

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD UNIDAD
IZTAPALAPA



Casa abierta al tiempo

**“Interpretación Dendrocronológica en Tres Especies
Tropicales en una Selva Baja Caducifolia de Morelos”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Omar Durán Guerra

Directora de Tesis: Dra. María Rebeca Quiñonez Piñón

Asesora: Dra. Paz Alejandra Quintanar Isaías

Asesor: Dr. José Villanueva Díaz

Enero 2012

La Maestría en Biología de la Universidad Autónoma Metropolitana
pertenece al Padrón Nacional de Posgrados de Excelencia del
CONACYT

El jurado designado por la División de Ciencias Biológicas y de la
Salud de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis que presentó

Omar Durán Guerra

El día 16 de Enero del 2012

Comité Tutorial

Tutor: Dra. Rebeca Quiñonez Piñón

Asesora: Dra. Paz Alejandra Quintanar Isaías

Asesor: Dr. José Villanueva Díaz

Sinodal: Dr. Arturo Quintanar Isaías

Sinodal: Dr. Alejandro Zavala Hurtado

A mis PADRES;
Por educar con libertad

Agradecimientos.

Este trabajo es por gusto y convicción, y no hubiera sido posible sin el apoyo de todas las personas que han compartido conmigo esta decisión académica.

A mi alma mater "UAM-I", por darme un tiempo y espacio, en el cual tuve la dicha de vivir plenamente la educación pública, permitiéndome libremente entender la vida como universitario, comprometiendo humanamente mi conocimiento para el bien de México.

Al CONACYT, por el apoyo económico otorgado para la realización de este trabajo.

A la Dra Rebeca Quiñonez Piñon, por aceptar mis dudas y considerarme para realizar este trabajo.

A la Dra Alejandra Quintanar Isaías; Ale, tu conocimiento conjugado con tu imaginación, interpretación, entusiasmo y ejemplo comprometido con el alumnado, te eternizan.

Al Dr José Villanueva Díaz por la confianza y apoyo en el desarrollo de mi tesis, además de ser un ejemplo para continuar con el desarrollo de la investigación dendrocronológica en México.

A la M en C Angelica Martinez y el Biól Felipe Noguéz por su tiempo y dedicación para la identificación de las especies.

A mis Amigos del laboratorio de Dendrocronología ubicado en Gómez Palacio, Durango México; M en C Julián Cerano Paredes, M en C Rosalinda Cervantes Martínez, Ing Vicenta Constante García, Ing Luis Montez y Lic Luis Cifuentes, que con su conocimiento, entusiasmo, alegría y compromiso con la investigación, aportaron de manera importante en el desarrollo de esta tesis.

A mis amigos y hoy colegas Biól. Fortunato Pérez Hernández, Biól. Luis López Yépez por su incondicional apoyo en el trabajo de campo y su fraternal amistad que se forjó en el aula de clases, la calle y el campo.

Mis camaradas de risas y llantos, de triunfos y derrotas, que aportaron más fuera de clases que dentro de ellas mis amigos Jesús Vergara Huerta, Jiro Matsumoto Soule, Moisés Andrade Herrera, Alejandro Flores Valle, Eduardo Carrasco Beltrán, Eduardo Fierro, Lilia Moran, Marisol García, Omar Vargas Hernández, Omar Mtz, Beto Bolaños (+) y Felipe Noguéz,.

Al personal académico del laboratorio de anatomía de la madera, los Biólogos: Noé Flores Hernández, José Luis, Julieta Avilés, Ana y Gilberto.

A la Sra. Elsa Zarco y el Sr Franco Martínez ahora ya mis tíos, por su apoyo incondicional y complementario durante mi Licenciatura y parte del posgrado.

A todos los miembros de mi gran familia tanto los Durán y los Guerra, en especial a mi tía Lupe quien pareciera que recibió la estafeta de mi madre para darme su amor y apoyo en la ausencia de ella, por el azar o milagro de tenerlos, gracias por su inmenso cariño y felicidad brindada.

Por último, las tres luces que siempre iluminan mi camino: Mi Madre, mi Padre y mi Hermano; Mi madre Margarita Guerra García que con su limitado tiempo en la tierra basto para sembrar en mí; amor, humildad, compromiso y fuerza. Mi padre Julio Alfonso Durán Escamilla que a pesar de la adversidad siempre se mostró alegre y firme, educando con honor y amor. Y finalmente el único y mejor Hermano; Osvaldo Durán Guerra, mi gran compañía a lo largo de mi vida ya que con su nobleza, escucha y amor carnal, la desgracia terminaba con gracia y el llanto con risas, mis tres motores de vida, infinitas gracias.

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron tres especies de selva baja caducifolia con posible potencial para estudios dendrocronológicos: *Bursera lancifolia*, *Bursera aptera*, y *Bursera morelensis*. Estas especies tienen bandas de crecimiento (anillos) distinguibles tanto a nivel visual como microscópico. Los anillos de las tres especies se caracterizaron a ambos niveles y se propuso fecharlos con métodos dendrocronológicos.

Una vez fechados los núcleos de crecimiento, se realizó un análisis dendroclimatológico, comparando datos de precipitación, temperatura promedio y la cronología de anillo total. El programa dendrocronológico de control de calidad COFECHA determinó correlaciones significativas de periodicidad de anillos en *Bursera lancifolia* indicativo de un buen codatado entre núcleos de crecimiento. En las otras dos especies se observó la formación de anillos al igual que en *Bursera lancifolia*, los cuales se delimitaron y fecharon, pero de acuerdo al COFECHA no fueron significativas, lo que puede ser debido a una alta irregularidad en crecimiento de los anillos anuales entre diferentes especímenes de la misma especie.

Se tomaron diez núcleos que codataron y diez núcleos que no lo hicieron todos procedentes de los mismos árboles. En los núcleos seleccionados se pulieron los dos cm externos que corresponden a los anillos formados recientemente (zona de la albura). Los anillos de crecimiento se identificaron a nivel microscópico y se midieron, comprobando su calidad de datado con el programa COFECHA. Los anillos analizados con el método dendrocronológico estándar y medidos con el microméetro, codataron no así los analizados con el microscopio óptico, situación que se atribuye al escaso tamaño de muestra y a la irregularidad en los crecimientos producto de madera de tensión y compresión, pues los árboles seleccionados se encontraban en una ladera.

Las tres especies estudiadas presentaron anillos de crecimiento, indicativo de su potencial para estudios dendrocronológicos.

SUMMARY

In this work we studied three species of deciduous forest with possible potential for dendrochronological studies: *Bursera lancifolia*, *Bursera aptera* and *Bursera morelensis*. These species have growth bands (rings) distinguishable both visually and microscopically. The rings of the three species were characterized at both levels and proposed dates with dendrochronological methods.

Once dated the cores of growth, dendroclimatology analysis was performed comparing rainfall data, average temperature and total ring chronology. The program quality control dendrochronological COFECHA found significant correlations of frequency of *Bursera lancifolia* rings indicative of a good CODATA between growth centers. In the other two species was observed ring formation as in *Bursera lancifolia*, which are delineated and dated, but according to COFECHA were not significant, which may be due to high irregularity in annual growth rings between different specimens of the same species.

Ten cores were taken and ten cores CODATA did not all from the same trees. In selected cores were polished both external cm corresponding to the newly formed rings (sapwood area). Growth rings were identified and measured at the microscopic level, checking the quality of the program dated COFECHA. The rings analyzed using standard dendrochronological method and measured with a micrometer, CODATA not the analyzed under the light microscope, a situation that is attributed to the small sample size and uneven growth in wood product of tension and compression, because trees were selected on a hillside. The three species studied showed growth rings, indicating the potential for dendrochronological studies.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. ANTECEDENTES	3
3.1. Estudios dendroclimáticos.....	3
3.2. Análisis de radio carbono catorce (C ¹⁴).....	7
3.3. Isótopos estables	9
3.4. Anatomía de la madera	10
4. OBJETIVOS	14
4.1. Objetivo general	14
4.2. Objetivos particulares	14
5. HIPÓTESIS	15
6. MATERIAL Y MÉTODOS	15
6.1. Área de estudio	15
6.1.1. Localización y delimitación del área de estudio.	15
6.2. Tipo de vegetación.....	16
6.3. Tipo de suelo.....	17
6.4. Hidrología.....	18
6.5. Clima	18
7. ANATOMÍA DE LA MADERA DE LAS TRES ESPECIES	19
7.1. Selección de las especies	19
7.2. Anatomía de la madera	20
7.2.1. Obtención de muestras de madera para estudiar	21
la periodicidad de anillos.....	21
7.2.2. Preparación de muestras para el Microscopio Electrónico de Barrido.....	21
7.3. Daño al cambium vascular con clavos	22
7.4 Laboratorio	23
7.4.1 Preparación de los núcleos de crecimiento.....	23
7.4.2. Conteo de anillos (Prefechado).....	23
7.4.3. Medición y calidad del prefecado de los anillos de crecimiento.....	24
7.5. Análisis estadístico	25

7.6. Análisis microscópico de los anillos de crecimiento	27
8. RESULTADOS	27
8.1. Anatomía de la madera de <i>Bursera áptera</i>	27
8.2. Anatomía de la madera de <i>Bursera lancifolia</i>	29
8.3. Anatomía de la madera de <i>Bursera morelensis</i>	31
8.3.1. Periodicidad en la formación de anillos de crecimiento	32
8.3.2. Comparación de algunas características anatómicas.	33
8.4. Análisis dendroclimático	34
8.5. Función de respuesta	36
8.6. Análisis microscópico de los anillos.....	38
8.7. Observaciones fenológicas.	40
9. DISCUSIÓN	41
9.1. Anatomía de la madera	41
9.2. Análisis dendrocronológico.	45
9.3. Comparación de dos técnicas para determinar el ancho de anillos.	48
10. CONCLUSIONES	50
11. RECOMENDACIONES FINALES	51
12. LITERATURA CITADA	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio en Puente de Tierra, Valle de Vázquez, Morelos	16
Figura 2. Diagrama ombrotérmico de Valle de Vázquez, en gris se observa la temperatura promedio y en blanco la precipitación promedio del año 1976 al 2009 de la estación Nexpa del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2009).	19
Figura 3. Etapas del proceso metodológico: Herida del árbol (A), toma de muestra con taladro de pressler (B), sistema de medición VELMEX empleado para medir el ancho de anillo (C), montado de muestras en molduras de madera (D), pulido de muestras (E) y gráficos que permiten comparar patrones de crecimiento entre diferentes muestras (F).	26
Figura 4. Sección transversal de la madera de <i>B. aptera</i> . Poros múltiples radiales (MR), poros solitarios (PS) y fibras radialmente comprimida (FRC). b. se observan las punteaduras intervasculares (PI). c. radios multiseriados (RM). Canales gomíferos dobles en radios (CGR). d. corte transversal presencia de tilides (T). e. sección radial elementos del vaso con placas perforadas simples (PPS).....	29
Figura 5. Sección transversal de la madera de <i>B. lancifolia</i> Poros solitarios (PS) y anillo de crecimiento. b. Sección tangencial. punteaduras vasculares en los campos de cruzamiento c. Detalle de cristales romboidales (Cr). d. Sección transversal. Porosidad difusa y poros múltiples radiales (MR) y diagonales (MD). e. Radios multiseriados (RM) con canales gomíferos (CG).	30
Figura 6. Sección transversal de madera de <i>B. morelensis</i> . con poros solitarios y múltiples radiales b. placa perforadas simples (PPS) c. Corte tangencial. Punteaduras intervasculares areoladas alternas. d. corte tangencial radios multiseriados con canales	

gomíferos. f. fibras septadas.	32
Figura 7. Inicio del crecimiento a partir de la presencia de lluvias, 7 b reducción de vasos y fibras en respuesta a la ausencia de agua.	33
Figura 8. Cronología residual de ancho de anillo (IAA) para la especie <i>B. lancifolia</i> en Valle de Vázquez, Morelos. La línea roja representa la variabilidad interanual y la azul la curva suavizada(Spline) de eventos de baja frecuencia.	36
Figura 9. Asociación entre el índice de ancho de anillo total y precipitación estacional acumulada observada para el periodo enero-mayo, que comprende el intervalo de 1976 – 2001.	37
Figura 10. Datos de Temperatura media estacional (enero- marzo) de la estación Nexpa al compararse contra el índice de ancho de anillo de la cronología residual. ...	38
Figura 11. <i>Bursera lancifolia</i> (Burseraceae) se observa que los anillos de crecimiento están delimitados por fibras radialmente comprimidas, las flechas negras marcan el límite de un anillo.	39
Figura 12. Medidas obtenidas con la medición al microscopio línea azul, y las obtenidas con el micrómetro línea roja.....	40

1. INTRODUCCIÓN

México se caracteriza por poseer una gran diversidad de ecosistemas, resultado de su compleja fisiografía, su amplia variedad de climas regionales (García, 2004), así como su posición geográfica que conecta el norte con el sur del continente americano, mismos que albergan diferentes tipos de vegetación y que soportan una amplia diversidad florística. Sin embargo, a pesar de contar con diferentes tipos de vegetación y distintas especies arbóreas, la mayoría de los estudios dendrocronológicos, se han centrado en especies de gimnospermas, principalmente en el norte y centro del país (Villanueva, 2003). En el sur de México existen pocos trabajos dendrocronológicos, y en particular para selva baja caducifolia, por la idea falsa de que las especies tropicales no forman verdaderos anillos de crecimiento anual (Stahle, 1998 et al), por tal razón, el terreno es tan amplio para realizar este tipo de investigación, debido a que se han desarrollado pocos estudios en las zonas tropicales de México y se desconoce el potencial dendrocronológico de muchas especies. En este trabajo, se plantea indagar sobre el estudio de especies tropicales a nivel anatómico y microscópico para detectar nuevas especies que ayuden a expandir los estudios dendrocronológicos escasos en estos ecosistemas.

La investigación dendrocronológica, ha contribuido a la solución de problemas de índole ecológico, hidrológico, climático y arqueológico (Villanueva, 2000). Por ejemplo en México se han desarrollado cronologías de

anillos de coníferas en las regiones norte y noreste, que detectan a escala mundial la señal mas intensa del Niño/ Oscilación del Sur (Stahle et al.,1998, Díaz et al ,2002, Villanueva., et al., 2009).

