



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO FORESTAL

CRECIMIENTO, PERIODICIDAD Y BIOMASA

DE *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson

EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA

FILEMÓN MANZANO MÉNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2010

La presente tesis titulada: “**Crecimiento, periodicidad y biomasa de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca**”, realizada por el alumno **Filemón Manzano Méndez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
POSTGRADO FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 

DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR: 

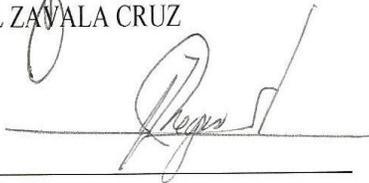
DR. JUAN IGNACIO VALDEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: 

DR. HUMBERTO VAQUERA HUERTA

ASESOR: 

DR. JOEL ZAVALA CRUZ

ASESOR: 

DRA. PATRICIA NEGREROS CASTILLO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2010.

**CRECIMIENTO, PERIODICIDAD Y BIOMASA DE *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson
EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA**

Filemón Manzano Méndez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

Zanthoxylum kellermanii P. Wilson es una especie forestal maderable de la selva perennifolia del norte de Oaxaca, se utiliza en construcciones rurales, madera para muebles y leña, su estudio permitió determinar el crecimiento en diámetro, la periodicidad de anillos de crecimiento y la biomasa. El crecimiento en diámetro fue evaluado mediante la instalación de bandas dendrométricas en diferentes categorías diamétricas, calidades y posiciones de copa, donde el crecimiento promedio anual fue de 0.86 a 1.87 cm para categorías diamétricas, de 0.52 a 2.04 cm para calidades de copa y de 0.73 a 1.70 cm para posiciones de copa; los análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en todos los casos. La periodicidad de anillos de crecimiento fue evaluada mediante incisiones realizadas en árboles y su derribo posterior para la obtención de muestras de madera en las que también se estimaron los crecimientos e incrementos radiales con los datos de número de anillos y ancho de los mismos. La formación de anillos fue periódica y anual y el ancho de los mismos estuvo estrechamente correlacionado con la precipitación ($p \leq 0.05$). La estimación de biomasa se realizó mediante un método destructivo haciendo la separación de sus compartimientos (follaje, ramas y fuste), la proporción de biomasa promedio fue de 83.21 % en el fuste, 13.57% en las ramas y 3.22% en follaje. Los resultados sugieren que la especie puede utilizarse en programas de manejo sustentable y de recuperación forestal en el área de estudio.

Palabras clave: *categoría diamétrica, calidad y posición de copa, especie maderable, anillos de crecimiento, zonas de crecimiento, peso seco total.*

**GROWTH PERIODICITY AND BIOMASS OF *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson IN A
EVERGREEN FOREST OF NORTHERN OAXACA**

Filemón Manzano Méndez, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2010

Zanthoxylum kellermanii P. Wilson is a timber tree species in the evergreen forests of northern Oaxaca, is used in rural construction, wooden furniture and firewood, their study allowed to determine the growth in diameter, the periodicity of growth rings and the biomass. The growth in diameter was assessed with the installation of dendrometric bands on different diameter categories and qualities and positions of crown, where the average annual growth was 0.86 to 1.87 cm for diameter categories, from 0.52 to 2.04 cm for qualities of crowns and from 0.73 to 1.70 cm for crowns positions; the analysis of variance showed highly significant differences ($p < 0.001$) in all cases. The periodicity of growth rings was evaluated by incisions in trees which were later logged to obtain wood samples, these were also analyzed to estimate the increase and radial growth using the data: number and width of rings. The ring formation was regular and annual and its width was closely correlated with rainfall ($p \leq 0.05$). The biomass estimated was made with the destructive method and separate the following sections: foliage, branches and stem; the ratio of average biomass was 83.21% in the stem, 13.57% in branches and 3.22% in foliage. The results suggest that the species can be used in programs of sustainable management and forest recovery in the study area.

Keywords: *diameter categories, quality and position of crowns, timber species, growth rings, areas of growth, total dry weight.*

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, quien con su luz me permitió llegar a esta nueva etapa de mi vida profesional.
- A la Fundación FORD y al Programa de Becas de Postgrado para Indígenas de México por la beca otorgada para cursar el doctorado así mismo al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por la beca tesis para concluir este documento.
- Al Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de formarme como Doctor en esta prestigiada institución de México.
- Al programa PROCYMAF de la Comisión Nacional Forestal de Oaxaca, por el financiamiento para la realización de una parte de la investigación de campo.
- Al Dr. Miguel Ángel López López, por su humildad y gran apoyo brindado, así como su interés manifestado en cada etapa de mi formación académica en el Colegio.
- Al Dr. Juan Ignacio Valdez Hernández, por sus excelentes enseñanzas y por despertar en mí el interés de conocer el fascinante mundo de los bosques tropicales.
- Al Dr. Humberto Vaquera Huerta, por su colaboración en el trabajo, disponibilidad y tiempo dedicado en la asesoría estadística.
- Al Dr. Joel Zavala Cruz, por su sencillez y disposición de ayuda en todo momento.
- A la Dra. Patricia Negreros Castillo, por su interés en el tema de estudio, colaboración y presencia en los momentos necesarios.
- A las autoridades agrarias de Comaltepec, por permitirme realizar esta investigación en su territorio y a la gente de Soyolapam, por su hospitalidad y ayuda en el trabajo.
- A Víctor Interián, Elizandro Pineda, Alberto Almazán y Francisco López por compartir juntos la experiencia de incursionar en el estudio de las selvas de México.

DEDICATORIAS

A mis hijos:

Diana y Gerardo;

*quienes con su ternura me inspiraron
para llegar a cumplir esta nueva meta*

A mi esposa:

Verónica;

*Por su comprensión, confianza
y su siempre disponibilidad de apoyo*

A mis padres:

Rosa y Aurelio

por sus bendiciones y consejos de toda la vida

A mis hermanos:

Petra, Inés, Dino, Laura, Rebeca y Diego;

por el apoyo moral en todo momento

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO I. CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE <i>Zanthoxylum Kellermanii</i> P. Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA.....	12
1.1. Resumen.....	12
1.2. Introducción.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.4. Materiales y métodos.....	14
1.4.1. Selección de individuos y colocación de bandas dendrométricas.....	14
1.4.2. Análisis estadístico.....	15
1.5. Resultados y Discusión.....	16
1.5.1. Categorías diamétricas.....	16
1.5.2. Calidad y posición de copa.....	20
1.6. Conclusiones.....	28
1.7. Referencias.....	29
CAPÍTULO II. ANILLOS DE CRECIMIENTO Y PERIODICIDAD DE <i>Zanthoxylum Kellermanii</i> P. Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA.....	36
2.1. Resumen.....	36
2.2. Introducción.....	37
2.3. Objetivos.....	38
2.4. Materiales y métodos.....	39
2.5. Resultados y discusión.....	42
2.5.1. Anillos de crecimiento y periodicidad.....	42
2.5.2. Relación precipitación-ancho de zonas de crecimiento.....	47
2.5.3. Crecimiento e incremento radiales.....	50
2.6. Conclusiones.....	55
2.7. Referencias.....	56

CAPÍTULO III. ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN COMPARTIMIENTOS AÉREOS DE <i>Zanthoxylum Kellermanii</i> P. Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA.....	61
3.1. Resumen.....	61
3.2. Introducción.....	62
3.3. Objetivos.....	63
3.4. Materiales y métodos.....	63
3.4.1. Toma de datos.....	63
3.4.2. Ecuaciones alométricas y análisis estadístico.....	64
3.4.3. Distribución de la biomasa.....	65
3.5. Resultados y Discusión.....	66
3.5.1. Ecuaciones alométricas.....	66
3.5.2. Distribución de biomasa aérea.....	69
3.6. Conclusiones.....	72
3.7. Referencias.....	72
DISCUSIÓN GENERAL.....	76
CONCLUSIONES GENERALES.....	79
Referencias.....	80

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Tabla 1.1. Crecimiento anual en diámetro mínimo, medio y máximo de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por categoría diamétrica.....	18
Tabla 1.2. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica registrado durante 7 bimestres en árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	18
Tabla 1.3. Valores medios del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	19
Tabla 1.4. Crecimiento anual en diámetro mínimo, medio y máximo de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por calidad de copa.....	20
Tabla 1.5. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por calidad de copa para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	23
Tabla 1.6. Valores medios del crecimiento acumulado en diámetro por calidad de copa para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	24
Tabla 1.7. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por posición de copa.....	24
Tabla 1.8. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por posición de copa registrado para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	26
Tabla 1.9. Valores medios del crecimiento en diámetro por posición de copa para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	27
Tabla 2.1. Valores de coeficientes de correlación entre la precipitación y el ancho de zonas de crecimiento <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por categoría diamétrica.....	47
Tabla 2.2. Ecuaciones para el cálculo del CA por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	50
Tabla 2.3. Ecuaciones para el cálculo del ICA e IMA por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	50
Tabla 2.4. Análisis de varianza del modelo de Schumacher por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	51
Tabla 2.5. Edad y valor máximo alcanzado del crecimiento acumulado (CA) por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	52
Tabla 2.6. Edad y valor máximo alcanzado del (ICA) e (IMA) por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	52
Tabla 3.1. Ecuaciones alométricas y sus valores estadísticos, para la estimación del peso seco (Kg) a nivel de compartimientos y de árbol total en <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	66

Tabla 3.2. Peso seco (Kg) y distribución de biomasa aérea (%) en los compartimientos para las diferentes categorías diamétricas de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	69
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por categoría diamétrica: 5 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c), 20 cm (d), 25 cm (e) y 30 cm (f).....	17
Figura 1.2. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por categoría diamétrica.....	20
Figura 1.3. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=6) de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> con calidad de copa uno.	21
Figura 1.4. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=9) de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> con calidad de copa dos.....	21
Figura 1.5. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=7) de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> con calidad de copa tres.....	22
Figura 1.6. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por calidad de copa.....	22
Figura 1.7. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa dos.....	25
Figura 1.8. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa tres.....	25
Figura 1.9. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> por posición de copa.....	26
Figura 2.1. Cicatrices bimestrales en la madera de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> realizadas durante dos años (mayo 2006–mayo 2008) para la categoría diamétrica 5 cm.....	43
Figura 2.2. Cicatrices bimestrales en la madera de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 15 cm.....	44
Figura 2.3. Cicatrices bimestrales en la madera de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 20 cm. total de cicatrices (A), cicatrices inicial y final (B: ampliación).....	45

Figura 2.4. Cicatrices bimestrales en la madera de <i>Zanthoxylum kellermanii</i> realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 25 cm.....	46
Figura 2.5. Relación de la precipitación con el ancho de zonas de crecimiento (mm) en <i>Zanthoxylum kellermanii</i> para un periodo de dos años (mayo 2006–mayo 2008): categorías diamétricas 5 cm (A) y 15 cm (B).....	48
Figura 2.6. Relación de la precipitación con el ancho de zonas de crecimiento (mm) en <i>Zanthoxylum kellermanii</i> para un periodo de dos años (mayo 2006–mayo 2008): categorías diamétricas 20 cm (A) y 25 cm (B).....	49
Figura 2.7. Curvas de crecimiento acumulado (CA) por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	53
Figura 2.8. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) por categoría diamétrica de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	54
Figura 3.1. Curvas de regresión ajustada para la estimación de biomasa aérea por compartimientos: fustes (A), ramas (B) y follaje (C) de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	67
Figura 3.2. Curvas de regresión ajustada para la estimación de biomasa aérea total de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	68
Figura 3.3. Distribución proporcional de la biomasa aérea en cada uno de los compartimientos de <i>Zanthoxylum kellermanii</i>	71

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los bosques tropicales representan una de las más importantes formaciones vegetales de la tierra por su extensión y por su alta diversidad biológica. Estos bosques dan a nuestro planeta la mayor parte de su diversidad pues se encuentran entre los ecosistemas más ricos y diversos del mundo (Richards, 1994), además tienen gran influencia en el clima global y en la atmósfera ya que son fuente de estabilidad climática e influyen fuertemente en los ciclos del agua y del carbono, entre otros elementos (Makocki, 2000).

En Latinoamérica, como en el resto del mundo, los bosques tropicales húmedos han estado sujetos en los últimos 50 años a un rápido proceso de destrucción y fragmentación como resultado de prácticas de manejo de la tierra incompatibles con la conservación y el aprovechamiento razonado de los recursos naturales que tales bosques guardan (Estrada y Coates-Estrada, 2003), a su vez el incremento de la población humana y la demanda internacional de maderas finas, son factores que han causado un impacto ecológico considerable y quizá irreversible, manifestado en la disminución de su superficie y como consecuencia la desaparición de especies (Challenger, 1998).

En las últimas décadas, la protección de los bosques tropicales ha cobrado gran importancia, sin embargo en muchos casos estos esfuerzos se han orientado a la conservación extrema y se han establecido varias reservas y parques nacionales, pero se tienen escasos conocimientos sobre la biología de estos complejos ecosistemas, y es notable la falta de investigación orientada a esquemas que permitan aprovechar las selvas de manera sostenible, pues resulta difícil la

conservación de un área natural protegida que esté rodeada por paisajes bajo destrucción o aprovechamientos intensivos (Makocki, 2000). De acuerdo con la FAO (1982), en estos bosques debe considerarse la realización de un manejo racional orientado, que considere un balance entre funciones y valores económicos, ambientales y sociales, en beneficio de las generaciones actuales y futuras.

Organismos como la FAO (1982), describen que la producción de madera en las regiones tropicales es muy apreciada por sus pobladores debido, entre otras características, a su peso, dureza, color, durabilidad, forma y calidad. Sin embargo una de las mayores dificultades en el aprovechamiento forestal es que no se tiene determinaciones exactas sobre el ritmo de crecimiento en los árboles tropicales, debido principalmente a la heterogeneidad de estos ecosistemas en donde cada especie tiene ritmos de crecimiento propios relacionados con variables climáticas y estacionales bien definidas (Mariaux, 1981; Makocki y Valdez, 2001; López *et al.*, 2006). Estos factores análogos al descenso de temperatura para climas templados, son la estación seca y las inundaciones en las selvas tropicales que tienen efecto en la actividad del cambium, generando en consecuencia zonas de crecimiento periódico en la madera (Worbes, 1995).

El conocimiento detallado sobre la dinámica, distribución, patrones de crecimiento, reproducción, fenología, usos y la estimación de la edad de las especies tropicales, son datos necesarios e importantes para lograr una actividad forestal regulada bajo un enfoque de manejo sostenible de las selvas (Gómez-Pompa, 1985; Challenger, 1998; Snook, 2000; Makocki y Valdez, 2001), evitando así el cambio de uso del suelo.

Desde el punto de vista de su ubicación geográfica, México ocupa una posición privilegiada en la distribución de las selvas (Estrada y Coates-Estrada, 2003) debido a que se encuentra en el límite norte de su distribución en el Continente Americano que es donde la zona templada y la zona tropical convergen, constituyendo el tercer ecosistema más importante del país ocupando una superficie de 26.4 millones de has, del territorio nacional y es aquí donde se encuentra un mayor potencial de productos maderables y no maderables.(Challenger, 1998; SEMARNAP-UACH, 1999). Tal situación provee a México de una gran responsabilidad de cuidar este patrimonio natural, por lo que es claro que el estudio de las selvas requiere de una acumulación ordenada de conocimientos que nos permitan conservar y aprovechar racionalmente estos ecosistemas.

Particularmente las selvas altas perennifolias son distintivas de regiones con precipitaciones anuales promedio superiores a 2000 mm , con clima cálido húmedo y temperaturas medias que suelen variar de entre 22 y 26 °C; se les considera como el tipo de vegetación mas exuberante y rico en especies, los arboles del estrato superior miden más de 30 m de altura y frecuentemente alcanzan los 65 o 75 m, los diámetros promedio de los troncos miden entre 30 y 60 cm a la altura de pecho pero se presentan con frecuencia individuos con diámetros hasta de 2 o 3 m. (Penington y Sarukhan, 2005) como otras formaciones vegetales estas selvas representan un gran potencial forestal que aun no se aprovecha adecuadamente, pues aunque se les ha caracterizado florística, estructural y fisonómicamente (Miranda y Hernández, 1963; Rzedowski, 1978; Challenger, 1998), la mayoría de las especies forestales de este ecosistema carecen de información sobre su incremento en diámetro, anillos de crecimiento y distribución de su biomasa.

La investigación se llevó a cabo en la localidad de San Martín Soyolapan, la cual se ubica fisiográficamente en la cuenca del Río Papaloapan, en las estribaciones de la Sierra Norte, políticamente pertenece al municipio de Santiago Comaltepec y al distrito de Ixtlán de Juárez y cuya superficie es de 65.07km² que representa el 0.07% de la superficie total del estado, formando parte de la zona conocida culturalmente como Chinantla (INEGI, 1983; De Teresa, 1999). Se ubica en las coordenadas 17° 41' 53.5'' de latitud norte y 96° 16' 57.3'' de longitud oeste, a una altura de 160 metros sobre el nivel del mar (Figura 1).

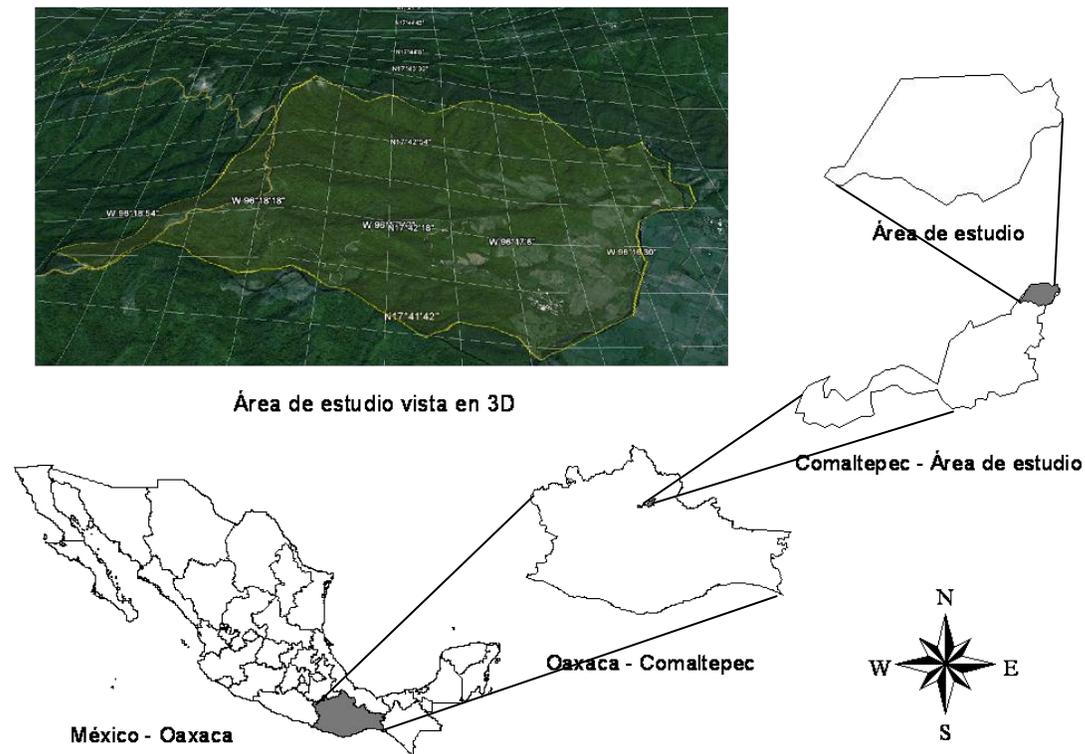


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio: San Martín Soyolapan, municipio de Comaltepec, estado de Oaxaca.

