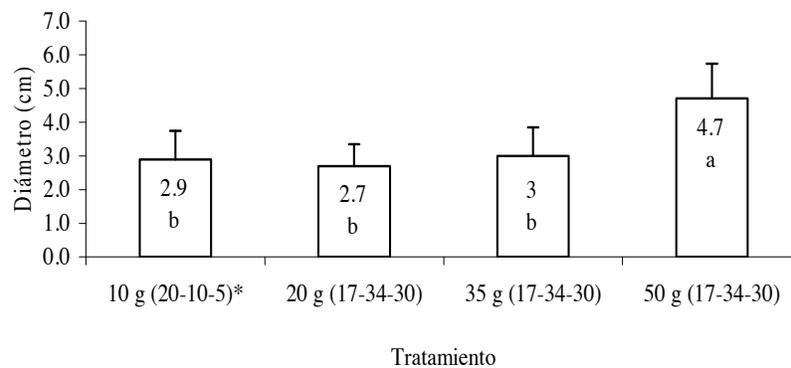
tratamientos. En las figuras 2.3 y 2.4 se presenta el crecimiento acumulado para altura ($P > F = 0.000$) y diámetro de planta ($P > F = 0.000$), durante los 10 meses (Noviembre-Agosto).

El aporte nutrimental presente en este suelo es elevado debido a un alto nivel de fertilidad con alto contenido de MO debido a que anteriormente el sitio era un acahual bien establecido.



* Pastilla de lenta liberación

Figura 2.3. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de teca en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.



*Pastilla de lenta liberación

Figura. 2.4. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de teca, en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco.

Melina

Altura de las plantas

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para la variable altura de planta durante los 10 meses de evaluación en campo. En la Figura 2.5. Se observa que el tratamiento que presentó mayor tasa de desarrollo fue la pastilla de lenta liberación (342 cm) junto con el tratamiento con 35 g (34-17-60; N-P-K) (331 cm)

De noviembre a diciembre el crecimiento fue similar en los cuatro tratamientos; de diciembre a julio presentó un patrón de crecimiento similar, sin embargo de julio a agosto los tratamientos que tuvieron una mayor respuesta fueron las pastilla y los 35 g sin embargo el crecimiento con estos tratamientos tiende a seguir una forma exponencial.

El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1995) reporta crecimiento en altura de 300 cm año⁻¹ en buenos sitios. Vallejos (1996) clasifica de excelente cuando se tiene una altura mayor de 3.91, bueno cuando la altura es de 3.90 a 3.21, medio cuando es de 3.20 a 2.33, bajo cuando es de 2.32 a 1.23 y marginal cuando la altura es menor a 1.22 cm año⁻¹.

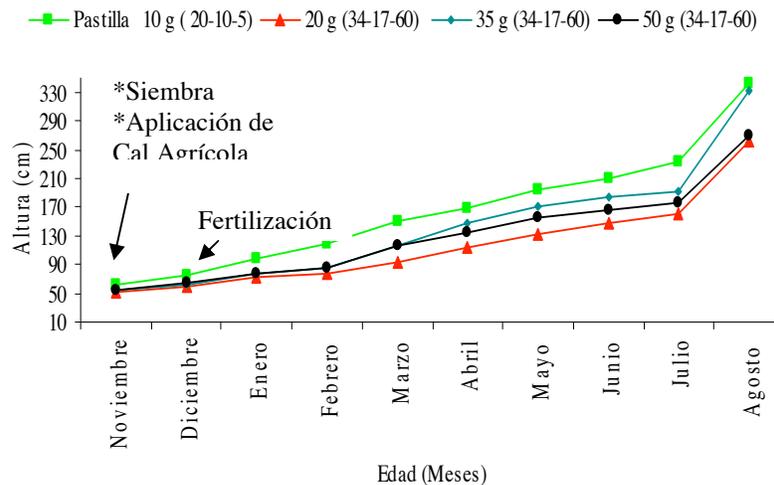


Figura. 2.5. Relación altura-edad de plantas de melina, bajo diferentes tratamientos de fertilización.