En este estudio se realizó un análisis dendrocronológico con tres especies de *Bursera* pertenecientes a una selva baja caducifolia, del estado de Morelos y se compararon los resultados a nivel microscópico con anillos fechados con métodos dendrocronológicos estándar (Fritts,1976).

El objetivo de esta investigación es analizar el potencial dendrocronológico de tres especies del genero *Bursera* presentes en una región subtropical, con el fin de ampliar el abanico de nuevas especies de utilidad para determinar aspectos dinámicos, potencial de crecimiento y climáticos.

2. JUSTIFICACIÓN

La superficie vegetal que cubre las selvas bajas caducifolias es de aproximadamente 8 % del territorio de la república mexicana (Rzedowski, 1981) y alberga gran diversidad de especies de flora y fauna, además de que cuenta con especies maderables, que se desconoce su potencial dendrocronológico para realizar diagnósticos de la vegetación y proyecciones en el tiempo sobre el clima.

Con la aplicación de técnicas dendrocronológicas, se pretende investigar el potencial de nuevas especies tropicales, que sean de utilidad para hacer estudios dendroclimáticos en selvas bajas caducifolias. A partir de esta exploración, se pretende conocer y proponer nuevas líneas de investigación,

en las cuales logremos analizar la influencia del clima en el crecimiento radial, determinar el efecto de eventos hidrolimáticos extremos en el crecimiento y desarrollar otras aplicaciones ecológicas tales como aspectos de dinámica forestal, competencia inter e intraespecífica, y otros aspectos de fisiología.

Uno de los propósitos de analizar nuevas especies en ecosistemas de climas tropicales, es la importancia de promover los estudios dendrocronológicos en estos ecosistemas y ampliar el número de especies con potencial para desarrollar este tipo de estudios en México

3. ANTECEDENTES

3.1. Estudios dendroclimáticos

Existen estudios dendrocronológicos en zonas templadas con los cuales se ha integrado una base de datos para estudios paleoclimáticos. Por ejemplo, Fuster (2007) desarrollo cronologías con la especie *Abies pinsapo* (Spanish Fir), y Saz (2001) en Europa realizó una reconstrucción climática con diversas cronologías de pinos. En México se han generado diversas reconstrucciones climáticas con anillos de crecimiento; entre estas reconstrucciones se encuentran las de precipitación, (Díaz, et al 2002, Cleaveland et al., 2003, Cerano et al., 2009, 2010, 2011; Villanueva et al.,2005, 2007, 2009, 2010);índice de severidad de sequía de Palmer, para la parte norte de sonora (Villanueva-Díaz,1996; Villanueva-Díaz y McPherson, 1995; Villanueva-Díaz y McPherson, 1996). Un trabajo interesante realizado por Douglas en 1980, ayudó a reconstruir variaciones en la temperatura de la

superficie del mar en el Océano Pacífico apoyándose en cronologías regionales de los Estados de California (Estados Unidos) Baja California, Chihuahua y Durango (México). También Bernal y Terrazas (2000) realizaron un estudio representativo de la respuesta de los árboles al clima al investigar la influencia del clima sobre la variación radial en *Abies religiosa* (Kunth) Schltl & Cham., en la reserva especial de la Biosfera Mariposa Monarca, ubicada en la Sierra el Campanario en el estado de Michoacán, estudio en el que encontraron que las temperaturas máximas afectan tanto el ancho de los anillos de crecimiento, como el diámetro tangencial de la traqueida y el diámetro tangencial del lumen en la madera tardía y en madera temprana, y sugirieron que el periodo de actividad cambial está en función de las temperaturas máximas del sitio.

Así también, la dendrocronología ofrece la oportunidad de reconstruir la historia hidroclimática en una región. Tal es el caso del trabajo realizado por Villanueva et al. (2009), en la sierra de Zapalinamé en el estado de Coahuila, al utilizar *Pinus cembroides* (Zucc.) y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. para determinar el crecimiento anual como un “proxy” de la variabilidad hidroclimática, analizando a su vez el efecto que esta variabilidad climática ha generado en aspectos económicos y sociales para el estado de Coahuila.

En el suroeste de Chihuahua un estudio realizado por Cerano et al. (2009), logró una reconstrucción de 350 años de precipitación, con base en los anillos de crecimiento de *Pseudotsuga menziesii*, así como un análisis de la variabilidad hidroclimática en el tiempo. Estos estudios pertenecen a zonas templadas y son confiables porque los árboles cuentan con anillos de

crecimiento distinguibles (Roig, 2000).

En bosques templados, los anillos de crecimiento de coníferas están claramente definidos por traqueidas de mayor tamaño en la madera temprana y de menor en la madera tardía. Esto es una diferencia remarcable con las maderas tropicales, en las cuales la delimitación del anillo de crecimiento puede estar dada por estructuras celulares como parénquima marginal y fibras de paredes más gruesas o aplanadas en dirección radial (Carlquist, 1988); y por tanto, los anillos de crecimiento no son totalmente distinguibles a simple vista en maderas tropicales. Es muy probable que por esta razón los estudios dendrocronológicos en zonas templadas sean más comunes en comparación con zonas tropicales.

Los estudios dendrocronológicos reportados en regiones tropicales y subtropicales son escasos (Boninsegna y Villalba 1996; Villalba, 2000). Una de las razones es que existe la idea entre la comunidad académica y científica, de que los árboles tropicales no forman anillos anuales definidos, por la carencia de una estacionalidad marcada principalmente en bosques más próximos al Ecuador. Esta idea predominó por mucho tiempo con base en la hipótesis de un crecimiento continuo de la masa vegetal. A su vez Dave y Rao (1982) y Borchert, (1999) mencionan que en latitudes tropicales los árboles usualmente no presentan anillos de crecimiento *distinguibles*, debido a que el cambium vascular permanece activo todo el año o gran parte del mismo. Pero gracias a otros investigadores (anatomistas de la madera así como dendrocronólogos), ha cambiado la idea de la sola expresión de crecimiento continuo en los trópicos, viendo que en ambientes tropicales, se

producen ciclos de crecimiento en respuesta a variaciones estacionales del clima (Roig, 2000). Se ha demostrado con información de anatomía de la madera que los árboles tropicales, forman anillos de crecimiento definidos y distinguibles por distintas características anatómicas, mismas que han servido como herramienta para interpretar ritmos de crecimiento en algunos árboles tropicales (Jacoby, 1989; Detienne, 1989; Brienen *et al.*, 2006; Lisi *et al.*, 2008), tasas de crecimiento y edades en árboles (Borman y Berlin, 1981; Vetter y Botosso, 1989; Worbes, 1989; Boninsegna *et al.*, 1989), lo cual permite realizar una prospección de los ecosistemas tropicales con relación a clima, hidrología y fenología.

Worbes (1995) revisó los diferentes métodos utilizados para calcular dinámica de crecimiento en especies tropicales, clasificando y separando entre métodos destructivos (i.e. colección y preparación de muestras, anatomía de la madera, conteo de anillos en árboles de edad conocida, heridas al cambium o ventanas de Mariaux, datación con radiocarbono, cicatrices de fuego, análisis del ancho de los anillos, densitometría con Rayos X e isótopos estables) y métodos no destructivos (i.e. investigaciones fenológicas, bandas dendrométricas y la actividad cambial con sigómetro). Menciona que es urgente aplicar estos métodos en investigaciones para zonas tropicales, dichos métodos han sido útiles los estudios dendrocronológicos y dendroclimáticos en zonas templadas pudiendo ser útiles también para zonas tropicales.

A continuación se detallan algunas de las técnicas que se han utilizado en estudios dendroclimáticos.

3.2. Análisis de radio carbono catorce (C¹⁴)

El análisis de radiocarbono es una técnica de fechado que produjo, resultados confiables para analizar tasas de crecimiento en árboles del bosque del Amazonas (Mozeto et al., 1988). Comparativamente al método dendrocronológico este método es más complicado, y el análisis se fundamenta en el efecto de armas nucleares (Cain y Sues 1976). El efecto del radiocarbono se duplicó gracias a las explosiones atómicas que ocurridas en las décadas de 1950 y de 1960, y gracias al intercambio con la superficie del océano, el nivel del C¹⁴ del aire, ha decrecido paulatinamente y cada planta incorpora radiocarbono en la misma concentración presente en el aire, lo que permite determinar la edad de una zona de crecimiento de cualquier árbol, que creció entre 1950 y el presente. Por análisis de radiocarbono, Worbes y Junk (1989) encontraron en *Tapirira guianensis* Aubl., una especie de la gran Sabana en Venezuela, zonas de incremento extremadamente finas, así como la formación de anillos anuales, que se atribuyen a la estacionalidad. Además, determinaron la edad exacta en 9 familias de maderas tropicales (Annonaceae, Aquifoliaceae, Bombacaceae, Connaraceae, Lauraceae, Moraceae, Caesalpiniaceae, Fabaceae y Sapotaceae) indicando que se requiere un análisis de observación muy cuidadoso a nivel micro y macroscópico.

Con el análisis de radiocarbono C¹⁴ y otros métodos, se ha encontrado la presencia de anillos de crecimiento anual en árboles tropicales (Coster, 1927; 1928; Berlage, 1931; Mariaux, 1981; Devall et al., 1995; Drew, 1998;

Worbes, 1999; Dunisch *et al.*, 2002; Worbes *et al.*, 2003). y conjuntamente con la anatomía de la madera en un bosque tropical muy húmedo en Costa Rica, se determinaron anillos de crecimiento anual rítmico al menos para ocho especies de las familias Annonaceae, Burseraceae, Mimosaceae, Papilionaceae, Olacaceae y Simaroubaceae, (Fichtler, 2003).,situación que demostró que no es necesario que los árboles tropicales experimenten temporadas de secas y lluvias para marcar anillos de crecimiento.

Con esta técnica de C^{14} se determinó la edad exacta de especímenes de *Eusideroxylon zwageri* (Teysm. & Binnend), perteneciente a la familia Lauraceae, una especie tropical, ubicada en Sumatra, archipiélago de Sulu y Palawan en Filipin (Kurokawa., *et al* 2003), la edad de los individuos longevos fluctuó entre 400 a 1000 años; no obstante, se indica que el método no es lo suficientemente preciso como para desarrollar reconstrucciones paleo climáticas, resultados similares fueron encontrados por Nakamura *et al* (2007), en núcleos de robles, extraídos de pilares de maderas pertenecientes a ruinas de una antigua residencia, que se remonta alrededor de 2,500 años en un sitio arqueológico ubicado en el pueblo de Kajikawa-mura al sur de Japón, logrando determinar edades exactas en los núcleos de los pilares de madera.

El análisis de radiocarbono C^{14} , ha sido útil para encontrar ritmos de crecimiento, edades exactas, presencia de anillos de crecimiento, zonas de incremento y tasas de crecimiento de árboles tropicales y de zonas templadas. Inclusive también ha ayudado a datar sitios arqueológicos que han sido construidos con vigas o pilares de madera (Nakamura *et al.*, 2007). Esta

es una herramienta muy precisa que evidencia la presencia de anillos de crecimiento en árboles tropicales, vislumbrando la tarea pendiente por hacer en zonas tropicales y templadas de México.

3.3. Isótopos estables

Otro de los métodos utilizados para estudios dendrocronológicos es mediante, isótopos estables. Por ejemplo, Mc Carroll (2004) en una revisión que elaboró sobre isótopos estables en anillos de crecimiento de árboles, menciona que en la madera los tres elementos principales son Carbono (C), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), dichos elementos tienen más de un isótopo estable, por ejemplo el C tiene dos isótopos estables el ^{12}C y ^{13}C cada uno con seis protones, pero con seis o siete neutrones. Estos isótopos tienen casi propiedades químicas idénticas pero diferente masa, permite que sucedan procesos químicos, físicos y biológicos para discriminar a uno de ellos, lo que coincide con una señal del medio ambiente. Así, el C de cada uno de los anillos de crecimiento anual proviene del CO_2 del aire, y en el caso del H y O, del agua ya sea por humedad del suelo o precipitación, los primeros valores de registros isotópicos en anillos de los árboles no es simplemente como muestras de aire antiguo o agua, si no como bioindicadores sensibles, de la forma en que los componentes del aire y el agua han sido modificadas por los árboles, en respuesta a los entornos en los que vivían. Estos pequeños cambios expresados en variaciones en las relaciones isotópicas, proporcionan un archivo para la reconstrucción de los ambientes del pasado. Esta técnica ha sido más utilizada en especies templadas. Un ejemplo es el trabajo de Srur

(2008), quien, por medio de la combinación de técnicas dendrocronológicas e isotópicas, logró evaluar las relaciones entre las variaciones en el clima y en la concentración de CO₂, en el crecimiento radial y la eficiencia en el uso del agua en los bosques. Su trabajo fue desarrollado a lo largo de un gradiente altitudinal en El Chaltén, Santa Cruz, Argentina y utilizó la especie *Nothofagus pumilio* (Poepp & Endl), que es una especie leñosa, dominante en los bosques subandinos. Roig et al. (2006) utilizaron también isótopos estables para realizar un estudio, en anillos de crecimiento en los árboles de una zona templada, a partir del O¹⁸ para realizar cronologías de anillos en la especie *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Florin et Bout. en el noreste de la Patagonia. El registro de isótopos abarca de 1890 a 1994, y encontraron correlaciones significativas de las temperaturas del aire de verano con los valores de O¹⁸ en anillos de los árboles de *Austrocedrus chilensis*. La técnica de isótopos estables ofrece una nueva alternativa para realizar estudios dendroclimáticos, relacionando señales isotópicas con la respuesta de los árboles al clima.