El clima se clasifica como Am e(g)w”, cálido húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 24 °C (máxima 28, mínima 21) y 3590 mm de precipitación al año (García, 1987). El tipo de vegetación corresponde a una selva alta perennifolia (Pennington y Sarukhán, 2005).

Geomorfológicamente la zona forma parte de una cordillera de accidentada topografía en dirección noroeste sureste cuyo intervalo altitudinal va de los 200 hasta los 3,000 msnm. El material parental lo constituyen rocas metamórficas, aunque también hay afloramientos de rocas extrusivas y calizas. Los suelos que se han identificado abarcan los siguientes grupos: rojo-amarillentos lateríticos, amarillo-rojos latosólicos, litosuelos cársticos, migajones rojos y lateritas (Ramos y Hernández, 1967). Presenta un clima Am calificado como cálido subhúmedo con lluvias la mayor parte del año y hasta 3,000 mm de precipitación anual (García, 1987).

De acuerdo a un análisis del suelo realizado para el área de estudio se tienen las siguientes características: suelos fuertemente ácidos, con bajos contenidos de sales y medianamente ricos en materia orgánica, el porcentaje de nitrógeno total se considera medio y un contenido de fósforo y potasio muy bajo.

pH	CE 1:5 H ₂ O Mmhos/cm	M.O. (%) Walkley Black	N (%)	P Olsen ppm	K NH ₄ OacNpH7 Meq/100g
4.4	0.02	2.7	0.13	2	0.1

CE= Conductividad eléctrica, M.O. = Materia orgánica, N=Nitrógeno, P=Fósforo, K=Potasio

La fertilidad del suelo, determinada a través de la capacidad de intercambio catiónico es baja y la textura del suelo es franco arcillo arenosa.

CIC Meq/100g	Textura			Clasificación textural
	Arena	Limo	Arcilla	
7.7	49	22	28	Franco-arcillo-arenoso

CIC= Capacidad de intercambio catiónico

La vegetación predominante corresponde a la Selva Alta Perennifolia, que de acuerdo con De Teresa (1999) es la tercera masa más extensa de selvas húmedas del país y se caracteriza por árboles mayores de 30 m con abundantes bejucos y plantas epifitas y que es perenne todo el año, una temporada seca nula o muy corta y una temperatura media anual superior a 20° C (Miranda y Hernández, 1963).

Las especies más importantes en las áreas bajas de estas selvas que se citan son: El sombrerete (*Terminalia amazonia*), Picho (*Schizolobium parahybum*), ramón (*Brosimum alicastrum*), palo de agua (*Vochysia guatemalensis*), macayo (*Andira galeotiana*), rabo de lagarto (*Zanthoxylum kellermanii*) y guapaque (*Dialium guianense*).

En las áreas altas de 700 a los 1,500 m de altitud la presencia de calatola (*Calatola laevigata*), yoloxóchitl o flor de corazón (*Talauma mexicana*), baqueta (*Chaetoptela mexicana*), se mezclan en ocasiones con encinos de gran talla (*Quercus corrugata*), mientras que las variantes de esta vegetación es resultado de la dominación de algunos de los componentes, conocidos como caobales, ramonales, guapacales (Miranda y Hernández, 1963).

El aprovechamiento forestal de las especies maderables es insignificante y se enfoca más a productos como la extracción de tepejilote (*Camaedora tepejilote*) y el aprovechamiento del barbasco (*Dioscorea compositae*) el cual fue abandonado hace ya varios años debido a la aparición de sustitutos en la industria de los esteroides, mientras que la actividad agrícola se basa en maíz para autoconsumo, frijol, yuca, café, chile, hule, vainilla y caña de azúcar. La actividad pecuaria no es preponderante pero se han establecido hatos a costa de la vegetación original y secundaria (De Teresa, 1999).

A continuación se describen algunas características importantes de la especie estudiada: *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson es un árbol de la selva perennifolia que pertenece a la familia Rutaceae, sus nombres comunes son: rabo de lagarto y tachuelillo, este árbol puede alcanzar hasta 30 metros de altura, y diámetros a la altura del pecho hasta de 80 cm, con el tronco recto y abundantes espinas en forma de cono, muy fuertes; posee ramas ascendentes y la copa redondeada. La corteza externa es lisa y pardo grisácea (Pennington y Sarukhán, 2005). Su distribución se encuentra en la vertiente del Golfo desde la Huasteca y el norte de Veracruz, el norte de Oaxaca hasta el norte de Chiapas. Forma parte del estrato medio o superior de selvas altas perennifolias, especialmente de *Terminalia Amazonia*. (Pennington y Sarukhán, 2005).

Los objetivos de la presente investigación fueron los siguientes:

- a) Determinar el crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson, entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa.

- b) Determinar la presencia de anillos de crecimiento y su periodicidad, su relación con la precipitación y la obtención de los crecimientos e incrementos radiales.

- c) Desarrollar ecuaciones alométricas para la estimación y distribución de biomasa aérea en diferentes compartimientos y árbol total de la especie.

Para lograr los objetivos planteados el estudio se dividió en tres capítulos: I) Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P.Wilson, mediante el uso de bandas dendrométricas se evaluó el crecimiento en diámetro para categorías diamétricas, calidades y posiciones de copas obteniéndose valores de crecimiento promedio anual para cada una de ellas. II) Anillos de crecimiento y periodicidad, mediante incisiones realizadas en fustes de árboles y obtención de muestras de madera se reconoció la existencia de anillos periódicos y anuales, así como la existencia de correlaciones positivas entre la precipitación y ancho de zonas de crecimiento. III) Estimación de biomasa, mediante el uso de un método destructivo se estimó la biomasa de compartimientos (follaje, ramas y fuste) de árboles y se obtuvo su distribución promedio para cada compartimiento y por categorías diamétricas.

REFERENCIAS

Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro. CONABIO. México, D.F. 847 p.

- De Teresa, A. 1999. Migración en la Chinantla. Investigaciones geográficas. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 24: 112.
- Estrada, A. y R. Coates-Estrada. 2003. Las selvas tropicales de México, recurso poderoso pero vulnerable. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 194 p.
- García, M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. México, D.F. 217 p.
- FAO. 1982. Recursos forestales tropicales. Estudio FAO Montes No. 30. Roma, Italia. 143 p.
- Gómez-Pompa, A. 1985. El futuro de la ecología tropical. *In*: Investigaciones sobre la Regeneración de Selvas altas en Veracruz, México. Vol. II. A. Gómez-Pompa y S. del Amo R. (eds). INIREB. Xalapa, Veracruz, México. Pp: 395-400.
- INEGI. 1983. Santiago Comaltepec, estado de Oaxaca. Cuaderno estadístico municipal. INEGI. Aguascalientes, Ags. 26 p.
- López, A. J. L., J. I. Valdez H., T. Terrazas y J. R. Valdez L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40(1): 139-147.

- Makocki, M. W. 2000. Crecimiento radial de tres especies maderables en una selva mediana subcaducifolia del estado de Nayarit. Tesis de Maestría. Especialidad Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco México. 106 p.
- Makocki, M. W. y J. I. Valdez H. 2001. Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of Mexico: Implications for their management. *In: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture*. College of Forestry and Natural Resources. University of the Philippines, Los Baños. pp: 85-96.
- Mariaux, A. 1981. Esfuerzos anteriores en la medida de la edad y el crecimiento anual en los árboles tropicales. *In Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación*. (eds) F.H. Bormann y G. Berlyn. Trad. C.A de la Parra. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Compañía Editorial Continental. México. Pp. 20-30.
- Miranda, F. y E. Hernández, X. 1963. Los tipos de vegetación en México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28:29-179 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 523 p.

Ramos, S. A. y E. Hernández, X. 1967. Análisis del medio físico en la región con clima “A” de Koppen en el oriente de México y su aplicación en la investigación agropecuaria. *Agrociencia* 1 (2): 1-14.

Rzedowsky, 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México, D.F. 432 p.

Richards, R. 1994. *Tropical rain forest*. Oxford University Press, USA. 598 p.

Snook, L. K. 2000. Regeneración y crecimiento de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) en selvas de Quintana Roo. *Ciencia Forestal* 25: 59-76.

SEMARNAP-UACH. 1999. *Atlas forestal de México*. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 104 p.

Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal* 16: 337-351.

CAPITULO I

CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Zanthoxylum kellermanii*. P. Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA

1.1. RESUMEN

Para generar información sobre el crecimiento de especies arbóreas en la selva perennifolia del norte de Oaxaca, México, y establecer las bases científicas para su manejo racional, se determinó el crecimiento estacional en diámetro de una especie de importancia maderable: *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson. Se seleccionaron 22 árboles en seis categorías diamétricas y se les instalaron bandas dendrométricas para tomar lecturas bimensuales de su crecimiento. También se registraron características relacionadas con la copa de los árboles: calidad (simetría, vigor, densidad del follaje) y posición (incidencia de luz). El crecimiento promedio anual en diámetro fluctuó de 0.86 a 1.87 cm en las categorías diamétricas, de 0.52 a 2.04 cm en las calidades de copa y de 0.73 a 1.70 cm en las posiciones de copa. Los análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa. Herramientas como la banda dendrométrica apoyada en modelos de regresión fueron de gran utilidad para el registro y proyección del incremento en diámetro de la especie estudiada.

Palabras clave: *banda dendrométrica, categoría diamétrica, calidad y posición de copa, especie maderable, tasa de crecimiento.*

1.2. INTRODUCCIÓN

La aplicación de sistemas silviculturales bajo un enfoque de manejo sostenible del bosque requiere información detallada de los patrones de crecimiento de los árboles en regiones tanto templadas como tropicales (Makocki y Valdez, 2001); particularmente en México, estas últimas no han recibido una atención suficiente aun cuando existen algunas proyecciones para especies como *Swietenia macrophylla* King o *Cedrela odorata* L. (Ricker y Del Río, 2004), para la mayoría de especies arbóreas en bosques tropicales no existe información científica de su crecimiento y rendimiento en madera. *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson es una especie muy apreciada en zonas cálido-húmedas para construcción de casas (Pennington y Sarukhán, 2005) y fabricación de muebles, sus hojas y corteza contienen propiedades anti-inflamatorias y analgésicas (Lima *et al.*, 2007).

La información del crecimiento radial se emplea para explicar cambios en diámetro y evaluar tasas de producción de madera en diferentes categorías a través del tiempo (Worbes, 1995). La medición del diámetro se utiliza para estimar, a través del uso de modelos alométricos variables de difícil medición, tales como biomasa de madera y foliar entre otros. En diversos estudios sobre silvicultura, ecología del bosque y fisiología de árboles se han utilizado una variedad de instrumentos de medición que a menudo difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional (López *et al.*, 2006). Un instrumento que se puede emplear es la banda dendrométrica, la cual tuvo sus inicios con Hall (1944) y se puede construir con cintas de acero inoxidable o aluminio. Liming (1957) sugiere una técnica que registre cambios en circunferencia mediante una escala sobrepuesta a la banda metálica, mientras que Cattelino *et al.* (1986)

proporcionan detalles de su construcción, instalación y material utilizado. El empleo de bandas dendrométricas en especies arbóreas tropicales va en aumento (Da Silva *et al.*, 2002) y se están convirtiendo en una herramienta popular en varios aspectos de la investigación forestal (Galán, 2007), particularmente en México existen trabajos donde esta técnica no destructiva ha generado resultados satisfactorios (Makocki y Valdez, 2001; López *et al.*, 2006). Por lo anterior y con el propósito de contribuir a un mejor manejo de la selva perennifolia en el norte del estado de Oaxaca, México, el presente trabajo tuvo como finalidad determinar las tasas de crecimiento anual en diámetro de *Z. kellermanii*, una especie de importancia maderable en la región.

1.3. OBJETIVOS

Comparar el crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson entre categorías diamétricas, así como determinar sus tasas de crecimiento anual.

Determinar la variación de las tasas de crecimiento en diámetro en función de la calidad y posición sociológica de la copa.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1. Selección de individuos y colocación de bandas dendrométricas

En una superficie aproximada de cinco hectáreas, al borde del bosque natural, donde la especie de interés presentó una mayor densidad de individuos, se escogieron 22 árboles sanos y de fuste recto y concéntrico. Estos individuos se clasificaron en seis categorías (cat) diamétricas de

acuerdo con Corella *et al.* (2001): 2.5-7.5 cm (cat 5), 7.6-12.5 cm (cat 10), 12.6-17.5 cm (cat 15), 17.6-22.5 cm (cat 20), 22.6-27.5 cm (cat 25) y 27.6-32.5 cm (cat 30), instalándose bandas dendrométricas, siguiendo la metodología descrita por Cattelino *et al.* (1986), a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo (DAP) para tomar lecturas bimensuales de su crecimiento. Las categorías de 20, 25 y 30 cm fueron evaluadas durante un periodo de 12 bimestres, mientras que las de 5, 10 y 15 cm durante siete bimestres, esto debido a que en el rodal elegido no se encontraron las últimas tres categorías y se buscaron posteriormente en un rodal contiguo al área principal de estudio. Los individuos también se clasificaron con base en su calidad y forma de copa: buena (3), copa simétrica y vigorosa; regular (2), defectos en simetría y mediana densidad de hojas; deficiente (1), copa fracturada, asimétrica y poco vigorosa; además se clasificaron de acuerdo con su posición de copa: expuesta (3), con entradas verticales y laterales de luz solar; semiexpuesta (2), con entradas parciales verticales o laterales de luz; y cubierta (1), con nula o muy poca entrada de luz solar (adaptado de Dawkins, 1958).

1.4.2. Análisis estadístico

Con los datos de crecimiento obtenidos bimensualmente se realizaron análisis de regresión no lineal con el paquete estadístico Curve expert versión 1.3 (2008) para modelar el crecimiento acumulado en función del tiempo, para ajustar la base de datos se probaron los siguientes modelos: cuadrático (1): $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$, exponencial (2): $y = b_0[1 - \exp(-b_1x)]$ y logístico (3): $y = b_0/[1 + b_1\exp(-b_2x)]$, evaluados a través de sus valores estadísticos como el cuadrado medio del error, R-cuadrada, y nivel de significancia de los modelos, seleccionando el modelo exponencial por su sencillez y por presentar un mejor ajuste. Una vez obtenidas las ecuaciones de cada individuo en las categorías diamétricas, así como en las clases de calidad y posición de copa, se

calcularon valores con el modelo ajustado y se obtuvieron curvas de crecimiento tanto individuales como promedio las cuales se representaron gráficamente. Con los datos observados se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) empleando el paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999). Con los datos obtenidos de los modelos de regresión ajustados por categoría diamétrica, calidad de copa y posición de copa, se calcularon las tasas de crecimiento promedio por bimestre y la del incremento promedio anual. Finalmente se correlacionaron los valores de calidad con los de posición de copa mediante la utilización de la prueba de Sperman.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1. Categorías diamétricas

El crecimiento acumulado en diámetro para los 22 árboles seleccionados se muestra en la figura 1.1. Los crecimientos promedio anuales fluctuaron de 0.86 a 1.87 cm entre las diversas categorías diamétricas, 0.86 corresponde a la categoría diamétrica de 20 y 1.87 a la categoría 10; sin embargo, fue posible encontrar individuos que crecieron hasta 3.11 cm por año (Tabla 1.1). Estos valores son similares al reportado por Pereira *et al.* (2002) para una región natural en la Amazonía Central de Brasil (1.64 cm), pero menores al reportado por Russo y Sandí (1995) para la misma especie en la región tropical húmeda de Costa Rica (5.12 cm) aunque en condiciones de plantación y bajo manejo, lo cual puede explicar esta diferencia en crecimiento. Al respecto, Foli *et al.* (2003) sostienen que la densidad del rodal y el espacio de crecimiento en los trabajos de plantación representan una guía útil para la práctica silvicultural en bosques tropicales.

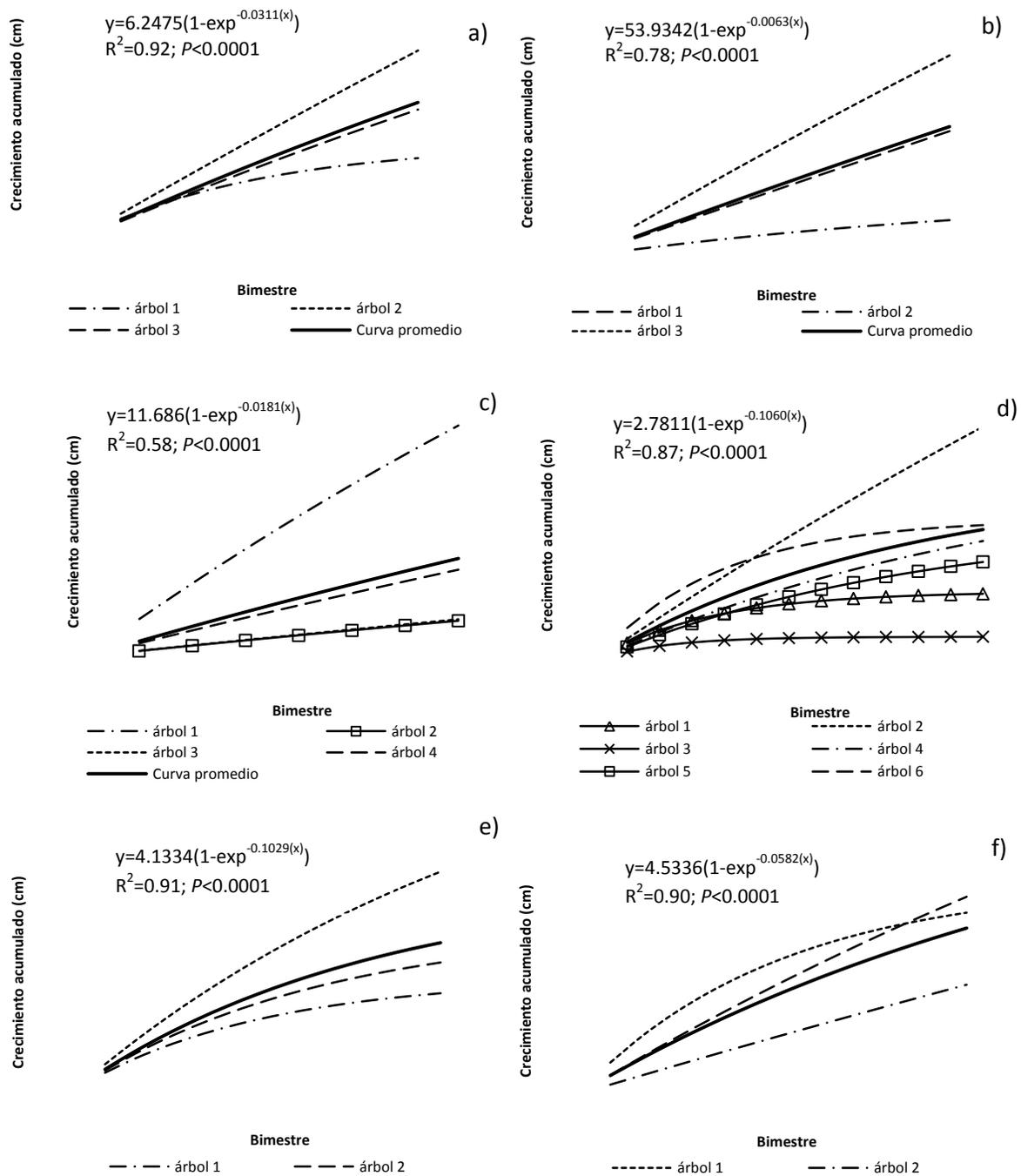


Figura 1.1. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica: 5 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c), 20 cm (d), 25 cm (e) y 30 cm (f). La ecuación corresponde a la curva promedio en cada categoría.

