



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES

INCREMENTO DIAMÉTRICO DE CINCO ESPECIES
ARBÓREAS CON POTENCIAL MADERABLE DEL
BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN EL CENTRO DE
VERACRUZ

TESIS QUE PRESENTA MAGDALENO MENDOZA
HERNÁNDEZ PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN

ECOLOGÍA FORESTAL

XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO 2015

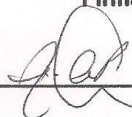
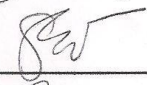
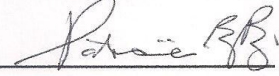
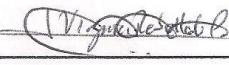
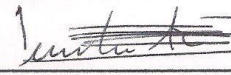


UNIVERSIDAD VERACRUZANA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FORESTALES
MAESTRIA EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA FORESTAL

Aprobación del documento final de tesis de grado:

Incremento diamétrico de cinco especies arbóreas con potencial maderable del bosque mesófilo de montaña en el centro de Veracruz"

Realizada por el alumno Magdaleno Mendoza Hernández, bajo la dirección del Comité particular de tesis y aprobada por el Comité Revisor. Ha sido aceptada como requisito parcial para obtener el grado de: **Maestro en Ciencias en Ecología Forestal.**

	Nombre	Firma
Directora de Tesis	Dra. Rosa Amelia Pedraza Pérez	
Comité tutorial	Dra. Silvia E. Purata Velarde	
	Dra. Patricia Gerez Fernández	
Comisión revisora	Dra. Mariana Tarín Toledo Aceves	
	Dra. Virginia Rebolledo Camacho	
	M. en C. Luis Raúl Álvarez Oseguera	

Xalapa, Ver. Febrero del 2015.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT por la beca otorgada para el desarrollo de esta investigación y de mis estudios de posgrado.

Al programa de posgrado del Instituto de Investigaciones Forestales (INIFOR) por la oportunidad que se me dio para hacer mis estudios de posgrado.

A la Overbrook Foundation por el financiamiento concedido a la Dra. Silvia E. Purata de People and Plants International, para el material utilizado en la elaboración de las bandas.

A mis compañeros y amigos de SENDAS A.C. por su apoyo durante el desarrollo de esta investigación y por enseñarme la pasión por el bosque y su gente.

Esta investigación es el resultado del sacrificio y esfuerzo de muchas personas, mencionarlas en estas líneas es insuficiente para expresarles mi aprecio y agradecimiento.

A Silvia E. Purata Velarde, por la confianza que deposito en mí, por el esfuerzo que dedico a dirigir esta investigación, por su amistad y calidad humana.

A Patricia Gerez Fernández, por el esfuerzo dedicado a dirigir esta investigación, por sus comentarios y sugerencias, por tantas veces que me corrigió y que me animo a terminar este documento.

A Mariana Tarín Toledo Aceves, por las correcciones y sugerencias a es este documento. Por su amistad y confianza. La oportunidad que me dio para colaborar con ella permitió que este trabajo continuara desarrollándose.

A Jorge López Portillo, por la generosa disposición que tuvo para enseñarme y revisar los análisis estadísticos, por su amistad y calidad humana.

A mis hijos y a mi esposa por su amor.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS.....	6
RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	9
1. PRESENTACIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO Y PROBLEMÁTICA.....	11
1.1. EL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	11
1.2. DIVERSIDAD ARBÓREA DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
1.3. POTENCIAL MADERABLE DE LAS ESPECIES DEL BMM	13
1.4. EL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LA ZONA DE ESTUDIO.	16
2. ANTECEDENTES	17
2.1. LOS ÁRBOLES Y SU ENTORNO DE CRECIMIENTO	17
2.1.1. <i>El crecimiento en los árboles</i>	17
2.1.2. <i>Efectos de los factores ecológicos sobre el crecimiento de los árboles</i>	19
2.2. SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES ECOLÓGICOS QUE INFLUYEN SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES.	19
2.2.1. <i>Efecto del clima</i>	19
2.2.2. <i>Efecto de la fisiografía</i>	20
2.2.3. <i>Efecto de los factores edáficos</i>	21
2.2.4. <i>Efecto de los factores bióticos</i>	23
2.3. LOS ÁRBOLES Y LA MEDICIÓN DEL INCREMENTO DIAMÉTRICO.....	24
2.3.1. <i>Métodos de medición del incremento diamétrico en árboles</i>	24
2.3.2. <i>Medición del incremento diamétrico en árboles de Bosque Mesófilo de Montaña</i>	26
2.3.3. <i>Anillos de crecimiento en las especies estudiadas</i>	28
3. OBJETIVOS	29
4. MATERIALES Y MÉTODO	30
4.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	30
4.2. SELECCIÓN DE ESPECIES	31
4.3. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SITIOS.....	31
4.4. SELECCIÓN DE INDIVIDUOS, CATEGORÍAS DIAMÉTRICAS Y POSICIÓN EN EL DOSEL.....	32
4.5. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE BANDAS.....	33
4.6. FECHA DE INSTALACIÓN DE BANDAS Y MEDICIÓN DEL CRECIMIENTO	34
4.7. MEDICIÓN DEL ÁREA BASAL COMO MEDIDA DE LA COMPETENCIA INTERARBÓREA	34
4.8. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	35
5. ANÁLISIS DE DATOS	35
6. RESULTADOS.....	37
6.1. CONDICIONES FÍSICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO	37
6.2. PRECIPITACIÓN PLUVIAL DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO.....	38
6.3. INCREMENTO DIAMÉTRICO POR ESPECIE	38
6.4. INCREMENTO DIAMÉTRICO Y ÁREA BASAL POR SITIO DE MONITOREO.....	39
6.5. INCREMENTO DIAMÉTRICO POR POSICIÓN EN EL DOSEL	40
6.6. INCREMENTO DIAMÉTRICO POR CATEGORÍA DE TAMAÑO	41

7.	DISCUSIÓN	42
7.1.	INCREMENTO DIAMÉTRICO POR ESPECIE	42
7.2.	INCREMENTO DIAMÉTRICO Y ÁREA BASAL POR SITIO DE MONITOREO.....	44
7.3.	INCREMENTO DIAMÉTRICO POR POSICIÓN EN EL DOSEL	46
7.4.	RELACIÓN DEL INCREMENTO DIAMÉTRICO Y EL TAMAÑO.....	48
8.	CONCLUSIONES	50
9.	RECOMENDACIONES	51
10.	LITERATURA CITADA	52
11.	ANEXOS	64
11.1.	FICHAS TÉCNICAS DE LAS ESPECIES EVALUADAS EN ESTE ESTUDIO.....	64
	<i>Alnus acuminata</i>	64
	<i>Carpinus caroliniana</i>	65
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	66
	<i>Trema micrantha</i>	68
	<i>Quercus xalapensis</i>	69
11.2.	FORMATO DE CAMPO PARA TOMA DE DATOS DURANTE LA INSTALACIÓN DE BANDAS DENDROMÉTRICAS	72
11.3.	FORMATO DE CAMPO PARA LA MEDICIÓN DEL INCREMENTO DIAMÉTRICO LOS SITIOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS	73

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los sitios de monitoreo de las cinco especies estudiadas (Elaborado por: Gómez Ávila Edith, 2014).	30
Figura 2. De lado izquierdo, materiales para la elaboración e instalación de bandas dendrométricas. De lado derecho una banda dendrométrica instalada en fuste de <i>Trema micrantha</i>	33
Figura 3. Precipitación anual de los años 2003 al 2013, como referente del comportamiento de la precipitación para el periodo de medición del incremento diamétrico (puntos color rojo, año 2012 y 2013), de las cinco especies estudiadas.	38
Figura 4. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ de las cinco especies estudiadas. La línea horizontal agrupa las especies que presentan medias que no son significativamente diferentes (Tukey P>0.05).	39
Figura 5. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ de las cinco especies estudiadas, en cada sitio de monitoreo. Las líneas horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes (<i>t</i> Student P>0.05).	40
Figura 6. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ , por posición en el dosel de las cinco especies estudiadas. Las barras horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes (Tukey, P>0.05).	41
Figura 7. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ por categoría diamétrica de las cinco especies estudiadas, donde: chicos=10 a 19.9 cm; medianos=20 a 29.9 cm; Grandes=30 a 40 cm. Las barras horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes (Tukey, P>0.05).	42
Cuadro 1. Fecha de instalación de bandas dendrométricas y de medición del incremento diamétrico en las cinco especies estudiadas en sus respectivos sitios de monitoreo.	34
Cuadro 2. Descripción de algunas características físicas e intervenciones humanas que se presentaron en los 10 sitios de medición del incremento diamétrico de las cinco especies estudiadas.	37
Cuadro 3. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ de las cinco especies de estudiadas	39
Cuadro 4. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ y área basal promedio (ABP) m ² /ha. de las 5 especies evaluadas por sitio de monitoreo.	40
Cuadro 5. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ y error estándar, por posición en el dosel de las cinco especies estudiadas.	41
Cuadro 6. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año ⁻¹ por categoría de tamaño, para las cinco especies estudiadas.	42

RESUMEN

En el Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) hay un gran número de especies que por sus cualidades maderables, son utilizadas y comercializadas diariamente por los habitantes locales. Este uso tradicional se lleva a cabo en forma de tala selectiva, desordenada y sin regulación. En la actualidad la información técnica que permita el manejo y aprovechamiento sostenible de las especies maderables del BMM es limitada. El objetivo de este estudio fue determinar la tasa anual de incremento diamétrico de cinco especies con potencial maderable del BMM y analizar el efecto de algunas condiciones físicas de sitio sobre el crecimiento.

Las especies estudiadas fueron *Alnus acuminata*, *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua*, *Trema micrantha* y *Quercus xalapensis*. Para la medición del incremento diamétrico (ID) se seleccionaron 60 individuos de cada especie, ubicados en dos sitios con regeneración natural y sin intervenciones silvícolas, en la zona central montañosa de Veracruz. En todos los árboles se instalaron bandas metálicas elaboradas exprofeso para medir el incremento diamétrico durante un año. En cada sitio se determinó el área basal, los árboles se clasificaron en tres categorías de tamaño y de acuerdo a su posición en el dosel. Se describieron algunas características físicas de cada sitio y se hizo un análisis histórico de la precipitación.

la tasa de crecimiento anual (cm año^{-1}) fue *Alnus acuminata* 1.48 ± 0.07 , *Trema micrantha* 0.95 ± 0.11 , *Quercus xalapensis* 0.67 ± 0.05 , *Liquidambar styraciflua* 0.59 ± 0.07 y *Carpinus caroliniana* 0.31 ± 0.02 .

Alnus acuminata

por categoría de tamaño mostró fluctuaciones en las cinco

especies estudiadas, y hubo diferencias significativas entre las categorías de tamaño de *Trema micrantha*, *Liquidambar styraciflua* y *Carpinus caroliniana*. Concluimos que las tasas de crecimiento obtenidas *excepto en C. caroliniana* el gran potencial por su rápido crecimiento para incorporarse a diferentes sistemas de manejo forestal.

INTRODUCCIÓN

La medición del bosque y sus productos es una actividad de suma importancia, pues constituye la base fundamental para regular y asegurar el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales (Smith *et al*, 1997). Por medio de las mediciones forestales se puede evaluar el crecimiento y la productividad de un sitio determinado, comprender la dinámica de las poblaciones vegetales, estimar y predecir el rendimiento forestal, conocer la posibilidad de aprovechamiento y definir las prácticas silvícolas que garanticen la perpetuación del recurso y la producción continua de bienes y servicios para la sociedad. Actualmente, conocer la dinámica de acumulación de biomasa es indispensable para determinar los almacenes y flujo de carbono en los bosques, ante la preocupación por estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en la atmosfera, y por el interés por desarrollar sistemas de compensación relacionados con la captura de carbono (Honorio y Baker, 2010).

En la práctica silvícola las mediciones forestales parten de la unidad básica , del cual según el objetivo se puede determinar su forma, estimar su volumen y medir sus dimensiones: altura, diámetro a la altura del pecho, área basal, área foliar y área de cobertura (Imaña y Encinas, 2008). Cuando los árboles presentan anillos de crecimiento periódicos, se puede conocer la edad y determinar y modelar la tasa de crecimiento mediante los análisis troncales. Cuando esto no es posible, se realizan mediciones sucesivas para registrar los cambios en las dimensiones de los árboles y estimar el incremento en un periodo de tiempo determinado (Klepac, 1983). Uno de los indicadores más utilizado en la ecología y la dasonomía para analizar, monitorear y modelar la dinámica forestal es el diámetro del fuste a 1.30 m de altura, conocido como Diámetro a la Altura del Pecho (DAP), variable de fácil medición y precisión aceptable (Imaña y Encinas, 2008).

En muchas especies (principalmente coníferas), que crecen en sitios donde la actividad periódica del cámbium, regida por la genética y por una estacionalidad clara en el régimen de lluvias y temperatura, permite que se formen anillos

anuales de crecimiento fácilmente apreciables (Kramer y Kozlowski, 1979). En estas especies la tasa de crecimiento diamétrico se estima a través de la medición de los anillos anuales. Sin embargo, en numerosas especies tropicales o subtropicales la ausencia de un claro contraste entre la madera temprana y la tardía, dificulta la estimación de la tasa de crecimiento. Para el caso de las especies latifoliadas que no presentan anillos de crecimiento o que su periodicidad no es clara, el método utilizado para cuantificar el incremento diamétrico es a través de mediciones sucesivas en parcelas de monitoreo permanente.

En el bosque mesófilo de montaña (BMM) hay varias especies con gran potencial maderable, tanto por su rápido crecimiento como por su utilidad como madera aserrada y como leña (Haeckel, 2006, Bárcenas y Ordóñez, 2008, Fuentes, 2013). Sin embargo, se desconoce su tasa de crecimiento y su potencial para estudios dendrocronológicos. Ante la necesidad de promover el aprovechamiento sustentable de las especies del BMM, en el presente estudio se midió durante un año el incremento diamétrico de cinco especies con potencial maderable en sitios de regeneración natural, con el fin de generar información esencial para su manejo forestal.

1. PRESENTACIÓN DEL TEMA DE ESTUDIO Y PROBLEMÁTICA

1.1. El Bosque Mesófilo de Montaña

El termino Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) define a un conjunto de comunidades biológicas que en México se desarrollan en las vertientes de los macizos montañosos donde los vientos húmedos procedentes del mar se condensan y mantienen condiciones de lluvia durante casi todo el año, o de alta humedad ambiental por la presencia de niebla (Villaseñor, 2010). Estas condiciones generalmente se presentan en una cota altitudinal entre los 800 y 2700 msnm (Rzedowski, 2006; Challenger y Soberón, 2008).

La estructura y composición de este tipo de vegetación es el resultado de la migración y entremezcla de la Flora Holártica y Neotropical en el pasado geológico, caracterizándose por una dominancia en el dosel de las especies templadas, mientras que en el subdosel dominan una gran diversidad de plantas de afinidad tropical (Sánchez, *et al.*, 2003). Un rasgo particular de los sitios donde existe el BMM es que el clima predominante es templado húmedo, con precipitación anual entre los 1000 y 3000 mm y una estación seca con una duración de uno a cuatro meses (Rzedowski, 2006). La niebla, como indica el nombre de este tipo de vegetación, es una condición casi permanente, que en conjunto con las frecuentes lloviznas y la disminución de la luminosidad, manifiesta una alta humedad atmosférica y en el suelo. En las zonas de mayor altitud pueden presentarse heladas durante el invierno, aunque la condición media de la temperatura anual se encuentra entre 12 a 23°C (Rzedowski, 2006).

Frecuentemente este tipo de vegetación se sitúa en el límite superior de las selvas altas o medianas perennifolias o subperennifolias y por debajo de los bosques de *Pinus*, *Pinus-Quercus* o *Quercus*. En México, de acuerdo a las condiciones fisiográficas y climáticas que requiere, se distribuye de manera natural en forma limitada, fragmentada y discontinua a lo largo de la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transversal. De acuerdo a la SEMARNAT (2007) el BMM ocupaba originalmente una superficie de

1,844,354 hectáreas, representando aproximadamente 1.2% de la superficie forestal nacional; Villaseñor (2010) registra que tal superficie se encuentra distribuida en 309 municipios de 20 de estados de la república. Sin embargo, la alta presión antropogénica ha ocasionado que la extensión actual de este ecosistema ocupe tan solo el 54.7% de su superficie original (Gual-Díaz y Rendón-Correa, 2014), la cual ha sido remplazada por otros tipos de usos del suelo (Williams-Linera, *et al*, 2002, Sánchez *et al*, 2003)

A nivel del ecosistema el BMM constituye una fuente de servicios ambientales muy importantes, por medio de los cuales se mantienen las condiciones y procesos que sostienen y satisfacen la vida de las poblaciones humanas. Una de las características más particulares del BMM es su alta biodiversidad, la cual es una fuente importante de recursos maderables y no maderables para el uso y consumo local o para su comercialización a diferentes escalas. De esta riqueza florística, Villaseñor (2010) integró una lista con 6,790 especies, distribuidas en 1625 géneros y 238 familias, destacando que 2,361 especies son endémicas de México. Además, se encuentran el 82% de las familias, 52% de los géneros y 10% de las especies reportadas en la actualidad para la flora de todo México. Otros servicios ambientales que provee el BMM son: la captura y almacén de carbono, la formación y protección del suelo, la captación y suministro de agua, la purificación del aire, los atractivos escénicos y recreativos, y los servicios de carácter cultural.

1.2. Diversidad arbórea del Bosque Mesófilo de Montaña en la zona de estudio

De acuerdo a las cuatro subregiones propuestas en las que se subdivide el área que ocupa el BMM de la región central de estado de Veracruz, el área de estudio de esta investigación corresponde a la subregión denominada Cuenca Alta La Antigua, ubicada en la ladera oriental del volcán Cofre de Perote (CONABIO, 2010). Esta región singular por su intrincada fisiografía, diversidad y riqueza de especies arbóreas, presenta una gran variabilidad en la composición y estructura entre fragmentos de BMM relativamente cercanos.