Diámetro del tallo

La variable diámetro del tallo presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos durante los 10 meses de evaluación en campo. En la figura 2.6 se observa la evolución temporal del diámetro promedio del tallo en las plantas de melina; de noviembre a marzo se observa un crecimiento similar, pero a partir de este mes., los tratamientos con la pastilla de lenta liberación, 35 y 50 g (34-17-60; N-P-K), presentan una mayor tasa de desarrollo (6.7, 6.6 y 6.3 cm año⁻¹ respectivamente).

Alfaro (2000) menciona que en un buen sitio, el incremento del diámetro es de un promedio de 2.6 cm año⁻¹, si embargo el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE, 1995) reporta crecimiento en diámetro de 3.1 y 4.0 cm año⁻¹. Vallejos (1996) clasifica de excelente cuando se tiene una diámetro mayor de 4.63, bueno cuando es de 4.62 a 3.61, medio cuando es de 3.60 a 2.91, bajo cuando es de 2.90 a 1.91 y marginal cuando el diámetro es menor a 1.90 cm/año. Los resultados obtenidos en cuanto al diámetro son mayores a lo reportado por diferentes autores.

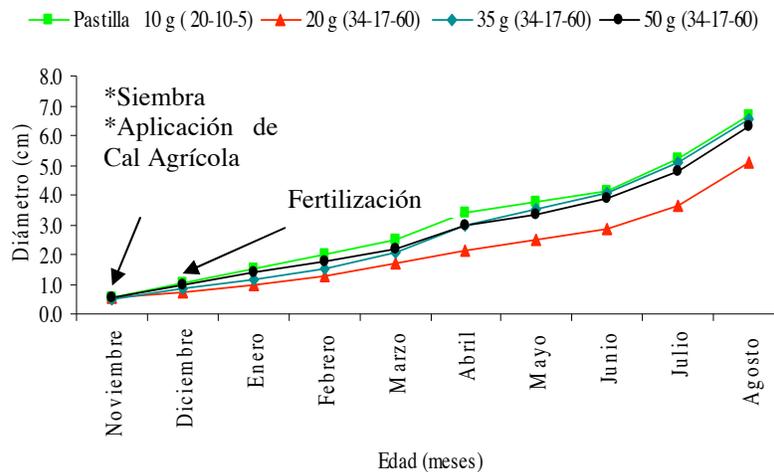
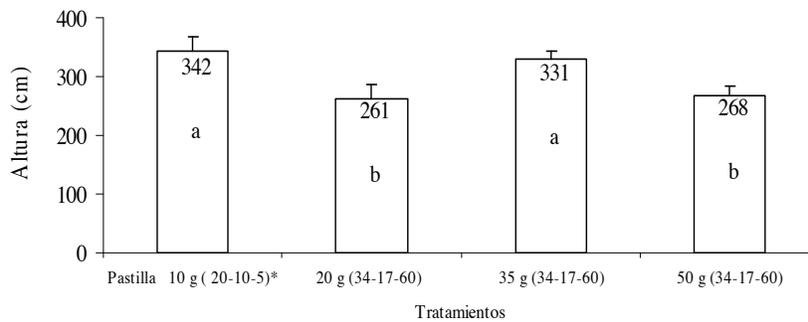


Figura. 2.6. Relación diámetro-edad de plantas de melina, bajo diferentes tratamientos de fertilización.