Tabla 1.1. Crecimiento anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica.

Categoría diamétrica	Número de árboles	Crecimiento anual en diámetro (cm/año ⁻¹)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
5	3	0.6238	1.0094	1.4209	0.3992
10	3	0.5622	1.8708	3.1109	1.2757
15	4	0.4293	1.1746	2.7789	1.1070
20	6	0.1802	0.8629	1.7875	0.5458
25	3	0.9608	1.4676	2.1740	0.6301
30	3	0.7510	1.1162	1.3535	0.3202

Los resultados del análisis de varianza muestran que existen diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre categorías diamétricas y entre bimestres de medición (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica registrado durante 7 bimestres en árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Categorías diamétricas	5	0.368	<0.0001
Bimestres	6	1.4667	<0.0001
Error	30	0.019	

g.l.= grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

El valor medio del crecimiento en diámetro de la categoría 10 fue significativamente mayor que las categorías restantes (Tukey, $p \leq 0.05$), de la misma manera la categoría 25 con respecto a las categorías 15 y 5, mientras que las categorías 25, 20 y 30 fueron estadísticamente similares (Tukey, $p > 0.05$), al igual que las categorías 20, 30, 15 y 5 (Tabla 1.3, Figura 1.2).

Tabla 1.3. Valores medios del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

CATEGORÍA	N	MEDIA
10	7	1.36129 a
25	7	1.09057 b
20	7	0.92000 bc
30	7	0.91657 bc
15	7	0.80957 c
5	7	0.71671 c
DMS		0.2247

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); N = bimestres;

DMS = diferencia mínima significativa

El comportamiento puede ser explicado con base en el crecimiento alternado de la altura y grosor del tallo en las diferentes categorías diamétricas. Así, las categorías intermedias (p.ej. cat 10) parecen destinar recursos para aumentar en diámetro (Klepac, 1983), mientras las categorías pequeñas (p.ej. cat 5) tienen un crecimiento lento (Diéguez *et al.*, 2003) el cual se refleja en una menor pendiente de la curva de crecimiento (Louman *et al.*, 2001); sin embargo, éstas categorías pequeñas pueden estar aumentando en altura. Al respecto, Harold y Hocker (1984) mencionan que en la mayoría de las especies la tasa de crecimiento en altura es mayor que los incrementos en diámetro en las primeras etapas de desarrollo. En cambio, las categorías grandes (p.ej. cat 30) van disminuyendo su crecimiento gradualmente, llegando a ser muy reducido (Klepac, 1983; Wadsworth, 2000). En esta etapa el crecimiento acumulado declina bruscamente como consecuencia una reducción en la fotosíntesis de los árboles cuando estos pasan del estado de madurez a la vejez (Whittaker, 1975; Waring, 1987; Ryan *et al.*, 2004).

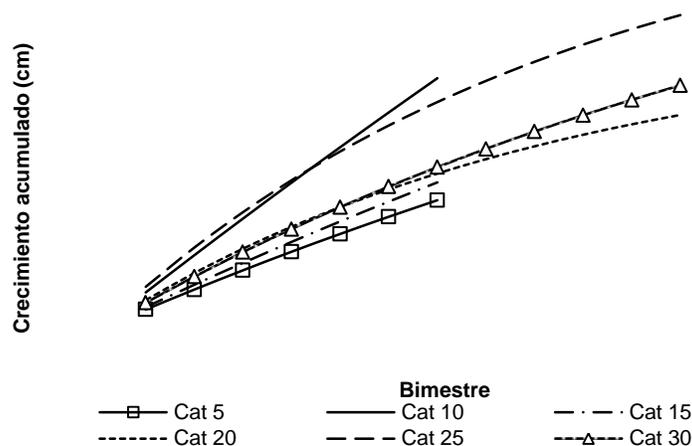


Figura 1.2. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica.

1.5.2. Calidad y posición de copa

En la tabla 1.4 se observan los crecimientos diamétricos mínimos, medios y máximos, mientras que el crecimiento acumulado por calidad de copa se muestra en las figuras 1.3 a 1.5.

Tabla 1.4. Crecimiento anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por calidad de copa.

Calidad de copa	Número de árboles	Crecimiento anual en diámetro (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
3 (buena)	7	1.0348	2.0352	3.1108	0.7278
2 (regular)	9	0.5092	1.0032	1.3535	0.2668
1 (deficiente)	6	0.2990	0.5210	0.7668	0.1649

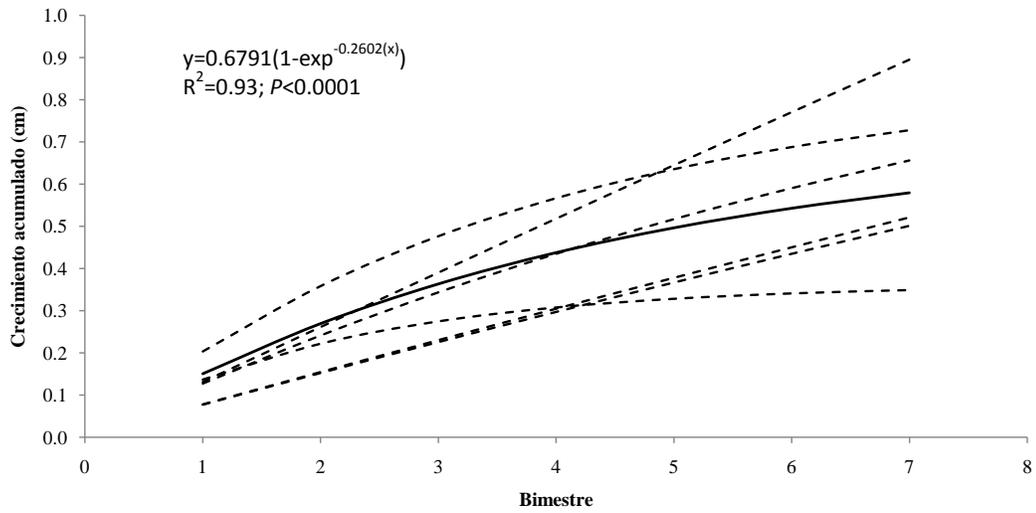


Figura 1.3. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=6) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa uno. La ecuación corresponde a la curva promedio (—).

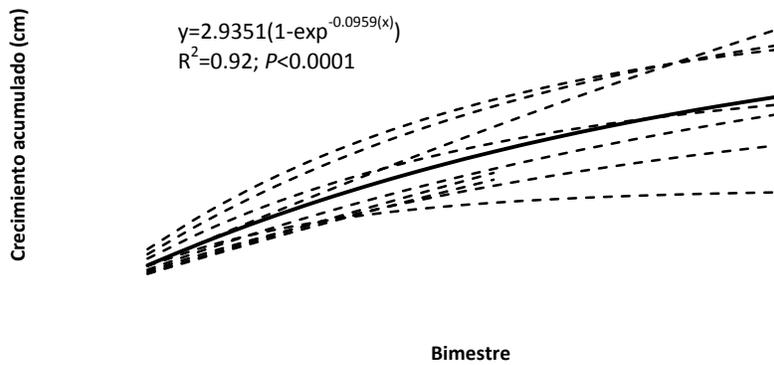


Figura 1.4. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=9) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa dos. La ecuación corresponde a la curva promedio (—).

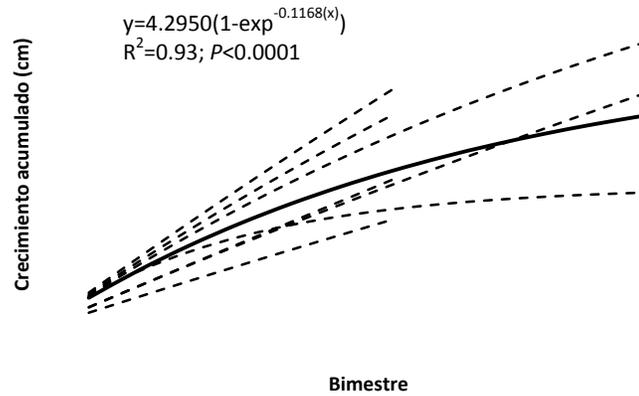


Figura 1.5. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=7) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa tres. La ecuación corresponde a la curva promedio (—).

Las curvas promedio del crecimiento acumulado en diámetro para árboles clasificados en tres calidades de copa se observan en la figura 1.6.

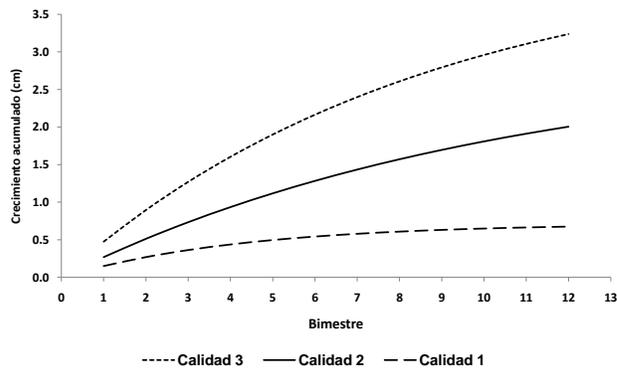


Figura 1.6. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por calidad de copa.

Los valores del crecimiento en diámetro mostraron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre calidades de copa y bimestres de registro de las mediciones (Tabla 1.5). Este resultado se apoya en que el aspecto o calidad de copa se relaciona con el tamaño y estado de desarrollo del árbol, así como con su incremento potencial (Dawkins, 1963; O'Brien *et al.*, 1995; Sterck y Bongers, 2001), y que el diámetro y conformación de la copa tienen una relación positiva con el diámetro del fuste (Smith *et al.*, 1992; Alves y Santos, 2002; Foli *et al.*, 2003).

Tabla 1.5. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por calidad de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Calidades de copa	2	2.2215	<0.0001
Bimestres	6	0.5360	<0.0001
Error	12	0.7292	

g.l. = grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

Los valores medios del crecimiento en diámetro para las calidades de copa fueron significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$), (Tabla 1.6), observándose un mayor crecimiento en los individuos de calidad 3, intermedio para los de calidad 2 y menor para los de calidad 1. Al respecto, Swaine *et al.* (1987) sugieren que los árboles con mejor conformación estructural de la copa tienden a crecer más en diámetro, mientras que Louman *et al.* (2001) señalan que la forma e integridad de la copa es un buen indicador del vigor del árbol.

La forma y distribución de la copa de los árboles influye sobre la absorción de radiación por parte del follaje (Martínez-Sánchez *et al.*, 2008) y esto se refleja en una mayor acumulación de biomasa en todos los componentes del árbol, incluyendo el fuste, lo cual repercute en el crecimiento de diámetro.

Desde el punto de vista del manejo de las especies en trabajos de plantación, pueden ser definidos los requerimientos de espacio de crecimiento y la densidad de población de un rodal en términos de ocupación total de las copas de los árboles (Dawkins, 1963). Estudios recientes confirman la importancia del tamaño de copa y su potencial en el crecimiento en árboles tropicales, el tamaño de copa representa una variable clave en la predicción del crecimiento. (Foli *et al.*, 2003).

Tabla 1.6. Valores medios del crecimiento acumulado en diámetro por calidad de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

CALIDAD	N	MEDIA
3	7	1.5291 a
2	7	0.8980 b
1	7	0.4053 c
DMS		0.3851

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); N = bimestres;

DMS = diferencia mínima significativa.

Con respecto a la categorización por posición de copa, los individuos con posición 3 tuvieron el mayor crecimiento promedio anual que los clasificados como posición 2. (Tabla 1.7).

Tabla 1.7. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por posición de copa.

Posición de copa	Número de árboles	Crecimiento anual en diámetro (cm)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
3	11	0.9131	1.7027	3.1108	0.7387
2	11	0.4293	0.7370	1.2678	0.2811

El crecimiento acumulado en diámetro de los árboles clasificados por posición de copa se muestra en las figuras 1.7 y 1.8.

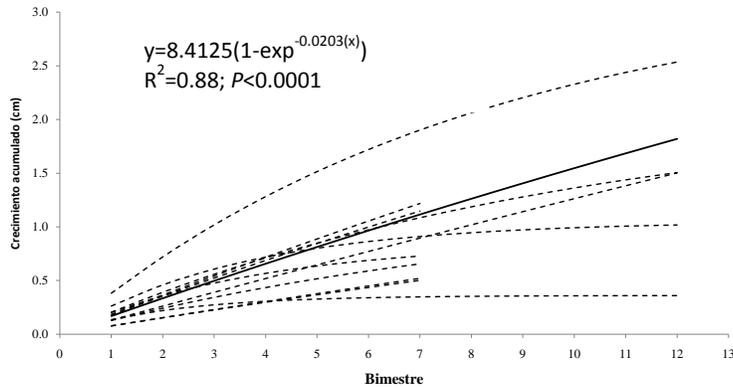


Figura 1.7. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa dos. La ecuación corresponde a la curva promedio (—).

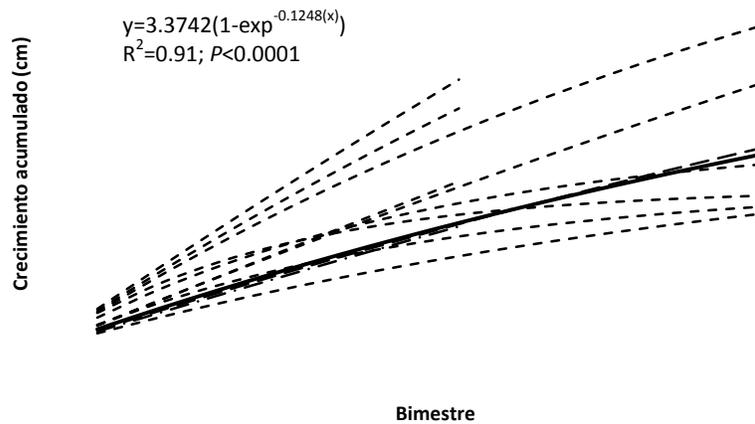


Figura 1.8. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa tres. La ecuación corresponde a la curva promedio (—).

Las curvas promedio del crecimiento acumulado en diámetro para árboles clasificados en dos posiciones de copa se observan en la figura 1.9.

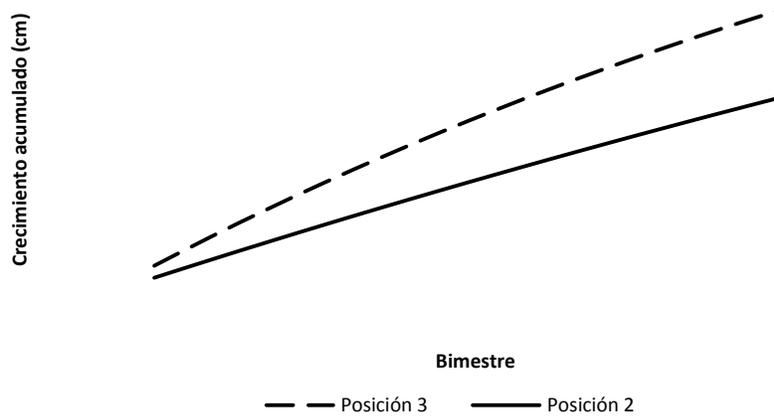


Figura 1.9. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por posición de copa.

Los valores del crecimiento en diámetro revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre posiciones de copa y bimestres de registro de las mediciones (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por posición de copa registrado para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Posiciones de copa	1	0.4810	<0.0001
Bimestres	11	0.3646	<0.0001
Error	23	0.0150	

g.l. = grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

La media del crecimiento en diámetro para la posición de copa tres fue significativamente (Tukey, $p < 0.05$) mayor a la de la posición de copa dos (Tabla 1.9), lo cual sugiere que

individuos con recepción directa de luz solar tienen un mayor crecimiento diamétrico (Silva *et al.*, 1995; Hubbell *et al.*, 1999). Al respecto, Clark y Clark (1999) y Louman *et al.* (2001) mencionan que la posición relativa de copa en el dosel determina su acceso a la luz, lo que a su vez, implica diferencias en crecimiento de individuos para una misma población.

Considerando lo anterior, muchas especies en bosques tropicales requieren para su crecimiento y reproducción de luz solar directa, por lo que muestran respuestas positivas en su crecimiento a las aperturas en el dosel (Denslow, 1987; Clark y Clark, 1994). Así mismo Camacho y Finegan (1997) señalan que la exposición a la luz representa una de las variables silviculturales de mayor relación con el incremento diamétrico.

Desde un punto de vista sucesional, *Z. kellermanii* es considerada como una especie pionera de rápido crecimiento (Brokaw, 1985), la cual es favorecida por una alta iluminación, ocupando espacios creados por perturbaciones (Lozada y Arends, 2000) y como regeneración natural en zonas bajo aprovechamiento maderable (Grela, 2003).

Tabla 1.9. Valores medios del crecimiento en diámetro por posición de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

POSICIÓN	N	MEDIA
3	7	1.02043 a
2	7	0.64971 b
DMS		0.1606

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$); N = bimestres;

DMS = diferencia mínima significativa.

La calidad y posición de la copa se correlacionaron positivamente ($r = 0.95$, $p < 0.0001$), lo cual indica que la calidad estuvo significativamente asociada con la posición que tiene el árbol en el dosel; al respecto, Zamudio-Sánchez y López-Torres (1999) señalan que la superficie expuesta de la copa del árbol puede considerarse una medida del grado del vigor de los individuos en un sitio, mientras que Clark y Clark (1999) mencionan que la posición de la copa tiene importancia para el vigor del árbol y su calidad de copa, determinando diferencias en crecimiento.

Por el comportamiento del crecimiento de diámetro con respecto a la posición de copa, se deduce que *Z. kellermanii* es una especie intolerante a la sombra puesto que crece mejor en condiciones de luz que bajo sombra. Esto implica que esta especie pudiera establecerse en plantaciones de monocultivo o asociada con especies tolerantes a la sombra establecidas bajo su dosel.