3.4. Anatomía de la madera

La anatomía de la madera en especies tropicales es necesaria para definir estructuras y zonas de crecimiento (Coster, 1927; Bormann y Berlyn, 1981; Worbes, 1989) las cuales ayudan a definir el borde de un anillo de crecimiento. Coster (1927) encontró que es posible definir cuatro tipos básicos de formación en crecimiento de anillos: La primera y más común es una zona de crecimiento, marcada por distintos rayos de fibras con diámetros radiales reducidos y engrosamiento de las paredes, esto resulta en una

diferencia distintiva como madera temprana y madera tardía, como puede ser visto en familias como Annonaceae, Lauraceae y Euphorbiaceae entre otras. Un segundo criterio es la identificación de bandas de parénquima marginal uniseriados o multiseriados, que son normalmente más evidentes en algunas Leguminosas y Euphorbiaceae. Otro carácter anatómico de las zonas de crecimiento está caracterizado por patrones periódicos, alternando bandas de fibra y de parénquima; puede ser visto en Sapotaceae, Moraceae, Euphorbiaceae, Lecythidaceae y la estructura de poros en anillos. Cabe mencionar, que la gran diversidad de especies de árboles en los trópicos está correlacionado con una diversidad similar en la estructura de las maderas (Worbes, 1989). Gracias a investigaciones sobre la anatomía de la madera se ha logrado conocer la estructura celular de algunas especies tropicales, a pesar de la gran diversidad de especies. Por ejemplo Koriba (1958) encontró en Malasia que el 15 % de las especies presentan un crecimiento continuo, mientras que el resto evidencia algún tipo de crecimiento periódico. Para los bosques lluviosos del Amazonas, el 43 % de los árboles muestran anillos de crecimiento (Alvim, 1964), y, para la India lo presenta el 25% (Chowdhury, 1961), con un porcentaje similar en el trópico húmedo de Argentina (Roig y Delgado, 1996).

Con relación a la anatomía de la madera, también se sabe que el cambium vascular es el responsable de la formación de tejidos vasculares secundarios (Mauseth, 1988; Raven, 2005). La actividad de este tejido, puede ser temporalmente asincrónico gracias a factores de estacionalidad, o a factores fenológicos (Coster, 1927, 1928; Détienne y Mariaux, 1977; Bormann

y Berlyn, 1982; Baas y Vetter, 1989; Jacoby, 1989; Roig, 2000; Lisi *et al.*, 2008). Los estudios centrados sobre la actividad cambial, han ayudado a determinar si el crecimiento es continuo o discontinuo en los árboles tropicales, y los datos obtenidos son de gran importancia para estudios dendrocronológicos pues ayudan a determinar la periodicidad en la formación de anillos de crecimiento; caso concreto son estudios en el sureste de Brasil, donde al estudiar 24 especies en un bosque semideciduo para analizar el comportamiento en crecimiento, se realizaron estudios de anatomía de la madera, observación de actividades fenológicas y conteo de anillos de crecimiento. Los resultados indicaron que la gran mayoría de las especies analizadas mostraron anillos periódicos y fácilmente distinguibles, excepto para *Astronium graveolens* Jacq, *Colubrina glandulosa* Perkins. y *Guazuma ulmifolia* Lam, donde las características anatómicas fueron poco visibles.

Una importante aportación en este trabajo sobre el bosque semideciduo en Brasil, es la combinación de técnicas para evaluar el comportamiento de crecimiento en árboles tropicales (Lisi, et al. 2008).

La realización de estudios dendrocronológicos en países como Brasil, Venezuela, Perú, India, Java, han demostrado la posibilidad de obtener resultados satisfactorios con base a la caracterización de la anatomía de la madera (Devall et al.,1995; Schweingruber, 1996; Zumaeta et al., 2009).

En los últimos 20 años se ha observado un crecimiento notorio en investigaciones dendrocronológicas en Sudamérica, en Brasil (Détienne y Mariaux 1970; Détienne, 1976); Vetter y Botosso 1989; Worbes, 1989; Détienne, 1989; Worbes, 1995; Lisi et al.,1999; Mattos, 1999; Tomazello y

Worbes, 1998; Tomazello Filho y Cardoso 1999, Tomazello Filho et al., 2001), Bolivia (Brienem y Zuidemman 2003; Brienem,2005) y Perú (Rosero, 2009).

En el caso de México, aunque existen algunos trabajos en zonas tropicales, estos son escasos. Así, sólo se tiene registro de un estudio realizado en la península de Yucatán para caracterizar la madera de 52 especies tropicales y determinar la formación de anillos de crecimiento y su potencial dendrocronológico (Roig et al., 2005). En esta investigación, se determinó que cerca del 35% de los taxa analizados presentaron anillos de crecimiento distinguibles, 52 % presentaron anillos de crecimiento distinguibles con dificultad, y casi el 88.5 % de las maderas presenta porosidad difusa similar a la tendencia general para las maderas tropicales Brasileñas (Metcalf y Chalk, 1983; Alves y Angyalossy-Alfonso, 2000).

En otros estudios, se analizó la presencia y periodicidad de anillos de crecimiento en la madera de tres especies arbóreas con importancia comercial: *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Tabebuia donnell-smithii* Rose y *Cordia elaeagnoides* D.C., encontrando que estas tres especies, muestran anillos de crecimiento delimitados por fibras aplanadas con paredes gruesas en madera tardía para *Bursera simaruba*, por fibras aplanadas con paredes gruesas y mayor densidad de vasos con diámetros pequeños en madera tardía para *T.donnell smithii*, y por un mayor número de vasos en madera tardía y aparentemente por parénquima marginal para *C. elaeagnoides* (López Ayala et al., 2006). De la revisión anterior se concluye que es importante desarrollar investigaciones en México en los diferentes tipos de vegetación tropical, para realizar estudios anatómicos sobre la madera, y contar con especies que

tengan potencial dendrocronológico para estudios paleoclimáticos ecológicos, hidrológicos, entre otros. La escasa investigación en los ecosistemas tropicales para México, y la intervención constante del hombre sobre estos ecosistemas, es una razón más para continuar en la búsqueda de especies maderables tropicales, que respondan a factores como el clima, con el fin de realizar inferencias o modelaciones que nos permitan conocer el comportamiento del clima a partir de los anillos de crecimiento en las zonas tropicales.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Utilizar la dendrocronología en especies tropicales y comparar sus resultados con la técnica de distinción de anillos a nivel microscópico.

4.2. Objetivos particulares

- Caracterizar la formación de anillos de crecimiento en tres especies de *Bursera* a partir de la anatomía de la madera, (descripción anatómica de la madera).

- Evaluar la relación entre el clima y los crecimientos anuales de las especies de interés.

- Comparar y determinar la precisión en la identificación y medición de anillos de crecimiento con la técnica estándar tradicional en comparación a la técnica propuesta.

5. HIPÓTESIS

En especies arbóreas de selvas bajas caducifolias, si la actividad del cambium vascular responde directamente a factores climáticos como temperatura y precipitación, entonces la caracterización de la actividad estacional del cambium se considera viable para estudios dendrocronológicos.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

6.1.1. Localización y delimitación del área de estudio.

En el municipio de Tlalquiltenango, localidad Valle de Vázquez del Estado de Morelos, se delimitó un transecto de 60 m (metros) de ancho por 250 m de largo, sobre una ladera con orientación al norte en el cerro Puente de tierra (18°30'08.1" de Latitud N y 99°05'10.9" de Longitud W, Figura 1). El transecto fue geoposicionado con equipo GPS(GPSMAP 60CSx, Garmin), y se delimitó con estacas de color naranja colocadas aproximadamente cada 20 m para su fácil ubicación. El área de estudio se encuentra a una altura de 1019 msnm, limita al Norte con Tlaltizapán , Ayala y Tepalcingo, al Sur con los Estados de Guerrero y Puebla, al Oeste con Zacatepec, Jojutla y Puente de Ixtla, y al Este con Tepalcingo. En la parte Norte del transecto se ubica la carretera federal rumbo a Chimalacatlán. En los alrededores del sitio de muestreo se presenta arroyos superficiales así como mantos freáticos, que

desembocan en los ríos principales Cuautla y Amacuzac.

A una distancia aproximada de 50 m en la parte sur fuera del transecto existen veredas, brechas y caminos de terracería.



Figura 1. Área de estudio en Puente de Tierra, Valle de Vázquez, Morelos

6.2. Tipo de vegetación

La zona en donde se encuentra el área de estudio, corresponde a un bosque tropical caducifolio (Rzedowski,1988), que conocemos como selva baja caducifolia. No existe un estudio particular sobre los tipos de vegetación del Municipio Valle de Vázquez, sin embargo, estos son similares a los que mencionan Rzedowski (1988), y Pennington y Sarukhan (2005) para selva baja caducifolia. De acuerdo a estos autores y observaciones personales, la altura de la vegetación es normalmente de 4 a 10 m, y se observaron algunos

individuos hasta de 15 m. Las especies pierden sus hojas durante un periodo de 5 a 7 meses, lo cual provoca un contraste visible en la fisonomía de la vegetación entre la temporada seca y de lluvias (Pennington y Sarukhán 2005).

Dentro del sitio de muestreo se observa una vegetación secundaria, compuesta por un estrato herbáceo reducido que retoña o germina después de que inicia la época de lluvias. Existen plantas epífitas que son pequeñas bromeliáceas como *Tillandsia* spp. Existen también cactáceas de los géneros *Agave*, *Opuntia*, *Stenocereus* y *Cephalocereus* (Pennington y Sarukhán 2005). También se observan arbustos de *Acacia* spp, *Prosopis* spp y *Alvaradoa amorphoides* (Observación personal). En el estrato arbóreo dominan individuos de la familia Burseraceae junto con algunos elementos de *Lysiloma* spp, así como de *Haematoxylum brasiletto* entre otros.

6.3. Tipo de suelo

El paisaje presenta un relieve montañoso y el terreno es pedregoso, con suelos someros, arenosos o arcillosos con un fuerte drenaje superficial (Pennington y Sarukhán 2005). Los suelos pueden ser pobres o ricos en materia orgánica y de colores claros u oscuros, rojizos, amarillentos, grisáceos, cafés o negros. Los suelos son derivados de roca madre de origen ígneo, metamórfico y también en ocasiones de rocas sedimentarias (Rzedowski, 1988).

6.4. Hidrología

A los alrededores del sitio de muestreo se presentan arroyos superficiales así como mantos freáticos, que desembocan en los ríos principales Cuautla y Amacuzac.

La cuenca del Rio Grande de Amacuzac es la que ocupa la mayor parte del Estado con una superficie dentro del estado 4,303.30 Km² . Su corriente principal es uno de los afluentes más importantes del Río Balsas y se origina en las faldas del volcán Nevado de Toluca, a una altitud de 2600 m.s.n.m. Los principales aprovechamientos de aguas subterráneas del estado de Morelos provienen de manantiales y en menor escala de pozos y norias, aunque estos últimos cada día se van incrementando, debido a la demanda poblacional.

6.5. Clima

La precipitación anual es de 1200 mm como máximo, y un promedio anual de 800 mm; la temperatura media anual supera los 20 °C. (Pennington y Sarukhán 2005). La temperatura más alta se registra en algunas depresiones interiores y no necesariamente al nivel del mar (Rzedowski, 1988).

De acuerdo a la clasificación de García (2004), el tipo de clima más común para una selva baja caducifolia es el Aw (clima caliente subhúmedo con lluvias en verano), siendo este clima el que predomina en la zona de estudio. Este tipo de clima se caracteriza por presentar una larga temporada

seca que varía de 5 a 7 meses, iniciando en Diciembre y finalizando en Mayo (Figura 2). Para desarrollar el diagrama ombrotérmico se consideraron los datos de temperatura y precipitación, período 1976 – 2008, de la estación Nexpa (18° 31' 12" LN y 99° 8' 42" WG; 795 msnm), del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

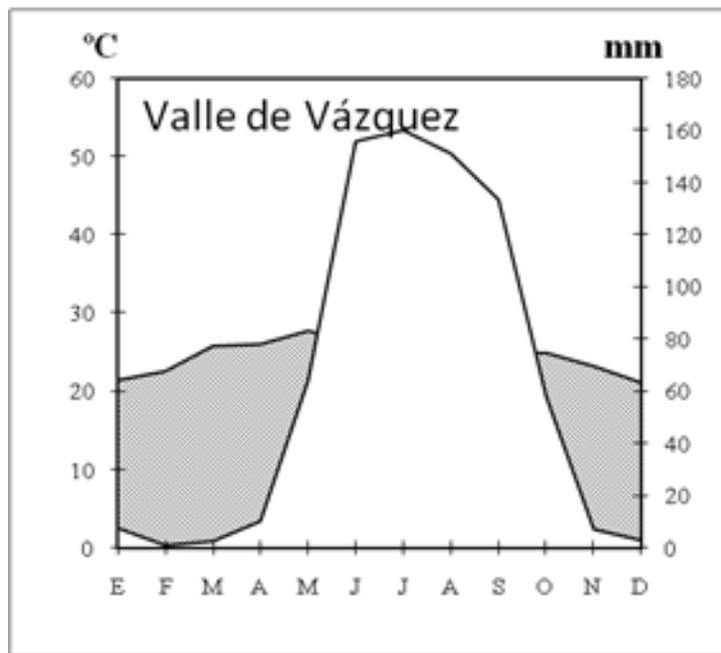


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de Valle de Vázquez, en gris se observa la temperatura promedio y en blanco la precipitación promedio del año 1976 al 2009 de la estación Nexpa del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2009).

7. ANATOMÍA DE LA MADERA DE LAS TRES ESPECIES

7.1. Selección de las especies

Las especies que se estudiaron son: *Bursera aptera* Ramirez (palo yerbador), *B. lancifolia* Schltld (palo verde) y *B. morelensis* Ramirez (palo

colorado). y están bien representadas dentro del transecto. Las especies estudiadas son caducifolias por lo que se consideró que formarían anillos de crecimiento anual distinguibles (Coster, 1927, 1928; Détienne y Mariaux 1977; Bormann y Berlyn 1982; Baas y Vetter. 1989; Jacoby. 1989; Roig. 2000; Lisi et al., 2008). La identificación de las especies se realizó mediante material colectado en campo, con claves taxonómicas y el apoyo de la M en C. Angélica Martínez Bernal, de la Universidad Autónoma Metropolitana. Los individuos seleccionados tuvieron un diámetro a la altura del pecho (DAP) superior a 10 cm.