En esta zona Williams-Linera (2012) y Williams-Linera *et al*, (2013) han hecho aportaciones sustanciales no solo al conocimiento de diversidad arbórea, sino también al de su distribución en diferentes rangos altitudinales. Un estudio sobre la diversidad gamma (definida como aquella a nivel de paisaje) registró que el bosque fragmentado y la matriz de espacios dedicados a otros usos de suelo, contienen al menos 125 especies de árboles nativos de los cuales, los dos fragmentos de bosque evaluados, sólo contribuyeron con 43 especies del total registrado (Williams-Linera, 2012). Por otra parte, un análisis de la diversidad beta (la que existe entre hábitats dentro de un ecosistema) reportó la existencia de por lo menos 128 especies, distribuidas en 14 sitios y en un gradiente altitudinal entre los 1250 y 2550 m, (Williams-Linera *et al*, 2013).

Los estudios antes mencionados indican que en el área de estudio existe una gran riqueza de especies arbóreas que habitan el BMM de esta región. Por otro lado el estudio de la diversidad arbórea es importante no solo por su valor intrínseco, sino porque ello indica que existe una gran disponibilidad de recursos maderables que podrían ser útiles para los habitantes de esta zona. Por ejemplo, Pedraza *et al*, (2007), reportan para esta misma zona de estudio 22 especies que cuentan con un algún uso maderable.

1.3. Potencial maderable de las especies del BMM

Cotidianamente los habitantes de las zonas rurales donde existe BMM hacen uso de las especies maderables, donde la preferencia depende de la

calidad de su madera. Esta calidad de la madera se ha identificado durante décadas a través de la observación de su desempeño bajo diversas condiciones y usos, como son la resistencia a la intemperie durante un largo periodo de tiempo, la dureza y capacidad para no deformarse en la construcción rural, su dureza y facilidad para usarse en la elaboración de muebles y herramientas, la duración de las brasas en los fogones y el rendimiento en carbón. De esta práctica de selección empírica ha derivado que un buen número de especies tengan identificado algún uso local, entre las que destacan: ilite, (*Alnus acuminata* Kunth); pipinque, (*Carpinus caroliniana* Walter); marangola, (*Clethra mexicana* A.); fresno, (*Fraxinus uhdei* Lingelsh); nogal, (*Juglans pyriformis* Liebm); liquidambar, (*Liquidambar styraciflua* L); ixpepe, (*Trema micrantha* (L.) Blume); palo zopilote, (*Oreomunea mexicana* (Stanley) J.-F. Leroy; DC.) y varias especies de encino, (*Quercus spp*) entre otras (Niembro *et al*, 2004).

Los usos locales más frecuentes que tiene la mayoría de las especies maderables del BMM son para leña, carbón y para la construcción rural, este último corresponde a la elaboración de postes, esquineros, tabla, duela, alfajilla, viga, puntal, polín, así como mangos para herramientas, construcción de muebles rústicos, elaboración de artesanías, entre otros usos locales específicos (Gutiérrez y Dorantes, 2004; Niembro *et al.*, 2004; Haeckel, 2006; Niembro *et al.*, 2010). Se considera que la madera de algunas especies del BMM de uso cotidiano a nivel local podría tener un alto valor comercial, mayor al dendroenergético o al de la construcción rural, ya que por la calidad de su madera tendrían la posibilidad de sumarse al volumen de la producción de madera local o regional y satisfacer las necesidades del mercado a diferentes escalas (Bárcenas y Ordoñez, 2008, Fuentes, 2013, Gual-Díaz y Rendón Correa, 2014).

En la industria maderera, para determinar y confirmar el potencial maderable de cualquier especie, la calidad de la madera debe ser evaluada por medio de sus características físicas, mecánicas y de maquinado (Bárcenas y Ordoñez, 2008), mediante pruebas de secado (ensayos físicos), resistencia a flexión, compresión, dureza e impacto (ensayos mecánicos) y respuestas de la

madera a los procesos de transformación como cepillado, taladrado, escopleado y moldurado (ensayos de maquinado) (Pérez y Dávalos, 2008; Aguilar y Castro, 2006; Martínez y Martínez-Pinillos, 1996). Este tipo de evaluación proporciona información útil para reducir el desperdicio ocasionado por malas prácticas durante el secado de la madera después de su derribo, permite conocer la resistencia de las maderas para su uso estructural en casas, fabricación de muebles, u otro tipo de uso en que sea sometida a esfuerzos o acciones de carga. Con estas pruebas también es posible determinar el comportamiento de las maderas ante diferentes procesos de transformación, como el de la celulosa o usos en construcción de muebles (Bárcenas y Ordóñez, 2008; Martínez y Martínez-Pinillos, 1996).

En la actualidad la información sobre la calidad de la madera de las especies de BMM a nivel industrial es limitada e insuficiente (Bárcenas y Ordóñez, 2008), por lo que es difícil encontrar recomendaciones específicas sobre las especies que se sabe podrían tener usos potenciales. Los avances en esta línea del conocimiento indican que la madera de especies como el ilite, liquidambar, fresno, pipinque, ixpepe, marangola y encino, es de buena a excelente calidad, con posibilidades para ser empleadas en la elaboración de pulpa para papel, construcción de pisos, postes, tonelería y en la fabricación de muebles de alta calidad y estética (Vázquez Yanes, *et al*, 1999; Tamarit, 1996; Bárcenas y Ordóñez, 2008; Martínez y Martínez-Pinillos, 1996). Cabe señalar que en México es difícil encontrar información sobre estas especies para promover su establecimiento en plantaciones maderables o dendroenergéticos mediante planes de manejo forestal. En estas condiciones, el aprovechamiento de estas especies es desordenado e insostenible en la mayoría de los casos.

De la gran diversidad arbórea existente en México, solo se comercializa madera de aproximadamente 104 especies (Ortega, 2011), y 79.8% de la producción de madera nacional está concentrada principalmente en coníferas, las latifoliadas (principalmente encinos) contribuyen con 14.5%, y las tropicales (preciosas y comunes tropicales) aportan sólo 5.8% (SNIF, 2011). Estas cifras indican que la producción nacional está concentrada en unas cuantas especies y

que existe un potencial de especies maderables subutilizado. Como referencia, tan solo en el BMM el número de especies arbóreas asciende a 762 (González-Espinoza *et al*, 2012), 97 son las más frecuentes o típicas en las diferentes regiones en México, de las cuales 60 (sin considerar encinos) cuentan con cierto potencial maderable que las haría susceptibles de manejo y aprovechamiento en forma sustentable (Ortega, 2011). Incorporar una mayor diversidad de especies al mercado maderero, mejorar el potencial productivo de los bosques y activar un eficiente manejo forestal sustentable, entre otras acciones, podría ayudar a abatir el déficit comercial del sector forestal y mejorar las condiciones de vida de los dueños de los bosques. En el caso del BMM, promover el aprovechamiento de su diversidad y potencial forestal en forma sustentable, como una acción que contribuya a garantizar su permanencia (CONABIO, 2010, Ortega, 2011) podría abrir la posibilidad de que la madera de especies de BMM ocupe nichos de mercados especializados y garantizar el abasto de madera y leña en el mercado interno, local y/o regional.

1.4. El Bosque Mesófilo de Montaña y la problemática ambiental en la zona de estudio.

En las zonas de distribución del BMM las causas que explican la amplia deforestación y conversión de uso de suelo, han sido la ganadería, la agricultura y la tala clandestina para uso doméstico y comercial (Ortega y Castillo, 1996; Merino, 2004; CONABIO, 2010; Haeckel 2006). En tales procesos de deforestación y degradación, las políticas públicas han tenido una gran influencia, por ejemplo los estímulos al cultivo de la caña de azúcar y a la cafecultura, los altos incentivos a la ganadería, así como la inequidad de los montos económicos asignados entre estas actividades y la forestal (Merino, 2004; CONABIO, 2010).

El BMM de la zona centro del estado de Veracruz, donde se localiza el área de estudio de esta investigación, recientemente ha sido calificada por CONABIO (2010) como una región prioritaria para la conservación, debido a que presenta una problemática socioambiental que deteriora la calidad de los bosques y pone en riesgo la permanencia de la diversidad biológica. Según Williams-Linera *et al.*,

(2002), Pedraza *et al.* (2007), Muñiz, (2008), y Haeckel (2006) en el área de estudio entre las amenazas que ponen en riesgo la permanencia y la funcionalidad de este ecosistema (CONABIO, 2010), destacan:

- Tala ilegal.
- Extracción de leña y productos forestales no maderables sin manejo ordenado.
- Reforestación y plantaciones comerciales con coníferas en zonas de BMM.
- Apertura de carreteras y caminos.
- Creciente expansión urbana.
- Pobreza, marginación, falta de alternativas productivas y de empleos.

2. ANTECEDENTES

2.1. Los árboles y su entorno de crecimiento

2.1.1. El crecimiento en los árboles

Los árboles son plantas provistas de un tallo leñoso, de gran longevidad y tamaño. Su crecimiento en altura y diámetro del fuste es el resultado de la interacción de procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la translocación y asimilación de nutrientes, respiración y transpiración. La eficiencia de estos procesos está directamente relacionada con los factores ambientales bajo los cuales se desarrollan y el potencial genético de cada especie o individuo (Kramer y Kozlowski, 1979).

El crecimiento de los árboles es un fenómeno de incremento en tamaño que experimentan las raíces, el fuste y las ramas, a consecuencia de la división celular que se lleva a cabo en zonas especializadas donde se producen nuevas células, a estas zonas de crecimiento se les conoce como meristemos (Kramer y Kozlowski, 1979). El crecimiento en longitud o crecimiento primario es producto de la actividad del meristemo apical, el cual se encuentra en el ápice de tallos, ramas y raíces (UDA, 2001). Mientras que el crecimiento en diámetro o también llamado

crecimiento secundario, es el resultado de actividad del meristemo lateral llamado cámbium, localizado entre el floema y xilema de los troncos, ramas y raíces principales (Young, 1991).

Aunque a simple vista no es posible diferenciar todas las estructuras que componen un tronco, en un corte transversal se han definido zonas fisiológicas que son consistentemente diferentes en su estructura y función, que ayudan a explicar cómo crecen los árboles. Estas estructuras macroscópicas, en orden de aparición desde la parte externa hacia la parte interna del árbol, se conocen como: corteza externa, corteza interna, floema, cámbium, xilema (el cual se divide en dos secciones, albura y duramen), y en el centro del fuste se localiza la médula.

Las células del cámbium desarrollan dos tipos de división celular, una es de tipo multiplicativo que ayudará a aumentar la circunferencia del cámbium para ajustarse al aumento en diámetro del fuste y la otra división corresponde a la adición de células hacia al floema y al xilema (UDA, 2001). Estas células se desarrollaran en diferentes fases: diferenciación en alargamiento de la célula, formación de las paredes secundarias, lignificación y la pérdida de protoplastos, todo el proceso en su conjunto dará como resultado crecimiento en diámetro del árbol hacia su interior y también hacia el exterior (Young, 1991; Kramer y Kozlowski, 1979).

En cuanto a la fisiología del xilema y su importancia por constituir propiamente la madera, se divide en dos partes, en la albura que es la parte activa del xilema que durante la vida del árbol contiene células vivas, material de reserva y vasos que conducen la savia bruta en forma ascendente. El duramen que es la madera biológicamente inactiva procedente de la albura pero que ha perdido gradualmente su actividad vital y generalmente adquiere una coloración más oscura debido a la acumulación de sales minerales, a transformaciones celulares anatómicas y químicas relacionadas con la oxidación, acumulación de resinas, aceites, taninos y carbohidratos.

2.1.2. Efectos de los factores ecológicos sobre el crecimiento de los árboles

El crecimiento de los árboles no es solo un fenómeno interno que ocurre de manera independiente, sino que está influenciado por los factores abióticos como el clima, el suelo, la fisiografía, y factores bióticos, como la competencia arbórea o las relaciones simbióticas (Serrada, 2008). Los estudios ecofisiológicos relacionados con el crecimiento de los árboles aportan información valiosa que nos acercan a la comprensión de la dinámica de un ecosistema, y en forma práctica permiten predecir el comportamiento de algunos de sus componentes y generar recomendaciones para su conservación y manejo.

2.2. Síntesis de los principales factores ecológicos que influyen sobre el crecimiento de los árboles.

2.2.1. Efecto del clima

Los factores climáticos que están asociados directamente con el crecimiento de los árboles, afectan según su intensidad, de forma directa o indirecta a la fisiología del crecimiento. Serrada (2008) indica que las variables climáticas que más influyen sobre el crecimiento de los árboles son: la precipitación, que constituye la principal fuente de agua en el suelo; la temperatura y el viento. Pereira (2009) refiere que tales variables tienen efecto sobre el balance entre la fotosíntesis y la respiración, e influyen en la velocidad de la transpiración y de las reacciones enzimáticas, subrayando además que la ocurrencia cíclica estacional de los fenómenos climáticos determinan los periodos de mayor o menor crecimiento en los árboles.

Generalmente se ha observado que en zonas templadas el inicio de la actividad fisiológica que da pie al incremento diamétrico en los árboles, corresponde a la época de primavera, mientras que con el inicio del invierno el cámbium cesa su actividad, deteniendo gradualmente el proceso de crecimiento (Young, 1991; Kramer y Kozlowski, 1979). Por su parte Worbes (1995) en relación a la precipitación, señala que climas con periodos secos anuales de dos a tres meses de duración y con menos de 60 mm de precipitación, inducen el reposo de

la actividad fisiológica ocasionando la formación de marcas de crecimiento. También se ha comprobado que en algunas especies de selva tropical el incremento diamétrico puede ser continuo durante todo el año, aun con precipitaciones inferiores a 100 mm (Pereira, 2009).

En diferentes estudios se ha reportado que la precipitación está directamente relacionada con el crecimiento de los árboles, encontrando diferencias significativas entre el mayor ID de la temporada de lluvias y el menor ID de la temporada de secas (Worbes, 1995; Pereira, 2009; Montero *et al*, 2001; Manzano, 2010). También se han encontrado evidencias de un decremento en el DAP, en especies de ecosistemas con una estación seca muy marcada (López-Ayala *et al*, 2006; Pereira, 2009). Zweifel *et al*, (2000) atribuyen este hecho a la pérdida por transpiración del agua almacenada en tejidos externos como la corteza, el cámbium y el floema, los cuales se deshidratan y se contraen durante la temporada de secas, diferente a la acumulación de xilema, proceso no reversible.

Se ha analizado en una misma especie de árboles tropicales el efecto del periodo más lluvioso y de la temperatura, observando que hay una mayor influencia de la precipitación sobre el crecimiento diamétrico (Devall, *et al*, 1995); en tanto que la temperatura en pocas ocasiones ha mostrado relaciones estadísticas significativas (Enquist y Leffer, 2001; Pereira, 2009), probablemente debido a que en pocas ocasiones se ha evaluado la influencia de la temperatura en condiciones notablemente contrastantes, como lo sería por ejemplo un análisis comparativo del efecto de la temperatura sobre el crecimiento de las especies en sus límites extremos de distribución altitudinal (Devall *et al*, 1995).

2.2.2. Efecto de la fisiografía

El término fisiografía es una abreviación de los términos geografía física, que en ecología forestal se refiere a las características de la superficie o relieve terrestre de un área determinada (Aber y Melillo, 1991). Su importancia en el

estudio de la dinámica de crecimiento de los árboles radica en que la configuración fisiográfica de un terreno forestal

se encuentra estrechamente relacionada con el microclima y las características físicas del suelo. En teoría un estudio fisiográfico permite distinguir con detalle las diferencias o variación de la correlacionando indicadores de productividad con las características del sitio (Bonilla, 1971). De ahí que el conocimiento de las variables fisiográficas constituye un método indirecto para conocer la calidad de sitio (Carmean, 1996).

Un gran número de estudios (p. ej. Serrada, 2008; Vaides, 2004; Vericat, *et al.*, 2009), coinciden en que las variables fisiográficas de mayor influencia sobre la capacidad productiva de una masa forestal son: el grado de inclinación y la orientación de la pendiente, altitud sobre el nivel del mar, posición topográfica o posición en la ladera. El efecto que cada una de las características fisiográficas puede tener sobre el crecimiento de los árboles puede ser directo o indirecto; en la mayoría de los casos estas variables difícilmente pueden modificarse para incrementar los rendimientos forestales, pero son características que deben ser consideradas en la planeación y predicción del crecimiento de las masas forestales para que, en conjunto con las prácticas silvícolas, se pueda aprovechar el máximo rendimiento posible de cada sitio.

2.2.3. Efecto de los factores edáficos

El suelo es un factor que tiene una fuerte influencia sobre la actividad fisiológica de los árboles y en conjunto con la topografía, determina en gran medida la capacidad productiva de un bosque (Young, 1991). Generalmente los árboles tendrán una mayor capacidad para crecer en diámetro y altura si el suelo donde se encuentran cuenta con una profundidad adecuada para el desarrollo óptimo del sistema radicular, una permeabilidad balanceada que se traduce en la existencia de aire para la respiración de las raíces, una textura equilibrada que permitirá la retención y disponibilidad de humedad, elementos minerales necesarios para la nutrición y ausencia de anomalías que afecten tanto la

fisiología de los árboles como la disponibilidad de nutrientes (sustancias tóxicas o inhibidoras, conductividad eléctrica, pH, salinidad). En resumen Young (1991) menciona que los suelos son importantes para los árboles debido a que ofrecen soporte mecánico, retienen y transmiten el agua y los gases, sirven como hábitat para los macro y microorganismos y retienen, intercambian y fijan las sustancias nutritivas.