1.6. CONCLUSIONES

Existieron diferencias significativas de crecimiento en diámetro para árboles de *Z. kellermanii* entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa. Los mayores crecimientos diamétricos anuales para esta especie se registraron en individuos de 7.6 a 12.5 cm (categoría diamétrica 10), con buena calidad de copa (simétrica, vigorosa) y expuestas, tanto vertical como lateralmente a la luz solar.

El modelo que mejor describe el crecimiento acumulado de *Z. kellermanii* en función del tiempo es el modelo exponencial, el cual representa a su vez un modelo sencillo y de fácil aplicación para la especie y está representado por una curva de crecimiento sigmoideal, el manejo de la

calidad y posición de copas de esta especie puede reflejarse en mayores tasas de crecimiento en diámetro.

De acuerdo con los resultados obtenidos, *Z. kellermanii* es una especie considerada de sucesión temprana, intolerante a la sombra y susceptible de ser utilizada en programas de recuperación y enriquecimiento de áreas perturbadas en la zona de estudio, así como en la aplicación de labores silvícolas dentro de planes de manejo forestal.

1.7. REFERENCIAS

Alves, L. F. y F. A. M. Santos. 2002 Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, South-east Brazil. *Journal of Tropical Ecology* 18(2): 245-260.

Brokaw, N.V.L. 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66(3): 682-687.

Camacho, M. y B. Finegan. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Informe técnico No. 295. Colección Manejo diversificado de Bosques Naturales. No 11. 38 p.

Cattelino, P. J., C. A. Becher y L. G. Fuller. 1986. Construction and installation of homemade dendrometer bands. *Northern Journal of Applied Forestry* 3: 73-75.

- Clark, D. A. y D. B. Clark. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rain forest. *Journal of Ecology* 82: 865-872.
- Clark, D. A. y D. B. Clark. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications* 9(3): 981-997.
- Corella, J. F., J. I. Valdez H., V. M. Cetina A., F. González C., A. Trinidad S. y J. R. Aguirre. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Revista Ciencia Forestal en México* 25(90): 73-101.
- Curve expert 1.3. 2008. (en línea). Disponible en www.ebicom.net/~dhyams/cftf.htm. Revisado el 5 de abril de 2008.
- Da Silva, R. P., J. Dos Santos, E. Siza T., J. Q. Chambers, S. Nakamura y N Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295-301.
- Dawkins, H. C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Oxford University Press, Oxford. Imperial Forestry Institute. Paper No. 34. 155 p.
- Dawkins, H. C. 1963. Crown diameters: their relationship to bole diameter in tropical trees. *Forest Review* 42(4): 318-333.

- Denslow, J. S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 431-451.
- Diéguez, A. U., M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruíz G., M. F. Álvarez T., J. G. Álvarez y A. Rojo. 2003. *Dendrometría*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- Foli, E. G., D. Alder, H. G. Miller y M. D. Swaine. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management* 173: 79-88.
- Galán, L. R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuals en el sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 155 p.
- Grela, I. A. 2003. Evaluación del estado sucesional de un bosque subtropical de quebradas en el norte de Uruguay. *Acta Botánica Brasileira* 17(2): 315-324.
- Hall, R. C. 1944. A vernier tree-growth band. *Journal of Forestry* 42: 742-743.
- Harold, W. y Hocker Jr. 1984. *Introducción a la Biología Forestal*. Primera edición en Español. Traducido por F. A. Bellomo López. AGT EDITOR S.A. México. 446 p.

- Hubbell, S. P., R. B. Foster, S. T. O'Brien, K. Harms, R. Condit y B. Wechsler. 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a Neotropical forest. *Science* 283: 554-557.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2ª. ed. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Lima, L. M., P. Ferreira, C. J. Tavares y J. K. Bastos. 2007. Anti-inflammatory and analgesic activities of the ethanolic extracts from *Zanthoxylum riedelianum* (Rutaceae) leaves and stem bark. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 59(8): 1151-1158.
- Liming, F. G. 1957. Homemade dendrometers. *Journal of Forestry* 55: 575-577.
- López, A. J. L., J. I. Valdez H., T. Terrazas y J. R. Valdez L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40(1): 139-147.
- Louman, B., J. Valerio, W. Jiménez. 2001. Bases ecológicas. *In*: B. Louman, D. Quirós y M. Nilsson (editores). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. pp:19-78.

- Lozada, J. R. y E. Arends. 2000. Clasificación ecológica de especies, con fines de Aprovechamiento Forestal en la estación Caparo. *Revista Forestal Venezolana* 44(1):81-91.
- Makocki, M. W. y J. I. Valdez H. 2001. Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of México: Implications for their management. *In: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture*. College of Forestry and Natural Resources. University of the Philippines, Los Baños. pp: 85-96.
- Martínez-Sánchez J. L., J. A. Meave y F. Bongers. 2008. Light-related variation in sapling architecture of three shade-tolerant tree species of the mexican rain forest. *Revista chilena de historia natural*. 81:361-371.
- O'Brien, S. T., S. P. Hubbell, P. Spiro, R. Condit y R. B. Foster. 1995. Diameter, height, crown, and age relationships in eighth neotropical tree species. *Ecology* 76(6): 1926-1939.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 523 p.
- Pereira da Silva R., J. Dos Santos, E. Siza T., J. Q. Chambers, S. Nakamura y N. Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295-301.

- Ricker, M. y R. Del Río. 2004. Projecting diameter growth in tropical trees: a new modelling approach. *Forest Science* 50(2): 213-224.
- Russo, R. O. y C. L. Sandí. 1995. Early growth of eight native timber species in the humid tropic region of Costa Rica. *Journal of Sustainable Forestry* 3(1): 81-84.
- Ryan, M. G., D. Binkley., J. H. Fownes., C. P. Giardina and R. S. Senock. 2004. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecological Monographs*, 74(3): 393–414.
- SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC. 595 p.
- Silva, J. N. M., J. O. P. De Carvalho, J. C. A. Do Lopes, B. F. de Almeida, D. H. M. Costa, L. C. de Oliveira, J. K. Vanclay y J. P. Skovsgaard. 1995. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management* 71: 267-274.
- Smith, W. R., R. M. Farrar, P. A. Murphy, J. L. Yeiser, R. S. Meldahal y J. S. Kush. 1992. Crown and basal area relationships of open grown southern pines for modelling competition and growth. *Canadian Journal of Forestry and Research* 22: 341-347.

- Sterck, F. J. y F. Bongers. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89(1): 1-13.
- Swaine, M. D., J. B. May y I. J. Alexander. 1987. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). *Journal of Tropical Ecology* 3: 331-345.
- Wadsworth, H. F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington, DC. 563 p.
- Waring, R.H. 1987. Characteristics of trees predisposed to die. *BioSci.* 37:569-573.
- Whittaker, R.H. 1975. *Comunities and ecosystems*. MacMillan, New York.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. *IAWA Journal* 16: 337-351.
- Zamudio-Sánchez, F. J. y J. L. López-Torres. 1999. Estudio de la relación área mínima contra área real de la superficie de la copa en árboles de vegetación secundaria en Campeche, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(2): 167-171.

CAPITULO II

ANILLOS DE CRECIMIENTO Y PERIODICIDAD DE *Zanthoxylum kellermanii*. P.

Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA

2.1. RESUMEN

Se estudió la presencia y periodicidad de anillos de crecimiento en la madera de *Zanthoxylum Kellermanii* P. Wilson., seleccionando un árbol por categoría diamétrica. Con la finalidad de destruir el cambium vascular y generar cicatrices en el fuste de cada árbol (a la altura de 1.30 m), se realizaron incisiones (5 mm x 20 cm) en el perímetro de los fustes, durante un periodo de 12 bimestres (mayo de 2006 a Mayo de 2008). Los árboles fueron derribados y se extrajeron rodajas de 5 cm de grosor, las cuales sirvieron para verificar la presencia de anillos y su periodicidad mediante observaciones macroscópicas de las cicatrices en la madera. En cada rodaja se midieron los anchos de las zonas de crecimiento y se correlacionaron con la precipitación bimestral del lugar mediante el método de Pearson ($p \leq 0.05$). Con el número de anillos (edad) y el ancho de los mismos, se realizaron análisis de regresión no lineal (modelo de Schumacher) para modelar el crecimiento acumulado e incrementos corriente anual y medio anual (ICA e IMA). Los resultados indican que los anillos de crecimiento son anuales, los anchos de las zonas de crecimiento y la precipitación bimestral se correlacionaron positivamente ($p \leq 0.05$) para las diferentes categorías diamétricas. El modelo de regresión utilizado mostró un buen ajuste ($p < 0.0001$), por lo que se considera como confiable para estimar el crecimiento acumulado (CA) y los incrementos corriente y medio anual (ICA e IMA).

Palabras clave: *ancho de zonas de crecimiento, categorías diamétricas, crecimiento acumulado, incremento corriente anual, incremento medio anual.*

2.2. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantas leñosas crecen de manera periódica, dicho crecimiento está regulado por cambios estacionales en los que la actividad del cambium vascular se activa durante la temporada de crecimiento y se refleja en incrementos del tejido de la madera (Kozlowski, 1979; Fahn *et al.*, 1980). La alternancia de periodos favorables y desfavorables para el crecimiento de los árboles, así como otros eventos se pueden observar en el patrón de sus anillos de crecimiento (Rincón y Huante, 1989).

La formación de anillos de crecimiento en los árboles se considera el resultado de una periodicidad en los elementos del cambium vascular y muchos árboles tropicales muestran crecimiento radial periódico (Echenique y Robles, 1993). Esta periodicidad puede ser resultado de cambios en temperatura, duración del día y precipitación (Fahn *et al.*, 1980; Mariaux, 1981).

Para conocer la periodicidad de formación de anillos en árboles tropicales se usan métodos como ventanas de Mariaux (Mariaux, 1967) y marcas con alfileres (Wolter, 1968). Estos métodos dañan el cambium vascular y dejan una marca en la madera con fechas conocidas que se corroboran mediante observaciones macro o microscópicas realizadas sobre una sección transversal completa obtenida del tronco, determinando así la formación de un anillo anual (López *et al.*, 2006a).

La investigación de la periodicidad de anillos de crecimiento debe ser estudiada por especie durante todos los meses en el lapso de un año o dos para observar la actividad del cambium y la

formación de la madera, revelando la cantidad de anillos que se forman anualmente (Fahn *et al.*, 1980).

Una forma de calcular la edad en árboles tropicales es por recuento de sus anillos de crecimiento; sin embargo, es necesario reconocer primero su existencia o que sean visibles en las especies de interés (López *et al.*, 2006a). El conocimiento de la edad de los árboles tiene importancia en el manejo forestal, ya que puede ser usada en la estimación de tasas de incremento anual a nivel rodal en bosques naturales (Makocki y Valdez-Hernández, 2001) y permite determinar los periodos de intervención y el tiempo necesario para que se renueve una masa forestal (Mendoza, 1993).

En los bosques tropicales de la Chinantla Alta, Oaxaca, se encuentra *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson, una especie arbórea de gran importancia maderable que se utiliza principalmente en la construcción de muebles y casas (Pennington y Sarukhán, 2005). A través de la determinación de anillos de crecimiento y su periodicidad en la madera, se busca aportar información útil sobre los patrones de crecimiento en esta especie, con el propósito de contribuir al mejoramiento de los planes de manejo forestal en la zona de estudio.

2.3. OBJETIVOS

Determinar la presencia de anillos de crecimiento y su periodicidad en *Zanthoxylum kellermanii*, así como su relación con la precipitación en el área de estudio.

Obtener el crecimiento acumulado, así como los incrementos corriente anual y medio anual a partir de la medición de anillos de crecimiento en la especie de interés.

2.4. MATERIALES Y METODOS

Para determinar la periodicidad en la formación de los anillos de crecimiento en *Z. kellermanii* se seleccionó un árbol para cada una de cuatro categorías diamétricas: 5, 15, 20 y 25 cm. Estos árboles se seleccionaron de un total de seis categorías que se utilizaron en el estudio del crecimiento en diámetro (Capítulo I, Tabla 1.1, pág. 18). Con la finalidad de destruir el cambium vascular y generar cicatrices en el fuste de cada árbol (a la altura de 1.30 m) se realizaron incisiones cada dos meses empleando una navaja. Esta técnica es conocida como “Ventanas de Mariaux” (Mariaux, 1967) y se ha adoptado como un método sencillo y práctico para el estudio de la periodicidad de anillos en árboles tropicales, el cual ha generado buenos resultados (Worbes, 1989; Makocki, 2000; López *et al.*, 2006a; Galán, 2007). Las heridas fueron de 20 cm de largo y 5 mm de ancho, realizándose en el perímetro del fuste del árbol durante 12 bimestres (mayo 2006-mayo 2008).

Con la finalidad de conocer el crecimiento periódico en la madera mediante observaciones macroscópicas de las cicatrices (Makocki y Valdez-Hernández, 2001), éstos árboles fueron derribados a la altura de 0.30 m y se extrajo una rodaja en cada uno realizando cortes transversales de 5 cm de grosor a la altura de 1.30 m (Klepac, 1983).

Las cuatro rodajas obtenidas de los árboles derribados se pulieron con un cepillo eléctrico (Black and Decker® modelo P2078) hasta obtener una superficie lisa que demarcó con mayor claridad los anillos de crecimiento, posteriormente se procedió a la verificación de anillos y su periodicidad mediante observaciones macroscópicas de las cicatrices usando una lupa (aumento 10x).

En cada rodaja se midieron los anchos de las zonas de crecimiento con la ayuda de un vernier y de las cicatrices en la madera, midiendo cada cicatriz al límite del anillo ($n = 12$ mediciones) y realizando correlaciones de Pearson ($p \leq 0.05$) con la precipitación total de cada bimestre ($n = 12$ datos) mediante el procedimiento proc corr del paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999). Los datos de precipitación se obtuvieron para los dos años de estudio de la estación climatológica Valle Nacional y fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Con los datos de precipitación y el ancho de la zona de crecimiento se elaboraron graficas en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft, 2003).

Para la determinación del crecimiento radial acumulado se registró el número de anillos presentes, desde la médula hasta la periferia (edad en años) así como el ancho de los mismos en cada una de las cuatro rodajas obtenidas a 1.30 m. Con estos datos se realizaron análisis de regresión no lineal para modelar el crecimiento acumulado, así como los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) en función de la edad, utilizando el paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999).

Para la estimación del crecimiento acumulado (CA) se utilizó el modelo de Schumacher en su versión original (Schumacher, 1939):

$$CA = B_0 e^{[-B_1 (1/E)]} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

CA = crecimiento acumulado (mm), e = base de los logaritmos, E = edad, B_0 y B_1 = coeficientes de regresión.

Para el caso del incremento corriente anual (ICA) el modelo se aplicó mediante su desarrollo diferencial tomando como base la edad y el incremento medio anual (IMA) se dividió entre la edad (Avery y Burkhart, 2002) quedando el modelo de la siguiente manera:

$$ICA = B_0 e^{[-B_1 (1/E)]} [B_1(1/E^2)] \dots\dots\dots(2)$$

$$IMA = B_0 e^{[-B_1 (1/E)]} (E^{-1}) \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

ICA = incremento corriente anual (mm), IMA = incremento medio anual (mm), e = base de los logaritmos E = edad, B_0 y B_1 = coeficientes de regresión.

La bondad de ajuste del modelo se determinó por los valores estadísticos de su análisis de varianza, definido a través del cuadrado medio del error (CME) que establece la varianza del modelo, el valor de la F calculada ($p < 0.05$) y el coeficiente de determinación (R^2).

Tomando en cuenta la recomendación de Husch *et al.* (1972) respecto a la dificultad de medir ICA e IMA para un año, se promediaron los valores de cinco anillos en cada intervalo de edad (5, 10, 15, 20 años) para graficarlos con relación al crecimiento acumulado (CA) y los incrementos (ICA e IMA).

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Anillos de crecimiento y periodicidad

Los anillos de crecimiento en *Z. kellermanii* fueron claramente visibles en todas las rodajas de las categorías evaluadas (Figuras 2.1A, 2.2A, 2.3A y 2.4A) y se reconocieron como anuales debido a que se formaron dos anillos completos en un periodo de dos años (Figuras 2.1B, 2.2B-C, 2.3B y 2.4B-C). Diferentes trabajos demuestran la existencia de anillos en especies tropicales, Barajas-Morales *et al.* (1997) reportaron anillos de crecimiento para *Z. kellermanii*, en la selva alta perennifolia de Los Tuxtlas, Veracruz; Pineda (2009) determinó anillos anuales de crecimiento en *Schizolobium parahybum* (Vell.) Blake y *Vochysia guatemalensis* Donn. Smith en la selva perennifolia del norte de Oaxaca; López *et al.* (2006a) encontraron anillos periódicos y anuales en *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Tabebuia donnell-smith* Rose y *Cordia elaeagnoides* D.C. en Colima, México; así mismo, Makocki y Valdez-Hernández (2001) reportaron anillos de crecimiento en *Cedrela odorata* L., *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb y *B. simaruba* en Nayarit, México. Esto demuestra que, incluso en la zona tropical, los árboles pueden tener un ritmo estacional de crecimiento (Mariaux, 1981) y mostrar intervalos de reposo anual que permiten la formación de anillos de crecimiento (Killmann y Hong, 1995; Worbes, 1999; Makocki y Valdez-Hernández, 2001; López *et al.*, 2006a).

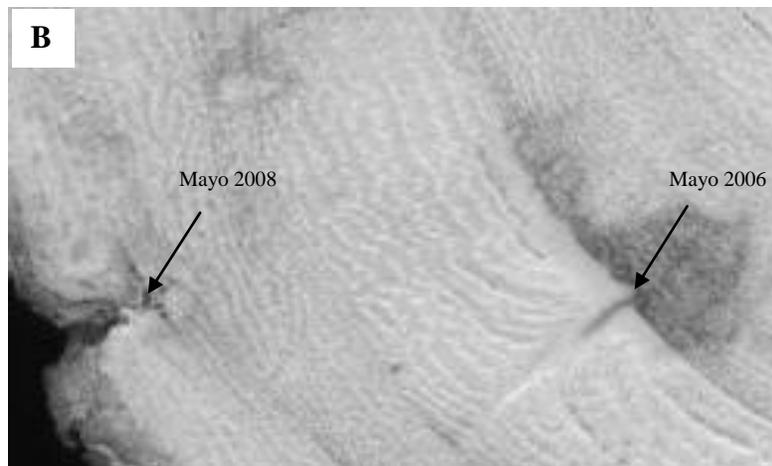
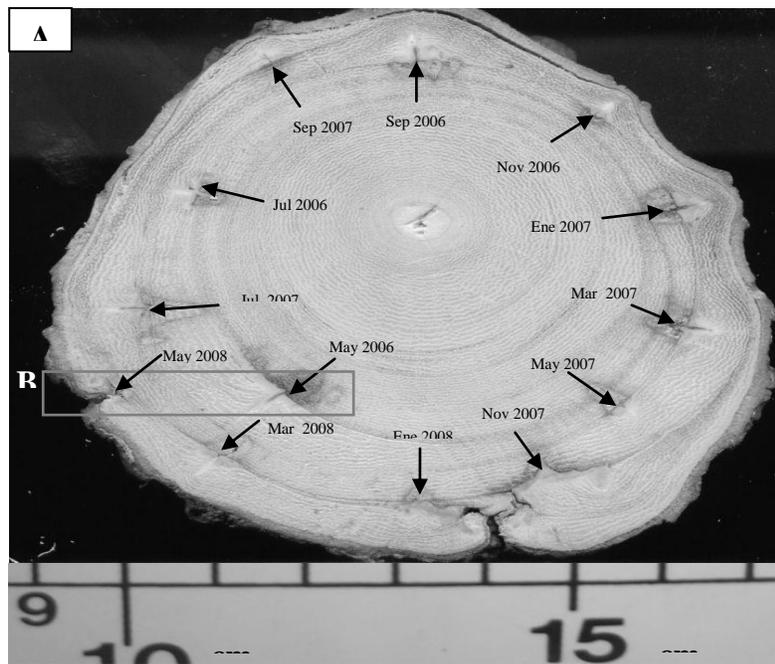


Figura 2.1. Cicatrices bimestrales en la madera de *Zanthoxylum kellermanii* realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 5 cm: total de cicatrices (A), cicatrices inicial y final (B: ampliación).