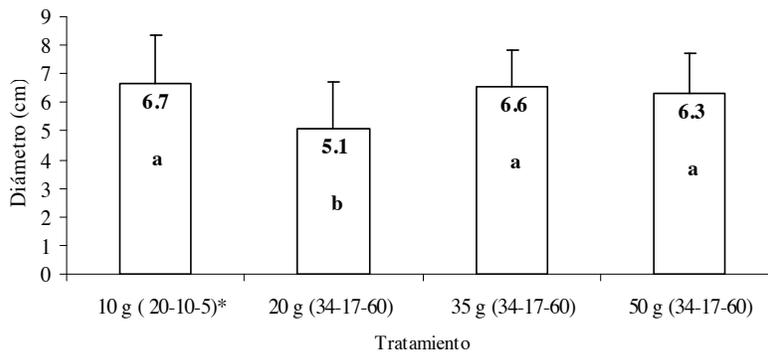
Crecimiento acumulado

Para el crecimiento acumulado durante los 10 meses de evaluación en campo se encontró diferencias altamente significativas para las variables altura ($P > F = 0.001$) y diámetro ($P > F = 0.020$). Los tratamientos que mayor respuesta presentaron para el caso de la altura fueron con la pastilla de lenta liberación, y 35 g de la fórmula (17-34-30) y para el caso del diámetro la pastilla, 35 g y 50 g de la fórmula (34-17-60) mostraron un crecimiento mayor. (Figuras 2.7 y 2.8).



*Pastilla de lenta liberación

Figura 2.7. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable altura, en plantaciones de melina en fase temprana de crecimiento en un suelo de sabana en Tabasco, México.



*Pastilla de lenta liberación

Figura 2.8. Efecto de tratamientos de fertilización sobre la variable diámetro, en plantaciones de melina en fase temprana de crecimiento, en un suelo de sabana en Tabasco, México.

La demanda nutrimental NPK de la teca y melina

En el Cuadro 2.3 y 2.4, se muestran para teca y melina (respectivamente) los valores promedios estimados para cada uno de los componentes de árbol. En las especies en estudio la mayor extracción de N y K la realiza el tallo, y la mayor extracción de P la hoja, la mayor concentración de N y P se observa en hojas y del P en tallo, para la especie teca. Esta especie puede remover apreciables cantidades de nutrientes. Nwoboshi, (1984) encontró que los requerimientos nutricionales aumenta con la edad y que presentan un orden de $K > Ca > N > P > Mg$, de igual manera menciona que el mayor requerimiento de nutriente ocurre a edades mayores a los 9 años. Para el caso de la melina, la mayor extracción de N, P y K la realiza el tallo, la mayor concentración de estos nutrimentos se encuentra en hojas.

Cuadro 2.3. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de teca en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante), en un suelo de sabana en Tabasco, México.

Componente	Peso seco (g árbol ⁻¹)	Concentración Nutrimental (%)			Extracción de nutrimentos g árbol ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
Hoja	624	1.85	0.33	0.22	11.91	1.81	1.36
Tallo	2580	0.82	0.038	0.1	20.06	0.94	2.67
Raíz	1512	0.76	0.036	0.103	11.66	0.55	1.53
Total					43.63	3.3	5.56

Cuadro 2.4. Concentración nutrimental y extracción de nutrimentos NPK de los diferentes componentes de melina en fase temprana de crecimiento (hasta 10 meses después del trasplante) en un suelo de sabana en Tabasco, México.

Componente	Peso (g árbol ⁻¹)	Concentración Nutrimental (%)			Extracción de nutrimentos g árbol ⁻¹		
		N	P	K	N	P	K
Hoja	1610	2.49	0.169	1.85	38.63	2.62	2.92
Tallo	10280	0.87	0.025	0.048	71.96	2.71	5.21
Raíz	5955	1.04	0.024	0.026	44.27	1.33	1.44
Total					154.86	6.66	9.57

Las cantidades de nutrientes (N,P,K) que demandan por ha las plantaciones de teca y melina (1111 plantas ha⁻¹) se observan en las Figuras 2.9 y 2.10 respectivamente, la relación es N>K>P, lo cual está de acorde con diversos trabajos (Montero, 1995., Vásquez y Ugalde, 1995). La melina fue la especie que demandó mayor cantidad de nutrimentos y tuvo una mejor adaptación a los suelos Acrisol distr-hiperferrico (ACdyhfr), que fueron objeto de estudio y que son representativos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