Los factores edáficos que influyen en la productividad de un sitio forestal son muy diversos y su influencia no se ejerce de forma independiente sino de forma compleja y simultánea. En las diversas investigaciones que han abordado la relación entre el suelo y las variables dasométricas se ha demostrado que las características químicas del suelo están altamente condicionadas a las características físicas del mismo (Fornaris *et al.* 2004). Las variables en las que se ha encontrado mayor significancia en relación al incremento en altura y diámetro de los árboles son en orden decreciente de importancia: la profundidad del suelo, la textura (porcentaje de arcilla) y la materia orgánica (Narváez, 1992; Orantes y Musalem, 1982; Broquen, *et al.* 1998; Delgado *et al.* 2009). Incluso Narváez (1992) encontró que la erosión es un proceso que también muestra una relación significativa con el desarrollo de los árboles.

El hecho de que las características físicas tengan mayor relevancia para el crecimiento de los árboles obedece a dos razones, la primera porque las características físicas modifican o intervienen sobre las características químicas del suelo y la capacidad de retención de humedad. Y en segundo lugar, porque las deficiencias en nutrientes en un bosque regularmente son poco comunes, aun siendo un bosque bajo manejo silvícola pues son sistemas que permiten el reciclamiento de nutrientes. En los bosques se llevan a cabo procesos que incorporan minerales al sistema, como la adición de nutrientes por la mineralización del suelo (Aber y Melillo, 2001), la precipitación de minerales suspendidos en la atmósfera (Pérez-Suárez *et al.* 2006) y la extracción de nutrientes, por parte de las raíces, poco disponibles que se localizan en zonas más profundas.

2.2.4. Efecto de los factores bióticos

En el bosque el efecto de los factores bióticos sobre los árboles encuentra múltiples posibilidades de ocurrencia, algunas de carácter intraespecífico (entre individuos de la misma especie), o interespecíficas (entre individuos de diferentes especies). En el primer caso, las diferencias en el crecimiento de los individuos de una misma especie se pueden explicar por la variabilidad genética.

Los factores bióticos que frecuentemente inciden negativamente sobre la tasa de crecimiento de los árboles son, por ejemplo, las afectaciones ocasionadas por hongos, virus, insectos u otras plantas que se hospedan y se alimentan de alguna estructura del árbol. También pueden ocurrir efectos positivos como los beneficios obtenidos por el árbol por medio de las asociaciones micorrizicas.

La competencia inter-arbórea es un factor biótico de gran relevancia por su alta correlación con la tasa de crecimiento de los árboles, por sus implicaciones en la productividad y el manejo silvícola (Smith *et al.*, 1997). Las masas forestales son un sistema dinámico donde las copas y raíces de los árboles compiten por los factores de crecimiento (luz, agua y minerales) principalmente cuando la disponibilidad de recursos es menor que la suma total de los requerimientos de una población para su crecimiento óptimo (Jerez *et al.* 1999; Brand y Magnussen, 1988). Durante este proceso de competencia ocurre una diferenciación en la tasa de crecimiento, determinando en primer lugar la ocupación del espacio en forma vertical, expresada en árboles dominantes, codominantes y suprimidos; y la segunda en forma horizontal, expresada en la ocupación del espacio por medio de las áreas de los fustes de cada individuo (Raventós *et al.* 1993; Smith *et al.* 1997).

En la determinación y explicación de la competencia interarbórea según el objetivo del estudio pueden utilizarse parámetros (valores numéricos simples), indicadores (parámetros vectorializados o correlacionados entre dos o más parámetros) e índices (algoritmos o ecuaciones) (Romahn, 1999; Reyes *et al.* 2011). Particularmente en los últimos dos casos pueden encontrarse en la literatura bajo la denominación de índices de densidad e índices de competencia,

los cuales relacionan de manera indirecta el efecto de la competencia y la densidad con el crecimiento de los árboles presentes en un rodal (Torres-Rojo, 2000; Lorimer, 1983, Reyes *et al.* 2011; Bravo *et al.* 1997). Otra forma de comprobar el efecto de la competencia ha sido mediante la aplicación de aclareos bajo diferentes intensidades (manejo de la competencia), en los cuales dependiendo de la especie y la edad del arbolado entre otros factores, se ha observado un aumento superior al 50% en la tasa de crecimiento del arbolado residual, respecto al arbolado sin aclareos (Rodríguez *et al.* 2010; Smith *et al.* 1997).

Uno de los parámetros más utilizados como medida de densidad y de competencia interarbórea es el área basal, la cual para el caso de un árbol se define como el área de la sección transversal a 1.3 m a partir del suelo (Biging y Dobbertin, 1992; Romahn, 1999). Para el caso de una masa arbolada, se estima el promedio del área basal de un sitio, sumando las áreas basales de los árboles que están dentro de una superficie determinada y dividiendo por el número de árboles. Este valor es la medida más simple y más usada como índice de densidad de rodal, normalmente se expresa en términos relativos, como un cociente o razón entre el área basal de un rodal observado y un rodal normal (Prodan *et al.*, 1997).

2.3. Los árboles y la medición del incremento diamétrico

2.3.1. Métodos de medición del incremento diamétrico en árboles

El crecimiento en diámetro consiste en el aumento de la dimensión del tronco de un árbol en un periodo determinado de tiempo, el cual depende de la interacción de un conjunto de factores genéticos, fisiológicos y ecológicos. Cuando se trata de una masa forestal la medición del incremento diamétrico de los árboles tiene como principal finalidad presentar información sobre la producción actual y futura de los árboles, a fin de planificar su manejo en el tiempo. Romahn y Ramírez (1994) mencionan que en el caso de las coníferas la producción forestal de un determinado rodal o bosque nativo, puede ser estimada con bastante precisión a partir del estudio del crecimiento de los árboles individuales mediante el análisis troncal para la obtención del incremento medio anual (IMA), el

incremento corriente anual (ICA) y el tiempo de paso (tiempo en que un árbol cambia de una categoría diamétrica menor a otra mayor).

El análisis troncal consiste en la medición equidistante de cierto número de discos o secciones transversales del tronco de un árbol, en los que se cuentan y miden la distancia entre los anillos de crecimiento para determinar el crecimiento y desarrollo en los diferentes periodos de la vida del árbol. Este método es adecuado para especies que tienen anillos de crecimiento fácilmente observables y de los cuales se ha comprobado su periodicidad anual. Con el análisis del tronco inicialmente se determina la edad del árbol y con ello se abre la posibilidad de conocer en sus diferentes fases de crecimiento los correspondientes crecimientos anuales en diámetro y altura, así como el volumen de madera producido en cada una de las fases de crecimiento.

Para el caso de las especies tropicales se afirma que no siempre presentan anillos de crecimiento visibles, periódicos y completos, por lo que los estudios sobre el crecimiento y productividad maderable de estas especies son limitados (Imaña y Encinas, 2008). En estos casos la tasa de crecimiento se obtiene por medio de mediciones sucesivas en parcelas permanentes de monitoreo, partiendo de un estado inicial, ya sea del diámetro, altura o el área basal, concluyendo con una medición del estado final y el correspondiente tiempo transcurrido entre un estado y otro. Imaña y Encinas (2008) destacan que para el manejo forestal es suficiente realizar mediciones cada año o a intervalos de tres a cinco años.

Para realizar las mediciones del diámetro de los árboles existen una gran variedad de instrumentos que pueden variar en precisión, dificultad de operación y costo. El uso de

cada uno de ellos depende de la precisión requerida (Clark, *et al.*, 2000), la que a su vez dependerá de los objetivos de la medición. El instrumento más ampliamente utilizado para estimar el crecimiento, es la cinta diamétrica. Cuyo uso se justifica cuando las mediciones se toman a intervalos largos de 1 a 5 años en un gran número de árboles, como en los inventarios forestales (Romahn y

Ramírez, 1994), donde la cantidad de error introducido por el instrumento utilizado es aceptable en relación con el crecimiento esperado. Sin embargo, en estudios donde el objetivo es medir la respuesta del árbol o del bosque a los cambios ambientales (Pereira, 2009), los errores de una cinta diamétrica pueden ser más grandes en relación con el crecimiento esperado, tanto por la imprecisión del instrumento mismo, como por la dificultad de tomar la lectura en la misma parte del árbol, en lecturas repetidas efectuadas por diferentes individuos.

Un instrumento de medición que evita el error de realizar mediciones en diferentes puntos de la circunferencia del fuste del árbol, es la banda dendrométrica. Esta se usa para registrar el crecimiento de manera constante en una misma ubicación, ajustándose a la forma del fuste y detectando cualquier variación en la circunferencia del mismo (Baker *et al*, 2002). Este instrumento fue diseñado en 1944 (Keeland y Joy, 2012) y consta de una cinta delgada de acero inoxidable que rodea la circunferencia del árbol y se fija en sí misma con un resorte, pudiendo contar con una escala de vernier que permite una precisión en la medición de 0.25 mm como lo indican Felker y Díaz-De León (2005). Las bandas dendrométricas están siendo empleadas con éxito en diferentes partes del mundo para medir la tasa de crecimiento de los árboles, mediante mediciones sucesivas del incremento diamétrico (ID) en parcelas permanentes de monitoreo (Valdez, 2004; López *et al*. 2006; Manzano, 2010; Palmer y Ogden, 1983; Almeida, 2008; Pereira, *et al*. 2009; Pereira, *et al*. 2003).

2.3.2. Medición del incremento diamétrico en árboles de Bosque Mesófilo de Montaña

En la actualidad son escasas las investigaciones que abordan el estudio del BMM desde una perspectiva productiva, ya sea para la producción de maderera o dendroenergéticos, lo que explica en parte el escaso conocimiento en torno a la tasa de crecimiento de las principales especies con potencial maderable y por tanto, de las técnicas sustentables para su aprovechamiento. La carencia de este tipo de información representa uno de los mayores impedimentos para proponer

plantaciones maderables con especies nativas de BMM, o cuando se pretende regular o proponer un manejo forestal de los recursos forestales existentes.

Los conocimientos actuales sobre la tasa de crecimiento de algunas especies maderables del BMM provienen de estudios en los cuales se ha evaluado la germinación, supervivencia, establecimiento y crecimiento de plántulas, en relación a diferentes condiciones ambientales. Por ejemplo Muñiz (2008) evaluó durante 3.5 años la supervivencia y el crecimiento en altura y diámetro basal de plántulas de especies tardías y tempranas del BMM del centro de Veracruz, entre ellas *Quercus xalapensis* y *Trema micrantha* bajo el efecto del estrato herbáceo de pastos en potreros recién abandonados. Ortega-Pieck (2011) por su parte realizó un estudio similar en el cual evaluó durante un año la supervivencia y el crecimiento de plántulas de *Alnus acuminata* y *Quercus xalapensis* bajo el efecto competitivo de pastos nativos y exóticos. También Pedraza y Williams-Linera (2005) realizaron mediciones de crecimiento en altura en plántulas de *Carpinus caroliniana* y *Liquidambar styraciflua* bajo diferentes condiciones de micro hábitat.

Dichos estudios y otros similares (Suárez y Equihua, 2008; Álvarez-Aquino *et al*, 2004) constituyen un avance en la comprensión de la ecología de la regeneración y del establecimiento temprano de dichas especies, pero están limitados a la evaluación del crecimiento de plántulas, principalmente menores a 2 años de edad. En otros países existe información escasa y dispersa sobre la tasa de crecimiento de especies de BMM, la mayoría de las publicaciones provienen de Centroamérica (CATIE, 1995; Moya *et al*, 2010). Destaca el caso de *A. acuminata* y *L. styraciflua* de las cuales es posible encontrar información muy puntual entorno a su manejo en plantaciones maderables.

En nuestro país los estudios sobre el crecimiento de árboles de BMM aún son escasos. Una de las primeras aportaciones corresponde a Williams-Linera (1996) quien en tres sitios distintos en los alrededores de Xalapa, Veracruz, midió durante 5 años el crecimiento diamétrico , y con los datos obtenidos estimó la tasa de crecimiento anual cm año^{-1} . Sin

embargo, en este estudio el número de individuos evaluados por especie fue muy reducido, por ejemplo: en *Q. xalapensis* midió 5, 7 y 4 árboles, en *L. styraciflua* 10, 9, 5 árboles en cada uno de sus tres sitios de evaluación, o en el caso de *T. micrantha* midió solo un árbol. Por tales motivos la información sobre el incremento diamétrico de muchas especies del BMM sigue siendo insuficiente y requiere de mayor precisión en su estimación.

2.3.3. Anillos de crecimiento en las especies estudiadas

Durante los últimos años se ha comprobado la presencia y anualidad de los anillos de crecimientos en un gran número de especies en bosques tropicales, demostrándose que existe potencial para el desarrollo de estudios dendrocronológicos y su aplicación en el manejo forestal (Brienen 2005; López *et al*, 2012), si bien es raro encontrar estudios de este tipo en especies latifoliadas de regiones templadas. Aguilar y Barajas (2005) en un BMM de Ocuilan, Estado de México, determinaron que el clima homogéneo de la zona influye en la ausencia de anillos de crecimiento en la mayoría de las especies y también observo que existe una relación estrecha entre la presencia de anillos y el origen fitogeográfico de los taxa donde, mayormente, las especies con afinidad boreal tienen anillos visibles, mientras que las de origen tropical no presentaron anillos de crecimiento.

En muchos casos los estudios dendrocronológicos encuentran limitaciones cuando se determina la presencia de falsos anillos de crecimiento, es decir cuando los anillos no muestran un patrón de formación anual, o cuando éstos son discontinuos (incompletos) o poco visibles. Los métodos más comunes empleados para determinar tales características son las ventanas de Mariaux y marcas con alfileres, que la madera con una fecha conocida, dichas posteriormente observadas mediante una sección transversal parcial o completa del tronco (Mariaux, 1967; Wolter, 1968). Estos estudios usualmente tienen un periodo de duración de 3 a 5 años (Imaña y Encinas 2008).

Entre las especies evaluadas en este estudio se ha reportado la presencia de anillos de crecimiento para *A. acuminata* (Moya *et al*, 2011; Aguilar *et al*, 2000).

Fonseca-González (1986) por su parte encontró que esta especie presenta anillos bien marcados pero con presencia de anillos falsos y poco visibles cerca de la medula en árboles adultos, por lo que recurrió a realizar mediciones sucesivas en parcelas permanentes para determinar el incremento diamétrico. Se ha reportado recientemente que *T. micrantha* no presenta anillos de crecimiento (Quintanar, et al. 2012). En *L. styraciflua* (Richter y Dallwitz, 2000), *Q. xalapensis* (De la Paz y colaboradores, 1998) y *C. caroliniana* (Aguilar et al, 2000) se ha reportado que presentan anillos de crecimiento, pero no se ha comprobado su periodicidad, ni el potencial para realizar análisis dendrocronológicos en ellas.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar a través de bandas dendrométricas la tasa anual de incremento diamétrico de cinco especies con potencial maderable del Bosque Mesófilo de Montaña en la región central del estado de Veracruz, y analizar el efecto de algunas variables de sitio sobre el crecimiento.

Objetivos particulares

- Determinar el incremento diamétrico anual de *Alnus acuminata*, *Carpinus caroliniana*, *Liquidambar styraciflua*, *Quercus xalapensis* y *Trema micrantha*.
- Explorar la relación entre algunas características de sitio y el incremento diamétrico.
- Determinar el efecto del tamaño del árbol, la competencia en el dosel y el área basal circundante sobre la tasa de incremento diamétrico.

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la ladera húmeda, vertiente oriental y sur-oriental ubicado en la región centro del estado de Veracruz (Álvarez, 2001) en la confluencia del Eje Neo Volcánico Transversal, la Sierra Madre Oriental y con límite al altiplano, a una distancia de 80 km del Golfo de México (Pedraza *et al.* 2007). Denominada como cuenca del río Pixquiac, el área de estudio constituye una subcuenca que forma parte de la cuenca hidrológica alta del río La Antigua, ocupando porciones de territorio de los municipios de Perote, Acajete, Tlalnahuayocan y Coatepec, con una extensión de 10,727 hectáreas y un rango altitudinal de los 1040 a los 3740 msnm (Paré y Gerez, 2012).

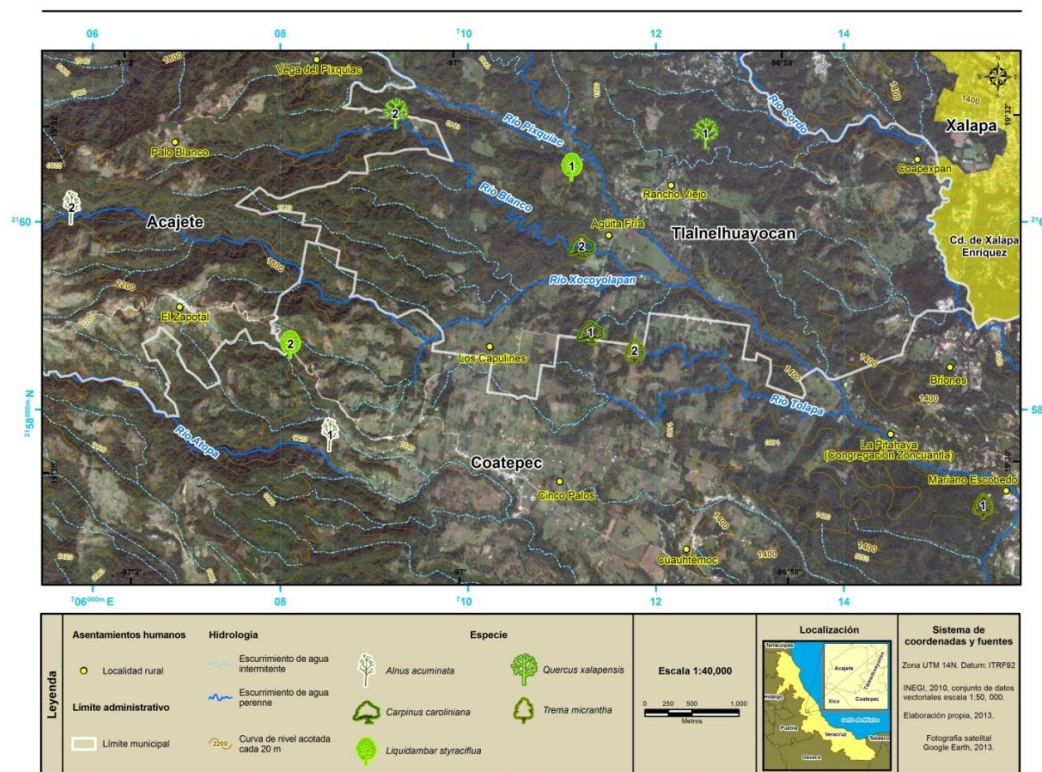


Figura 1. Ubicación del área de estudio y de los sitios de monitoreo de las cinco especies estudiadas (Elaborado por: Gómez Ávila Edith, 2014).