La fenología de las especies se realizó durante ocho visitas que iniciaron en Julio del 2009 y finalizaron en junio del 2010, al sitio de estudio, considerando los siguientes aspectos: observación personal, entrevistas a gente nativa de la zona con relación a los, periodos de floración, emergencia de hojas y meses de caducidad de los elementos florísticos que componen la selva de esa zona.

Se calculo el índice de vulnerabilidad de acuerdo a la ecuación $I.V.= (\text{diámetro de vaso}) (\text{numero de vasos})^{-1}$. (Hacke et al, 2001).

7.2. Anatomía de la madera

En el mes de julio del año 2009, se muestreó la madera de tres árboles externos al transecto de las especies seleccionadas.

De cada árbol seleccionado se extrajeron con un cuchillo ancho, porciones de 2 x 3 cm de área y de profundidad de 3 cm aproximadamente a la altura del

pecho. Estas muestras se fijaron en FAA (en formol, ácido acético y alcohol solución 1:1:1) para su transporte y conservación en el laboratorio, donde las muestras se redimensionaron en cubos de medio centímetro de lado, se lavaron con agua destilada al vacío e incluyeron en una solución de PEG al 5%. Posteriormente se obtuvieron secciones radiales, tangenciales y transversales de 20 micras de grosor en un criostato marca Leica a -20 C °. Las secciones se deshidrataron y tiñeron en azul alciano y rojo safranina (Ruzin, 1998). Las muestras se montaron en resina Entellan. La descripción de los caracteres anatómicos microscópicos de la madera se hizo acorde al procedimiento descrito por el Comité de la IAWA (1989), y para los radios, se hizo de acuerdo con lo propuesto por Kribs, (1968).

7.2.1. Obtención de muestras de madera para estudiar la periodicidad de anillos.

Los mismos árboles seleccionados para los estudios anatómicos, fueron muestreados con un punzón en la zona dañada por la extracción de los cubos (Figura 3A). Estas nuevas muestras se prepararon para observar la reparación de los tejidos dañados. Con estas muestras se estudiaron las evidencias anatómicas de la periodicidad del anillo de crecimiento, usando el microscopio electrónico de barrido y el de luz.

7.2.2. Preparación de muestras para el Microscopio Electrónico de Barrido.

Las muestras se fijaron en glutaraldehído al 2.5% durante 48 horas. Se

lavar con buffer de fosfatos y se postfijaron con tetraóxido de osmio por 2 horas. Se volvieron a lavar con buffer y se deshidrataron con alcoholes graduados hasta absoluto. Se llevaron a punto crítico, se montaron en platinas y bañaron en oro. Las imágenes se obtuvieron en un Geol y observaron a varios aumentos: 100,200 y 500 μm por 25, 100 y 250 x.

7.3. Daño al cambium vascular con clavos

En julio del 2009 a diez individuos de las especies seleccionadas se les dañó el cambium vascular de acuerdo con lo propuesto por (Koriba, 1958; Kuroda, 1984; Shiokura;1989).

En cada punto cardinal de cada árbol se colocó un clavo de hierro de 5 cm de largo a la altura del pecho (1.30m).

En mayo del 2010, se obtuvieron nueve núcleos de crecimiento por árbol empleando un taladro de Pressler de 5.1 mm de diámetro interno y 40.64 cm de longitud. Por cada punto cardinal se obtuvieron el siguiente número de núcleos: dos al Norte, dos al Sur, dos al Este y dos al Oeste, sumando en total 8 núcleos. Cuatro de estos núcleos (ND)¹se extrajeron donde los clavos se habían insertado. Otros cuatro (NND)²se extrajeron a 15 cm por debajo del daño. En la parte norte se extrajo un noveno núcleo (N9)³,15 cm por arriba del daño procurando que el taladro entrara en ángulo recto con respecto al núcleo del clavo en el árbol (Figura 3B). Los orificios

1 ND = núcleo dañado
2 NND =núcleo no dañado
3 N9 =núcleo nueve

ocasionados por la extracción de núcleos fueron sellados con cera de Campeche para evitar una infección de patógenos. Los ND se utilizaron para definir la periodicidad de los anillos de crecimiento, los NND y el N9 para el estudio dendrocronológico.

Todos los núcleos de crecimiento extraídos se guardaron en popotes previamente sellados en uno de sus extremos quedando la corteza hacia la porción abierta del popote. El extremo se cerró engrapándolo.

7.4 Laboratorio

7.4.1 Preparación de los núcleos de crecimiento.

Los núcleos de crecimiento de todos los árboles de *Bursera*, fueron colocados en soportes de madera pegándolos con resistol blanco; cuidando que el hilo de la madera quedara vertical para distinguir con claridad los límites entre bandas y el límite del anillo de crecimiento (Figura 3D).

El lijado se hizo con una pulidora de motor modelo 6"Belt and 9" Disc Sander Model: MM2315 Capacity: Ø 228 mm 152 mm, con una lija de 400 sobre los núcleos montados en las molduras. Después se realizó un pulido con lija áspera en secuencias de número 120, 220 y 320. (Figura 3E). Finalmente para el acabado se aplicaron lijas mas suaves en granos de 800, 1000, 1200 y 1500.

7.4.2. Conteo de anillos (Prefechado).

El prefecado tiene como objetivo encontrar un patrón de crecimiento

entre diferentes árboles de manera subjetiva empleando el grosor de cada anillo de crecimiento presente en cada viruta o incremento (Stokes y Smiley, 1968; Swetnam et al., 1985). Esto se logra representando cada año o anillo de crecimiento en un papel milimétrico de 2x2 mm, en el que cada década consta de 20 mm. En el gráfico se enfatizan los anillos más delgados al dar un valor más grande a este tipo de crecimientos y cuando en alguna década aparecen anillos muy gruesos se marcan en el papel milimétrico con alguna letra que puede ser G de grande o B de big. Con este patrón se aprecia subjetivamente bajo qué condiciones climáticas han crecido estos árboles. Esta técnica se conoce como Skeleton Plot y es de aplicación básica dentro de la dendrocronología (Figura 3F).

7.4.3. Medición y calidad del prefchado de los anillos de crecimiento.

En la sección transversal de cada núcleo se midió el ancho de anillos de crecimiento, usando un sistema de medición Velmex con un micrómetro de precisión 0.001 mm, que se conecta a una platina de fase deslizante, acoplada a computadora personal, cargada con el software de medición, Measure J2X para windows y Measure PJK5 para Mac (Robinson y Evans, 1980) (Figura 3C).

Con los anteriores datos se hace la corrida con el programa COFECHA (Holmes et al., 1986) para obtener el control de calidad de las mediciones y la verificación de la sincronización (co-fecha). Este programa analiza estadísticamente la correlación entre muestras, compara periodos de cincuenta años con un traslape de veinticinco años, esto para cada una de las

muestras con el promedio total o serie maestra.

Las correlaciones son estadísticamente significativas cuando la $r > 0.3281$, $p < 0.01$ (Holmes, 1983). Para eliminar las tendencias biológicas (competencia, supresión, liberación) y geométricas (incremento en el área de fuste con la edad) no relacionadas con clima, se usa el programa ARSTAN, que inserta una curva exponencial negativa o línea recta a la serie de medición, después divide cada valor anual de medición entre el valor obtenido de la curva, con lo cual se generan índices normalizados con media de 1.0 y varianza homogénea y permite comparar los anillos internos de mayor crecimiento con los externos más comprimidos (Cook, 1984).

7.5. Análisis estadístico

La normalidad de los datos climáticos se verificó mediante estadística paramétrica y en el caso de los anillos estos fueron normalizados mediante el programa ARSTAN.

Se corrió un análisis de correlación de Pearson entre datos climáticos (temperatura media y precipitación total de la estación Nexpa, periodo 1976 – 2009 SMN) y los índices del ancho de los anillos (cronologías residual (CR) y cronología estándar (CS)) con el fin de determinar posibles relaciones entre estas variables. Para el proceso anterior se separaron los meses secos (noviembre – abril) de los lluviosos (mayo – octubre).

Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico NCSS 2010, (Hintze, 2010)

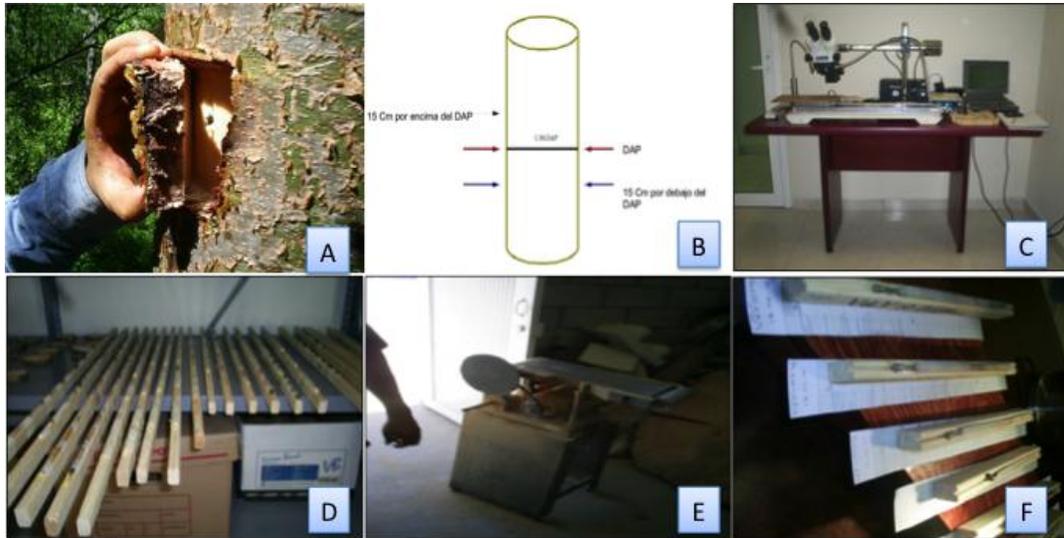
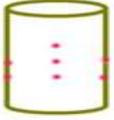


Figura 3. Etapas del proceso metodológico: Herida del árbol (A), toma de muestra con taladro de pressler (B), sistema de medición VELMEX empleado para medir el ancho de anillo (C), montaje de muestras en molduras de madera (D), pulido de muestras (E) y gráficos que permiten comparar patrones de crecimiento entre diferentes muestras (F).

Representación esquemática de los puntos principales de los métodos aquí seguidos

<p>1.-Ubicación de los puntos de extracción.</p> 	<p>2.-Se obtuvieron 60 Núcleos de 10 árboles de las 3 sp.</p>	<p>3.-Extracción de los núcleos de crecimiento en campo</p> 
<p>4.-Colecta en popotes de los núcleos obtenidos</p> 	<p>5.-Fijación de los núcleos sobre las molduras de madera</p> 	<p>6.- Pulido de los núcleos de crecimiento en la pulidora eléctrica</p> 
<p>Lijado a mano con lijas desde el No. 400 hasta el 1200, de mayor rugosidad a menor</p>	<p>8.- Medición del ancho de anillo de los núcleos obtenidos, en la mesa Velmex</p> 	<p>Programa Dendrocronológicos COFECHA y ARSTAN</p>

7.6. Análisis microscópico de los anillos de crecimiento

Este análisis se realizó para comparar la congruencia en el fechado verificada con el programa de calidad COFECHA y la obtenida con el análisis microscópico. Para lo anterior se seleccionaron 10 núcleos que el programa COFECHA verificó como bien fechados y otros 10 núcleos en el que el fechado no fue adecuado según este programa; todos los núcleos procedieron de los mismos árboles.

En los núcleos seleccionados se pulieron los últimos diez anillos formados en la zona de madera más joven (2 cm de longitud aproximadamente).

De estas secciones pulidas se elaboraron cortes transversales que se tiñeron con lugol. En ellos, se identificaron las fibras y vasos que marcan los anillos de crecimiento; se midió cada anillo reconociendo la zona terminal y final. Esto se hizo con el objetivo 10 X graduado de un microscópico óptico Carl Zeiss. Con la información anterior se construyeron una bases de datos que se ingresaron al programa cofecha, para conocer la correlación obtenida y la calidad del fechado.

8. RESULTADOS

8.1. Anatomía de la madera de *Bursera áptera*.

La madera de *Bursera aptera* presenta anillos de crecimiento poco distinguibles, formados por fibras radialmente comprimidas. Presenta porosidad difusa, con poros múltiples radiales de dos a cinco (55.32%),

solitarios (27.14%) y múltiples tangenciales de dos a tres (13.05%); en ocasiones diagonales de dos (4.46%), (Figura 4a).

Los elementos de vaso presentan punteaduras intervasculares areoladas alternas (Figura 4b), pequeñas, medianas y grandes (6-14 μm) con placas perforadas simples (Figura 4e). Las punteaduras de los campos de cruzamiento presentan bordes muy reducidos a aparentemente simples; estas punteaduras se consideran de pequeñas, medianas a grandes (5-16 μm); las más grandes son horizontales (Figura 4A) y las más chicas son oval (Figura 4b). Los vasos forman tálides con almidones en la albura y hacia el duramen con gomas y resina (Figura 4 d).

El parénquima axial es de tipo paratraqueal escaso, forma cordones uniseriados de una a tres células. Los radios son uniseriados y multiseriados de 3 a 5 series, de tipo heterogéneos tipo III, con canales gomíferos en radios, en ocasiones hasta dos canales por radio (Figura 4c). El cuerpo está formado por células procumbentes y sus extremos por cuadradas con abundantes cristales prismáticos en células cuadradas de los radios. Las fibras son septadas de paredes muy delgadas con punteaduras simples y presentan gran cantidad de granos de almidón (Figura 4c).