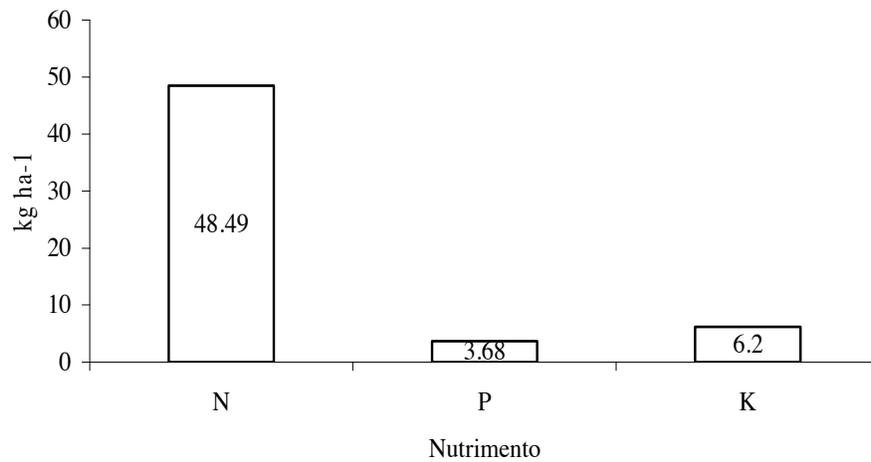


Figura 2.9. Demanda nutrimental N, P, K en teca (1111 árboles ha⁻¹) en fase temprana de crecimiento.

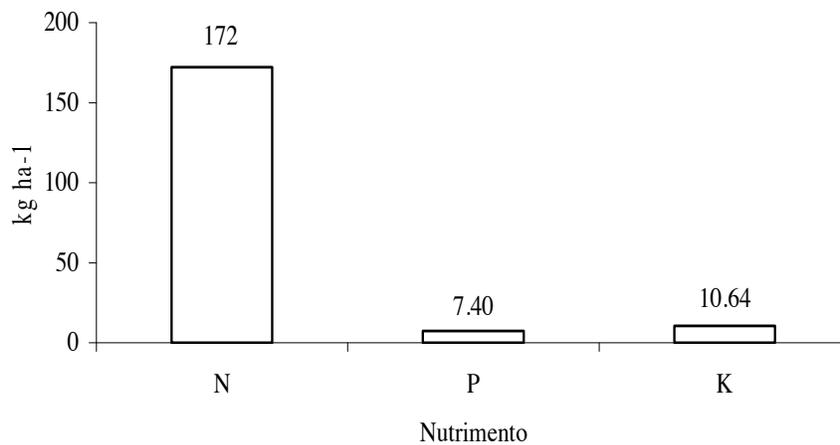


Figura 2.10. Demanda nutrimental N, P, K en melina (1111 árboles ha⁻¹) en fase temprana de crecimiento.

CONCLUSIONES

La melina (*Gmelina arborea* Roxb.) presentó un mayor crecimiento en altura y diámetro que la teca (*Tectona grandis* Linn. F.) al crecer en un suelo Acrisol distri-hiperférico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Se registraron diferencias significativas en la altura y diámetro, tanto en teca (*Tectona grandis* Linn. F.) como en melina (*Gmelina arborea* Roxb.), evaluadas durante 10 meses, en los tratamientos de fertilización bajo prueba.

La aplicación de la pastilla fertilizante (20-10-05) favoreció un mejor desarrollo en altura total y diámetro para la melina que los otros tratamientos.

La melina (*Gmelina arborea* Roxb.) presentó una mayor demanda nutrimental y mejor exploración radical que la teca (*Tectona grandis* Linn. F.) creciendo en el mismo suelo.

El presente estudio aporta elementos para elaborar programas de fertilización para la teca y melina, establecidas en un suelo Acrisol distri-hiperférico (ACdyhfr) de la sabana de Huimanguillo.

LITERATURA CITADA

Alfaro, M. 2000. Melina: la madera del futuro. Revista Forestal Centroamericana 29: 34-38.

Alfaro, M y de Camino, R. 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central América. Editado por M. Varmola. FAO, Working Paper FP/20. Roma, Italia 18 p.

Alvarado, A. 2003. Escogencia de tierras y manejo de nutrición en plantaciones tropicales. In Memoria del "Seminario y grupo de discusión virtual sobre teca, 26-27 y 28 de noviembre de 2003. Heredia, CR, Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales. ISBN 9968- 9996- 3-6. 1 disco compacto.