Debido a su condición fisiográfica la cuenca del río Pixquiac recibe directamente los vientos húmedos procedentes del mar, por lo que se caracteriza por abundantes lluvias y neblinas durante gran parte del año. El área de estudio de esta investigación se localiza entre los 1580 y 2900 msnm, donde el clima es C(f) Templado. La precipitación promedio anual varía entre 1500 a 1800 mm, la temperatura promedio anual oscila entre los 14 a 16°C (Paré y Gerez, 2012). La vegetación está fragmentada por actividades agropecuarias, pero destaca el hecho de que en esta zona se localiza el fragmento más grande de BMM, con una superficie estimada de 902 hectáreas (Williams-Linera *et al.* 2002).

4.2. Selección de especies

Para la selección de las especies se revisó la literatura especializada sobre el uso maderable de las especies de BMM en el área de estudio, seleccionando las más utilizadas con fines maderables o dendroenergéticos, y posteriormente se complementó esta información con datos sobre el potencial maderable, considerando las cualidades tecnológicas de la madera de cada especie seleccionada. Las especies elegidas fueron: *Alnus acuminata* (ilite), *Carpinus caroliniana* (pipinque), *Liquidambar styraciflua* (liquidambar), *Trema micrantha* (ixpepe) y *Quercus xalapensis* (duela). Ver las características de las especies en el Anexo 1.

4.3. Selección y descripción general de los sitios

Para identificar posibles variaciones en el incremento diamétrico (ID) a nivel de sitio por el efecto de variantes fisiográficas o intervenciones humanas se establecieron dos sitios de medición del ID por especie. Los sitios se localizaron mediante recorridos de campo, considerando para ser elegibles los siguientes requisitos: presencia de árboles de regeneración natural, ausencia de fuertes intervenciones de manejo o aprovechamiento, abundancia de individuos de la especie deseada, presencia de diferentes tallas diamétricas y fundamentalmente, que los dueños permitieran el acceso a los terrenos y autorizaran llevar a cabo las mediciones, garantizando la permanencia de las bandas dendrométricas al menos durante un año. Cada sitio se caracterizó con la siguiente información: altitud,

inclinación de la pendiente, orientación de la pendiente y presencia de tocones en el sitio.

El terreno en todos los sitios de monitoreo fue irregular, con pendientes que oscilaron entre los 15° y 35° de inclinación. Respecto a la exposición de la pendiente es necesario recordar que el presente estudio se realizó en la ladera oriente del volcán Cofre de Perote y que la exposición de esta cara del volcán cuenta ya por si misma con una exposición dominante hacia el Este, sin embargo, los sitios de monitoreo estuvieron inmersos en la geografía de esta montaña, localizándose en pequeñas barrancas o laderas con diferentes exposiciones (Cuadro 2).

En cuanto al tipo de suelo, todos los sitios de monitoreo se establecieron en el tipo de suelo *Andosol úmbrico*, de acuerdo al mapa de geomorfología de Geissert (2007), excepto el de *Trema micrantha* en el sitio 1, el cual se estableció en el tipo de suelo *Leptosol lítico*. En general no se observaron actividades humanas en los sitios de monitoreo, excepto en los casos del sitio 1 de *A. acuminata*, donde se presentó pastoreo de vacas y control de malezas mediante chapeos, lo cual pudo influir sobre el ID registrado en este sitio, y el sitio 1 de *T. micrantha*, ubicado en un cafetal.

4.4. Selección de individuos, categorías diamétricas y posición en el dosel

Para la instalación de bandas se seleccionaron 30 árboles en cada sitio; dichos árboles debían estar sanos, morfológicamente bien conformados, que presentaran copa completa, sin bifurcación o daños mecánicos. Los árboles de cada especie se clasificaron de acuerdo a su posición en el dosel en: dominantes, codominantes o suprimidos. Esta clasificación nos permitió identificar diferencias en el ID de cada especie en función de la competencia por la luz solar en el dosel, a fin de determinar si existen diferencias en el crecimiento y generar recomendaciones en cuanto al manejo de la luz en el dosel para cada especie.

Para determinar el efecto del tamaño del individuo sobre el ID, se definieron las siguientes categorías diamétricas: chicos de 10 a 19.9 cm; medianos de 20 a 29.9 cm y grandes de 30 a 40 cm. Este análisis nos permitió identificar el patrón de crecimiento de cada especie en diferentes etapas de desarrollo, lo cual es de utilidad en la estimación precisa del tiempo requerido para que un árbol pase de una categoría diamétrica a la siguiente, así como para determinar el turno de corta en especies en las que no es posible realizar un análisis troncal (López-Torres y Tamarit-Urias, 2000, Vester y Navarro, 2007).

4.5. Construcción e instalación de bandas

Para la construcción de las bandas dendrométricas se siguió la metodología descrita por Peters y Purata (2005), modificando únicamente la forma en la que se hacen las perforaciones en las bandas, sustituyendo el clavo y el martillo por una perforadora manual para papel. Las bandas fueron construidas en campo al momento de ubicar cada individuo, utilizando en su elaboración: cinta de acero inoxidable (DYMO), resortes de acero inoxidable (8 mm de diámetro, 7.7 cm de largo y tensión aproximada de 0.48 libras pulgada⁻¹), perforadora para papel, clavos y tijeras. Finalmente cada banda fue numerada con un marcador indeleble para llevar el registro del ID (Figura 2).



Figura 2. De lado izquierdo, materiales para la elaboración e instalación de bandas dendrométricas. De lado derecho una banda dendrométrica instalada en fuste de *Trema micrantha*.

4.6. Fecha de instalación de bandas y medición del crecimiento

La instalación de bandas se realizó entre junio y julio del 2012, coincidiendo con el inicio la temporada de lluvias en la región. La medición del crecimiento anual se efectuó durante la primera semana de junio del año 2013, al finalizar la temporada de menor precipitación; por lo que en total el periodo de evaluación del ID se realizó durante un periodo de 12 meses $\pm$ 15 días (cuadro 3). La medición del ID se hizo con un vernier digital, midiendo la separación de las marcas verticales marcadas tiempo con el clavo durante la instalación de la banda dendrométrica (Peters y Purata, 2005).

Cuadro 1. Fecha de instalación de bandas dendrométricas y de medición del incremento diamétrico en las cinco especies estudiadas en sus respectivos sitios de monitoreo.

Especie	Sitio	Fecha de instalación	Fecha de medición al año posterior
<i>Liquidambar</i>	1	12 Y 14-Jun-2012	01-Jun-2013
<i>styraciflua</i>	2	19-20-Jun-2012	01-Jun-2013
<i>Alnus</i>	1	15-Jun-2012	01-Jun-2013
<i>acuminata</i>	2	23 Y 25-Jun-2012	02-Jun-2013
<i>Trema</i>	1	16-Jul-2012	04-Jun-2013
<i>micrantha</i>	2	20 Y 21-Jul-2012	03-Jun-2013
<i>Carpinus</i>	1	21-Jun-2012	04-Jun-2013
<i>caroliniana</i>	2	26-Jun-2012	03-Jun-2013
<i>Quercus</i>	1	05-Jul-2012	04-Jun-2013
<i>xalapensis</i>	2	12,13,14- Jul-2012	03-Jun-2013

4.7. Medición del área basal como medida de la competencia interarbórea

Para determinar el efecto de la competencia interarbórea sobre el ID se obtuvo el área basal circundante de cada individuo al que se colocó banda dendrométrica, contando con un relascopio tipo Cruz-All (Forestry suppliers, 2014) los árboles de cualquier especie que lo circundaban. Posteriormente el número de árboles obtenido se multiplico por 1.148, como sugiere Larsen (2007), para obtener el área basal en $\text{m}^2/\text{ha}^{-1}$. Con las áreas basales circundantes a cada árbol estudiado, se determinó el área basal promedio (ABP) de cada sitio.

En virtud de que se ha demostrado que el área basal estimada es igual utilizando cualquiera de los diferentes factores de área basal (Cunha y Guimarães,

2008; Gorenstein, 2002) para este análisis utilizamos el factor de área basal número 5, por ser el que arrojó entre 10 y 20 árboles contados desde cada centro de visualización, tal como sugiere la recomendación práctica del autor del método de Bitterlich (Romahn, 1999).

4.8. Análisis de la precipitación en el área de estudio

Dada la influencia que la precipitación tiene sobre el incremento diamétrico de los árboles, se determinó si este parámetro tuvo un comportamiento atípico durante el periodo de evaluación, respecto a la precipitación de nueve años previos. Se obtuvieron los datos de precipitación de la estación meteorológica (localizada en la carretera antigua a Coatepec, Veracruz, a una altitud de 1,349 m, en las coordenadas Latitud: N 19°30'30" y Longitud: O 96°56'58", operada por CONAGUA, la más cercana y representativa del clima del área de estudio.

5. ANÁLISIS DE DATOS

Para obtener el Incremento Diamétrico a partir de la medición de las bandas, se hizo una transformación del incremento en perímetro (P), al incremento en diámetro (D) a partir cada especie se obtuvo el incremento diamétrico anual promedio (IDAP), agrupando las mediciones de los sitios 1 y 2, y se obtuvo también el IDAP en cada sitio de medición del ID. Para cada especie también se determinó el IDAP por posición en el dosel integrando las mediciones de los dos sitios y el IDAP por categoría diamétrica, excluyendo los árboles suprimidos, para evitar subestimar el ID calculado.

Para determinar si existían diferencias estadísticas en el IDAP entre las diferentes especies, dependiendo de la posición en el dosel y entre las diferentes categorías diamétricas, se realizó un análisis de varianza univariado (ANOVA, $P < 0.05$) para cada factor por separado. Cuando se encontraron diferencias significativas se utilizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Para determinar si el IDAP entre los sitios de cada especie era diferente estadísticamente, se utilizó la prueba de t de Student. Todos los análisis se realizaron en el programa estadístico

JMP 6.0.0. (SAS Institute, Cary, North Carolina, EUA) y las gráficas se realizaron con el programa Sigmaplot 10 (San José California, EUA). Finalmente, el área basal promedio se estimó con la fórmula de la media aritmética utilizada para calcular el IDAP, pero sustituyendo los valores con los obtenidos con el relascopio.

6. RESULTADOS

6.1. Condiciones físicas de los sitios de monitoreo

En el Cuadro 2 se presenta la descripción de cada sitio de monitoreo respecto a la exposición, pendiente y altitud sobre el nivel del mar, así como el registro de las intervenciones humanas que se identificaron durante el periodo de medición y que pudieron influir sobre el IDAP. En este Cuadro se pueden comparar las condiciones en las que se desarrollaron los árboles estudiados para cada sitio de monitoreo, según la especie.

Todos los sitios estuvieron ubicados en altitudes distintas, aunque con poca variación, principalmente en el caso de *Q. xalapensis*, *T. micrantha*, *C. caroliniana*, los cuales se ubicaron en una altitud alrededor de los 1500 m., la diferencia en altitud entre sitios de una misma especie tuvieron como mínimo 83 m de diferencia y como máximo 221 m. Los sitios de *A. acuminata* se ubicaron en altitudes superiores a 1720 y 2205 msnm, en el sitio 1 y 2 respectivamente, con 485 metros de diferencia en altitud entre ellos. Para *L. styraciflua* la diferencia entre sitios fue de 382 msnm y se localizaron en una altitud alrededor de los 1650 msnm.

Cuadro 2. Descripción de algunas características físicas e intervenciones humanas que se presentaron en los 10 sitios de medición del incremento diamétrico de las cinco especies estudiadas.

Condición	Sitio	Especie				
		<i>Alnus acuminata</i>	<i>Quercus xalapensis</i>	<i>Carpinus caroliniana</i>	<i>Trema micrantha</i>	<i>Liquidámbar styraciflua</i>
Altitud (msnm)	1	1720	1451	1504	1406	1467
	2	2205	1672	1457	1489	1849
Exposición	1	Noreste	Sureste	Sureste	Noreste	Este
	2	Sureste	Este	Noreste	Este	Este
Pendiente	1	35°	15°	15°	15°	30°
	2	30°	15°	25°	25°	25°
Pastoreo	1	Si	No	No	No	No
	2	No	No	No	No	No
Chapeo	1	Si	No	No	Si	No
	2	No	Si	No	No	No
Tala de árboles	1	No	No	Si	No	No
	2	No	No	No	No	No

6.2. Precipitación pluvial durante el periodo de estudio

La precipitación de los años que comprenden el periodo de medición del ID, fue de 2003.9 mm en el año 2012 y de 2,313 mm en el año 2013. En la Figura 3 se presenta la precipitación anual de los años 2003 al 2013. La precipitación que comprende el periodo de estudio puede considerarse como atípica, pues en los años 2003 al 2011 la precipitación no rebasó en ningún caso los 2000 mm y en general se mantuvo en un rango entre los 1600 y 1900 mm.

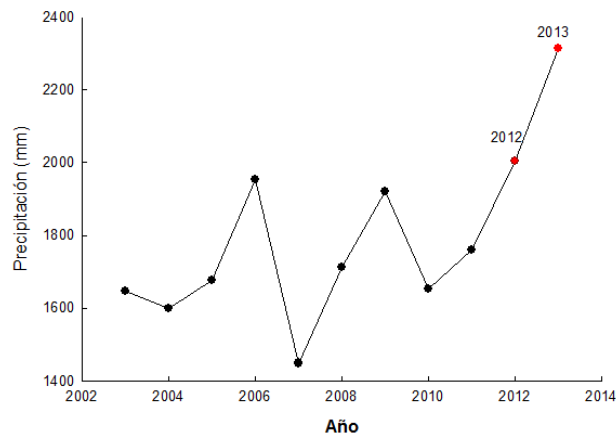


Figura 3. Precipitación anual de los años 2003 al 2013, como referente del comportamiento de la precipitación para el periodo de medición del incremento diamétrico (puntos color rojo, año 2012 y 2013), de las cinco especies estudiadas.

6.3. Incremento diamétrico por especie

En el Cuadro 3 y la Figura 4 se presentan los resultados de la medición del IDAP por especie, incluyendo los individuos de los dos sitios. Mediante el ANOVA se determinó que el IDAP fue significativamente diferente entre especies ($P < 0.0001$), destacando que *A. acuminata* alcanzó un IDAP significativamente mayor al resto de las especies, mientras que *C. caroliniana* y *L. styraciflua* (ambas caducifolias), fueron las especies con el menor IDAP (Tukey, $P > 0.05$).

Cuadro 3. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año^{-1} de las cinco especies de estudiadas.

Especie	IDAP (cm año^{-1}) $\pm$ EE
<i>Carpinus caroliniana</i>	0.31 ± 0.02
<i>Liquidambar styraciflua</i>	0.59 ± 0.07
<i>Quercus xalapensis</i>	0.67 ± 0.05
<i>Trema micrantha</i>	0.95 ± 0.11
<i>Alnus acuminata</i>	1.48 ± 0.07

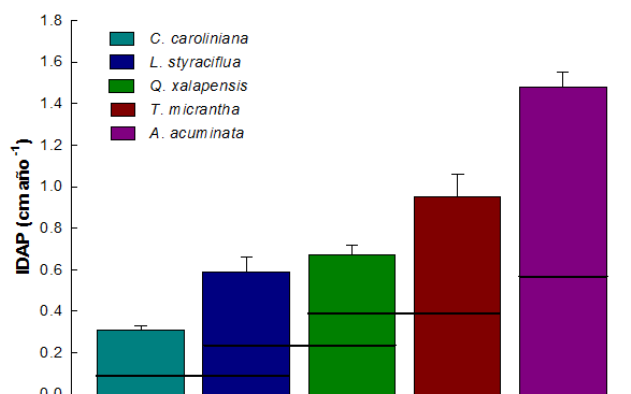


Figura 4. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año^{-1} de las cinco especies estudiadas. La línea horizontal agrupa las especies que presentan medias que no son significativamente diferentes (Tukey $P > 0.05$).

6.4. Incremento diamétrico y área basal por sitio de monitoreo

El IDAP (cm año^{-1}) y el AB promedio ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) por Sitio de monitoreo de las especies evaluadas se muestran en el Cuadro 4 y la figura 5. Solo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios de *A. acuminata* ($P < 0.0001$). En todos los sitios de monitoreo el ABP fue menor de $19 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$ y la diferencia entre los dos sitios de medición fue muy baja para todas las especies. Destaca el hecho de que en los sitios de *A. acuminata* a pesar de que es la única especie donde el IDAP presenta diferencias estadísticas significativas, el ABP es igual en ambos sitios. Las mayores diferencias en AB se encontraron entre sitios de *Q. xalapensis*, siendo el sitio 1 un 31% superior al sitio 2, pero esto tampoco se vio reflejado en el IDAP en cuanto a diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 4. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año^{-1} y área basal promedio (ABP) $\text{m}^2/\text{ha.}$, de las 5 especies evaluadas por sitio de monitoreo.