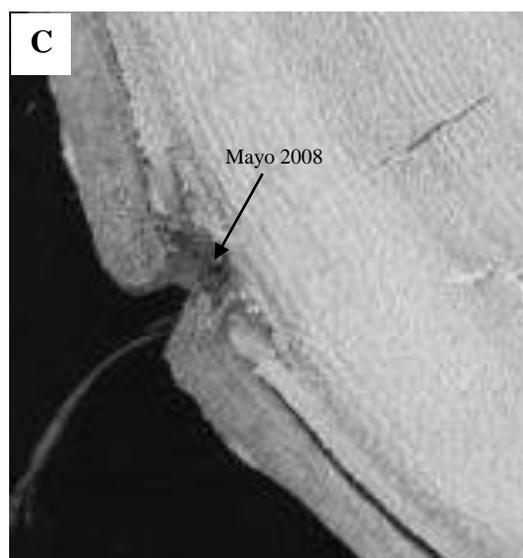
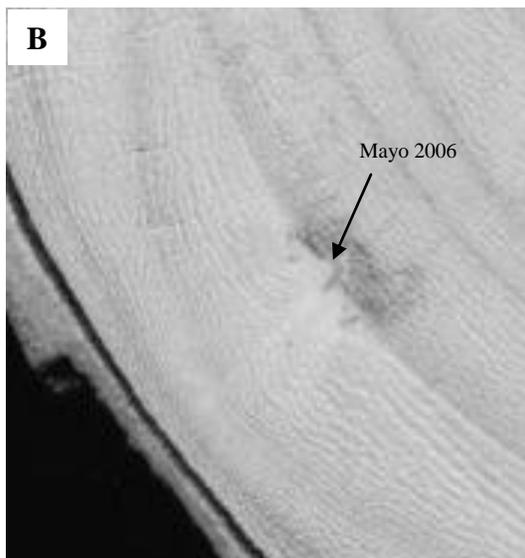
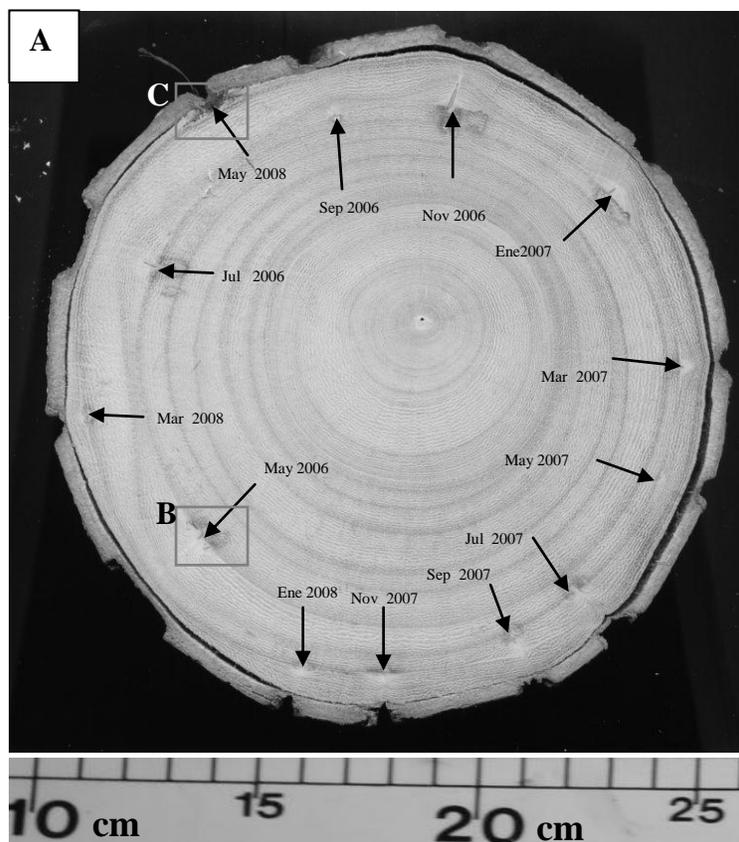


Figura 2.2. Cicatrices bimestrales en la madera de *Zanthoxylum kellermanii* realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 15 cm: total de cicatrices (A), cicatrices inicial y final (B-C: ampliaciones).

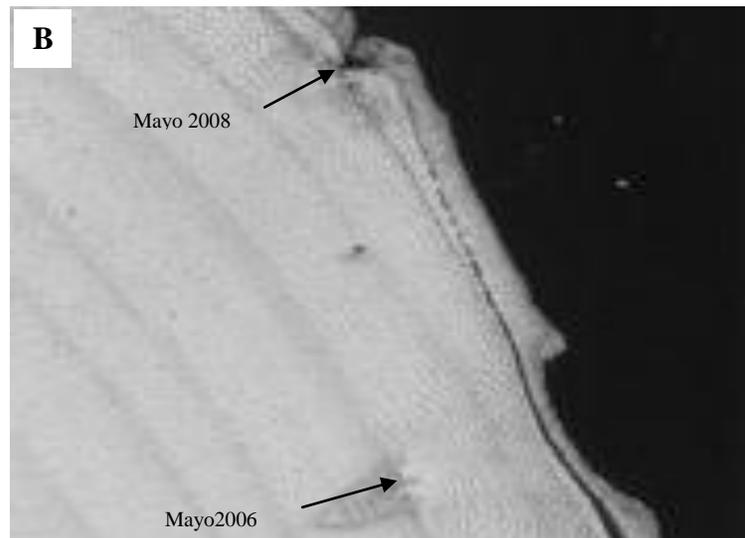
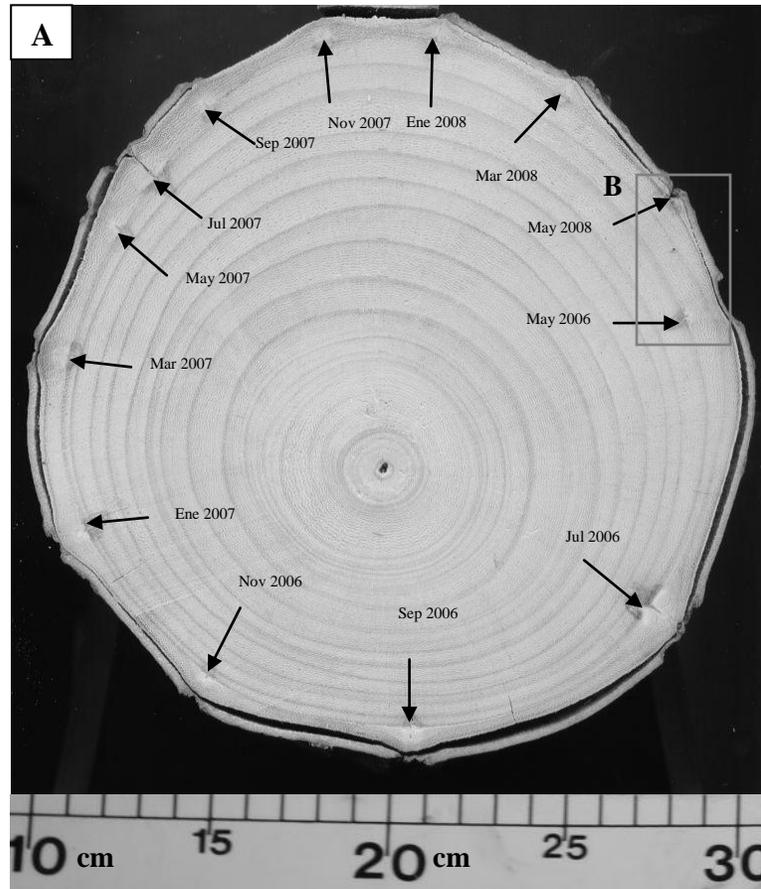


Figura 2.3. Cicatrices bimestrales en la madera de *Zanthoxylum kellermanii* realizadas durante dos años (mayo 2006-mayo 2008) para la categoría diamétrica 20 cm: total de cicatrices (A), cicatrices inicial y final (B: ampliación).

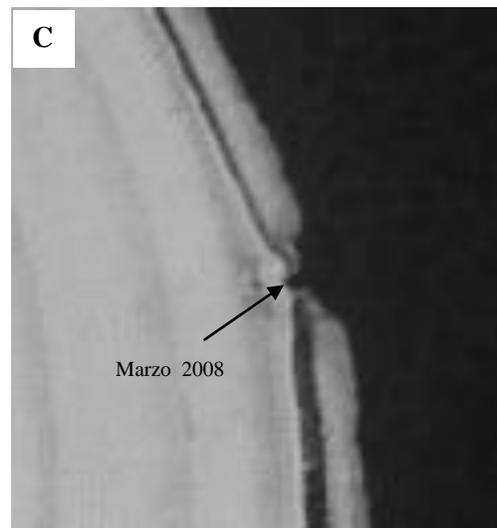
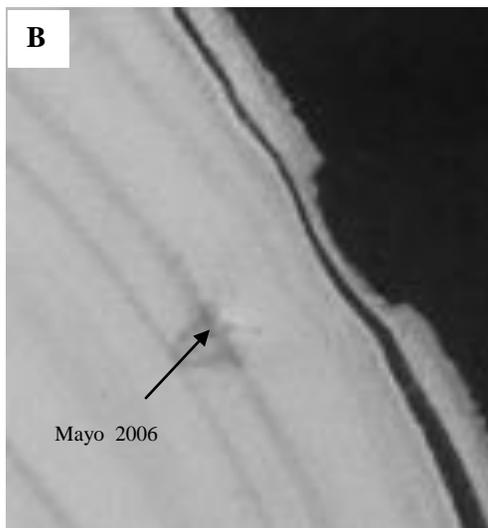
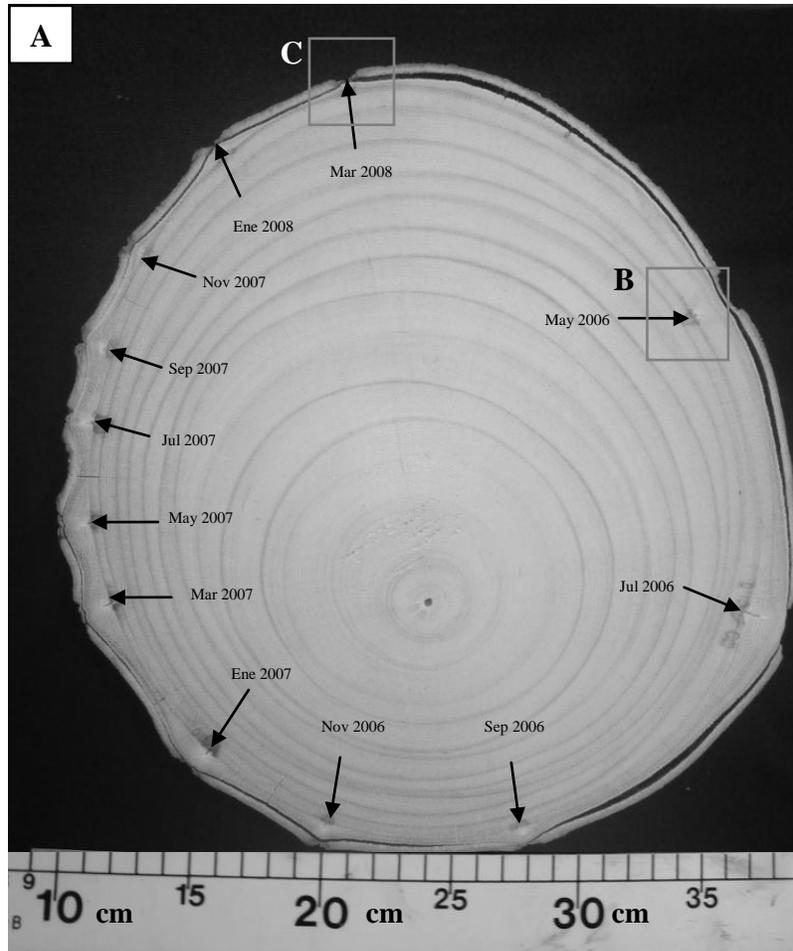


Figura 2.4. Cicatrices bimestrales en la madera de *Zanthoxylum kellermanii* realizadas durante dos años (mayo 2006-marzo 2008) para la categoría diamétrica 25 cm: total de cicatrices (A), cicatrices inicial y final (B-C: ampliaciones).

2.5.2. Relación precipitación-ancho de zonas de crecimiento

Los anchos de las zonas de crecimiento medidos con la ayuda de las cicatrices fueron mayores durante la época de lluvias que durante la época seca (Figuras 2.5 y 2.6), siendo mayores en las categorías 15 y 20 cm. Se obtuvieron correlaciones positivas entre la precipitación y el ancho de zonas de crecimiento, altamente significativas ($p \leq 0.01$) para las categorías diamétricas 5 y 25 cm y significativas ($p \leq 0.05$) para las categorías 15 y 20 cm (Tabla 2.1). En la misma área de estudio, Pineda (2009) encontró una asociación positiva ($r = 0.98$, $p \leq 0.01$) entre éstas dos variables para la categoría de 10 cm en *S. parahybum*; López *et al.* (2006a) encontraron una correlación positiva entre el crecimiento y la precipitación ($r=0.76$, $p \leq 0.05$) en *C. elaeagnoides*; así mismo, Galán (2007) reportó un crecimiento mayor durante la época de lluvias para *C. odorata* disminuyendo notablemente su crecimiento cuando la precipitación fue nula.

No obstante que el crecimiento fue muy sensible al aumento de la precipitación (categorías 5 y 25 cm), a partir de octubre 2006 la precipitación bajó considerablemente (Figuras 2.5B y 2.6A) pero el ancho de anillos no disminuyó sino hasta marzo (categorías 15 y 20 cm). Esto se debe probablemente a que se mantuvo la disponibilidad de agua en el suelo, la cual tiene gran influencia en el crecimiento de los árboles tropicales (Worbes, 1989; Borchert, 1994; Brienen y Zuidema, 2005).

Tabla 2.1. Valores de coeficientes de correlación entre la precipitación y el ancho de zonas de crecimiento de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica (n = 12 mediciones).

	Categoría diamétrica			
	5	15	20	25
Correlación de Pearson (r)	0.816	0.671	0.705	0.745
Nivel de significancia	0.001***	0.017*	0.010*	0.005**

* = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$; *** = $p \leq 0.001$

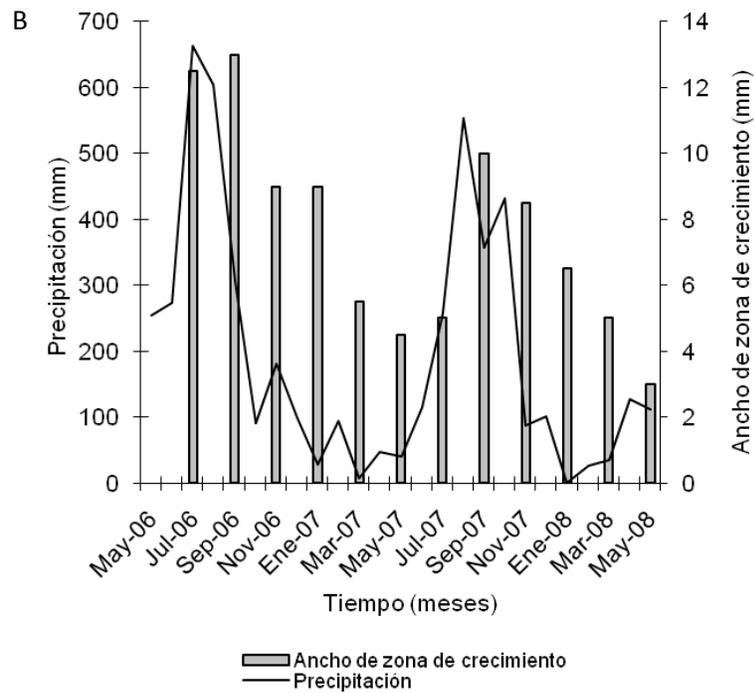
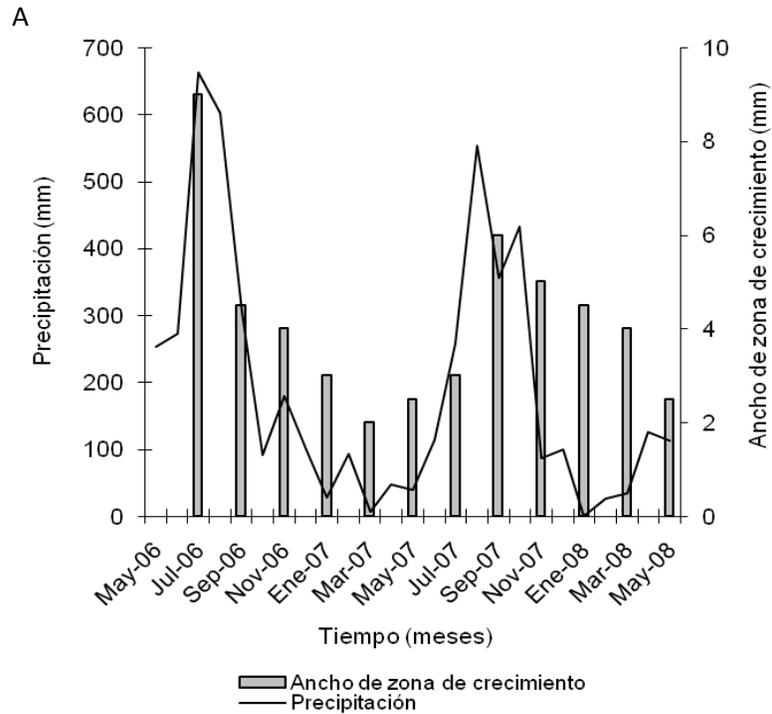


Figura 2.5. Relación de la precipitación con el ancho de zonas de crecimiento (mm) en *Zanthoxylum kellermanii* para un periodo de dos años (mayo 2006-mayo 2008): categorías diamétricas 5 cm (A) y 15 cm (B).