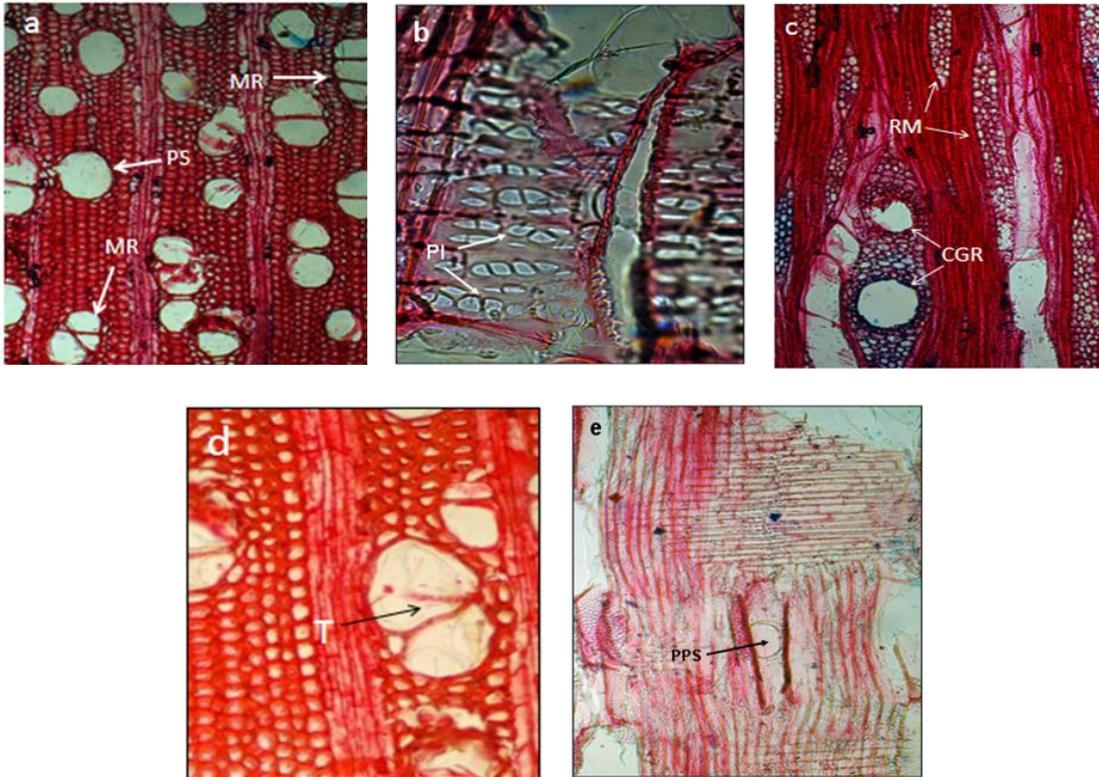


Figura 4. Sección transversal de la madera de *B. aptera*. Poros múltiples radiales (MR), poros solitarios (PS) y fibras radialmente comprimida (FRC). b. se observan las punteaduras intervasculares (PI). c. radios multiseriados (RM). Canales gomíferos dobles en radios (CGR). d. corte transversal presencia de tilides (T). e. sección radial elementos del vaso con placas perforadas simples (PPS).

8.2. Anatomía de la madera de *Bursera lancifolia*

La madera de *B. lancifolia* presenta anillos de crecimiento distinguibles, formados por fibras radialmente comprimidas. Presenta porosidad difusa, con poros solitarios (72.60%) múltiples radiales de dos a cuatro (21.29%), se presentan: diagonales de dos (0.43%) y múltiples tangenciales de 2 a 4 vasos (5.64%) (Figura 5a y 5d).

Los elementos de vaso presentan punteaduras intervasculares areoladas alternas, pequeñas a medianas (4-10 μ m) con placas perforadas simples (Figura 5b).

Las punteaduras de los campos de cruzamiento presentan bordes reducidos a aparentemente simples; estas punteaduras se consideran de medianas a grandes (8–12 μm); las más grandes son horizontales y las más chicas son de forma oval. Los vasos forman tílides con almidones en la albura y hacia el duramen con gomas y resina.

El parénquima axial es de tipo paratraqueal escaso. Forma cordones uniseriados de tres a siete células. Los radios son uniseriados y multiseriados (de 3 a 5 series); de tipo heterogéneos tipo III, con canales gomíferos en radios (Figura 5e). El cuerpo está formado por células procumbentes y sus extremos por cuadradas, con cristales romboidales (Figura 5c). Las fibras son septadas de paredes delgadas con punteaduras simples y en la albura presentan gran cantidad de granos de almidón (Figura 5b).

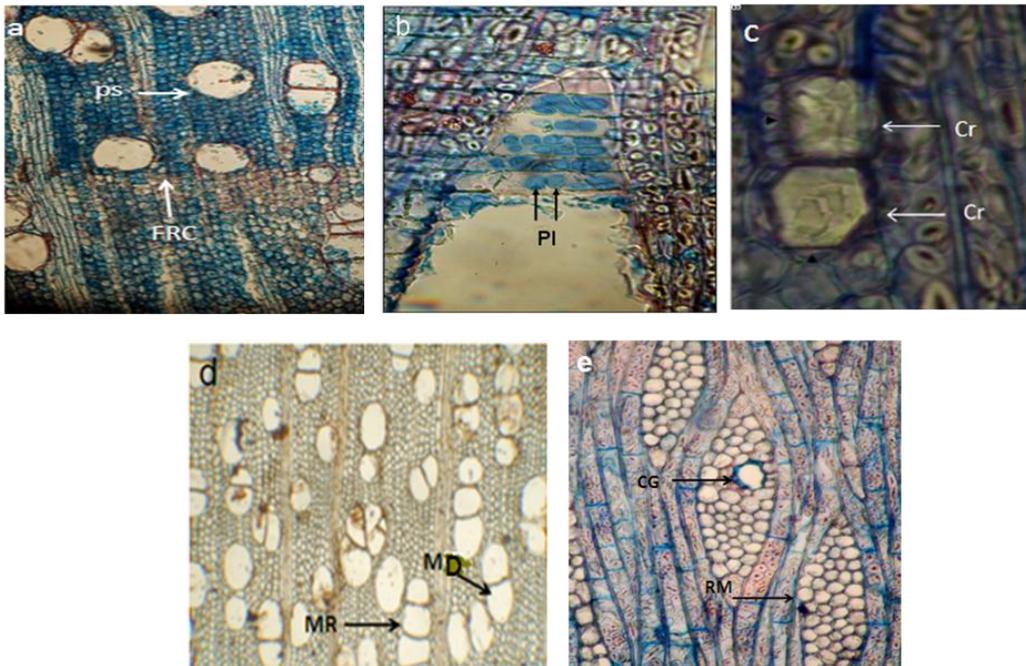


Figura 5. Sección transversal de la madera de *B. lancifolia* Poros solitarios (PS) y anillo de crecimiento. b. Sección tangencial. punteaduras vasculares en los campos de cruzamiento. c. Detalle de cristales romboidales (Cr). d. Sección transversal. Porosidad difusa y poros múltiples radiales (MR) y diagonales (MD). e. Radios multiseriados (RM) con canales gomíferos (CG).

8.3. Anatomía de la madera de *Bursera morelensis*

La madera de *B. morelensis* presenta anillos de crecimiento poco distinguibles, formados por fibras radialmente comprimidas. Presenta porosidad difusa, con poros solitarios (53.39%) múltiples radiales de dos a tres (39.8%); en ocasiones agregados (6.79 %) (Figura 6a).

Los elementos del vaso presenta punteaduras intervasculares alternas (Figura 6c), pequeñas a medianas (4 – 10 μm) con placas perforadas simples (Figura 6b).

Las punteaduras de los campos de cruzamiento presentan bordes reducidos o aparentemente simples redondeadas y escaleriformes, estas punteaduras se consideran de pequeñas, medianas a grandes (5 – 16 μm).

Los vasos forman tilides con almidones en la albura y hacia el duramen con gomas y resina. El parénquima axial es escaso de tipo paratraqueal escaso, forma cordones uniseriados de tres a cuatro células. Los radios son uniseriados y multiseriados (de 2 a 5 series, de tipo heterogéneos tipo III, con canales gomíferos en radios) con cristales en células alargadas (figura 6d). El cuerpo está formado por células procumbentes y sus extremos por cuadrados con cristales prismáticos en células cuadradas de los radios. Las fibras son septadas de paredes muy delgadas con punteaduras simples y presentan gran cantidad de granos de almidón (Figura 6f).

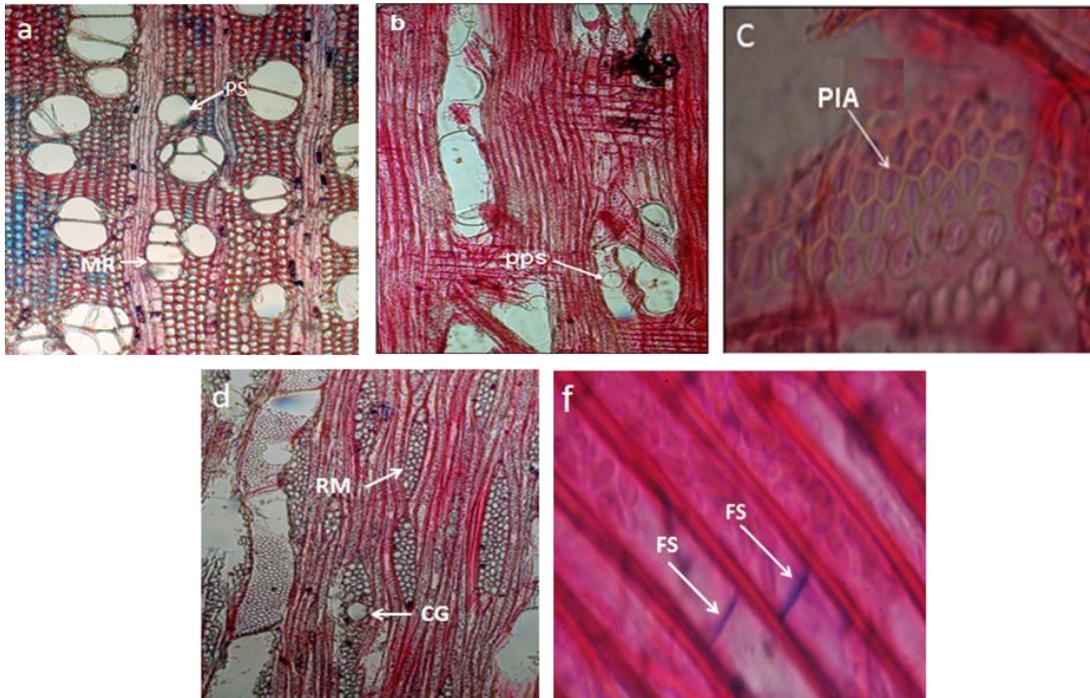


Figura 6. Sección transversal de madera de *B. morelensis*. con poros solitarios y múltiples radiales b. placa perforadas simples (PPS) c. Corte tangencial. Punteaduras intervasculares areoladas alternas. d. corte tangencial radios multiseriados con canales gomíferos. f. fibras septadas.

8.3.1. Periodicidad en la formación de anillos de crecimiento.

Con los valores de ancho de anillo y la correlación significativa obtenida con los datos de precipitación anual de la estación Nexpa, se demostró la anualidad de los anillos de crecimiento, confirmada por el programa COFECHA; además de lo anterior, en el microscopio electrónico de barrido se visualizó directamente la periodicidad en la formación de madera de *B. morelensis* que ayudó a visualizar la periodicidad de crecimiento de los árboles.

En el mes de julio del 2009 se observó la temporada de crecimiento para el árbol, que se manifestó por el aumento de diámetro en los vasos y

fibras, lo que indica el inicio de la temporada de lluvias. Para el mes de mayo del 2010 se observó un crecimiento radial del árbol, sin embargo no se observó la finalización del crecimiento, debido a que la extracción de la madera se realizó en mayo, que se conjuntó con el retraso en el periodo de lluvias en ese año (Figura 7).

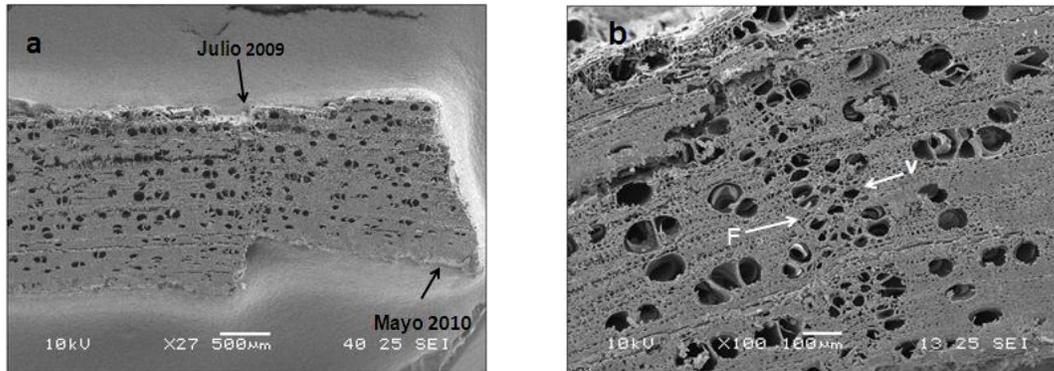


Figura 7. (a) Inicio del crecimiento a partir de la presencia de lluvias, (b) reducción de vasos y fibras en respuesta a la ausencia de agua.

8.3.2. Comparación de algunas características anatómicas.

Los datos obtenidos al realizar la anatomía de la madera nos permitieron determinar algunas características ecológicas de cinco especies de *Bursera* reportadas en la literatura (Cuadro 8) y compararlas con las especies aquí estudiadas (Cuadro 8.1). Cabe indicar que de estas, *B. morelensis* es la única de las especies estudiadas en este trabajo con reportes en la literatura (Cuadro 8).

Cuadro 8. Datos encontrados en bibliografía.

Especie	Anillos	Longitud del vaso	Vasos por mm ²	Diámetro del vaso	Índice de Vulnerabilidad	Perforación de placas	Zona de estudio
* <i>B. copallifera</i>	Indistinto o ausente	≤ 350µm	14 (5 - 20)	112 (100 - 200)µm	8	Simple	Tehuacán, Pue.
* <i>B. simaruba</i>	Indistinto o ausente	100-200 µm	15 (5 - 20)	138 (100 - 200)µm	9.2	Simple	Ocosingo, Chis.
* <i>B. morelensis</i>	Indistinto o ausente	350 - 800 µm	24(20-40)	108(100 - 200)µm	4.5	Simple	Tehuacán, Pue.
* <i>B. graveolens</i>	Indistinto o ausente	350 - 800 µm	5-20 20-40	100 - 200µm		Simple	
* <i>B. serrata</i>	Distinguibles	350 - 800 µm	5-20 20-40	100 - 200µm		Simple	

*Inside Woods Página electrónica de la IAWA. Abundiz *et al.* (2004) y De la Paz Pérez 1980).