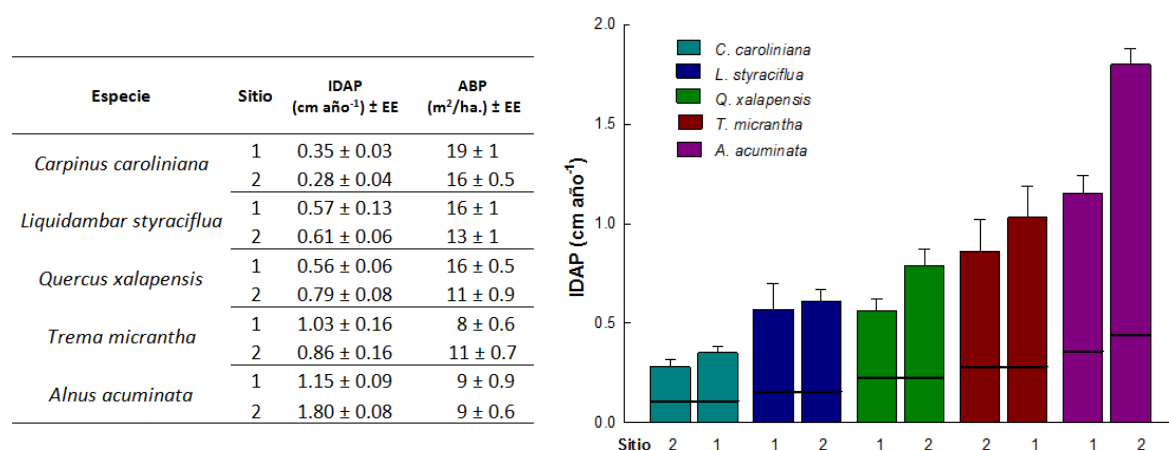


Figura 5. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año^{-1} de las cinco especies estudiadas, en cada sitio de monitoreo. Las líneas horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

6.5. Incremento diamétrico por posición en el dosel

Los resultados del IDAP por posición en el dosel para cada especie se muestran en el Cuadro 5. Se encontró un patrón consistente: los árboles suprimidos en todas las especies siempre tuvieron el menor IDAP, mientras que los árboles dominantes siempre tuvieron un IDAP mayor (Figura 6). En el ANOVA el IDAP solo fue estadísticamente diferente entre posiciones en el dosel de *A. acuminata* y *L. styraciflua* ($P = 0.002$). En la primera especie los árboles dominantes y codominantes tuvieron un IDAP mayor y estadísticamente diferente, respecto a los árboles suprimidos y en *L. styraciflua* el IDAP de árboles dominantes fue mayor y significativamente diferentes que los árboles suprimidos y codominantes ($P > 0.05$; Figura 6). No se encontró un efecto significativo de la posición en el dosel sobre el IDAP de *C. caroliniana*, *T. micrantha* ni de *Q. xalapensis* ($P = 0.09$).

Cuadro 5. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año⁻¹ y error estándar, por posición en el dosel de las cinco especies estudiadas.

Especie	Posición en el dosel	IDAP (cm año ⁻¹) $\pm$ EE
<i>Carpinus caroliniana</i>	Suprimido	0.22 $\pm$ 0.05
	Codominante	0.30 $\pm$ 0.04
	Dominante	0.37 $\pm$ 0.03
<i>liquidambar styraciflua</i>	Suprimido	0.25 $\pm$ 0.17
	Codominante	0.44 $\pm$ 0.10
	Dominante	0.87 $\pm$ 0.10
<i>Quercus xalapensis</i>	Suprimido	0.29 $\pm$ 0.12
	Codominante	0.65 $\pm$ 0.07
	Dominante	0.86 $\pm$ 0.08
<i>Trema micrantha</i>	Suprimido	0.61 $\pm$ 0.29
	Codominante	0.87 $\pm$ 0.23
	Dominante	1.06 $\pm$ 0.14
<i>Alnus acuminata</i>	Suprimido	0.75 $\pm$ 0.20
	Codominante	1.49 $\pm$ 0.10
	Dominante	1.67 $\pm$ 0.10

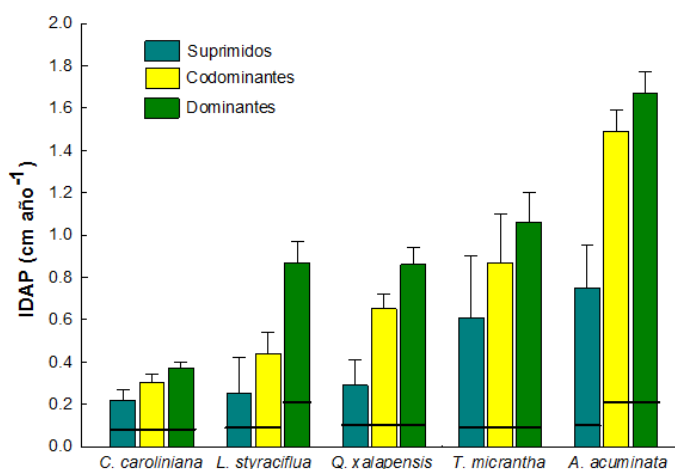


Figura 6. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E. E.) cm año⁻¹, por posición en el dosel de las cinco especies estudiadas. Las barras horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes (Tukey, $P > 0.05$).

6.6. Incremento diamétrico por categoría de tamaño

El IDAP en todas las especies presentó fluctuaciones entre las diferentes categorías diamétricas (Figura 7). Se encontraron diferencias significativas entre las categorías de tamaño de *T. micrantha*, *L. styraciflua* ($P=0.0001$) y en *C. caroliniana* ($P=0.01$). Para *T. micrantha* y *L. styraciflua* la tendencia indica que el IDAP de los árboles es 62% superior al de los árboles medianos y grandes. Para *C. caroliniana* los análisis indican que entre los árboles en las no existen diferencias estadísticas significativas y pueden presentar un mayor IDAP respecto a los árboles de la categoría grande. Aunque esta última también puede presentar similitudes en su IDAP con los árboles de la categoría chica.

Cuadro 6. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año⁻¹ por categoría de

Especie	Categoría de tamaño	IDAP (cm año ⁻¹) $\pm$ EE
<i>Carpinus caroliniana</i>	Chicos	0.38 $\pm$ 0.05
	Medianos	0.41 $\pm$ 0.04
	Grandes	0.23 $\pm$ 0.04
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Chicos	1.18 $\pm$ 0.12
	Medianos	0.36 $\pm$ 0.11
	Grandes	0.54 $\pm$ 0.11
<i>Quercus xalapensis</i>	Chicos	0.71 $\pm$ 0.12
	Medianos	0.71 $\pm$ 0.12
	Grandes	0.8 $\pm$ 0.09
<i>Trema micrantha</i>	Chicos	1.82 $\pm$ 0.20
	Medianos	0.66 $\pm$ 0.18
	Grandes	0.73 $\pm$ 0.17
<i>Alnus acuminata</i>	Chicos	1.46 $\pm$ 0.11
	Medianos	1.63 $\pm$ 0.14
	Grandes	1.69 $\pm$ 0.15

tamaño, para las cinco especies estudiadas.

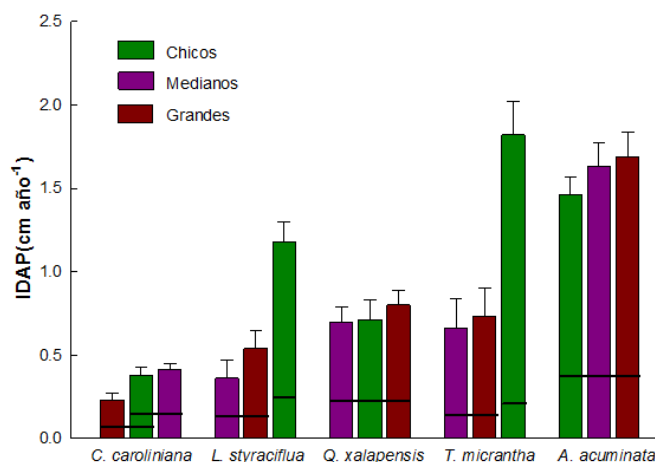


Figura 7. Incremento diamétrico anual promedio (IDAP $\pm$ 1 E.E.) cm año⁻¹ por categoría diamétrica de las cinco especies estudiadas, donde: chicos=10 a 19.9 cm; medianos=20 a 29.9 cm; Grandes=30 a 40 cm. Las barras horizontales agrupan medias que no son significativamente diferentes ($P > 0.05$).

7. DISCUSIÓN

7.1. Incremento diamétrico por especie

Las diferencias significativas entre especies indican que éstas pertenecen a grupos diferentes según los patrones de exigencia de radiación lumínica y la velocidad de crecimiento, conocido comúnmente como gremios ecológicos, (Sánchez *et al*, 2007, Brien, 2005). En el caso de *A. acuminata*, *T. micrantha*, *L. styraciflua* e incluso *Q. xalapensis* de acuerdo a su exigencia de luz (Vázquez-Yañez *et al*, 1999, Pedraza-Pérez y Williams-Linera, 2005, Ortega-Piek *et al*, 2011) y por las altas tasas de ID observado en este estudio, coinciden con los patrones especificados para las especies heliófitas. Mientras que *C. caroliniana*, por su requerimientos de luz (Álvarez-Aquino *et al*, 2004; Muñiz, 2008) y el lento crecimiento observado en este estudio, coincide con las características atribuidas a las especies esciófitas.

El componente genético y su relación con la tasa de crecimiento, es expresado en las diferentes especies principalmente en función de la capacidad fotosintética, la cual está relacionada directamente con la velocidad con que

aumenta la superficie foliar, su magnitud y persistencia, involucrando factores como el ritmo de producción de primordios foliares por los meristemas apicales, el número de meristemas apicales determinado por el tipo de ramificación de la especie y la pérdida o permanencia del follaje (Wareing, 1964). En la actualidad no existe información sobre la superficie foliar y su magnitud para las especies evaluadas, sin embargo, existe información sobre la permanencia del follaje, la cual indica que *L. styraciflua* y *C. caroliniana* son especies caducifolias, mientras que *A. acuminata*, *T. micrantha* y *Q. xalapensis*, son perennifolias, (Vázquez-Yanes, et al 1999, Niembro et al, 2004). En cuanto a esta característica, nuestros resultados indican que las especies perennifolias obtuvieron un mayor IDAP respecto a las especies caducifolias, contrario a lo encontrado en especies de BMM por Williams-Linera (1996).

El IDAP encontrado en este estudio para *A. acuminata* (1.48 ± 0.07 cm año⁻¹) es comparable a las cifras de plantaciones puras reportadas por el CATIE (1995), las cuales oscilan entre 1 y 1.9 cm año⁻¹ en edades entre 9 y 20 años respectivamente, y bajo control de la densidad (aclareos). Para esta misma especie en sistemas de asociación con pastos el CATIE (1995) reporta un IMA de 1.66 cm, a densidad de 35 árboles ha⁻¹. En *T. micrantha* Williams-Linera (1996) reporta un IDAP de (1.18 cm año⁻¹) de un solo individuo, en la categoría diamétrica de 20 y 29.9 cm, medido anualmente durante 5 años, a escasos kilómetros de nuestra zona de estudio.

En el caso de *L. styraciflua* el IDAP encontrado en este estudio fue de (0.59 ± 0.07) mientras que en Villa Alta, Oaxaca, Cruz (2013) reportó fluctuaciones de 0.13 y 0.83 cm/año⁻¹ para las categorías diamétricas de 5 y 20 cm de DAP respectivamente. Por otra parte Mendizábal y colaboradores (2009) en Xalapa Ver., también en *L. styraciflua* reportaron un IMA de (0.93 cm año⁻¹) para una plantación juvenil de 16 años de edad, con un espaciamiento de 3 x 3 metros, aunque se desconocen las condiciones de manejo de la plantación; Williams-Linera (1996) reporta un valor similar de ID (0.96 cm año⁻¹). En Estados Unidos de América en árboles sobre-maduros *L. styraciflua* se ha reportado un ID de 0.5 cm

año⁻¹ y en árboles jóvenes 0.7 cm año⁻¹ (Fowells, citado por Loewe y Gonzalez 1997). Para *Q. xalapensis* Williams-Linera (1996) reporta un crecimiento de 0.43 cm año⁻¹, mientras que para *C. caroliniana* registró 0.18 cm año⁻¹.

El IDAP encontrado en este estudio para *A. acuminata* (1.48±0.07 cm año⁻¹) fue superior al IMA de *Pinus patula*, (especie maderable que en la región se utiliza en reforestaciones en sustitución de las especies de BMM), que fue de 1.03 cm año⁻¹ en bosques con manejo forestal reportado por Álvarez (2001) para la misma región de estudio. *T. micrantha* con un IDAP estimado de (0.95 ± 0.11 cm año⁻¹) podría, bajo manejo silvícola igualar el ID de esta conífera, mientras que *Q. xalapensis*, *L. styraciflua* y *C. caroliniana* presentaron un IDAP inferior.

Cabe señalar que *P. patula* es utilizada en plantaciones monoespecíficas en la región de estudio por su rápido crecimiento en sustitución de las especies del BMM, porque se considera que no hay especies locales que tengan una mayor tasa de crecimiento. Los resultados de esta investigación indican que aun en arbolado sin ninguna intervención silvícola, algunas especies de BMM presentaron mayor tasa de crecimiento (ID).

Debe considerarse que los datos de IDAP obtenidos en esta investigación pudieron verse favorecidos por la precipitación más alta que se presentó durante el periodo de medición del ID, tal como se ha comprobado mediante estudios dendroclimatológicos en otras especies (Tardif *et al*, 2001, Candela *et al*, 2001, Tomazello, 2009). Para poder contar con valores más confiables, se requieren hacer mediciones por periodos más largos, a fin de cubrir la variación temporal asociada con la precipitación.

7.2. Incremento diamétrico y área basal por sitio de monitoreo

En cuatro de las cinco especies estudiadas no se encontraron diferencias significativas en el IDAP entre los sitios de medición, debido probablemente a la ausencia de fuertes contrastes entre las características fisiográficas e intervenciones humanas en los sitios evaluados (Cuadro1) y que el tipo de suelo

Andosol úmbrico es el que se presenta prácticamente en todos los sitios de monitoreo.

El mayor ID observado en el sitio 1 de *A. acuminata*, podría tener relación con la mejor exposición de la pendiente, los contrastes en la altitud de sitios, así como al eventual pastoreo de vacas y al chapeo (Cuadro1). Respecto a estos contrastes, el efecto de la variable altitud se ha comprobado en otras especies por ejemplo, *Tectona grandis* que en un rango altitudinal de 20 a 800 m., tuvo la máxima productividad en sitios con altitudes inferiores a 220 msnm (Vaides, 2004). Así mismo, en *Acrocarpus fraxinifolios* en un rango altitudinal entre 200 y 1400 m., el mayor ID se presentó en altitudes entre los 280 y los 750 m, Reyes y López (2003). En nuestro caso la exposición a los fuertes vientos (presentes a mayores altitudes en el área de estudio) pudieron tener un efecto negativo sobre el ID en el sitio 2, el cual se ubicó a una mayor altitud y porque se conoce que *A. acuminata* es muy susceptible al efecto de los vientos secos y fríos (Vazquez-Yañes *et al*, 1999). La mejor exposición de la pendiente a la luz solar (NE) del sitio 1 pudo ser un factor positivo para el mayor ID observado, ya que esta exposición se considera tradicionalmente la mejor para el desarrollo forestal en esta latitud (Verbyla y Fisher, 1989). El efecto positivo del control de la competencia por herbáceas y arbustos, es un efecto que también ocurrió en el sitio 1, tal efecto ha sido ampliamente demostrado, principalmente en especies de interés comercial (Navarro *et al*, 2005, Richardson *et al*, 1997) atribuyéndose tal respuesta a la reducción de la competencia por recursos como agua, luz y nutrientes; y por último el pastoreo de ganado en el sitio 1 de *A. acuminata* también pudo tener un efecto positivo sobre el ID observado en este sitio, aunque no contamos con las evidencias suficientes para confirmarlo.

Considerando el área basal como un indicador de la competencia interarbórea, el reducido valor de área basal y los mínimos contrastes entre los sitios de monitoreo de cada especie encontrados en este estudio (Cuadro 6), podrían explicar la alta similitud en el IDAP entre los sitios de monitoreo de *Q. xalapensis*, *T. micrantha*, *L. styraciflua* y *C. caroliniana* (Fig. 3). Sin embargo en *A.*

acuminata al presentarse en ambos sitios la misma área basal, revela que las diferencias significativas en el IDAP entre estos sitios, no tiene relación con el área basal, si no probablemente con las diferencias fisiográficas (altitud y exposición) e intervenciones humanas presentes en estos sitios (Cuadro 2).

Los valores de AB encontrados en los sitios de medición del ID de este estudio son más bajos en comparación a las estimaciones en fragmentos de BMM en el centro de Veracruz, donde López, (2004) reporta $49 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, y Williams-Linera (1996) reporta en tres fragmentos diferentes una oscilación entre 25.1 y $60.6 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Estimaciones realizadas en un BMM de Oaxaca, México, por Mejía y colaboradores (2004), estimaron un AB de $46.41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $54.72 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ en Guerrero, México, por Catalán *et al*, (2003). Lo anterior podría indicar que el arbolado de los sitios de medición es muy joven y/o que su baja densidad actual es producto de la extracción selectiva en años recientes. También cabe recordar que en los sitios de monitoreo el arbolado estaba dominado por la especie que se midió y probablemente la mayoría eran de una misma cohorte por ser heliófitas o intermedias, haciéndose ausente una mezcla de especies de diferentes estados sucesiones con múltiple estructura diamétrica.

7.3. Incremento diamétrico por posición en el dosel

Respecto a las diferencias en el IDAP por posición en el dosel para *L. styraciflua* y *A. acuminata*, diferentes autores (Brienen, 2005, Smith, 1997), afirman que en especies catalogadas como heliófitas, el acceso a la luz es el principal factor que limita el ID de los árboles, explicando que en la dinámica de un bosque los árboles experimentan una diferenciación en posiciones sociológicas como resultado del vigor y la capacidad de cada individuo para competir por espacio y acceso a la luz. En tal diferenciación, dentro de ciertos límites, el ID es mayor cuando hay exposición directa a la luz solar, como en el caso de los árboles dominantes y es menor cuando las copas de los árboles reciben poca luz solar o solo una parte de la copa está expuesta, como ocurre en árboles codominantes y suprimidos (Klepac, 1976; Smith, 1997). En el caso de *L. styraciflua* tal efecto ha sido comprobado en función del ID por Cruz (2013) y en otras especies heliófitas

por Klepac (1976) y Manzano y colaboradores (2010). Para *A. acuminata* no encontramos antecedentes donde se muestre el efecto de la posición en el dosel sobre el ID, pero a partir de este estudio se comprobó que existe una diferenciación significativa en el ID en función de la posición en el dosel, como ocurre en otras especies heliófitas.