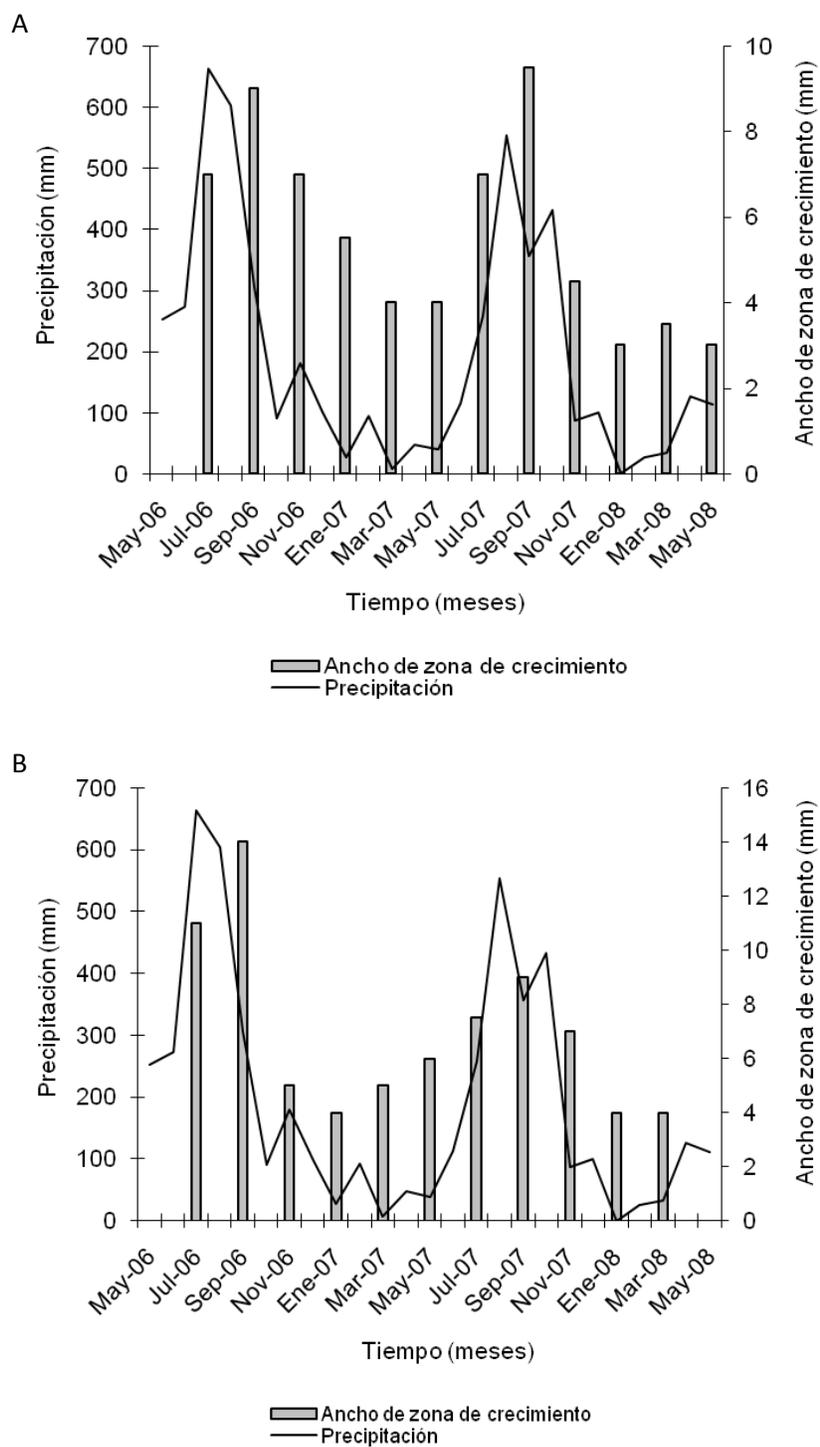


Figura 2.6. Relación de la precipitación con el ancho de zonas de crecimiento (mm) en *Zanthoxylum kellermanii* para un periodo de dos años (mayo 2006-mayo 2008): categorías diamétricas 20 cm (A) y 25 cm (B).

2.5.3. Crecimiento e incremento radiales

Las ecuaciones obtenidas a través del modelo de Schumacher para el cálculo del crecimiento acumulado (CA) en las diferentes categorías se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Ecuaciones para el cálculo del CA por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

Categoría diamétrica	Ecuaciones CA
5	$232.9 e^{-15.2279(1/E)}$
15	$137.3 e^{-12.2464(1/E)}$
20	$173.2 e^{-12.9258(1/E)}$
25	$251.2 e^{-12.3874(1/E)}$

Las ecuaciones para el cálculo del ICA e IMA para las diferentes categorías (Tabla 2.3) también fueron generadas del modelo de Schumacher. Como se puede apreciar, los valores de los coeficientes de regresión B_0 y B_1 son los mismos que para las ecuaciones de CA; lo que cambia es que, para el ICA el modelo se representa en su versión diferencial usando como base la edad, en tanto que para el IMA el modelo se dividió entre la edad.

Tabla 2.3. Ecuaciones para el cálculo del ICA e IMA por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

Categoría diamétrica	Ecuaciones ICA	Ecuaciones IMA
5	$232.9 e^{-15.2279(1/E)} [15.2279 (E^{-2})]$	$232.9 e^{-15.2279(1/E)} (E^{-1})$
15	$137.3 e^{-12.2464(1/E)} [12.2464 (E^{-2})]$	$137.3 e^{-12.2464(1/E)} (E^{-1})$
20	$173.2 e^{-12.9258(1/E)} [12.9258 (E^{-2})]$	$173.2 e^{-12.9258(1/E)} (E^{-1})$
25	$251.2 e^{-12.3854(1/E)} [12.3854 (E^{-2})]$	$251.2 e^{-12.3874(1/E)} (E^{-1})$

Los resultados del análisis de varianza para el modelo de Schumacher por categoría diamétrica de *Z. kellermanii* se presentan en la tabla 2.4, en la que se muestra que el modelo tuvo un buen ajuste. La alta significancia en la prueba de F ($p < 0.0001$), los cuadrados medios del error (CME) y los valores de R^2 , indican que el modelo es confiable para estimar el CA, así como el ICA y el IMA usando la edad.

Tabla 2.4. Análisis de varianza del modelo de Schumacher por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

Categoría diamétrica	Fuente de variación	gl	CME	Fc	Prob > F	R²
5	Modelo	2	89847.9	533.25	<.0001	0.94
	Error	74	168.5			
15	Modelo	2	9574.6	988.46	<.0001	0.99
	Error	13	9.6863			
20	Modelo	2	23559.2	1189.58	<.0001	0.99
	Error	16	19.6366			
25	Modelo	2	53272	6272.43	<.0001	0.99
	Error	16	8.493			

gl= grados de libertad, CME = Cuadrado medio del error, Fc= F calculada, R^2 = Coeficiente de determinación.

Los valores totales del CA fueron diferentes por categoría diamétrica (Tabla 2.5), lo cual pudo deberse a factores propios del sitio (ej. tipo de suelo, humedad, nutrientes) (Louman *et al.*, 2001) o a características de los árboles como su calidad y posición de copa (Capítulo I, Tablas 1.4 y 1.7, págs. 20 y 24). Clark y Clark (1999) sugieren que la variabilidad en las tasas de incremento es una característica común en las selvas, donde los factores como calidad de sitio, ontogenia del árbol y competencia por espacio y luz originan una estructura irregular en dimensiones y edades.

Tabla 2.5. Edad y valor máximo alcanzado del crecimiento acumulado (CA) por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

Categoría diamétrica	Edad (años)	Crecimiento (mm)
5	10	32.65
15	15	64.42
20	18	87.83
25	18	126.33

Los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) también fueron diferentes por categoría diamétrica (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Edad y valor máximo alcanzado del ICA e IMA por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

Categoría diamétrica	Edad (años)	ICA máximo (mm año⁻¹)	Edad (años)	IMA máximo (mm año⁻¹)
5	4	5.224	6	3.651
15	7	6.038	9	3.913
20	7	7.239	13	4.929
25	7	10.933	12	7.456

El comportamiento del CA, en las cuatro categorías diamétricas, manifestó dos de tres fases reconocidas para una tendencia sigmoideal (Klepac, 1983; Louman *et al.*, 2001) en las curvas de crecimiento (Figura 2.7): fase inicial de lento crecimiento (p.ej. plántula) y fase de crecimiento lineal acelerado (p.ej. juvenil) (Del Amo y Nieto, 1981; Whitmore, 1984); no se identificó plenamente una tercera fase la cual se reconoce también como de lento crecimiento (p.ej. adulto) (Klepac, 1983).

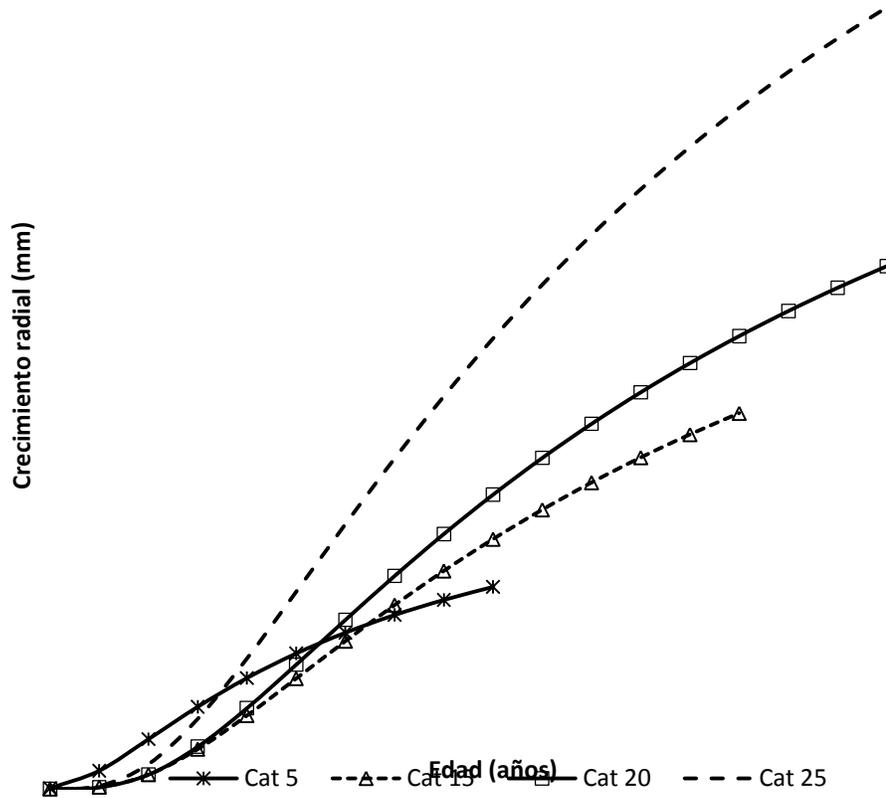


Figura 2.7. Curvas de crecimiento acumulado (CA) por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

El cruce entre las curvas de ICA e IMA se obtuvo a los 7 años para la categoría 5 cm y a los 13 años para las categorías 15, 20 y 25 cm (Figura 2.8). Esto pudo deberse a que el árbol de la categoría 5 cm tuvo limitaciones en su crecimiento, posiblemente ocasionadas por su deficiente calidad de copa y escasa incidencia de luz sobre la misma (Capítulo I, Figuras 1.3 y 1.7, págs. 21 y 25). Al respecto, Clark y Clark (1999) y Louman *et al.* (2001) manifiestan que la calidad y posición de copa tienen gran importancia para el vigor del árbol, determinando diferencias en su crecimiento.

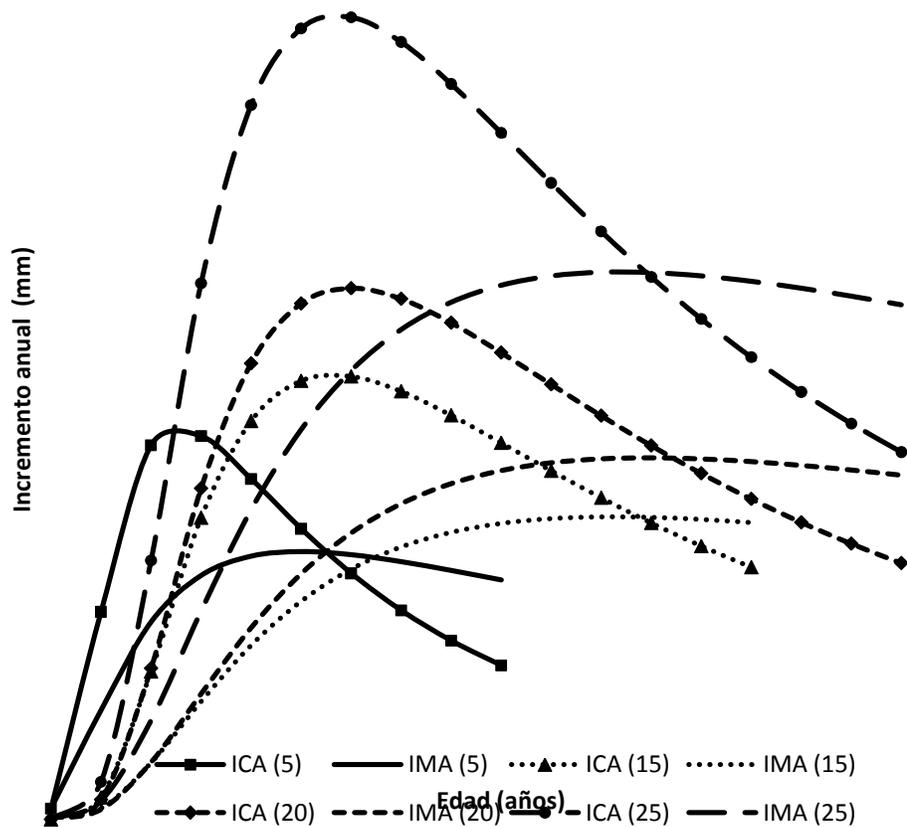


Figura 2.8. Curvas de incremento corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) por categoría diamétrica de *Zanthoxylum kellermanii*.

En manejo forestal, la curva del ICA inicia en el valor de cero, aumenta lentamente al principio y después aumenta rápidamente hasta alcanzar un máximo, el periodo entre el ICA máximo y el cruce con la curva del IMA es conocida como fase de vigor pleno del árbol (Klepac, 1983) donde los individuos emplean recursos del sitio obteniendo su máxima expresión en tamaño (Vanclay, 1994). Después del cruce entre el ICA e IMA se tiene una fase de lento crecimiento conocida como declinación o senescencia, en la que los árboles disminuyen su crecimiento gradualmente hasta la muerte (Klepac, 1983; Wadsworth, 2000).

2.6. CONCLUSIONES

En todas las muestras de madera de *Z. kellermanii* se identificaron anillos de crecimiento distinguibles a nivel macroscópico con buen grado de visibilidad y de formación anual, constatada mediante las cicatrices en las rodajas. La formación de anillos de crecimiento estuvo estrechamente relacionada con la precipitación del área de estudio: en las cuatro categorías diamétricas la relación entre el ancho de las zonas de crecimiento (delimitadas por las cicatrices) y la precipitación bimestral fue estadísticamente significativa.

El crecimiento acumulado (CA) así como los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) fue posible obtenerlos a partir de la medición de los anillos de crecimiento en las muestras de madera de la especie estudiada. El modelo de regresión no lineal (Schumacher) utilizado para estimar los incrementos tuvo un ajuste estadísticamente significativo en cada una de las cuatro categorías diamétricas evaluadas. El cruce entre las curvas del ICA e IMA (importante para la toma de decisiones en manejo forestal), ocurrió a los 13 años o poco después en la mayoría de las categorías diamétricas estudiadas.

2.7. REFERENCIAS

Avery, T.E. and H.E. Burkhart. 2002. Forest measurements. Fifth edition. McGraw Hill. New York. 456 p.

- Barajas-Morales, J., G. Ángeles A., P. Solís S., 1997. Anatomía de maderas de México: especies de una selva alta perennifolia I. Publicaciones especiales 16. Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. 126 p.
- Borchert, R. 1994. Water status and development of tropical trees during seasonal drought. *Trees* 8: 115-125.
- Brienen, R. J. W. and P. A. Zuidema. 2005. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: a test for six species using tree ring analysis. *Oecología*. 146: 1-12.
- Clark, D. A. y D. B. Clark. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications* 9(3): 981-997.
- Del Amo, R. S. y J. Nieto de P. 1981. Aplicación de ecuaciones y modelos matemáticos en la evaluación de las tasas de crecimiento y determinación de la edad en árboles tropicales. *In* Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. (eds) F.H. Bormann y G. Berlyn. Trad. C.A de la Parra. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Compañía Editorial Continental. México. Pp. 20-30.
- Echenique, M. R. y F. Robles F. 1993. Ciencia y Tecnología de la madera I. Textos Universitarios. Universidad Veracruzana, México. 137 p.

- Fahn, A., J. Burley., K.A. Longman., A. Mariaux y P.B. Tomilson. 1980. Posibles contribuciones de la anatomía de la madera a la determinación de la edad de los arboles tropicales. *In*: F. H. Bormann y G. Berlyn (editores). Edad y tasas de crecimiento de los arboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. Instituto Nacional de Investigaciones de Recursos Bióticos. Xalapa, Veracruz, México. C.E.C.S.A. pp: 31-43.
- Galán, L. R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuales en el sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco, México. 155 p.
- Husch, B., C.I. Miller and T.W Bree. 1972. Forest mensuration. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 410 p.
- Killmann, W. y Hong, L.T. 1995. The periodicity of growth in tropical trees with special reference to Dipterocarpaceae - A review. *AIWA j.* 16: 329-335.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2^a. ed. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Kozlowski, T. T. 1979. Tree Growth and Environmental Sstres. The Geo. S. Long publication series. University of Washington Press. Seattle, USA. 192 p.

- López, A. J. L., J. I. Valdez H., T. Terrazas y J. R. Valdez L. 2006a. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40(1): 139-147.
- López, A. J. L., J. I. Valdez-Hernández, T. Terrazas y J.R. Valdez-Lazalde. 2006b. Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de colima, México. *Agrociencia*. 40: 533-544.
- Louman, B., J. Valerio, W. Jiménez. 2001. Bases ecológicas. *In*: B. Louman, D. Quirós y M. Nilsson (editores). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. pp:19-78.
- Makocki, M. W. 2000. Crecimiento radial de tres especies maderables en una selva mediana subcaducifolia del estado de Nayarit. Tesis de Maestría. Especialidad Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. Texcoco México. 106 p.
- Makocki, M. W. y J. I. Valdez-Hernández. 2001. Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of México: Implications for their management. *In*: *Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture*. College of Forestry and Natural Resources. University of the Philippines, Los Baños. pp: 85-96.

Mariaux, A. 1967. Les cerne dans les bois tropicaux Africains, nature et périodicité. Bois et Forest des Tropiques 114: 23-37.