Cuadro 8.1. Resultados obtenidos en este trabajo.

Especie	Anillos	Longitud del vaso	Vasos por mm ²	Diámetro del vaso	Índice de Vulnerabilidad	Perforación de placas	Mesomórfico
<i>B. lancifolia</i>	distinguibles	350-800µm (353)	20 - 40	100 - 200µm	4.8	simple	1694.4
<i>B. aptera</i>	poco distinguibles	≤ 350µm (321)	40 - 100	50 - 100µm	2.15	simple	690.15
<i>B. morelensis</i>	poco distinguibles	≤ 350µm (308)	20 - 40	100 - 200µm	3.03	simple	933.24

8.4. Análisis dendroclimático

De los 79 núcleos medidos para desarrollar la cronología de anillo total, solamente se logró fechar diez núcleos o incrementos, procedentes de 3 individuos de *Bursera lancifolia*.

Así, los únicos valores que se tomaron en cuenta para hacer la sincronización fueron los de esta especie. El análisis por COFECHA indicó que, de acuerdo con Holmes (1983), cumple con el mínimo de significancia $r > 0.3281$, $p < 0.01$) y presenta una sensibilidad de .410, obteniendo una cronología de 70 años (cuadro 8.2).

Cuadro 8.2. Valores de significancia de las correlaciones de la corrida de COFECHA para las muestras de Valle de Vázquez.

Total de anillos en todas las series	Serie de correlación	Sensibilidad media promedio	Serie maestra
523	0.339	0.410	De 1940-2009

Siete de las diez muestras pasaron el valor de significancia para considerarse adecuadamente fechadas. Las otras tres series no alcanzaron dicho valor. Las series con valores no significativos se indican con la letra A o B al lado del valor de correlación, (ver cuadro 8.3).

Cuadro 8.3. Valores de correlación de cada una de las series por segmento de 25 años

Numero de serie	Clave de muestra	Edad de la muestra	1925 a 1974	1950 a 1999	1975 a 2024
1	VDV 5E	1960-2009		.47	
2	VDV9G	1947-2009	.26A	.18B	.13B
3	VDV10D	1949-2009	.22A	.22A	.37
4	VDV10B	1940-2009	.40	.37	.36
5	VDV5I	1950-2009		.30A	.14A
6	VDV5H	1965-2009		.44	
7	VDV5F	1959-2009		.56	.48
8	VDV5A	1984-2009		.42	
9	VDV5h	1963-2009		.46	
10	VDV 5e	1960-2009		.36	
Promedio de correlación por segmento			.29	.37	.32

En el cuadro 8.3 se observa que las series 2, 3 y 5 no son significativas

y el resto cumplen con el valor significativo; sin embargo, a pesar de dichos valores las series están adecuadamente fechadas ya que una letra “A” anexo a un valor indica que fue la mejor correlación obtenida y que no existe forma de mejorarlo, lo cual es debido normalmente a cuestiones de crecimiento irregular, la letra “B” indica que existe la posibilidad de aumentar la correlación en la muestra. Con el programa ARSTAN se obtuvo la serie de índices normalizados generando una cronología de ancho de anillo de 70 años, que comprende el periodo de 1940 al 2009 (Figura 8).

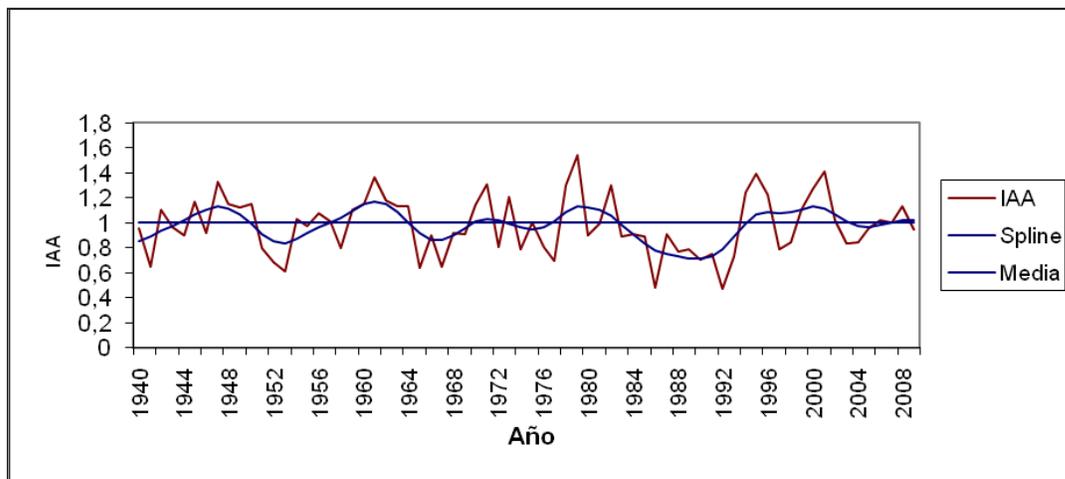


Figura 8. Cronología residual de ancho de anillo (IAA) para la especie *B. lancifolia* en Valle de Vázquez, Morelos. La línea roja representa la variabilidad interanual y la azul la curva suavizada(Spline) de eventos de baja frecuencia.

8.5. Función de respuesta

Para el desarrollo del análisis de función de respuesta se tomaron en cuenta los datos observados de la estación meteorológica Nexpa, ubicada a 7 Km del sitio de estudio.

La respuesta climática de la cronología se definió mediante un análisis de correlación entre los datos observados de precipitación promedio y el

índice de ancho de anillo total. El periodo de precipitación que presentó la más alta correlación fue Enero – Mayo (Figura 9).

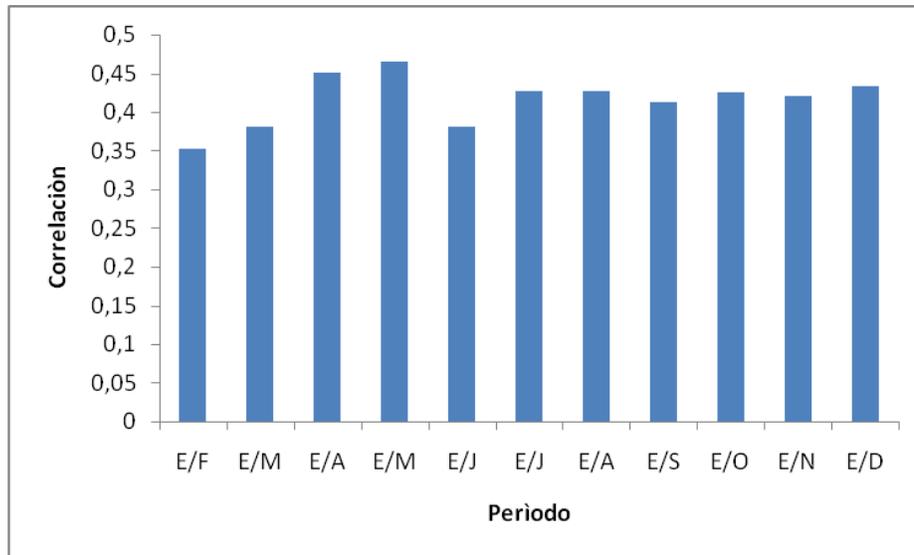


Figura 9. Función de respuesta entre los índices de ancho de anillo de *Bursera lancifolia* y el periodo de precipitación regional, que comprende el periodo de 1976-2001. El periodo de lluvia que más influye en el crecimiento es enero-mayo.

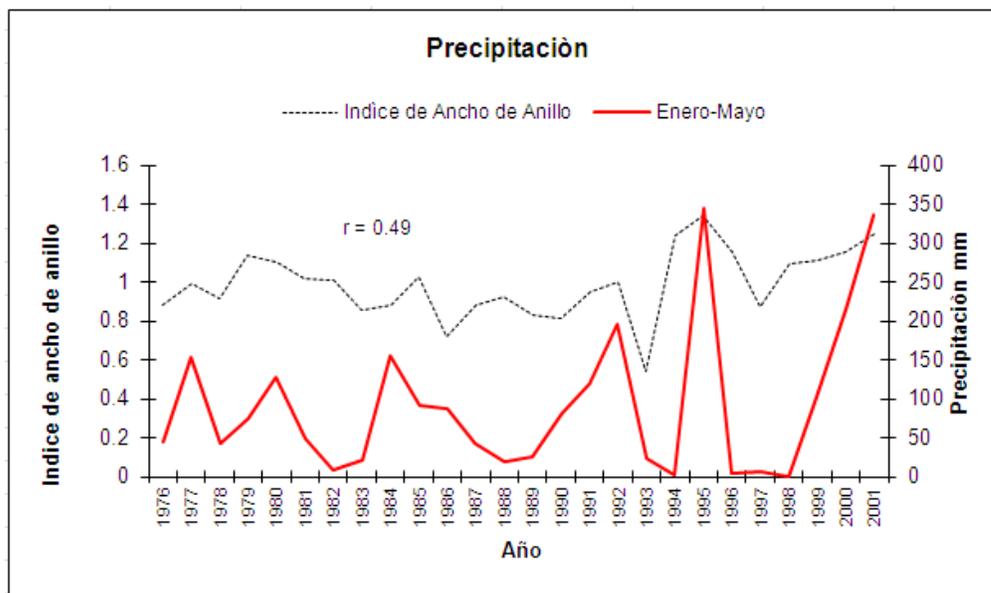


Figura 9. Asociación entre el índice de ancho de anillo total y precipitación estacional acumulada observada para el periodo enero-mayo, que comprende el intervalo de 1976 – 2001.

Los resultados de las cronologías, es decir los índices normalizados, de

los meses que comprenden los meses secos (noviembre – abril), muestran que no hay correlaciones significativas (CR: $r = 0.164$, $p = 0.368$; CS: $r = 0.291$, $p = 0.105$). Por el contrario, fueron significativas cuando se compararon los periodos de lluvia (mayo – octubre) con la cronología residual ($r = 0.486$, $p = 0.0047$) y estándar ($r = 0.361$, $p = 0.041$), esto es, la precipitación sigue siendo el factor que mejor explica el crecimiento de los árboles estudiados.

Para el caso de la temperatura en el periodo enero-marzo se encontró una $r = 0.25 > 0.05$, sin embargo para la última década se consideró el mismo periodo pero tomando en cuenta del año 1994 – 2009, encontrando una $r = 0.75$ $p < 0.05$ (Figura 10). Posiblemente la temperatura sea un factor que influya al crecimiento del árbol, gracias a la radiación solar y la alta actividad fotosintética, debido a que en estos meses el agua almacenada en el suelo, con el aumento de la temperatura se evapora influyendo en el crecimiento del árbol.

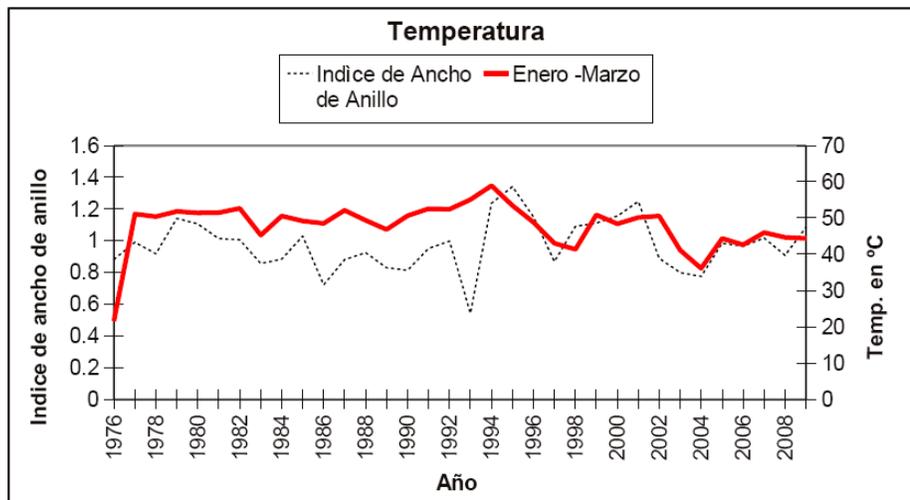


Figura 10. Datos de Temperatura media estacional (enero- marzo) de la estación Nexpa al compararse contra el índice de ancho de anillo de la cronología residual.

8.6. Análisis microscópico de los anillos

En la madera de *B. lancifolia* se observa claramente la formación de anillos con una o dos hileras de fibras radialmente comprimidas (Figura 11). Los coeficientes de correlación con COFECHA para estos anillos medidos con el micrómetro fueron más altos ($r= 0.487$, $p<0.05$, Cuadro 8.4) que los de la técnica del microscopio óptico ($r= 0.249$, $p>0.05$, Cuadro 8.5). De estas mediciones se obtuvieron las gráficas para poder observar las tendencias de las medidas de ambos métodos (Figura 12).

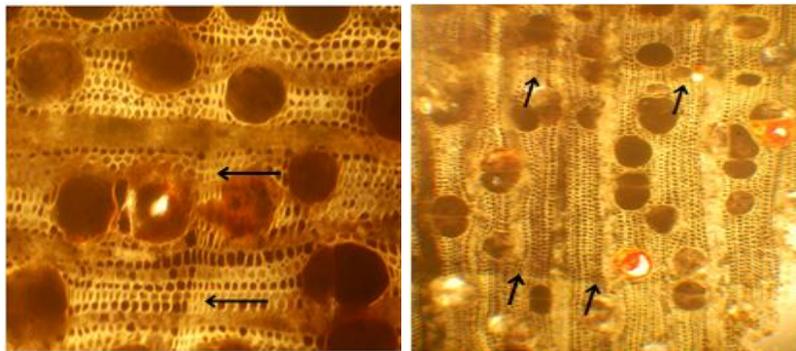


Figura 11. *Bursera lancifolia* (Burseraceae) se observa que los anillos de crecimiento están delimitados por fibras radialmente comprimidas, las flechas negras marcan el límite de un anillo.