En el caso de *T. micrantha* que también es una especie heliófita, el análisis de varianza no mostro diferencias significativas entre la posición en el dosel. En este caso consideramos que medir otras variables como la calidad de copa, que incluye características como la forma, tamaño y diámetro de la misma (Manzano *et al*, 2010) podrían ayudar a explicar la dinámica de captación de luz de esta especie. Para *C. caroliniana*, además de su baja tasa de crecimiento, es posible que los resultados no significativos del análisis de la posición en el dosel estén relacionados con la plasticidad de esta especie

lo que le permitiría crecer a tasas similares, tanto a plena luz como en condiciones de sombra, tal como lo afirma Álvarez-Aquino *et al* (2004), y Pedraza y Williams-Linera (2005).

La ausencia de diferencias estadísticas en el IDAP en las diferentes posiciones en el dosel en *Q. xalapensis*, puede explicarse y coincide con la capacidad de algunas especies esciófitas para crecer bajo condiciones de sombra así como de aprovechar episodios de apertura de claros en el dosel, lo cual permite que los árboles del subdosel (suprimidos y codominantes) puedan mantener o alcanzar por algunos periodos de tiempo una dinámica y/o tasa de crecimiento similar a la de los árboles plenamente establecidos en el dosel superior (dominantes) tal como describe Brien (2005).

En este análisis cabe resaltar que discriminar a los árboles de acuerdo a su posición sociológica resulta útil, porque evita subestimar el incremento de los árboles que crecen a tasas más altas y que eventualmente serán cultivados para su futuro aprovechamiento. Además esta información aporta elementos para manipular o conducir los tratamientos forestales, mediante el manejo de la

densidad y manejo del ambiente de luz (Vester y Navarro, 2007). En este sentido Smith y colaboradores (1997) refieren que la manipulación del ambiente de luz a permite mejorar la estructura del rodal, eliminando los individuos con características no deseables, como puede ser el caso de los árboles suprimidos y algunos codominantes, que al competir por espacio y nutrientes, ponen en riesgo el desarrollo de árboles con buenas características forestales. El resultado de estos aclareos es el incremento en volumen útil en la corta final.

7.4. Relación del incremento diamétrico y el tamaño

Considerando que este análisis se realizó por especie, sumando los individuos de cada sitio de monitoreo y excluyendo los árboles suprimidos, para evitar subestimar el IDAP, se determinó que cada especie tiene ritmos de crecimiento específicos para alcanzar la madurez o diámetros superiores a los 40 cm. Por ejemplo la ausencia de diferencias significativas en el IDAP de *A. acuminata*, *Q. xalapensis* e incluso *C. caroliniana* en sus diferentes tamaños, coinciden con uno de los cuatro patrones de crecimiento identificada por Brien (2005) en árboles tropicales, el cual indica que existen especies que no presentan grandes cambios en su tasa de crecimiento en DAP durante su desarrollo.

Las altas tasas de crecimiento (IDAP) obtenidas en la categoría de chicos en *L. styraciflua* y *T. micrantha*, fueron similares a las reportadas por Ramírez y colaboradores (2009) quienes en su clasificación por grupos funcionales encontraron que las especies heliófilas en general, muestran tasas de crecimiento superiores en categorías diamétricas menores (10 a 20 cm), deduciendo que estas especies muestran un crecimiento rápido en etapas tempranas de su desarrollo pero que declina rápidamente debido quizás a su corta longevidad. Al respecto, Brien (2005) afirma que este patrón de crecimiento sugiere una mayor respuesta a los claros de luz en etapas tempranas del desarrollo por ser especies heliófitas, (Álvarez-Aquino, et al 2004; Pedraza y Williams- Linera, 2005). Respecto a su longevidad *T. micrantha* se ha considerado como una especie de vida corta, la cual es remplazada en bosques jóvenes aproximadamente a los 30

años, mientras que *L. styraciflua* es considerada de mayor longevidad (Vázquez-Yanes *et al*, 1999).

Para la estimación del ciclo de corta en especies que presentan tasas de crecimiento diferentes a lo largo de su ciclo de vida, los resultados por tamaño o categoría diamétrica son importantes para determinar el tiempo requerido para que un árbol pase de una categoría diamétrica a otra (López y Tamarit, 2005, Manzano *et al*, 2010). Por ejemplo, con base en los resultados obtenidos podríamos suponer que *T. micrantha* con un incremento promedio anual de 1.82 cm, tardaría 5.5 años en pasar de un diámetro de 10 a 20 cm. y con un incremento anual promedio de 0.73 cm pasaría de 20 a 30 cm en un tiempo estimado de 13.7 años. De tal forma que en suma en 19 años podría alcanzar 30 cm de diámetro, siendo este el tamaño aceptable para su aprovechamiento maderable, como lo indican García y colaboradores (2012). En el caso de *L. styraciflua* estimamos que tardaría 8.5 años para pasar de 10 a 20 cm de diámetro, 22 años para pasar de 20 a 30 cm y 22 años más para alcanzar 40 cm., sumando un total de 52 años, para pasar de 10 a 40 cm de diámetro. Mientras que *A. acuminata* tardaría aproximadamente 20 años en pasar de 10 a 40 cm de diámetro a una tasa de incremento promedio de 1.5 cm año⁻¹. Cabe señalar que las estimaciones corresponden a datos de sitios sin manejo forestal y por este motivo probablemente el turno de corta propuesto resulta muy largo.

8. CONCLUSIONES

Dadas sus cualidades maderables (Anexo 1) y las altas tasas de crecimiento estimadas en *A. acuminata*, *T. micrantha*, *Q. xalapensis* y *L. styraciflua* evaluadas en sitios sin intervenciones silvícolas, se confirma el alto potencial de éstas para emplearse con propósitos maderables o dendroenergéticos. La variación en el ID de los árboles es el resultado de múltiples factores ecológicos y genéticos (interespecíficos e intraespecíficos), en nuestro estudio observamos que los atributos funcionales permiten identificar ciertas tendencias del ID por ejemplo: especies heliófitas con follaje perenne presentan mayor incremento diamétrico y especies esciófitas con follaje caduco alcanzan menor tasas de ID. En cuanto al incremento diamétrico por especie, destaca que *A. acuminata* y *T. micrantha* pueden obtener un ID superior a 1 cm año⁻¹, mientras que *Q. xalapensis* y *L. styraciflua* presentaron un ID inferior a 1 cm año⁻¹, estas últimas con expectativas de ser altamente competitivas frente a especies no latifoliadas específicamente *P. patula* en la misma área de estudio.

Solo entre los sitios de *A. acuminata* se encontraron diferencias significativas en el ID, lo cual expresa una mayor sensibilidad a variaciones fisiográficas, probablemente la altitud. La posición en el dosel nos indicó que en todas las especies el ID es siempre mayor en los árboles dominantes, aunque las diferentes especies pueden expresar una mayor o menor sensibilidad a la competencia por luz, a pesar de pertenecer a un mismo grupo funcional (heliófitas o esciófitas). Finalmente también observamos que para las especies en las que no se pueden realizar estudios dendrocronológicos mediante los anillos de crecimiento, es posible estimar el ID por categoría de tamaño con bandas dendrométricas pudiéndose identificar patrones o ritmos de crecimiento específicos para cada especie y poder así estimar con mayor precisión el turno de corta.

9. RECOMENDACIONES

Contar con la tasa de Incremento Diamétrico es esencial para proponer y promover el uso ordenado de las especies nativas de BMM. Ante el contexto adverso de tala selectiva, deforestación, conversión de uso suelo, plantaciones monoespecíficas de coníferas y la pobreza y marginación común en los dueños de los bosques, pensamos que el interés de conservar los fragmentos remanentes de BMM, debe estar acompañado de alternativas de aprovechamiento de los recursos forestales, y no solo de políticas restrictivas. Las especies evaluadas en esta investigación podrían ser empleadas en: reforestaciones mixtas (coníferas-latifoliadas) por ejemplo: *A. acuminata*, *L. styraciflua* y *P. patula*; en la diversificación de cafetales con especies maderables, por ejemplo, *T. micrantha*, *A. acuminata*, *Q. xalapensis*; también podrían emplearse en prácticas de enriquecimiento de acahuals con especies intermedias y tolerantes por ejemplo: *C. caroliniana* y *Q. xalapensis*; mientras que *A. acuminata*, *L. styraciflua*, *T. micrantha*, *Q. xalapensis* podrían ser utilizadas en plantaciones forestales para abastecer la demanda local de leña y madera. Es necesario el establecimiento de parcelas experimentales donde se aplique el método silvícola de selección individual o en grupos, dirigido por ejemplo a *Q. xalapensis*, *L. styraciflua* y/o *C. caroliniana*, a fin de constatar la viabilidad del aprovechamiento maderable en bosques manejados. Se requieren investigaciones sobre aspectos silvícolas, ecológicos y de transformación de la madera ya que la falta de información sobre estos aspectos limita el aprovechamiento sustentable de las especies nativas de BMM.

10. LITERATURA CITADA

- Aber, J. y J. Melillo. 2001. Terrestrial ecosystems. Harcourt Academic Press. Michigan, EUA. 556 p.
- Aguilar, S. y B. Castro. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del estado de México. *Madera y Bosques* 12(001):95-115.
- Aguilar, S. y J. Barajas. 2005. Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico evolutivo. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* (77): 51-58.
- Aguilar, S., J. Barajas-Morales y J. Tejero-Diez. 2000. Anatomía de maderas de México: Especies de un bosque mesófilo de montaña. UNAM. Instituto de Biología. México. D.F. 71 P.
- Almeida, E. 2008. Padroes de crescimento e predicao da estrutura diamétricas com auxilio de bandas dendrométricas na floresta nacional de Caxiuana. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia. Manaus. Amazonas. 85 p.
- Álvarez, R. 2001. Determinación de turnos para las principales especies de coníferas en la región del Cofre de Perote, Veracruz. Tesis de Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Fac. Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 94 p.
- American Hardwood Export Council. (AHEC). 2013. Madera sostenible de frondosas estadounidenses: Guía de especies. En línea: www.americanhardwood.org.
- Alvarez-Aquino, C. G. Williams-Linera y A. Newton. 2004. Experimental Native Tree Seedling Establishment for the Restoration of a Mexican Cloud Forest. *Restoration Ecology* 12(3); 412-418.
- Baker, T., K. Affum-Baffoe., D. Burslem y M. Swaine. 2002. Phenological differences in tree water use and the timing of tropical forest inventories: conclusions from patterns of dry season diameter change. *Forest Ecology and Management* 171: 261-274.
- Bárceñas, G. y V. Ordóñez. 2008. Calidad de la madera de los árboles de sombra . In: R. H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina y K. Mehltreter, eds. *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, Manejo y Conservación*. INE-INECOL, México, D.F. P 235-246.
- Biging, G y M. Dobbertin. 1992. A Comparison of Distance-Dependent Competition Measures for Height and Basal Area Growth of Individual Conifer Trees. *Forest Science* 38(3), 695-720. Society of American Foresters.

- Bonilla, J. 1971. La influencia del suelo y el clima en el crecimiento de los árboles en las regiones templadas. *IPEF*. 2: 79-92.
- Bravo, F., G. Montero y M. Del Río. 1997. Índices de densidad de las masas forestales. *Ecología* (11) 177-187.
- Brand, D y A. Magnussen. 1988. Asymmetric, two sided competition in even-aged monocultures of red pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 901-910.
- Brienen, R. 2005. Tree rings in the tropics: a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees. PROMAB. Scientific Series. Bolivia 10. 144 p.
- Broquen, P., J. Girardin., G. Falbo y O. Álvarez. 1998. Modelos predictores de índice de sitio en *Pinus ponderosa* Dougl., en base a características del suelo andino patagónico oriental, 37°-41° S, República Argentina. *Bosque* 19 (1): 71-79.
- Burns, R y B. Honkala. 1990. Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Washington, DC. 877 p.
- Candela, V., E. Manrique., A. Fernández y M. Genoveva. 2001. Análisis de la variabilidad climática de los últimos siglos en España a partir de reconstrucciones dendroclimáticas. Comparación con la situación actual. *Cuad. Socio Esp. Cien. For.* 12: 77-81.
- Carmean, W. 1996. Forest site-quality estimation using forest ecosystem classification in northwestern Ontario. *Environmental Monitoring and Assessment* 39: 493-508.
- Catalán, C., López-Mata, L y T. Terrazas. 2003. Estructura y composición florística y diversidad de especies leñosas en un bosque mesófilo de montaña en Guerrero, México. *Anales del instituto de biología. UNAM. Serie Botánica*. 74 (2): 209-230.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, (CATIE). 1995. *Alnus acuminata* ssp. *arguta* (Schlechtendal) Furlow, especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba Costa Rica. 37 p.
- Challenger, A., y J. Soberón. 2008. Los ecosistemas terrestres. In: *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México. Pp: 87-108.
- Clark, N., R. Wynne y D. Schmoldt. 2000. A review of past research on dendrometers. *Forest Science* 46 (4): 570-576.

- Coyle, D., M. Coleman y D. Aubrey. 2008. Above-and below-ground biomass accumulation, production, and distribution of sweetgum and loblolly pine grown with irrigation and fertilization. *Can. J. For. Res.* (38): 1335-1348.
- CONABIO. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: amenazas y oportunidades para su conservación y manejo sostenible. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México D.F. 197 p.
- CONAFOR. 2007. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Tomo 2. Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico. Zapopan Jalisco. 132 p.
- Cordero, J. y D. Boshier. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. OFI/CATIE. Costa Rica. 1079 p.
- Cruz, I. 2013. Crecimiento en diámetro de *Liquidambar styraciflua* L. en el bosque de transición de Yetzelalag, Villa Alta, Oaxaca. Tesis ingeniería forestal. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. México. 49 p.
- Cruz, I, J. Valdez, G. Ángeles y H. de los Santos. 2010. Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. *Madera y Bosques*.16 (3):75-97
- Cruz, U., López Binnqüist y P. Negreros. 2011. Una especie multiusos del trópico mexicano *Trema micrantha* (L.) Blume. CIENCIAS. 101: 16-22.
- Cunha, T., C. Guimarães.2008. Selección del factor de área basal del relascopio de Bitterlich para el muestreo de un rodal de *Pinus taeda* L. en el sur de Brasil. Kurú: Revista Forestal. Costa Rica. 5 (15):1-11.
- Davis, A. y C. Trettin. 2006. Sycamore and Sweetgum plantation productivity on former agricultural land in South Carolina. ELSEVIER. *Biomass and Bioenergy* 30: 769-777.
- Delgado, C., A. Gómez., J. Valdez., H. De los Santos., A. Fierros y W. Horwath. 2009. Site index and soil properties in young plantations of *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* in southeastern México. *Agrociencia* 43: 61-72.
- Devall, M., B. Parresol y S. Wright. 1995. Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annonas praguei* in Central Panama. *AWA Journal*16 (4): 411-424.
- Enquist, B. y J. Leffler. 2001. Long-term tree ring chronologies from sympatric tropical dry-forest trees: individualistic responses to climatic variation. *Journal of Tropical Ecology*. 17: 41-60.
- Felker, P. y V. Díaz-De León. 2005. An improved tool for the fabrication of dendrometer bands to estimate growth as function of treatments in slow

growing native *Prosopis* stands. *Forest Ecology and Management* 209: 353-356.

Fonseca-González, W. 1986. Curvas de índice de sitio para *Alnus acuminata* H.B.K. en la zona de distribución natural en Costa Rica. Editorial Heredia, Universidad Nacional, Costa Rica. 73 p.

Fornaris, E., A. Gonzales-Abreu., H. Grad y A. Ancízar. 2004. Comportamiento de los índices de sitio más empleados para *Pinus caribea* Mor. VAR. *Caribea* ante algunos factores edáficos que influyen en su crecimiento y desarrollo. *Foresta Veracruzana* 6 (002): 19-26.

Forestry suppliers. 2014. En línea: <http://www.forestry-suppliers.com/#>

Fuentes, T. 2013. Usos tradicionales de la madera del bosque mesófilo de montaña en la subcuenca del río Pixquiac. Tesis de Maestría en Manejo del Recurso Forestal. Fac. Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 144 p.

García, D., A. Quintanar y C. López. 2012. Guía: características y usos de la madera del jonote (*Trema micrantha*). Ciudad de México, México. 24 p.

Geissert, D. 2007. Mapa de geomorfología, cuenca alta del río La Antigua, escala 1:50 000. INECOL. Xalapa, Veracruz.

Gené, C., M. Espelta, M. Gracia y J. Renata. 1993. Identificación de los anillos anuales de crecimiento de la encina (*Quercus ilex* L.). *Orsis*, 8: 127-139

Giraldo, J. 2011. Dendrocronología en el trópico: aplicaciones actuales y potenciales dendrochronology in the tropics: current and potential applications. *Colombia Forestal* Vol. 14(1): 97-111/ Enero-Junio, 2011.

González-Espinoza, M., J. Meave., F. Lorea-Hernández, F., G. Ibarra-Manríquez y A. Newton. 2011. The Red List of Mexican Cloud Forest Trees. Fauna & Flora International. Cambridge, UK. 149 p.

Gordon, J. J. Dawson. 1979. Potential uses of nitrogen fixing trees and shrubs in commercial forestry. *Bot. Gaz.* 140. (Supl):88-90.