Mariaux, A. 1981. Esfuerzos anteriores en la medida de la edad y el crecimiento anual en los árboles tropicales. *In* Edad y tasa de crecimiento de los árboles tropicales: nuevos enfoques para la investigación. (eds) F.H. Bormann y G. Berlyn. Trad. C.A de la Parra. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Compañía Editorial Continental. México. Pp. 20-30.

Mendoza, B. M. 1993. Conceptos básicos de Manejo forestal. Editorial UTEHA. México, D.F. 161 p.

Microsoft, 2003. Microsoft Excell for Windows. Versión 2003. C. USA.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 523 p.

Pineda, H. E. 2009. Fenología y crecimiento en diámetro de dos especies arbóreas en una selva húmeda de la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 67 p.

Rincón, E. y P. Huante. 1989. Dendrocronología. *Ciencia* 40: 245-256.

SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC. 595 p.

Schumacher, F.J. 1939. A new growth curve and its applications to timber yield studies. *J. For.* 37: 819-820.

Vanclay, J.K. 1994. Modelling forest growth and yield. Applications to mixed tropical forests
CABInternational. 312 p.

Wadsworth, H. F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de
Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington,
DC. 563 p.

Whitmore, T.C. 1984. Tropical rain forest of the far east. Oxford Clarendon Press. London, UK.
352 p.

Wolter, K.E. 1968. A new method for marking xylem growth. *Forest Sci.* 14: 102-104.

Worbes, M, 1989. Growth rings, increment and age of tree in inundation forests, savannas and
mountain forest in the Neotropics. *IAWA Bulletin* 10:109-122.

Worbes, M. 1999. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth
patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *J. Ecol.* 87: 391-403.

CAPÍTULO III

ESTIMACIÓN DE BIOMASA EN COMPARTIMIENTOS AÉREOS DE *Zanthoxylum kellerianii*. P. Wilson EN UNA SELVA PERENNIFOLIA DEL NORTE DE OAXACA

3.1. RESUMEN

De una muestra de ocho árboles de diferentes categorías diamétricas (dos por categoría) se registraron los diámetros normales y se estimó la distribución de biomasa aérea. Este análisis se realizó por el método destructivo mediante la separación de sus diferentes compartimientos (follaje, ramas y fuste), los cuales se pesaron en fresco. De cada compartimiento se obtuvieron muestras aleatorias y se registró su peso fresco, posteriormente fueron ingresadas a una estufa de secado, en la que se mantuvieron temperaturas de 75 °C para follaje y ramas y 80 °C para fustes, hasta alcanzar el peso seco constante. Con los datos obtenidos se estableció la relación entre peso fresco y seco para estimar los valores de biomasa por compartimiento y de árbol total para cada categoría diamétrica, los cuales junto con el diámetro normal se utilizaron para ajustar ecuaciones alométricas mediante técnicas de regresión no lineal. El modelo seleccionado fue el potencial, por su bondad de ajuste ($p < 0.0001$), el cual es confiable para estimar la biomasa total y por compartimientos mediante la utilización del diámetro normal. Los valores de biomasa fluctuaron de 0.494 kg a 2.136 kg en follaje; de 1.738 kg a 8.055 kg en ramas y de 7.690 a 206.725 kg en fustes, de las categorías menores a las mayores (10 a 25 cm). La proporción de la biomasa promedio fue de 83.21% en la madera de fustes, 13.57% en ramas y 3.22% en follaje en relación al peso seco total.

Palabras clave: *ecuaciones alométricas, peso fresco, peso seco, proporción de biomasa.*

3.2. INTRODUCCIÓN

Las masas forestales desempeñan un papel primordial en el ciclo del carbono porque almacenan grandes cantidades de este elemento en la vegetación y el suelo, al intercambiarlo con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración (Brown, 1997). Estas también funcionan como sumideros de carbono para constituir la biomasa que requieren todos los organismos y que después se convierte parcialmente en materia orgánica (Cannell, 1995; Acosta, 2003). La distribución de la biomasa dentro de los árboles juega entonces un papel importante en la velocidad de acumulación de materia orgánica y en el flujo del carbono (Brown, 1997; Clark *et al.*, 2001a).

El componente aéreo del estrato arbóreo es uno de los principales almacenes de biomasa. La producción de biomasa aérea y su distribución en los compartimientos del árbol son dos características importantes de estimar en las especies forestales (Castellanos, *et al.*, 1996). La capacidad de los ecosistemas forestales para almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de población de cada estrato de una comunidad vegetal (Schulze *et al.*, 2000).

El enfoque de uso sostenible dentro de un contexto de manejo del ecosistema, ha conducido a la generación y uso de modelos alométricos para estimar la biomasa de los diferentes compartimientos del árbol, los cuales pueden aplicarse en inventarios de biomasa, sin embargo en México solo se han desarrollado este tipo de ecuaciones para especies de climas templados especialmente en coníferas, La problemática es particularmente crítica para los bosques

tropicales, en donde no se tiene información de las estimaciones de biomasa para las especies arbóreas de este ecosistema.

3.3. OBJETIVOS

Desarrollar ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa aérea en diferentes compartimientos y árbol total de *Zanthoxylum kellermanii*.

Determinar la distribución de la biomasa aérea para diferentes compartimientos en individuos de *Zanthoxylum kellermanii*.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Toma de datos

De los árboles utilizados para el análisis de anillos de crecimiento y periodicidad (Capítulo II, Figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 páginas 43,44, 45 y 46), se obtuvieron datos adicionales para la estimación de la biomasa de *Z. kellermanii*, complementando la muestra con cuatro árboles más, lo que produjo un total de ocho árboles con diferente diámetro normal y altura.

A todos los árboles seleccionados se les midió el diámetro normal con la ayuda de una cinta diamétrica y posteriormente fueron derribados registrando su altura total mediante una cinta métrica de 30 m. Los árboles fueron analizados por un método destructivo haciendo la separación de sus diferentes compartimientos: follaje, ramas y fuste. El follaje fue separado de

las ramas quedando ramas y fustes los cuales fueron seccionados en longitudes de aproximadamente dos metros. Cada compartimiento fue pesado de manera independiente con la ayuda de una báscula marca TORREY con capacidad para 500 kilogramos, obteniéndose así su peso fresco.

Posteriormente se obtuvieron de 5 a 10 muestras por compartimiento de cada árbol; las muestras para el follaje se obtuvieron de manera aleatoria de la totalidad del árbol, las muestras de ramas y fustes fueron secciones transversales (rodajas) obtenidas también de manera aleatoria de su longitud, para evitar la pérdida de humedad se les registró su peso fresco determinado *in situ* con el apoyo de una báscula con capacidad para cinco kilogramos y aproximación de 5 gramos, la totalidad de muestras se depositaron en bolsas de plástico registrando sus datos de control para su traslado al laboratorio.

En el laboratorio las muestras fueron depositadas en bolsas de papel con su registro correspondiente para después ingresarlas a la estufa de secado, en la que se mantuvieron, para follaje y ramas a una temperatura de 75 °C y para fustes a 80 °C hasta alcanzar el peso constante en todos los casos. En base a estos datos se estableció la relación entre peso fresco y peso seco de las muestras para estimar la proporción de biomasa del total de compartimientos por árbol; así como del árbol total.

3.4.2. Ecuaciones alométricas y análisis estadístico

Con los datos de peso fresco y peso seco se obtuvieron valores de biomasa por compartimiento de cada árbol muestreado y se ajustaron ecuaciones alométricas mediante técnicas de regresión

no lineal. Fue ajustado un modelo potencial mediante el uso del procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999). Este modelo ha sido ampliamente utilizado en diferentes estudios de determinación de biomasa aérea en árboles (Acosta, 2003; Figueroa, 2005).

El modelo utilizado fue de la forma: $Y = b_0X^{b_1}$

Donde:

Y = peso estimado del compartimiento en kg, b_0 y b_1 = coeficientes de la regresión,

X= diámetro normal en cm.

La bondad de ajuste del modelo utilizado, fue evaluada a través de los valores estadísticos de su análisis de varianza como el cuadrado medio del error (CME) que establece la varianza del modelo, el coeficiente de determinación (R^2), y nivel de significancia del modelo ($p < 0.05$).

Las ecuaciones alométricas proyectaron la biomasa aérea a nivel de los compartimientos y de árbol total y fueron representados gráficamente en la hoja de cálculo de Excel (Microsoft, 2003).

3.4.3. Distribución de la biomasa

Para la distribución de biomasa por compartimientos y árbol total, los ocho árboles muestra fueron agrupados en cuatro categorías diamétricas; 10, 15, 20 y 25 cm. El árbol correspondiente a la categoría de 5 cm en el estudio de anillos de crecimiento y periodicidad (Capítulo II, Figura 2.1 página 43) tuvo un diámetro de 8.5 cm al momento de su derribo, este cambio se atribuye a la duración de la toma de datos para dicho estudio que fue de dos años, por lo que para fines del

estudio de biomasa se consideró dentro de la categoría de 10 cm. La distribución de biomasa aérea por categoría diamétrica y para los diferentes compartimientos fue presentada en tablas.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Ecuaciones alométricas

Las ecuaciones alométricas generadas para la estimación de la biomasa aérea de compartimientos y árbol total así como sus estimadores de variación y confiabilidad estadística se presentan en la Tabla 3.1. Así mismo se presentan las curvas de regresión ajustada a los datos (Figuras 3.1 y 3.2).

Tabla 3.1. Ecuaciones alométricas y sus valores estadísticos, para la estimación del peso seco (kg) a nivel de compartimientos y de árbol total en *Zanthoxylum kellermanii*.

Compartimiento	Ecuación	N	R ²	CME	Fc	Prob > F
Fuste	Y=0.00108X ^{3.7448}	8	0.98	180.5	276.47	<.0001
Ramas	Y=0.00062X ^{3.2722}	8	0.96	8.7037	90.04	<.0001
Follaje	Y=0.00942X ^{1.8329}	8	0.98	0.0790	257.12	<.0001
Árbol total	Y=0.00166X ^{3.6586}	8	0.99	205.2	318.51	<.0001

n= Tamaño de muestra, R² = Coeficiente de determinación, CME = Cuadrado medio del error, Fc= F calculada.

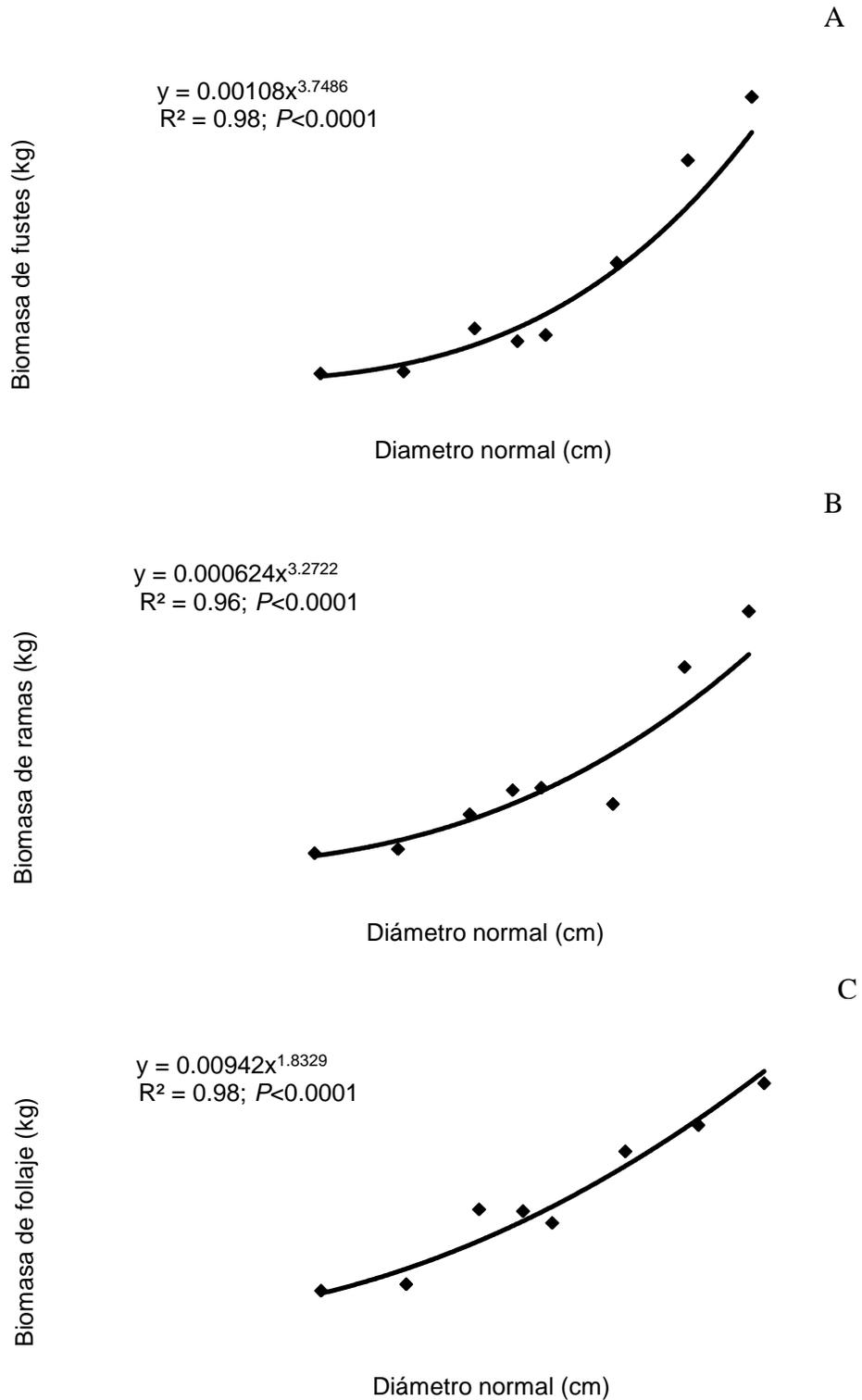


Figura 3.1. Curvas de regresión ajustada para la estimación de biomasa aérea por compartimientos: fustes (A), ramas (B) y follaje (C) de *Zanthoxylum kellermanii*.

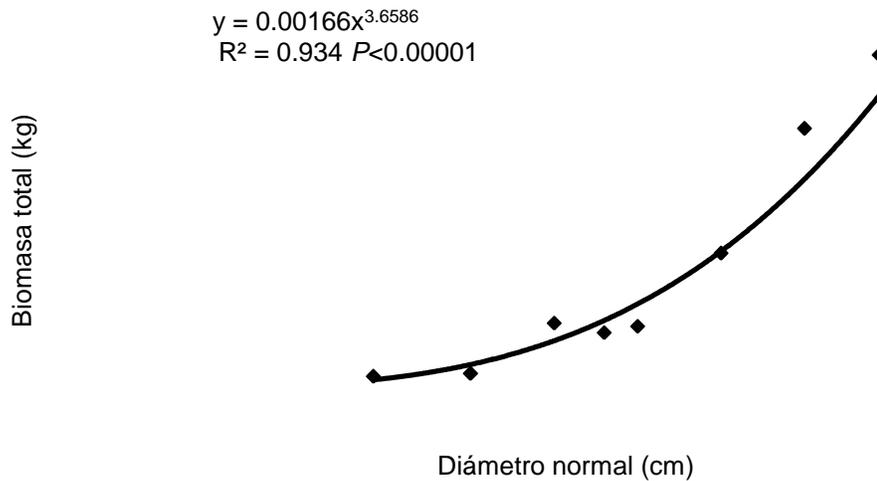


Figura 3.2. Curvas de regresión ajustada para la estimación de biomasa aérea total de *Zanthoxylum kellermanii*.

Todas las ecuaciones mostraron un buen nivel de ajuste, la significancia en la prueba de F ($p < 0.0001$) demuestra que el modelo es confiable para estimar la biomasa de compartimientos. Asimismo, los cuadrados medios del error (CME) y los valores de R^2 indican que el modelo es confiable para estimar la biomasa aérea a través del diámetro normal.

Estas ecuaciones pueden ser de utilidad para la estimación de biomasa de la especie, con fines de estimación de tasas de captura de carbono y la evaluación de la productividad de los ecosistemas tropicales (Parresol, 1999; Ketterings *et al.*, 2001). La productividad primaria, es un indicador del balance de carbono entre la vegetación y la atmósfera y es, por ende, una variable de importancia en estudios de cambio climático global. (Brown, 1997; Schlesinger, 1997; Clark *et al.*, 2001).

3.5.2. Distribución de biomasa aérea

La distribución de la biomasa aérea en cada uno de los compartimientos de *Z. kellermanii*, fue de la siguiente manera: en el fuste el intervalo osciló de 77.50% a 87.52% siendo las categorías diamétricas 10 y 25 cm; en las ramas el intervalo de variación fue de 11.00% a 17.52 % que correspondieron a las categorías 25 y 10 cm, y la variación del follaje fue de 1.47% a 4.98% con categorías diamétricas de 25 y 10 cm. La distribución promedio de biomasa por compartimiento fue: en fuste 83.21%, en ramas 13.57% y en follaje 3.22% considerando todas las categorías diamétricas (Tabla 3.2 y Figura 3.3).

La distribución en kilogramos de peso seco en los diferentes compartimientos arbóreos osciló en los siguientes intervalos: follaje: de 0.494 kg a 2.136 kg; ramas de 1.738 kg a 8.055 kg y fuste 7.690 a 206.725 kg., para las categorías diamétricas de 10 y 25 cm en todos los casos, distribuyéndose la mayor proporción de la biomasa aérea en el fuste y la menor en el follaje del árbol. Los valores de biomasa total a nivel de árbol oscilan de 9.923 a 236.727 kg en categorías diamétricas de 10 y 25 cm (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Peso seco (kg) y distribución de biomasa aérea (%) en los compartimientos para las diferentes categorías diamétricas de *Zanthoxylum kellermanii*.

CD (cm)	Peso seco (kg)				Distribución de biomasa (%)		
	Fuste	Ramas	Follaje	árbol	fuste	ramas	follaje
10	7.690	1.738	0.494	9.923	77.502	17.517	4.981
15	38.441	7.330	1.758	47.530	80.879	15.423	3.698
20	67.816	8.055	2.136	78.007	86.936	10.326	2.738
25	206.727	25.985	3.490	236.201	87.521	11.001	1.477
	Promedio				83.210	13.567	3.224

Los resultados del presente estudio manifiestan un comportamiento semejante de la distribución de biomasa con respecto a otras investigaciones existentes, concentrándose en su mayor parte en el fuste (83.21%). Al respecto Monroy y Navar (2004) encontraron una distribución de 73.88 % en el fuste total, y 27.09% en ramas en una plantación de *Hevea Brasiliensis* Muell. Arg, en Veracruz México, por su parte Castañeda-Mendoza *et. al.* (2005), encontraron una distribución de 83.7% en tallos 12.3% en follaje, y 4% en ramas de una especie de bambú (*Bambusa oldhamii* Munro) en un área tropical ubicada en Huatusco, Veracruz, México.