- Aparicio, V. M., Schargel, I., Bonilla, J. y Vargas, M. 2004. Crecimiento de una plantación de teca (*Tectona grandis* L.F.) sobre suelos de la serie Guanare, Gato Negro, estado Portuguesa, Venezuela (Resumen) In IV Congreso Forestal Venezolano. MARNSVIF-UNELLEZ-ULA. P.26.
- Arce, V y Fonseca, W. 2003. Relación albura- duramen y características físicas de la madera de *Tectona grandis* L.f en plantaciones de 10 años con diferente densidad de siembra, Guanacaste, Costa Rica. Heredia, CR, Universidad Nacional, INISEFOR. In Seminario “La industria y la comercialización de productos forestales en Latinoamérica”.125-135 pp.
- Barahona, R. 2000. Caracterización detallada de los suelos de San Nicolás y prácticas recomendadas para su uso sostenible, El Zamorano, Honduras. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 56 p.
- Batis, A. I., Alcocer, M.I., Gua, M. I, Sánchez, C. y Vázquez, C. Y... 1999. Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosos para la Restauración Ecológica y la Reforestación. CONABIO-Instituto de Ecología, UNAM. México, D.F.
- Brady, N.C. and Weil, R.R.. 1999. The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Bigham, J.M. and Bartels J.M. (editors) 1996: Methods of soils analysis, SSSA book series 5 (part 3): Chemical Methods. American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. 1390 pp.
- Boult, C., E.J. Hewitt y P. Needham. 1984. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 1 Principles. Chemical Publishing. New Cork.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1995. Rendimiento y calidad de sitio para la *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatum*, y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1997. Resultados de 10 años de investigación silvicultural del proyecto MADELEÑA en Panamá. Luis A. Ugalde Arias (ed). Turrialba, CR. Serie Técnica no. 293. 133 p.

- CSTPA. 1980, Council on Soil Testing and Plant Analysis.. Handbook on Reference Methods for Soil Testing. Athens, Georgia.USA. 459 p.
- Chávez, E. y Fonseca, W. 1991. 1991. Teca (*Tectona grandis*), especie de árbol de uso múltiple en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 47 p.
- Conafor (Comisión Nacional Forestal) (2005), Guía para la elaboración de la propuesta técnica forestal y ambiental. México.
- Etchevers BJD, Espinoza GW, Riquelme E (1971) Manual de fertilidad y fertilizantes. 2da. ed. corr. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chile. 62 pp.
- Fonseca, W. 2000. La aplicación de fertilizantes químicos en (*Tectona grandis* Linn. f.) en Guanacaste, Costa Rica. In. Consejo Nacional de Rectores, Oficina de Planificación de Educación Superior. Taller de Nutrición Forestal. San José, Costa Rica. pp. 39-44.
- García P., O. / "Historia y Geografía de Tabasco" / Editorial Santillana / México, 1996.
- Gayoso A, J. y Guerra C, J. 2005. Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosques*: vol. 26 (2) 33-38. Valdivia, Chile.
- Hinkelmann, K.; Kempthorne, O. 1994. Design and análisis of experiments: introduction to experimental design. USA John Wiley-Interscience.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2002). Estadísticas Ambientales, Superficie forestal por ecosistema según formación primaria y vegetación secundaria.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2006). Carta de Uso del Suelo y Vegetación, 1:250 000. Serie III. México.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. and Schulze E.D. (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*.108: 389-411.