Gorenstein, M. 2002. Métodos de amostragem no levantamento da comunidade arbórea em floresta estacional semidecidual. Seleção do fator de área basal para a amostragem da comunidade arbórea da estação ecológica dos caetetus, Gália-sp, através do método de Bitterlich. Tesis Ph.D. Piracicaba,

Gutiérrez, L. y J. Dorantes. 2003-2004. Especies forestales de uso tradicional del estado de Veracruz: potencialidades de especies con uso tradicional del

- estado de Veracruz como opción para establecer plantaciones forestales comerciales. CONAFOR-CONACYT-UV. Veracruz. México. 362 p.
- Haeckel, I. 2006. Firewood use, supply, and harvesting impact in cloud forests of central Veracruz, Mexico. Senior Thesis Ecology, Evolution and Environmental Biology. Columbia University, New York, NY. 60 p.
- Honorio, E y T. Baker. 2010. Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos. Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima, Perú. 54 p.
- Imaña, J y O. Encinas. 2008. Epidimetría forestal. Universidad de Brasilia: Departamento de ingeniería forestal. Brasilia, Brasil. 69 p.
- Jerez R., V. Lawrence y A. Moret. 1999. Un modelo de competencia para las plantaciones de teca del área experimental de la reserva forestal Caparo (Barinas-Venezuela). *Forestal Venezolana*. 43(2), 157-171 p.
- Juodvalkis A, Kairiukstis, L, Vasiliauskas R. 2005. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *European Journal of Forest Research*. Volume 124, Issue 3, 187-192 p.
- Keeland, B y P. Joy. 2012. Construction and Installation of Dendrometer Bands for Periodic Tree-Growth Measurements. National Wetlands Research Center. U.S.A. Disponible en internet. <http://www.nwrc.usgs.gov/Dendrometer/>.
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Segunda edición. Chapingo, México. 279 p.
- Kramer, P y T. Kozlowski. 1979. Physiology of woody plants. Academic Press. New York. 811 p.
- Larsen, D. 2007. Common Basal Area Factors Values. Forestry suppliers. En línea: <http://www.forestry-suppliers.com/>.
- Loewe, P y M. González. 1997. Silvicultura de especies no tradicionales: una mayor diversidad productiva. *Liquidambar styraciflua*. Monografía. INFOR. Santiago, Chile. 55 p.
- Lopez, A. 2004. Los cafetales de sombra como reservorio de la biodiversidad de plantas leñosas del Bosque Mesófilo de Montaña en el estado de Veracruz. Tesis de maestría. Instituto de Ecología A.C.
- López, J. Valdez, T. Terrazas y J. Valdez. 2006. Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima. *Agrociencia*. 40 (001): 139-147.

- López, L., R. Villalba y M. Peña. 2012. Ritmos de crecimiento diamétrico en los bosques secos tropicales: aportes al manejo sostenible de los bosques de la provincia biogeográfica del Cerrado Boliviano. *Bosque* 33(2): 211-219.
- Lorimer, C. 1983. Tests of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. *Forest Ecology and Management*, (6): 343-360.
- López y J. Tamarit 2005. Crecimiento e incremento en diámetro de *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. en bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo serie Ciencias y del Ambiente* 11(2):117-123 p.
- Mariaux, A. 1967. Les cernes dans les bois tropicaux Africains, nature et périodicité. *Bois et Forests des Tropiques* (114): 23-37.
- Manzano, F., J. Valdez-Hernández., M. López-López y H. Vaquera-Huerta. 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.
- Martínez, J. y E. Martínez-Pinillos. 1996. Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques*. 2 (1):45-61.
- Mejía-Domínguez, N, Meave J y C. Ruiz-Jiménez. 2004. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la sierra madre del sur (Oaxaca). México. México, D.F., México. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 74: 13-29.
- Mendizábal, L., J. Márquez., J. Alba., E. Ramírez y H. Cruz. 2009. Alternativas de uso de una prueba genética de *Liquidambar styraciflua*. L. *Foresta Veracruzana*, 11(2):27-32.
- Merino, L. 2004. Conservación o deterioro: El impacto de las políticas públicas en las instituciones comunitarias y en los usos de los bosques en México. INE-SEMARNAT. México, D.F. 339 p.
- Montero, M., L. Ugalde y N. Kanninen. 2001. Relación del índice de sitio con los factores que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L. F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*.13-18 p.
- Moya, R., F. Muñoz, C. Salas., A. Berroal., L. Leandro y E. Esquivel. 2010. Tecnología de madera de plantaciones forestales: fichas técnicas. *Revista Forestal Mesoamericana*. Cartago, Costa Rica, Corporación Garro y Moya. 207 p.
- Muñiz, M. 2008. Sucesión secundaria y establecimiento de especies arbóreas nativas para restauración de bosque Mesófilo de montaña en potreros abandonados del centro de Veracruz. Tesis de doctorado. INECOL. Xalapa, Veracruz, México. 174 p.

- Nambiar, S y R. Sands. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 23(10): 1955-1968.
- Narváez, R. 1992. Suelo-calidad de estación en el área experimental forestal maderera, Chihuahua. *Ciencias Forestales*. 17 (71):
- Navarro, R., B. Fregueiro., C. Ceaceros., A. Campo y R. Prado. 2005. Establishment of *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* [Desf.] Samp. Using different weed control strategies in southern Spain. *Ecological Engineering*. 25(4): 332-341.
- Niembro, A., I. Morato y J. Cuevas. 2004. Catálogo de frutos y semillas de árboles y arbustos de valor actual y potencial para el desarrollo forestal de Veracruz y Puebla. Instituto de Ecología A.C. Departamento de productos forestales y conservación de Bosques. Veracruz. México. p. s/n.
- Niembro, A., M. Vázquez y O. Sánchez. 2010. Árboles de Veracruz: 100 especies para la reforestación estratégica. Secretaría de educación/ Gobierno del estado de Veracruz. Veracruz, México. 256 p.
- Orantes, F. y M. Musalem. 1982. Determinación de la calidad de estación de *Pinus hartwegii* lind. en Zoquiapan, Mex. *Ciencia Forestal*. 7 (35):1-20.
- Ortega, F. 2011. Diversidad arbórea maderable quimera inalcanzable. *Ciencias UNAM*. 101:4-10.
- Ortega, F y G. Castillo. 1996. El bosque mesófilo de montaña y su importancia forestal. *Ciencias*. (43) 32-39.
- Ortega-Pieck, A., F. Lopez-Barrera., N. Ramírez-Marcial y J. García-Franco. 2011. Early seedling establishment of two tropical montane cloud forest tree species: The role of native and exotic grasses. *Forest Ecology and Management*. (261), 1336-1343.
- Pallardy, S. 2008. Physiology of woody plants. Academic Press, New York, Third edition. 464 p.
- Palmer, J. y J. Ogden. 1983. A dendrometer band study of the seasonal pattern of radial increment in Kauri (*Agathis australis*). *New Zealand Journal of Botany*. (21).121-126.
- Pardo, K. 2013. Estructura y composición de rodales de *Alnus acuminata* Kunth a través de una cronosecuencia en el centro del estado de Veracruz. Tesis de licenciatura. Fac.de Biología. Universidad Veracruzana.
- Paré, L. y P. Gerez (coords.). 2012. Al Filo del Agua: Cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz. UNAM, SENDAS, UV, SEMARNAT, INE, UIA-Puebla, y Ed. Juan Pablos. México D.F. 344 p.

- Pedraza, R., R. Álvarez y A. Hoyos. 2007. Diagnóstico y propuesta para la gestión del manejo sustentable de los ecosistemas de la montaña Cofre de Perote (Naucampatepetl). Caso: extracción irregular de madera en la cuenca alta del río La Antigua. Universidad Veracruzana, Cedro S.A. de C.V. México D.F. 110 p.
- Pedraza, R y G. Williams-Linera. 2005. Microhabitat conditions for germination and establishment of two tree species in the mexican montane cloud forest. *Agrociencia*. (39) 457-467.
- Pereira, D. 2009. fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na amazonia central. Instituto Nacional da pesquisas da Amazonia. Manaus, Amazonas. 123 p.
- Pereira, R., S. Nakamura., C. De Azevedo., J. Chambers., R. De Miranda, A. Martins., J. Dos Santos y N. Higuchi. 2003. Uso de banda dendrométrica para definição de padrões de crescimento individual em diâmetro de árvores da bacia do rio cuieiras. *Acta Amazonica* 33 (1): 67-84.
- Pérez, C. y R. Dávalos. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques* 14 (3): 43-80.
- Pérez, C., A. Campos., A. Quintanar y R. Dávalos. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del genero *quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. *Madera y Bosques* 4(2):45-65.
- Pérez, C., R. Dávalos y E. Guerrero. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. *Madera y Bosques*. 6(1): 3-13
- Pérez-Suarez, M., V. Cetina-Alcala., A. Aldrete., M. Fenn y L. Landois-Palencia. 2006. Rainfall chemistry in two temperate forests in the México city basin. *Agrociencia* 40: 239-248.
- Peters, C., y S. Purata. 2005. Como hacer una banda para medir el crecimiento de los árboles. En línea: <http://www.youtube.com/watch?v=LHR4MFO-mZs>
- Prodan, M., R. Peters., F. Cox y P. Real. 1997. Mensura Forestal. Instituto interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 586 p.
- Quintanar-Isaías, A., M. Jacobo-Villa., C. López-Binnqüist., N. Flores-Hernández; Jaramillo-Pérez, A y C. De la Paz Pérez-Olvera. 2012. La madera de *Trema micrantha* (L.) Blume de Veracruz, México. *Madera y Bosques* 18 (2):73-91.
- Ramírez, H, M. Acevedo, M. Ataroff y A. Torres. 2009. Crecimiento diamétrico de especies arbóreas en un bosque estacional de los llanos occidentales de

Venezuela. Sociedad Venezolana de Ecología. ECOTRÓPICOS 22(2):46-63.

Raventós, J. S. Vayreda., J. Calvet., J. Burriel, J. Ibañez y C. Gracia. 1993. Modelos espaciales de competencia intraespecífica en *Pinus sylvestris* y su relación con variables ecofisiológicas. Congreso Forestal Español-Lourizán. Ponencias y comunicaciones. Tomo 1. 283 p.

Reyes, J. y J. López. 2003. Crecimiento del cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight & Arn.) a diferentes altitudes en fincas cafetaleras del Soconusco, Chiapas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. México. 9(2): 137-142.

Reyes, J., O. Aguirre., J. Jiménez., E. Treviño., E. Jurado y R. González. 2011. Models to predict the volume increment for mixed forests in Durango, México. *Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1): 103-113.

Richardson, B.; Vanner, A.; Ray, J.; Davenhill, N.; Coker, G. 1997. Mechanisms of *Pinus radiata* growth suppression by some common forest weed species. New Zealand Journal of Forestry Science. 26(3): 421-437.

identification, and information retrieval. En línea:
<http://biodiversity.uno.edu/delta/>.

Rodríguez-Ortíz, G. Aldrete, A. González-Hernández, V., De Los Santos-Posadas, H. Gómez-Guerrero, A., Fierros-González, A. 2011. ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia* 45: 719-732.

Romahn, C. y H. Ramírez. 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 354 p.

Romahn, C. 1999. Relascopia: una técnica de medición forestal. Universidad Autónoma Chapingo. México, D.F. 125 p.

Rodríguez, G. 2010. Efecto de aclareos en el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham., en Ixtlan Oaxaca. Texcoco. Edo. México. Tesis doctoral. Colegio de posgraduados.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

Sánchez O., I. Gerald., Valdez M. 2007. Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, vol. 9, núm. 2. pp. 17- 26.

- Sánchez, Ó., E. Vega., E. Peters., Monroy-Vilchis, O. 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. INE, México.
- Segura, M., N. Etxaleku, Á. Castillo, M. Salazar, A. Alvarado. 2005. Respuesta a la fertilización con P en plantaciones de jaúl (*Alnus acuminata*) en Andisoles de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 29(2): 121-134.
- Segura, M., A. Castillo y A. Alvarado. 2006. Efecto de la fertilización con fosforo sobre la nodulación de Frankia en plantaciones de *Alnus acuminata* en Adisoles de Costa Rica. *Agronomía costarricense*. 30(001): 43-52.
- SEMARNAT, 2007. Base de datos estadísticos-BADESNIARN-SEMARNAT. Compendio de estadísticas ambientales. México. D.F. 2 p. En línea: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIO DIV01_08&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- SEMARNAT. 2011. Anuario estadístico de la producción forestal 2011. En línea: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/economica/anuarios-estadisticos-de-la-produccion-forestal>.
- Serrada R. 2008. Apuntes de Selvicultura. Servicio de Publicaciones. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Madrid. España. 490 p.
- Sistema Nacional de Información Forestal (SNIF). 2011. En línea: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/>
- Smith, D., B. Larson., M. Kelty y P. Ashton. 1997. The practice of Silviculture: Applied forest ecology. Ninth Edition. USA. New York. 525 p.
- Suarez, A y M. Equihua. 2005. Experimental tree assemblages on the ecological rehabilitation of a cloud forest in Veracruz, México. *Forest Ecology and Management*. (218), 329-341.
- Tamarit, J. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2(2):29-41.
- Tomazello, M., A. Fidel., A. Roig y P. Zevallos. 2009. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. *Ecología en Bolivia* 44(2): 73-82.
- Tardif, J., J. Brisson y Y. Bergeron. 2001. Dendroclimatic analysis of *Acer saccharum*, *Fagus grandifolia*, and *Tsuga canadensis* from an old-growth forest, southwestern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*. 31(9): 1491-1501.
- Torres-Rojo, J. 2000. El área de ocupación promedio: una medida de competencia independiente de la distancia. *Agrociencia* 34: 485-495.

- Universidad de los Andes. (UDA). 2001. Crecimiento del árbol. Tejidos del tallo adulto. Merida, Venezuela. 20 p.
- Vaides, E. 2004. Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectonagrandis L. f.*), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala. Centro agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 81 p.
- Valdez, J. 2004. Manejo forestal de un manglar al sur de Marismas Nacionales, Nayarit. *Madera y Bosques* 2: 93-104.
- Vázquez-Yañez, C. Batis, S. Alcocer, M. Gual y C. Sánchez. 1999. "Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación", Proyecto J-084, Instituto de Ecología, Universidad Autónoma de México.
- Vericat, P., M. Piqué y A. Trasobares. 2009. Tipificación de la calidad de estación en base a variables ecológicas para el pino silvestre en Cataluña. Sociedad Española de Ciencias Forestales. España. 14 p.
- Verbyla, D.; Fisher, R. 1989. Effect of aspect on ponderosa pine height and diameter growth. *Forest Ecology and Management* (Holanda) 27: 93 - 98.
- Vester, H y A. Navarro. 2007. Árboles maderables de Quintana Roo: Fichas técnicas. Fondo Mixto de Fomento a la Investigación Científica y Tecnológica, CONACYT-Gobierno del estado de Quintana Roo. Quintana Roo, México, 133 p.
- Villalba R, P. Villagra., J. Boninsegna., M. Morales. y V. Moyano. 2000. Dendroecología y dendroclimatología con especies del género *prosopis* en Argentina. *Multequina* 9(2): 1-18.
- Villaseñor, J. 2010. El bosque húmedo de montaña en México y sus plantas vasculares: catálogo florístico-taxonómico. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 40 p.
- Wareing. P, 1964.
Unasylva 18 (2-3) s/p.
- Williams-Linera, G. 1996. Crecimiento diamétrico de árboles caducifolios y perennifolios del Bosque Mesófilo de Montaña en los alrededores de Xalapa. *Madera y Bosques* 2(2):53-65.
- Williams-Linera, G., Pérez, I. 1996. El bosque mesófilo de montaña y un gradiente altitudinal en el Centro de Veracruz, México. *La Ciencia y el Hombre*, mayo-agosto 1996, no. 23, p. 149-161.

- Williams-Linera, G. 2012. El bosque de niebla del centro de Veracruz ecología, historia y destino en tiempos de fragmentación y cambio climático. CONABIO- Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, México. 2008 p. Versión electrónica <http://www.inecol.edu.mx/librobosquedeniebla.pdf>.
- Williams-Linera, G. Toledo-Garibaldi y C. Gallardo. 2013. How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico?. *Plant Ecology, An International Journal*. 214 (3).
- Williams-Linera, G., R. Manson y E. Isunza. 2002. La fragmentación del bosque Mesófilo de Montaña y patrones de uso del suelo en la región oeste de Xalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 8 (001):73-89.
- Wolter, K. E. 1968. A new method for marking xylem growth. *Forest Sci.* 14: 102-104.
- Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. *IAWA Journal*. 16 (4): 337-351.
- Young, A. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Limusa S.A. de C.V. México. 638 p.
- Zweifel, R., H. Item y R. Häsler. 2000. Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* 15: 50 57.

11. ANEXOS

11.1. Fichas técnicas de las especies evaluadas en este estudio

Alnus acuminata

a. Características de la especie

Árbol monoico, perennifolio que puede medir poco más de 30 m de altura y alcanzar diámetros a la altura del pecho de 60 cm (Niembro *et al*, 2004). Presenta tronco cilíndrico en ocasiones ligeramente ovalado, puede presentar ramas gruesas desde la base en árboles aislados expuestos, mientras que en árboles bajo mayor densidad se obtienen troncos libres de ramas y nudos por una poda natural; su copa es estrecha y angosta. (Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Cuenta con un sistema radical poco profundo, amplio y extendido. Crece en un rango altitudinal de 1300 a 2800 msnm, principalmente en la región climática templada húmeda y subhúmedas de América con una precipitación entre 1,000 a 3,000 mm, siendo muy sensible a la sequía. Su rango de temperatura va de 4 a 27 °C y puede soportar temperaturas que bajan temporalmente a 0 °C. Tolerancia a una amplia variedad de suelos, (desde gravas, arena y arcillas) pudiendo crecer en suelos pobres, pedregosos, poco profundos y compactados (Cordero y Boshier, 2003).

En la zona de estudio esta especie se conoce como ilite, en otras regiones se conoce como aile y jaul. Se considera una especie pionera pues para crecer necesita plena luz, es de crecimiento rápido y se regenera en forma natural en áreas abiertas (Gutiérrez y Dorantes, 2004; Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Los árboles comienzan a producir semillas viables de buena calidad a partir de los 10 años de edad, los frutos maduran de octubre a diciembre y sus semillas son dispersadas por el viento (Cordero y Boshier, 2003). Las semillas son ortodoxas y no requieren ningún tratamiento pre-germinativo por que no presentan latencia. La tasa de germinación inicial oscila entre un 50 y 70% la cual descende gradual y aceleradamente durante el primer mes después de ser colectada (Vázquez-Yanes *et al*, 1999; Cordero y Boshier, 2003).