Cuadro 8.4. Resultados de una corrida de COFECHA para las diez muestras, fechadas y medidas con el micrometro, mostrando los parámetros mas altos en la correlación.

Número de series de datos	Total de anillos en todas las series	Serie de Correlación	Sensibilidad media promedio
10	100	0.487	0.261

Cuadro 8.5. Resultados de una corrida de COFECHA para las nueve muestras, fechadas y medidas con el método microscópico.

Número de series de datos	Total de anillos en todas las series	Serie de Correlación	Sensibilidad media promedio
9	90	0.249	0.566

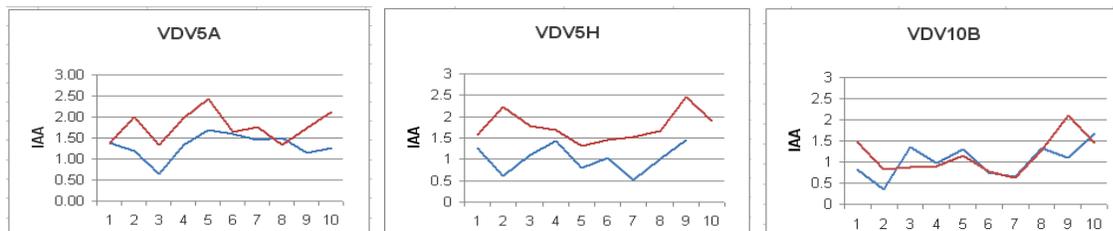


Figura 12. Medidas obtenidas con la medición al microscopio línea azul, y las obtenidas con el micrómetro línea roja.

8.7. Observaciones fenológicas.

Bursera registra pérdida de follaje en los meses más secos. Generalmente esto comienza a mediados de otoño y termina en marzo. En abril aparecen las primeras hojas y comienza la floración, aproximadamente en los meses de mayo y junio; y la fructificación ocurre a partir de junio hasta noviembre (Toledo,1982). Para las especies de estudio se observaron

diferencias únicamente en el mes de diciembre en el que todavía se encontraron individuos con follaje.

9. DISCUSIÓN

9.1. Anatomía de la madera

Whitmore (1990) señala que las especies tropicales no forman anillos de crecimiento. Por otro lado, de acuerdo con Roig (2000), en el cinturón Ecuatorial hay una falta de estacionalidad climática, que repercute en una escasez de especies con anillos distinguibles. Esto ha ocasionado fuertes argumentos para descartar de la investigación dendrocronológica a las especies tropicales mexicanas.

De manera general, las especies aquí estudiadas del género *Bursera* presentan anillos inconspicuos aparentes, aunque *B. lancifolia* se distingue por presentar marcación estacional. La madera de estas especies presenta porosidad difusa, con poros radiales, solitarios y algunos tangenciales y diagonales. Los vasos tienen perforaciones de placas simples, punteaduras areoladas alternas y tilides en vasos. El parénquima axial es escaso a vasicéntrico de tipo paratraqueal de una sola hilera de células. Los radios son heterogéneos para *B. aptera* de 3 a 5 series al igual que *B. lancifolia*, y en *B. morelensis* de 2 a 5 series. Las fibras son libriformes y septadas, y éstas contienen en la albura gran cantidad de almidón.

A pesar de que las tres especies estudiadas están sometidas a las mismas condiciones climáticas, la formación de zonas de crecimiento en la madera no parece ocurrir como efecto directo del medio físico, lo anterior

sugiere una mayor sensibilidad de *B. lancifolia* a cambios ambientales al reducir el diámetro de las fibras.

Esta sensibilidad podría atribuirse a una habilidad de su *cambium* vascular a responder a cambios de humedad de suelo o a los del medio físico exterior.

De acuerdo con Becerra (2002), las tres especies de *Bursera* estudiadas representan tres clados claramente separados. En este sentido se observa que *B. lancifolia* está más lejana de *B. morelensis* que de *B. aptera*. Una característica que podría causar la distancia entre especies podría ser la presencia de anillos.

De acuerdo con Soltis *et al* (2008), la Familia Burseraceae apareció aproximadamente hace 50 millones de años. En esa época prevalecía un clima tropical húmedo, lo que podría sugerir ausencia de estacionalidad y explicaría un crecimiento radial continuo del xilema. En un clima tropical húmedo la actividad continua del *cambium* vascular sugiere que la transpiración es continua también, y por tanto exige formación de vasos funcionales. Lo anterior indica que las especies no estaban bajo estrés hídrico y por tanto se lograba un xilema continuo sin formación de anillos de crecimiento. Esto implicaría que la caducidad es un rasgo adquirido al experimentar atmósferas más desecantes. Por otro lado, Cevallos (1998), menciona que los anillos de crecimiento aparecieron para las angiospermas en el Eoceno, y para el periodo reciente del Oligoceno el clima ya se había modificado: había presencia de ambientes cálidos y las especies de *Bursera* fueron distribuyéndose hacia zonas donde tuvieran mejores condiciones de

humedad. Toledo (1982), plantea que la distribución de las especies de *Bursera* es de carácter climático, siendo esto de particular importancia para los procesos de evolución del género en la zona de la depresión del Balsas, y atribuye a que la fragmentación de las poblaciones fue influenciada por el clima, al existir un cambio en el clima de mayor humedad hacia uno de mayor aridez. Las especies del género *Bursera* desarrollaron estrategias que les permitió soportar estas condiciones, siendo una de ellas la caducidad en las hojas y la latencia, generando el desarrollo de anillos de crecimiento en algunas especies como respuesta a los periodos de sequía y precipitación.

La presencia o ausencia de anillos de crecimiento podría considerarse en el futuro como parte de una variable para conocer el valor que le puede dar a los clados a los que pertenecen las estudiadas aquí.

Las tres especies son caducifolias; presentan corteza de anchura considerable, lo que revela una estrategia para aislar el xilema secundario y evitar la pérdida del agua. Esto puede ser una indicación de que el cambium reduzca ligeramente su actividad de división celular por el efecto de protección y capacidad de acumulación de líquidos en la corteza.. Estas especies presentan un sistema radicular muy profundo por lo que son raíces freáticas (Rzedowski, 1988).

El xilema secundario de *B. lancifolia* presenta dos características relevantes: el cese en la actividad del *cambium* vascular y un mayor valor en el índice de vulnerabilidad (IV= 4.8, Cuadro 8.1), lo que no ocurre en el xilema de las otras dos especies. El IV puede indicar una mayor afinidad a la humedad, por lo que en condiciones de sequía, esta especie es más sensible

a la falta de agua lo que sugiere que marque anillos de crecimiento.

La presencia de características anatómicas como el diámetro, la frecuencia, el arreglo y agrupamiento de los vasos; las placas perforadas simples y la porosidad, son el resultado del estrés selectivo de las condiciones ambientales del hábitat. Esto se refleja de manera indirecta en los índices de vulnerabilidad de las otras dos especies: *B. aptera* y *B. morelensis*, cuyos IV son 2.15 y 3.03 respectivamente. Los valores anteriores sugieren que estas especies tienen un xilema más resistente a la cavitación por estrés hídrico. Sin embargo, de acuerdo con el diámetro de los vasos en general presentan vasos medianos, lo que significa que los suelos donde habitan tienen un recurso hídrico rico en el subsuelo. Entonces ¿qué hace que *B. lancifolia* sea más sensible y forme anillos de crecimiento, aunque poco marcados?. Esto quizás está más relacionado con el ambiente físico atmosférico que le rodea, esto es, *B. lancifolia* es más sensible a los periodos de secas. Esto último indica que esta especie podría ser más tolerante a la sequía que las otras dos y por tanto podría soportar mejor, ambientes en los que el periodo de sequía es más prolongado.

La disponibilidad de agua es un factor importante que afecta la forma y la estructura de la hoja. Los órganos más visibles que ayudan a distinguir las plantas de diferentes hábitats son las hojas. Toledo (1982) menciona que con relación al tamaño de la hoja *B.lancifolia* es la que las presenta más grandes (*B. aptera*: (2.5) 4 – 7.5 cm de largo, 1.3 – 2 de ancho; *B.lancifolia*, 9 – 20.5 cm de largo, 9 – 15.5 cm de ancho; *B.morelensis* (5) 7 – 10.5 cm, (1 .2) 1.4 – 3.4 cm de ancho), lo que indica que *B.lancifolia* tiene mayores requerimientos

de agua que las otras dos y explica el tamaño de los diámetros de vaso. En este sentido lo anterior también sugiere que *B. lancifolia* compite más por el recurso hídrico, es decir tiene una mayor demanda de conducción de agua, por lo tanto cuando llega el periodo de sequía, resiente la ausencia de agua, lo que sugiere la marcación en los anillos de crecimiento.

9.2. Análisis dendrocronológico.

Las especies tropicales en comparación con las especies templadas presentan distintas formas para marcar anillos de crecimiento; 1) Zonas de crecimiento por fibras radialmente comprimidas. 2) Límites formados en bandas de parénquima que pueden ser uniseriados ó multiseriados, 3) Zonas de crecimiento que son patrones característicos, recurrentemente periódicos de bandas de fibras y de parénquima alternados (Worbes, 1989). Esta diversidad de formas para marcar anillos de crecimiento, son posiblemente el resultado de adaptaciones a los diferentes climas en la madera de especies tropicales. En las especies estudiadas, la presencia de fibras en los anillos de crecimiento sugiere un refuerzo mecánico debido a la fuerza de tensión generada por la corriente de transpiración dentro de los capilares. Esto significa que la actividad del cambium vascular no cesa sino que alterna la producción de fibras con mayor cantidad de pared secundaria, lo que se verificó al aplicar tinción con lugol: fibras radialmente comprimidas con mayor cantidad de lignina en sus paredes celulares.

De acuerdo con Rosell (2010), este género tiene una gran capacidad para almacenar gran cantidad de agua. La anatomía del xilema está

básicamente diseñado para esta función y para no poner en riesgo su función conductora, lo que explica la baja densidad y los diámetros de sus poros.

La capacidad de reforzar el sistema vascular (incrementar la densidad de la madera) podría ser una habilidad para establecerse en zonas más calientes como matorral xerófilo y selvas con prolongados tiempos de sequías.

Siguiendo el método dendrocronológico, la falta de codatado y bajas correlaciones observadas entre los mismos crecimientos anuales, es indicativo del bajo potencial dendrocronológico de *B.aptera* y de *B. morelensis*. Por lo resultados obtenidos en este estudio, se sugiere que *B. lancifolia*, es la especie mas promisoría para el desarrollo de estudios dendroclimáticos en selvas bajas caducifolias.

Existe una segunda posibilidad relacionada a la baja correlación: el tamaño de la muestra fue pequeño en comparación al tamaño de muestras que normalmente se colectan para un estudio dendrocronológico tradicional. El tamaño de muestra fue limitado principalmente pensando en la conservación de los individuos vasculares y su hábitat.

Las condiciones o características anatómicas, fisiológicas, fenológicas, climáticas y presencia de madera de tensión y compresión, particulares del género *Bursera* son diferentes a las especies templadas estudiadas con frecuencia, por lo que la baja correlación entre anillos de crecimiento, se puede atribuir a las características mencionadas del género, y en particular de las especies *B. aptera* y *B. morelensis*.

El método dendrocronológico fue desarrollado y continuamente

modificado considerando especies de climas templados, donde se conoce la evidente formación de anillos de crecimiento por traqueidas y su sensibilidad a los diferentes eventos climáticos, pero no se consideraban especies tropicales. A pesar de que se ha logrado fechar especies tropicales como *Cedrela odorata* (Silveira, 2011), *Cedrelinga cateniformes* (Campos, 2009) y *Guazuma ulmifolia* (Suntaxi, 2004) entre otras, algunas de ellas han sido muestreadas en viveros forestales y también en ambientes nativos. En estas se han encontrado mayores correlaciones y un porcentaje mayor de individuos en condiciones controladas que en condiciones silvestres; lo que ha ayudado a obtener correlaciones más altas con COFECHA.

La capacidad conductora de un xilema siempre estará en función de su sistema mecánico, por lo que un sistema con poco riesgo hidráulico, puede tener un sistema accesorio, que en este caso ocurre en las fibras septadas, de lumenes anchos con gran cantidad de almidones (en la albura). Su índice mesomórfico (Cuadro 8) sugiere que esta especie está en condiciones de disponibilidad de agua en el subsuelo suficiente para evitar un colapso hídrico.

Fahn *et al* (1986) y Fritts (1976), mencionan que la dimensión de las fibras está influenciado por la disposición de agua y la cantidad de humedad presente. El sitio de estudio se caracteriza por contener una gran cantidad de agua en el subsuelo que se encuentra ubicado en una ladera con orientación hacia el norte que forma una cuenca que desemboca en el río Amacuzac. (conocimiento personal)

Con base en los datos climáticos regionales (1976-2009) de la estación

Nexpa y la serie de tiempo generada, se encontró que comparando los periodos de lluvia con la cronología residual de anchura total de anillo de *B. lancifolia*, la correlación es de $r = 0.486$ $p < 0.004$ para los meses de enero a mayo. Para la región estudiada las lluvias inician en mayo, sin embargo entre el mes de enero y abril, hay presencia de ligeras lluvias o lluvias intermitentes la que podría quedar accesible en el perfil del suelo para iniciar la estación de crecimiento (Fritts, 2001). Esta cronología evidencia la presencia del fenómeno del NIÑO, sin embargo por el numero de muestras obtenido no es recomendable agregarlo en este estudio, pero si permite sugerir ampliar el tamaño de muestra para futuros estudios.

9.3. Comparación de dos técnicas para determinar el ancho de anillos.

Las observaciones realizadas en el microscopio óptico revelaron que el xilema de *Bursera* tiende a marcar muy suavemente los anillos, por lo que es poco probable distinguirlos a simple vista. En este estudio, como ya se ha mencionado la madera de *B. lancifolia* fue la que presentó mejores condiciones de medición.