Se conoce también que la proporción de biomasa en el fuste se incrementa con la edad, densidad y calidad del sitio (Binkley, 1983; Espinoza y Perry 1987) y esta varía entre especies, edad de plantación y el clima (Lugo *et al.* 1988). Castellanos *et. al.* (1996) mencionan que la proporción de la biomasa del tallo está correlacionada positivamente con el tamaño del árbol; en los árboles grandes se incrementa la proporción de la biomasa total contenida en el fuste, por lo que algunas metodologías generalmente no incluyen la biomasa de otros componentes aéreos, por ejemplo: Brown y Lugo (1984) se basaron en el volumen del tronco para estimar la biomasa en bosques tropicales, Enquist *et al.* (1999) demostraron que la tasa de crecimiento en árboles tropicales tiene una relación potencial con la biomasa y las relaciones en las diferentes especies se acentúan si se considera la densidad de la madera, donde para convertir el volumen a biomasa es necesario utilizar un factor asociado a la densidad de la madera (Acosta 2003).

La biomasa de ramas presentó una distribución intermedia (13.57%) con respecto a la biomasa de fuste y de hojas. Hakkila (1989) menciona que la biomasa de ramas es influida por factores intrínsecos del árbol tales como: factores genéticos, hábito de ramificación, tolerancia a la

sombra, así como la calidad de sitio y características del rodal, entre las que destaca el espacio de crecimiento (Foli *et al.*, 2003), por lo que la biomasa de ramas puede variar en función de estas características.

La biomasa del follaje presentó la menor distribución de los compartimientos (3.22%), al igual que en las ramas la biomasa del follaje fue proporcionalmente mayor en los árboles con diámetros pequeños y disminuyó progresivamente con el aumento del diámetro. Los árboles pequeños son probablemente dominados y como consecuencia tienen poca disponibilidad de recursos, particularmente luz, en comparación con los árboles más grandes (Castellanos, 1996; López-López *et al.*, 2006), esto corresponde a una condición limitativa llamada ley del mínimo en la que las cantidades de recurso se encuentran muy cercanas al mínimo necesario (Odum, 2005) y está relacionado con el supuesto de deficiencia de crecimiento, en el que se manifiesta que la producción de madera del tallo tiene menor prioridad, comparada con la producción de follaje y raíces.

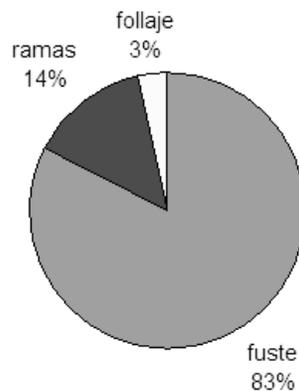


Fig. 3.3. Distribución proporcional de la biomasa aérea en cada uno de los compartimientos de *Zanthoxylum kellermanii*.

3.6. CONCLUSIONES

Las ecuaciones alométricas generadas para *Z. kellermanii* mostraron un buen nivel de ajuste, determinado por sus valores estadísticos, por lo que el modelo es confiable para realizar una buena predicción de la biomasa aérea a través del diámetro normal. Estas ecuaciones pueden ser usadas para la estimación de la biomasa aérea por hectárea o por rodal, mediante el levantamiento de inventarios de las variables requeridas, las cuales pueden ser útiles en la estimación de la productividad en los sitios forestales.

La distribución de biomasa aérea fue de 83.21 % en el fuste, 13.57% en las ramas y 3.22% en follaje con relación al peso seco total, localizándose la mayor parte de ella en el fuste y siendo el porcentaje más bajo el de follaje de todos los compartimientos. El patrón de distribución de la biomasa, indica que esta especie tiene potencial para capturar carbono por tiempos largos en el fuste, especialmente si se considera que puede presentar incrementos de diámetro superiores a 1.5 cm año^{-1} (Capítulo I, Tabla 1.1, página 18).

3.7. REFERENCIAS

Acosta M. M. 2003. Diseño y aplicación de un método para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación forestal y agrícolas de ladera en México. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos. México. 153 p.

- Binkley, D. 1983. Ecosystem production in Douglas-fir plantations: interaction of red alder and site fertility. *For. Ecol. Manage.* 5:215-227.
- Brown, S. and A. E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 No. 4642:1290-1293.
- Brown, S. 1997. Los bosques y cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Ankara, Turquía: Congreso Forestal Mundial. 107-121.
- Cannell, M. 1995. Forest and the Global Cycle in the Past, Present and Future. European Forest Institute, Research Report 2, 66 p.
- Castañeda-Mendoza, A., J. Vargas-Hernández, A. Gómez Guerrero, J. I. Valdez-Hernández, H. Vaquera Huerta. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*.
- Castellanos, J. F., A. Velásquez, M., J. Vargas. H., C. Rodríguez, F., A.M. Fierros. G., 1996. Producción de Biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30: 123-128.
- Clark, D. A., S. Brown, D.W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson, J. Ni, and E. A. Holland, 2001a. NPP in tropical forest: an evaluation and synthesis of existing field data. *Ecological Applications* 11(371-384).

- Clark, D. A., S. Brown, D.W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson and J. Ni, 2001b. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*. 11(2) (371-384).
- Enquist, B. J., G. V. West, E. L. Charnov, J. H. Brown. 1999. Allometric Scaling of production and life-history variation vascular plants. *Nature* 401: 907-911.
- Espinosa B. M. and D. A. Perry. 1987. Distribution and increment of biomass in adjacent young Douglas-fir stands with different early growth rates. *Can. J. For. Res.* 17:722-730.
- Figuerola, N. C., J. D. Etcheverts B., A. Velásquez, M. y M. Acosta M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra* 23(1):57-64.
- Foli, E. G., D. Alder, H. G. Miller y M. D. Swaine. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. *Forest Ecology and Management* 173: 79-88.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of residual Forest Biomass. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 568 p.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau and C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 146: 199-209.

- López-López, M. A., A. Velásquez-Martínez, J. Acosta-Montoya and E. Estañol-Botello. 2006. Biomass distribution in declining sacred-fir seedlings. *Interciencia*. Vol. 31 No. 6.
- Lugo, A. E., S. Brown and J. Chapman. 1988. An analytical Review of Production Rates and Stemwood Biomass of Tropical Forest Plantations. *Forest Ecology and Management*. 23 179-200.
- Microsoft, 2003. Microsoft Excell for Windows. Version2003. C. USA.
- Monroy, R., C. y J.J. Návar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2):29-43.
- Odum, E.P., G. W. Warret. 2005. *Fundamentos de ecología*. Thompson. 598 p.
- Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 45(4): 573-593.
- SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC.595 p.
- Schlesinger W. H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press, San Diego. 588 p.
- Schulze, E.D., Ch. Wirth and M. Heimann. 2000. Managing forests after Kioto. *Science* 289(5487):2058-2059.

DISCUSION GENERAL

El crecimiento en diámetro para las diferentes categorías diamétricas de *Z. kellermanii* fue alternado, es decir, lento en las categorías pequeñas y mayores y acelerado en las intermedias. Este comportamiento ha sido documentado por diferentes autores, de tal manera que las categorías pequeñas manifiestan un crecimiento lento (Diéguez *et al.*, 2003), las intermedias destinan recursos para aumentar en diámetro (Klepac, 1983) y las grandes van disminuyendo su crecimiento gradualmente, llegando a ser muy reducido como consecuencia de una disminución en la fotosíntesis de los árboles cuando estos pasan del estado de madurez a la vejez (Klepac, 1983; Waring, 1987; Ryan *et al.*, 2004; Wadsworth, 2000).

En relación con la calidad de copa, los árboles con mejor conformación y vigor tuvieron mayor crecimiento en diámetro. Al respecto Swaine *et al.* (1987) y Louman *et al.* (2001), señalan que la forma e integridad de la copa es un buen indicador del vigor del árbol, aspecto que se relaciona también con su tamaño, estado de desarrollo y su incremento potencial (Dawkins, 1963; O'Brien *et al.*, 1995; Sterck y Bongers, 2001). Así mismo, con respecto a la posición de la copa dentro del estrato vertical, los árboles ubicados en el estrato superior mostraron mayor crecimiento que los situados en los estratos inferiores, debido a que estos últimos se encuentran dominados, mientras que los del estrato superior tienen copas más desarrolladas y ocupan mejores posiciones en el dosel (Veillon, 1985; Swaine *et al.*, 1987; Louman *et al.*, 2001; Hernández y Castellanos, 2006).

Las diferencias significativas del crecimiento en diámetro entre categorías diamétricas, calidades de copa y posiciones de copa, también se han observado en otras especies tropicales y diferentes autores mencionan que estas diferencias pueden estar relacionadas con la variación intra e interespecífica, edad de los árboles y condiciones ambientales (Silva *et al.*, 1995; Pereira *et al.*, 2002; López-Torres y Tamarit-Urias, 2005; Hernández y Castellanos, 2006; López *et al.*, 2006).

Con respecto a los anillos de crecimiento, *Z. kellermanii* presentó anillos anuales sustentado mediante la formación de dos anillos completos durante un periodo de dos años de estudio, de manera similar Barajas-Morales *et al.* (1997) reportan anillos de crecimiento para la misma especie en la selva alta perennifolia de Los Tuxtlas, Veracruz, México. Así mismo las correlaciones entre la precipitación y el ancho de los anillos de crecimiento fueron positivas, similar a lo registrado por Pineda (2009) y López *et al.* (2006) en otras especies.

El crecimiento radial acumulado y los incrementos medio y corriente anual (ICA e IMA) para cada una de las categorías diamétricas fueron diferentes; esto se relaciona con factores propios de los sitios de crecimiento tales como: tipo de suelo, humedad, nutrientes (Louman *et al.*, 2001), densidad, edad, espacio de crecimiento, temperatura, plagas y enfermedades (Veillon, 1985) y características de la calidad y posición de la copa de los árboles en el dosel (Zamudio-Sánchez y López-Torres 1999; Clark y Clark 1999; Interián, 2009).

Las ecuaciones alométricas generadas, son de gran utilidad para la estimación de la biomasa aérea de la especie, las tasas de captura de carbono y la evaluación de la productividad primaria neta en los ecosistemas tropicales (Parresol, 1999; Ketterings *et al.*, 2001). La productividad primaria, es un indicador del balance de carbono entre la vegetación y la atmósfera y, por ende, una variable

de importancia en estudios de cambio climático global (Brown, 1997; Schlesinger, 1997; Clark *et al.*, 2001).

Los estudios sobre biomasa en compartimientos de árboles son escasos y muchas metodologías solo consideran la contenida en el fuste y no la de otros componentes aéreos (ramas y follaje), por su mayor proporción e interés económico. Por ejemplo, Brown y Lugo (1984) se basaron en el volumen del tronco para estimar la biomasa en bosques tropicales. Los resultados sobre la distribución de biomasa aérea de *Z. kellermanii* en el presente estudio fue mayor en el fuste, intermedio en las ramas y menor en el follaje (83.21 % en el fuste, 13.57% en las ramas y 3.22% en follaje). Este comportamiento es semejante a lo reportado por otros autores, tal es el caso de *Hevea Brasiliensis* Muell. Arg. en la que se encontró una distribución de 73.88 % en el fuste total y 27.09% en ramas (Monroy y Navar, 2004) y de *Bambusa oldhamii* Munro donde se reporta una distribución de 83.7% en tallos, 12.3 % en follaje y 4% en ramas (Castañeda-Mendoza *et al.*, 2005), ambas especies en plantaciones de zonas tropicales en Veracruz, México.

De los resultados obtenidos se deduce que *Z. kellermanii* es una especie pionera de rápido crecimiento, favorecida por una alta iluminación, ocupando espacios perturbados (Brokaw, 1985; Lozada y Arends, 2000). La especie puede establecerse en plantaciones en las que pueden definirse los espacios de crecimiento y la densidad de plantación adecuada, considerando la ocupación total de las copas de los árboles, lo que repercutirá en el crecimiento en diámetro y en una mayor acumulación de biomasa aérea.

CONCLUSIONES GENERALES

Se encontraron diferencias significativas de crecimiento en diámetro de *Z. kellermanii* entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa. Las tasas anuales de crecimiento promedio en diámetro variaron de 0.86 a 1.87 cm en categorías diamétricas, de 0.52 a 2.04 cm en calidades de copa y de 0.73 a 1.70 cm en las posiciones de copa. Los mayores crecimientos se registraron en individuos de categoría diamétrica 10, con buena calidad de copa y exposición tanto vertical como lateral a la luz solar.

El crecimiento de *Z. kellermanii* presenta una curva sigmoideal con ajuste a un modelo exponencial, como el que mejor describe el crecimiento acumulado en función del tiempo y representa a su vez un modelo sencillo y de fácil aplicación para la especie.

Se identificaron anillos de crecimiento con buen grado de visibilidad y de formación anual, mismos que estuvieron significativamente relacionados con la precipitación bimestral del área de estudio. En todas las categorías diamétricas la relación entre el ancho de las zonas de crecimiento y la precipitación fue estadísticamente significativa.

El modelo de regresión no lineal utilizado para estimar el crecimiento acumulado (CA), así como los incrementos corriente anual (ICA) y medio anual (IMA) tuvo un ajuste estadísticamente significativo. El cruce entre las curvas del ICA e IMA ocurrió a los 13 años en la mayoría de las categorías diamétricas, valor que es importante para la toma de decisiones en el manejo forestal.

Las ecuaciones alométricas generadas, son útiles en la estimación de la productividad forestal, ya que por su nivel de ajuste, son estadísticamente confiables para la predicción de la biomasa con base en el diámetro normal y pueden ser usadas para la estimación de la biomasa aérea por hectárea o por rodal mediante el levantamiento de inventarios forestales.

La distribución de la biomasa fue de 83.21 % en el fuste, 13.57% en las ramas y 3.22% en follaje, localizándose el porcentaje más alto en el fuste y el más bajo en el follaje. Dicho patrón de distribución, indica que esta especie tiene potencial para capturar y almacenar carbono en el fuste por períodos prolongados de tiempo, especialmente si alcanza incrementos en diámetro superiores a 1.5 cm año^{-1} , valor observado en el presente estudio.

Los resultados de este estudio pueden ser utilizados en programas de recuperación y plantaciones de enriquecimiento de áreas perturbadas en la zona de estudio, así como en la aplicación de actividades silvícolas dentro de planes de manejo forestal, el manejo de la calidad y posición de copas de esta especie, puede reflejarse en mayores tasas de crecimiento en diámetro, las cuales pueden reflejarse en mayores incrementos maderables y como consecuencia en un incremento de la biomasa aérea.

Referencias

Barajas-Morales, J., G. Ángeles A., P. Solís S., 1997. Anatomía de maderas de México: especies de una selva alta perennifolia I. Publicaciones especiales 16. Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. 126 p.

Brokaw, N.V.L. 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66(3): 682-687.

Brown, S. 1997. Los bosques y cambio climático: el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Ankara, Turquía: Congreso Forestal Mundial. 107-121.

Brown, S. and A. E. Lugo. 1984. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. *Science* 223 No. 4642:1290-1293.

Castañeda-Mendoza, A., J. Vargas-Hernández, A. Gómez Guerrero, J. I. Valdez-Hernández, H. Vaquera Huerta. 2005. Acumulación de carbono en la biomasa aérea de una plantación de *Bambusa oldhamii*.

Clark, D. A. y D. B. Clark. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. *Ecological applications* 9(3): 981-997.

Clark, D. A., S. Brown, D.W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson and J. Ni, 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. *Ecological Applications*. 11(2) (371-384).

Dawkins, H. C. 1963. Crown diameters: their relationship to bole diameter in tropical trees. *Forest Review* 42(4): 318-333.

- Diéguez, A. U., M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruíz G., M. F. Álvarez T., J. G. Álvarez y A. Rojo. 2003. Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- Hernández, L. y H. Castellanos. 2006. Crecimiento diamétrico arbóreo en bosques de Sierra de Lema, Guayana Venezolana: primeras evaluaciones. *Interciencia* 31(11): 779-786.
- Interian, K. V.M. 2009. Crecimiento, arquitectura y anatomía de especies forestales en una selva baja caducifolia del sur de Yucatán. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Botánica. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 89 p.
- Ketterings, Q. M., R. Coe, M. van Noordwijk, Y. Ambagau and C. A. Palm. 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For. Ecol. Manage.* 146: 199-209.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2ª. ed. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- López, A. J. L., J. I. Valdez H., T. Terrazas y J. R. Valdez L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. *Agrociencia* 40(1): 139-147.

- López-Torres, J. L. y J. C. Tamarit-Urias. 2005. Crecimiento e incremento en diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. En bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Medio Ambiente* 11(2): 117-123.
- Louman, B., J. Valerio, W. Jiménez. 2001. Bases ecológicas. *In*: B. Louman, D. Quirós y M. Nilsson (editores). *Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central*. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. pp:19-78.
- Lozada, J. R. y E. Arends. 2000. Clasificación ecológica de especies, con fines de Aprovechamiento Forestal en la estación Caparo. *Revista Forestal Venezolana* 44(1):81-91.
- Martínez-Sánchez J. L., J. A. Meave y F. Bongers. 2008. Light-related variation in sapling architecture of three shade-tolerant tree species of the mexican rain forest. *Revista chilena de historia natural*. 81:361-371.
- Monroy, R., C. y J.J. Nívar C. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2):29-43.
- O'Brien, S. T., S. P. Hubbell, P. Spiro, R. Condit y R. B. Foster. 1995. Diameter, height, crown, and age relationships in eight neotropical tree species. *Ecology* 76(6): 1926-1939.
- Parresol, B. R. 1999. Assessing tree and stand biomass: A review with examples and critical comparisons. *For. Sci.* 45(4): 573-593.

- Ryan, M. G., D. Binkley., J. H. Fownes., C. P. Giardina and R. S. Senock. 2004. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecological Monographs*, 74(3): 393–414.
- Schlesinger W. H. 1997. Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press, San Diego. 588 p.
- Silva, J. N. M., J. O. P. de Carvalho, J. C. A. do Lopes, B. F. de Almeida, D. H. M. Costa, L. C. de Oliveira, J. V. Vanclay y J. P. Skovsgaard. 1995. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. *Forest Ecology and Management* 71: 267-274.
- Sterck, F. J. y F. Bongers. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. *Journal of Ecology* 89(1): 1-13.
- Swaine, M. D., J. B. May y I. J. Alexander. 1987. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). *Journal of Tropical Ecology*3: 331-345.
- Pereira, da Silva R., J. Dos Santos, E. Siza, J. Chambers, S. Nakamura y N. Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295-301.

Pineda, H. E. 2009. Fenología y crecimiento en diámetro de dos especies arbóreas en una selva húmeda de la Sierra Norte de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 67 p.

Veillon, J. P. 1985. El crecimiento de algunos bosques naturales de Venezuela en relación con los parámetros del medio ambiente. *Revista Forestal Venezolana* 19(1): 5-120.

Wadsworth, H. F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington, DC. 563 p.

Waring, R.H. 1987. Characteristics of trees predisposed to die. *BioSci.* 37:569-573.

Zamudio-Sánchez, F. J. y J. L. López-Torres. 1999. Estudio de la relación área mínima contra área real de la superficie de la copa en árboles de vegetación secundaria en Campeche, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(2): 167-171.