Los árboles rebrotan en forma natural, pero se ha observado que esta capacidad puede variar significativamente en función de la procedencia. Presenta desarrollo pobre cuando los árboles están muy expuestos al viento. Durante la etapa temprana de su desarrollo es susceptible a la competencia, por lo que se han sugerido chapeos sistemáticos durante los primeros 3 años (Vázquez-Yanes *et al*, 1999; Cordero y Boshier, 2003). El sistema radicular de estos árboles presenta una asociación simbiótica tripartita entre el ilite, el actinomiceto *Frankia ssp.* y micorrizas vesículo arbusculares, por lo que fija nitrógeno atmosférico en el suelo (Segura *et al*, 2006; Cordero y Boshier, 2003).

b. Usos y características de la madera

En México, el uso que generalmente se le da a la madera de ilite es para la construcción rural, leña, carbón, puntales para cimbra, artículos artesanales, elaboración de sillas, mesas, taburetes, trasteros, camas y libreros (Gutiérrez y Dorantes, 2004; Vázquez-Yanes *et al*, 1999; Fuentes, 2013). Se ha reportado un gran potencial para usarse en puertas, pisos, cercas, muebles, armarios de cocina, palillos, cabos de fósforos, zapatos ortopédicos, moldes para fundición de metales, instrumentos musicales, chapa decorativa, molduras, ataúdes, lápices, madera en rollo, aserrío, embalajes, ebanistería e incluso se considera de buena calidad para pulpa (Vázquez-Yanes *et al*, 1999; Cordero y Boshier, 2003; Martínez y Martínez-Pinillos, 1996). En Europa y E.U. las maderas de *Alnus glutinosa* y *Alnus rubra* son muy apreciadas con fines comerciales para carpintería de obra interior (AHEC, 2013), sin embargo en México a pesar de no existir diferencias apreciables entre la madera de las especies antes mencionadas y la del ilite, su potencial maderable ha sido subestimado por la industria maderera (CONAFOR, 2007).

c. Cualidades tecnológicas

La madera de ilite es relativamente blanda, de densidad media, con baja resistencia a la flexión y al impacto, de escasa rigidez, de excelente trabajabilidad con herramientas manuales y en todas las operaciones de maquinado. Se clava, atornilla y encola bien, proporcionando un excelente acabado tras ser lijada, pintada o teñida. Seca con facilidad y posee una buena estabilidad dimensional tras el secado. La madera es poco durable y susceptible al ataque por hongos, a menos que se le aplique tratamientos de protección (CONAFOR, 2007; Moya *et al*, 2010).

Carpinus caroliniana

a. Características de la especie

Esta especie se conoce localmente como pipinque, es un árbol monioco, caducifolio, generalmente de talla pequeña que alcanza de 10 a 15 metros de altura y un diámetro máximo de 40 cm, sin contrafuertes. El pipinque desarrolla un tronco recto, aunque es muy frecuente observar árboles inclinados, torcidos, profundamente surcados y ovalados (Niembro, *et al* (2004). La copa de este árbol es densa, redondeada, abierta, de ramas delgadas y de ramificación a bajas alturas en el fuste, horizontales y ascendentes (Niembro *et al*, 2004). Este árbol, cuenta con una moderada tolerancia a la sequía, aunque su crecimiento óptimo se da en un suelo permanentemente húmedo, puede crecer bien en el borde del bosque y en áreas abiertas adyacentes, ya que se considera como una especie de tolerancia intermedia a la luz (Álvarez-Aquino *et al*, 2004; Niembro *et al*, 2004) que se ha recomendado para utilizarse en programas de restauración ecológica, aunque su lento crecimiento puede ser una limitante para esta actividad

(obs. pers.). Las semillas maduran entre agosto y octubre, son ortodoxas, se dispersan por el viento, aves y roedores. La tasa de germinación es baja, generalmente inferior al 40% (Niembro *et al*, 2004; Pedraza y Williams-Linera, 2005).

El pipinque es un árbol típico del BMM que comúnmente se establece en barrancas, laderas protegidas y a orillas de arroyos. En potreros abandonados donde hay árboles semilleros puede formar pequeños bosquetes conocidos comúnmente como pipincales. Crece en un rango altitudinal de 1200 a 1900 msnm, con una precipitación entre 1,200 y 1,500 mm (Niembro *et al*, 2004; Gutiérrez y Dorantes, 2004).

b. Usos y características de la madera

Debido a que suele ser pequeño, de fuste retorcido y múltiples tallos, el pipinque no es una especie adecuada para la producción de madera aserrada. En el área de estudio es poco común que sea utilizada en la construcción rural (obs. pers.), aunque algunas veces es utilizada como puntal cuando alcanza tallas de 12 a 14 cm de diámetro (Fuentes, 2013). En Mexicapa, municipio de Ocuilan, Estado de México, Aguilar y colaboradores (2000), reportaron que el pipinque es utilizado para obtener tablones para muebles y en la construcción rural. Por la dureza su madera se ha descartado su uso en la carpintería, sin embargo se ha utilizado en la elaboración de mangos para herramientas agrícolas, artesanías, juguetes, piezas torneadas, mazos y cabezas para palos de golf (Aguilar *et al*, 2000; Niembro *et al*, 2004; Gutiérrez y Dorantes, 2004). El pipinque ha sido valorado por los campesinos por su calidad cuando es transformado en carbón o utilizado como leña, razón por lo cual ocupa la segunda posición de preferencia después de los encinos (Haeckel, 2006; Fuentes, 2013; Aguilar *et al*, 2000).

c. Cualidades tecnológicas

En la literatura no se encontró información sobre pruebas de trabajabilidad. Se menciona que la madera del pipinque es medianamente dura, pesada, con gravedad específica de 0.74 que no sufre agrietamiento o rajaduras, de albura y duramen uniformes, de color gris rosáceo, de lustre bajo, textura fina y grano ligeramente ondulado e irregular (Aguilar *et al*, 2000; Niembro *et al*, 2004; Gutiérrez y Dorantes, 2004).

Liquidambar styraciflua

a. Características de la especie

Árbol monoico, caducifolio de troco recto que alcanza de 30 a 40 m de altura y un diámetro que oscila entre los 45 y 90 cm. Desarrolla ramas alternas, ascendentes y delgadas, con un ángulo de inserción agudo de 4 a 6 cm de diámetro, con poda natural. Dispone de una copa alargada, redondeada o piramidal. Sus raíces son pivotantes, rastreras, extensas y leñosas. Crece en un rango altitudinal de 1000 a 2000 msnm, principalmente en la región climática subhúmeda a húmeda, con 1,000 a 1,500 mm de precipitación. Se desarrolla preferentemente en suelos ácidos y franco-arcillosos, húmedos, profundos y ricos en nutrientes. (Vázquez-Yanes *et al*, 1999, Niembro *et al*, 2004, 2010).

Es un árbol intolerante a la sombra, que crece a pleno sol y por este motivo la competencia con malezas durante el primer año compromete su desarrollo. Es resistente al viento. Los árboles comienzan a producir semillas a los 20 años, las cuales se dispersan por viento. La máxima distancia de dispersión es de 183 m pero usualmente caen como a 60 m del punto de liberación. Los frutos maduran de septiembre a noviembre y sus semillas son ortodoxas, regularmente presentan un porcentaje de germinación de 70 a 90%, sin tratamiento pre-germinativo. Presenta buena regeneración por tocón (monte bajo), y se ha observado que rebrotes de 10 años poseen dimensiones de árboles de 18-20 años de edad, (Gutiérrez y Dorantes, 2004, Loewe y González, 1997, Vázquez-Yanes *et al*, 1999).

b. Usos y características de la madera

En México el uso de esta especie es para leña, carbón y para la construcción rural. También se ha reportado un uso para la elaboración de instrumentos agrícolas y mangos para herramientas. (Pedraza-Pérez *et al*, 2007, Gutiérrez y Dorantes, 2004, Haeckel, 2006, Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Se ha reportado uso para muebles, durmientes, decoración de interiores, chapas, contrachapeados, cajas, palillos de dientes, cabos de cerillos, abate lenguas, lambrín (Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Sus características son adecuadas para usarse como pulpa para papel (Niembro y colaboradores, 2004). En algunos casos se ha reportado como una madera de mala calidad, por su tendencia a contraerse y torcerse cuando se seca (Gutiérrez y Dorantes, 2004, Vázquez-Yanes *et al*, 1999).

En EUA *Liquidambar styraciflua* o Sweetgum como se le conoce comúnmente, es una de las especies más importante de los bosques de latifoliadas de la región Este y Sureste. Su madera cuando se clasifica por colores, se le asigna el nombre de redgum (mayoría duramen) y sappgum (albura) (AHEC, 2013, Loewe y González, 1997), en dicho país cuenta con muchas aplicaciones, principalmente para armarios, partes de muebles, puertas, ebanistería interior, listones, molduras, chapado y contrachapado. Con acabados teñidos se utiliza en algunos mercados como sustituto del nogal y la caoba, debido a sus características naturales únicas. La madera de esta especie

presenta una fuerte tendencia a deformarse y torcerse. La contracción es pronunciada y es susceptible de moverse puesta en servicio (AHEC, 2013).

c. Cualidades tecnológicas

Liquidambar styraciflua es una madera fácil de trabajar, tanto con herramientas manuales como mecánicas. Se clava, atornilla y encola bien, es de excelente calidad para el barrenado, moldurado, escopleado (Martínez y Martínez-Pinillos, 1996; AHEC, 2013). Es fácil de teñir y se puede lijar y pulir hasta alcanzar un acabado excelente. Se seca rápidamente, pero con una fuerte tendencia a deformarse y torcerse. La contracción es pronunciada y es susceptible de moverse puesta en servicio. La madera está clasificada como no durable. El duramen es medianamente impregnable con tratamientos de protección, si bien la albura es impregnable. Es una madera moderadamente dura, rígida y pesada, con una baja aptitud para el curvado con vapor (AHEC, 2013).

Trema micrantha

a. Características de la especie

Conocido en la región como ixpepe, es un árbol perennifolio, monóico de vida corta, típico de la vegetación secundaria que crece en los claros del bosque y es reemplazado por otras especies después de aproximadamente 30 años (Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Puede alcanzar 30 m de altura y 70 cm de diámetro, su tronco es cilíndrico recto, a veces con pequeños contrafuertes. Sus ramas delgadas crecen típicamente con una orientación horizontal o ligeramente colgantes. La conformación de su copa es en forma de sombrilla; abierta, irregular y estatificada (Gutiérrez y Dorantes, 2004, Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Sus semillas son ortodoxas, recién colectadas germinan entre los 30-50 días en una proporción de 70%, presentan una latencia foto regulada por lo que requieren de una alta intensidad lumínica para germinar, durante el primer año mantienen una alta capacidad germinativa en el banco de semillas del suelo, se dispersan por medio de las aves (Niembro *et al*, 2004, Vázquez-Yanes *et al*, 1999).

Es una especie pionera demandante de luz que crece comúnmente en terrenos de cultivo y pastizales abandonados donde llega a formar masas casi puras. En bosques naturales solo es posible el reclutamiento de plántulas en claros grandes mayores a 375 m². (Vázquez-Yanes *et al*, 1999). Su distribución altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm. Crece en suelos pobres, erosionados o de barbecho. Se desarrolla en diferentes tipos de clima: Aw cálido subhúmedo; A(C)m Semicálido húmedo; C(fm) Templado húmedo con lluvias todo el año. Requiere una precipitación anual de 1200 a 2500 mm y una temperatura entre los 12 a 26° C (Gutiérrez y Dorantes, 2004). Es susceptible al ataque de *Phassus triangularis*, un lepidóptero que en su estado

larvario barrena y se introduce en el troco del árbol alimentándose del xilema y formando galerías internas.

b. Usos y características de la madera

En México la madera del Ixpepe no recibe usos industriales, pero es usada comúnmente en la construcción rural ligera, como horcones, vigas de carga, tablas y tablones. También se utiliza para hacer muebles como mesas, sillas y como leña y carbón (Gutiérrez y Dorantes, 2004; Niembro et al, 2004; Vázquez-Yanes et al, 1999). Con la corteza se elabora un tipo de papel "amate" que en parte ha sustituido al tradicional que se extrae de *Ficus spp.* (Cruz et al, 2011). Se ha reportado potencial de uso para celulosa y en la construcción de muebles (Quintanar et al, 2012).

c. Cualidades tecnológicas

Para Bárcenas y Ordóñez (2008) la madera de esta especie tiene una densidad relativa moderadamente ligera, muy rápida para secarse, con severas deformaciones, de contracciones moderadas y de resistencia mecánica baja. Con relación al maquinado y la trabajabilidad este autor considera al ixpepe como una madera fácil de trabajar pero regular para el cepillado. También por su parte Quintanar y colaboradores (2012) demostraron que la madera de esta especie es fácil de cepillar, que la superficie terminada tiene un acabado suave sin pérdida de madera, aunque levanta fibrosidad contra el hilo, lo que se resolvió con lija sin perder material. El torneado produjo una pieza estable y sin astillamiento, es una madera a la que se le puede clavar sin presentar rajaduras y en ensambles son de fácil manufactura. Recientemente se han realizado nuevas pruebas que refuerzan el fundamento del potencial maderable que esta especie puede tener (García, et al, 2012).

Quercus xalapensis

a. Características de la especie

La duela, como se le conoce en el área de estudio es una especie monoica, perennifolia, de hasta 30 m de alto y un diámetro que alcanza los 60cm de diámetro. Presenta un tronco cilíndrico con ramas gruesas, en bosques naturales el fuste está libre de ramas en una gran proporción. Cuenta con un sistema radical profundo, amplio y extendido. En México se ha reportado en un rango altitudinal entre los 1000 y 1600 msnm (Gutiérrez y Dorantes, 2004) aunque González-Espinoza y colaboradores (2011) indican que se distribuye en un rango de elevación que oscila entre los 1400 y 2300 msnm. Cuenta con una distribución restringida principalmente en la región climática templada húmeda y subhúmeda. Requiere una precipitación entre 1,400 a 2,300 mm., tolera heladas pero su rango de temperatura óptima se encuentra entre los 12-18°C.

(Gutiérrez y Dorantes, 2004). Estos mismos autores indican que es una especie que se desarrolla sobre suelos ígneos, sedimentarios y metamórficos; así como suelos profundos de terrenos aluviales. Esta especie pertenece al subgénero *Erythrobalanus* o encinos rojos (De la Paz Pérez et al, 2000). Trelease (1924) citado por Muñiz (2008) refiere que es una madera moderadamente densa y con tasas de crecimiento más rápidas que las de los encinos blancos.

En la sucesión vegetal del BMM la duela es una especie intermedia típica del dosel del bosque maduro, pero existen reportes recientes que indican que se trata de una especie con plasticidad para sobrevivir y crecer si se siembra en sitios abiertos (Muñiz, 2008). Los frutos se dispersan por medio de la gravedad y la fauna silvestre. El árbol se propaga por semillas las cuales comienzan a germinar a los 25 días después de la siembra en una proporción de 80% cuando están recién colectadas y aplicando un tratamiento pre-germinativo de remojo durante 4 días, las semillas son recalcitrantes por lo que no se pueden almacenar (Obs. pers.). Gutiérrez y Dorantes (2004) reportan que esta especie cuenta con la capacidad para regenerarse por medio de tocón.

b. Usos y características de la madera

El uso que actualmente se da a la duela en el área de estudio y en otras regiones de México es principalmente para la fabricación de carbón vegetal, construcción rural y leña para autoconsumo y para comercializar a nivel local (Gutiérrez y Dorantes, 2004, Haeckel, 2006). Esta especie se ha recomendado para la elaboración de muebles, chapa, pisos, lambrín, juguetes, partes de instrumentos musicales, canillas, hormas para calzado, diversos tipos de recipientes y artículos torneados, escaleras y decoración en general. (De la Paz Pérez et al, 1998). Durante el año 2011 ocupó el segundo lugar de aprovechamiento legal a nivel nacional con (0.5 millones de m³ al año) después del pino (4.2 millones de m³ al año). Durante este mismo año el destino del encino fue principalmente para escuadría (39.2%), carbón (22.7), leña (18.6 %), celulósicos (10.2 %), durmientes (5.1 %) postes pilotes y morillos (4.3%) (SEMARNAT, 2011), con lo que puede corroborarse que la madera de los encinos cuenta con diferentes posibilidades de uso. De la Paz Pérez y colaboradores (2000), realizaron con perfecto detalle la descripción de los diferentes subproductos que pueden obtenerse en las diferentes etapas productivas.

c. Cualidades tecnológicas

No se encontró información específica sobre las cualidades tecnológicas de la madera de *Q. xalapensis* o duela, sin embargo, en el área de estudio los habitantes refieren que esta especie es utilizada por su resistencia y dureza en la construcción rural (aunque es mucho menos durable que el roble, *Quercus* sp), mencionan que la madera de la duela se mecaniza, clava y atornilla bien. Se tiñe y pule bien hasta obtener un buen acabado, se seca lentamente y presenta cierta posibilidad de rajarse. De la Paz Pérez y colaboradores (1998) indican que la madera no presenta

diferencia de color entre albura y duramen, de color rosa, brillo mediano, hilo recto veteado pronunciado y textura gruesa (De la Paz Pérez, 1998).

11.2. Formato de campo para toma de datos durante la instalación de bandas dendrométricas

Fecha: _____ Responsable en campo _____

Nombre del propietario. _____

Numero de sitio. _____

No. árbol	Especie	DAP	Posición social	# árboles contados con relascopio	Notas
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

11.3. Formato de campo para la medición del incremento diamétrico los sitios de monitoreo establecidos

Fecha: _____ Responsable de campo: _____ Nom. Propietario _____

No. Sitio: _____ Fecha de instalación: _____ Especie: _____

No. árbol	Ubicación: Coloque previamente aquí algún referente de ubicación que se haya anotado en el formato de instalación.	Incremento en milímetros	Observaciones
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			