- Marmillod, D., De La Rosa, T., Panduro M. Y., Cornejo A. C., Correa D, V. 2007. Diagnostico para evaluar estrategias de manejo para la caoba. Documento técnico No. 18. Proyecto Diversidad Biológica de la Amazonía Peruana – BIODAMAZ. Perú. 28 p.
- Mollinedo G, 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.
- Montero, M. 1995. Dinámica de crecimiento de teca (*Tectona grandis*) bajo fertilización en El Limón de Chupampa, Herrera, Panamá. In. Memorias del Seminario Técnico sobre Fertilización Forestal realizado en Santiago, Veraguas, Panamá. CATIE/ INRENARE. pp. 17-29.
- Moreno, G., Obrador, J.J., Cubera, E., Dupraz, C. 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil* 277:153–162. Springer.
- Moya, R. 2002. Influencia del cambium, tasa de crecimiento y nivel de precipitación sobre la densidad básica de la teca en Costa Rica. *Madera y Bosques*. 8(1):39-49 p.
- Nwoboshi, 1984. Growth and Nutrient Requirements in a teak Plantation Age Series in Nigeria. II. Nutrient Accumulation and Minimum Annual Requirements. *Forest Science* (EEUU) 30(1):35-40.
- Obrador, O.J.J. 1991. Dinámica del fósforo en unidades de suelos del estado de Tabasco. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Orizaba, Ver. 67 p.
- Olsen, S.R. and Dean, L.A. (1965): Methods of soil analysis. Part 2. *Agronomy* 9: 1035-1049.
- Pérez-Corona ME, García-Ciudad A, García-Criado B, Vázquez-Aldana B (1995) Patterns of aboveground herbage production and nutritional quality structure on semiarid grasslands. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 26: 1323-1341.
- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2000. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco 2ª. Ed. ISPROTAB-FUNDACION PRODUCE-COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Villahermosa, Tabasco, México. 118p

- Palma-López D.J., J. Cisneros D., E. Moreno C. y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 196p.
- Rodríguez S., J. 1992. Manual de fertilización, Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, 362 p.
- Russel, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russel. Madrid, Mundi-Prensa. España. 632 p.
- Rojas R. F. Murillo G. O, 2004. Manual para productores de melina en Costa Rica
- Rhoman P. C., Cox F.R. 1988. Evaluation of modified Olsen extracting reagent for copper , zinc and manganese. *Communications in Soil Science and plant Analysis* 19: 1859-1870.
- Santa Regina, I., T. Tarazona. 2001. Nutrient cycling in a natural beech forest and adjacent planted pine in northern Spain. *Forestry*, vol. 74 N° 1, p. 11-28.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). 2003. Anuarios estadísticos de la producción forestal. Subsecretaria de Recursos Naturales. Dirección General Forestal. México. www.semarnat.gob.mx/ssrn/DGForestal Economics 1 (1): 7-44.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SERMANAP). 2000. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 1998. *Ley Forestal Y Su Reglamento*. Primera edición. SEMARNAP. México.
- Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. and Beaton, J.D. 1985. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Company. U.S.A. 754 p.

- Walkley, A. and Black, I.A. 1932. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic acid titration method. J. Amer. Soc. Agron. 24:256-275.
- Vanmechelen, L., Groenemans, R., and Van Ranst, E.1997. Forest soil condition, results of a large scale soil survey. Forest Soil Coordinating Center, Belgium. 261 p.
- Vargas M. J.; Quezada, H.; Morales, M. 2007. Estado actual de las investigaciones de la Teca (*Tectona grandis* L.F.) en el valle de sacta, Cochabamba, Bolivia. vol. 3.
- Vallejos, B.O. 1996. Productividad y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L f., *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica. Tesis Mag. Ciencias. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 147 p.
- Vásquez, W; Ugalde, L.A. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona grandis*, *Bombacopsis quinatun* y *Pinus caribaea* en Guanacaste, Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico No. 256. Convenio de Cooperación entre el Proyecto MADELEÑA 3/Proyecto Forestal Chorotega (IDA/FAO/HOLANDA). 33 p.
- Viets F.G y Lindsay W. L, 1973. suelos para Pruebas de zinc, cobre, manganeso y hierro. En: Ensayos de Suelos y Plantas de Análisis (Editores: LM Walsh y J Beaton) Edafología Society of America Inc., Madison, Wisconsin, pp153-172
- Walkley, A. and Black, I.A. 1932. An examination of the Degjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic acid titration method. J. Amer. Soc. Agron. 24:256-275.
- Wiersum, E. 1983. Early experiments in agroforestry: colonial tobacco cultivation with tree fallows in Deli, Sumatra. The International Tree Crops Journal. 2: 313-321.