Ambas formas de obtener los valores de anchura de anillos mostraron diferencias. Al medir con el microscopio estereoscópico, los anillos de crecimiento se delimitaron considerando la diferencia de colores por las bandas que se presentan. Al teñir las muestras con lugol se apreció, en el microscopio óptico, que la banda correspondía a una hilera de fibras de diámetros radialmente comprimidos marcando el anillo. Esto ocurrió

principalmente en *B. lancifolia*. Lo que explicaría las diferencias de los gráficos donde se comparan ambos métodos (Figura 12).

Los valores de ancho de anillo obtenidos a nivel microscópico para obtener las correlaciones en COFECHA arrojaron correlaciones no significativas para las tres especies. Esto definitivamente no indica que la determinación del ancho de anillo a nivel microscópico no sea adecuada, puesto que los resultados incluso muestran que existen limitaciones para una delimitación precisa de anillos tanto visualmente como micrométricamente. Sin embargo, se considera que debe existir un error intrínseco en la medición a nivel microscópico asociada a la experiencia para la diferenciación de tejidos y por tanto de anillos. Esto puede ser incluso una fuente de error más alta que cualquier otro error asociado a la técnica en el micrómetro.

Con las mediciones de ancho de anillo en el micrómetro se obtuvo una correlación baja pero aceptable para los núcleos de *B. lancifolia*. Por otro lado, en estos estudios se considera una especie para conocer su respuesta al clima, en este trabajo no utilizamos solo una especie, lo que posiblemente haya arrojado una correlación tan baja y solo aceptada para núcleos de *B. lancifolia*. el número de árboles muestreados son pocos en comparación con estudios de especies templadas, pues se utilizaron solo diez individuos por cada especie, mientras que para bosques templados el número de muestra es normalmente mayor a 30 y de la misma especie. Cabe mencionar que no existe un número de árboles definido para este tipo de análisis ni para bosques templados y tampoco para selvas.

Se analizaron todos los núcleos extraídos para el estudio

dendrocronológico, debido a que los clavos que se insertaron para generar el daño al cambium vascular, fueron expulsados por la resina proveniente de la corteza. Los núcleos extraídos se mancharon, lo que complicó y exigió realizar el pulido de los núcleos para la identificación de los anillos de crecimiento.

10. CONCLUSIONES

Por sus características anatómicas y la formación de anillos incóspicuos se descartan para estudios relacionados con anillos de crecimiento a *Bursera aptera* y *Bursera morelensis*.

Se corroboró la formación de anillos de crecimiento anual en *B. lancifolia* y su respuesta a variables climáticas, para considerarlos como proxy para extender los registros de la variabilidad climática regional.

Se generó una cronología de anillo total de *Bursera lancifolia* de 70 años (1940 al 2009), cuya anualidad se verificó mediante el codatado y el programa de calidad de fechado (COFECHA); esta anualidad también se verificó con datos climáticos al observar una relación significativa entre ancho del anillo y la precipitación estacional, información relevante en términos de estudios paleoclimáticos, ecológicos (dinámica de poblaciones, competencia, tasas de crecimiento), manejo de recursos hídricos, entre otros.

El método del microscopio óptico se considera complementario al método dendrocronológico estándar, particularmente en especies tropicales donde no se tiene la seguridad, tanto de la formación de anillos de crecimiento anual, como en la finalización del crecimiento anual.

Este estudio proporciona la primera aportación en México para especies tropicales, en términos de añadir una nueva especie con potencial dendrocronológico, cuyas aplicaciones pueden ser en diversos campos científicos y conservación de ecosistemas.

11. RECOMENDACIONES FINALES.

Para realizar un estudio más representativo, se sugiere incrementar el número de individuos con fustes rectos, localizados preferentemente en sitios planos para evitar la formación de madera de tensión.

Se sugiere que para este género, los siguientes estudios dendrocronológicos, contemplen primero la extracción cuidadosa de la corteza posteriormente la generación de una herida muy fina y delgada con una navaja, cuidando de no ejercer demasiada fuerza para no atravesar varios anillos de crecimiento y perder la fecha real de la marcación. Posterior a esto se debe extraer el núcleo procurando que sea con un taladro de 18 pulgadas de largo y 12 mm de diámetro para tener mayor campo de estudio. Así mismo se sugiere extraer rodajas, cuidando hacer el corte transversal del árbol donde se generó la herida, para así poder identificar la fecha del daño visualmente.

Debido a la orografía de la zona de estudio la mayoría de los árboles muestreados presentaron fustes irregulares, no rectos, lo que pudo repercutir en la distribución de las zonas de crecimiento, su marcación y la presencia de madera de tensión o compresión, por lo que se sugiere escoger lugares sin pendiente. Asimismo podría repercutir en las dimensiones de vasos y fibras, lo

que podría haber afectado las correlaciones del COFECHA.

12. LITERATURA CITADA.

Abundiz, B.L.A., J. Barajas-Morales y P. TenorioLezama. (2004). *Anatomía de maderas de México: Árboles y arbustos del matorralxerófilo de Tehuacán, Puebla*. Instituto de Biología UNAM. Publicaciones especiales 19.

Alves, E.S. y A. Angyalossy (2000). Ecological Trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. *IAWA Journal*; 21: 3-30.

Alvim, P. (1964). Tree growth periodicity in tropical climates. *in The formation of wood in forest trees* (Zimmermann, M.H. ed.). New York, Acad. Press (Pp. 479-496).

Baas, P. y R. Vetter. (1989). Growth rings in tropical trees. *IAWA Bull. n.s.* 10: 95–174.

Berlage, H.P. (1931). Over het verband tusschen de dikte der jaarringen van djari-boomen (*Tectona grandis* L.f.) en deregenva op Java. *Tectona* 24: 939-953.

Becerra, J.X. y L.D. Venable. (1999). Nuclear ribosomal DNA phylogeny and its implications for evolutionary trends in Mexican *Bursera* (Burseraceae). *American Journal of Botany* 86 (7): 1047-1057.

Becerra, J.X. (2003). Evolution of Mexican *Bursera* (Burseraceae) inferred from ITS, ETS and 5s nuclear ribosomal DNA sequences. *Molecular Phylogenetics and evolution* 26: 300-309.

Bernal, S.S. y D.T. Terrazas (2000). Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. *Madera y Bosques* 6(1): 73-86

Boninsegna, J.A., R. Villalba, L. Amarilla y J. Ocampo. (1989). Studies on

tree rings, growth rates and age-size relationships of tropical tree species in Misiones, Argentina. *IAWA Bull.* 10:161-169.

Boninsegna, J.A., y R. Villalba. (1996). Dendroclimatology in the southern hemisphere: review and prospect. Pp. 127-141, in *Tree rings, Environment and Humanity* (Dean, J.S., D.M. Meko y T.W. Swetnam eds.). Radiocarbon Tucson.

Borchert, R. (1999). Climatic periodicity, phenology y cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA Journal* 20 (3): 239-247.

Baas, P., y R. Vetter. (1989). Growth rings in tropical trees. *IAWA Bull. n.s.* 10: 95 –174.

Bormann, F.H., y G. Berlyn. (1981). Age and Growth Rate of Tropical Trees: New Directions for research. *Yale Univ. School of forestry & Environm. Studies, Bull. no. 94.*

Brienen, R., y P. Zuidema. (2003). Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: su potencial para el manejo de bosques y una guía metodologica. *PROMAB/ IGEMA, Informe Técnico N° 7, Riberalta, Bolivia.*

Brienen, R., y P. Zuidema. (2005). Relating tree growth to rainfall in Bolivian rainforests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia, Cidade,* v.146, p. 1–12.

Brienen, R., y P. Zuidema. (2006). Life time growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. *Journal of ecology,* 94, 481-493.

Cain, W.F., y H.E. Suess. (1976). Carbon 14 in tree rings. *J. Geophys. Res.* 81: 3688 – 3694.

- Carlquist, S.** (1988). Comparative wood anatomy. *Springer-Verlag, Berlin*.
- Cerano, P.J., D.J. Villanueva, A.J.G. Arreola, C.I. Sánchez, C.R.D. Valdez y H.G. García.** (2009). Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. 15(2): 27-44.
- Cerano, P.J., D.J. Villanueva y P.Z. Fulé.** (2010). Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la reserva cerro el Mohinora, Chihuahua. *Revista Ciencia Forestal*. Vol. 1. Pp. 63 – 74.
- Cerano, P.J., D.J. Villanueva, C.R. Valdez, O.E. Cornejo, C.I. Sanchez y G.V. Constante.** (2011). Variabilidad Histórica de la Precipitación Reconstruida con Anillos de árboles para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal Vol. 3 No 4 Pp.32 – 46*.
- Cleaveland, M.K., D.W. Stahle, M.D. Therrel, D.J. Villanueva y B.T. Burns.** (2003). Tree ring reconstructed winter precipitation in Durango, México. *Climatic Change* 59: 369-388.
- Cevallos, F. y R. S. Sergio.** (1998) Las plantas con flores. *Ciencias Octubre – Diciembre*. Pp. 46-57.
- Coster, C.H.** (1927). Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresringbildung in den Tropen. *I. Ann. Jard. Bot. Buitenz. 37: 49-161*.
- Coster, C.H.** (1928). Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresringbildung in den Tropen. *Ann. Jard. Bot. Buitenzorg 38: 1–114*.
- Cook, E.R. y R.H. Holmes.** (1984). *Program ARSTAN and users manual*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 pp.
- Chowdhury, K.A.** (1961). *Growth rings in tropical trees and taxonomy*. 10th Pacific Science Congress, Honolulu, Hawaii.

Dave, Y.S. y K.S. Rao. (1982). Seasonal activity of the vascular cambium in *Gmelina arborea* Roxb. *IAWA Bulletin new Series* 3(1): 59-65.

De la Paz Pérez-Olivera, T. F. Carmona-Valdovinos y M. A. Rogel-Gómez. (1980). Estudio anatómico de la Madera de 43 especies tropicales. *Boletín Técnico No. 63. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. SARH.*

Detienne, P. (1989). Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. *IAWA Bull.* 10: 123-132.

Détienne, P., y A. Mariaux. (1977). Nature et périodicité des cernes dans le bois rouges de Méliacées africaines. *Bois et Forêt des Tropiques* 175: 53-61.

Douglas, A.V. (1980). Geophysical estimates of sea-surface temperatures of western North America since 1671. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. Report* 21: 102-112.

Douglas, E.S., D.B. Charles, K. Sangtae y S.S. Pamela. (2008). Origin and Early Evolution of Angiosperms. *Annals of the New York academy of sciences.* 1133: 3-25.

Devall, S., B.R. Parresol y D.S.J. Wright. (1995). Dendroecological analysis of *Cordia alliodora*, *Pseudobombax septenatum* and *Annona spraguei* in central Panama. *IAWA J.* 16: 411-424.

Drew, A. P. (1998). Growth rings, phenology, hurricane disturbance and climate in *Cyrtolobos racemifolia* L., a rain forest tree of the Luquillo Mountains, Puerto Rico. *Biotropica* 30: 35-49.

Dunisch, O., J. Bauch y L. Gasparotto. (2002). Formation of increment zones and intraannual growth dynamics in the xylem of *Swietenia*

macrophylla, *Carapa guianensis* and *Cedrela odorata* (Meliaceae). *Iawa Journal, Utrecht, 23(2): 101–119.*

Fichtler, E., D.A. Clark y M. Worbes. (2003). Age and Long-Term Growth of trees in an Old-Growth Tropical Rain Forest, Based on Analyses of Tree Rings and ¹⁴C. *Biotrópica 35(3): 306-317.*

Fuster, G.M. (2007). El crecimiento de *Abies pinsapo* y el clima de Grazalema: aportaciones dendroecológicas. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales 16(2): 145-157.*

Fritts, H.C. (1976). *Tree rings and climate.* Academic Press, Nueva York. 567 pp.

García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana).* UNAM. México pp 35-41.

Fritts, H.C. (2001). *Tree Rings and Climate.* Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. Pp 77

Grissino-Mayer, H.D. (2001): Assessing crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research 57: 67-83.*

Holmes, R.L., R.K. Adams y H.C. Fritts. (1986). *Quality control of crossdating and measuring: A user's manual for program COFECHA. In Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin.* Arizona, University of Arizona.

Holmes, R.L. (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin 43: 69-78.*

IAWA 1989. List of microscopic features for hardwood identification. n.s. 10 (3):

219-332

Jacoby, G.C. (1989). Overview of tree-ring analysis in tropical regions. *IAWA Bull. 10: 99-108.*

Koriba, K. (1958). On the periodicity of tree growth in the tropics, with reference to the mode of branching, the leaf fall and the formation of the resting bud. *Gard. Bull. Singapore 17: 11-81.*

Kribs, D.A. 1968. *Comercial foreing Word on the american market.* Dover publications. New York. E.U.A. 241 pp.

Kurokawa, H., Y. Toshiya, N. Toshio, L. Julaihi y N. Thoru. (2003). The age of tropical rain forest canopy species, Borneo Ironwood (*Eusideroxylon zwageri*), determined by 14 C dating. *Journal of Tropical ecology. 19(01): 1-7.*

Kuroda, K. y K. Shimaji. (1984). The pinning method for marking xylem growth in hardwood species. *Forest Science, 30: 548- 554.*

López-Ayala J.L., J.I. Valdez-Hernández, T. Terrazas, Valdez J. René Lazalde. (2006). Anillos de crecimiento y su periodicidad en tres especies tropicales del estado de Colima, México. *Agrociencia, 40(04): 533-544.*

Lisi, C.S., A.V. Lemos y M.F. Tomazello. (1999). *Variación radial de la estructura anatómica de la madera de Tabebuia heptaphylla y T.Impetiginosa.* Congreso Nacional de Botánica, 50. Anais. Sao Paulo, Sociedad Botánica de Brasil.

Lisi, C.S., M.F. Tomazello, P.C. Botosso, F.A. Roig, R.B. Maria, L.F. Fedele y R.A. Voigt. (2008). Tree-ring formation, radial increment periodicity, and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal, Vol. 29 (2), 2008: 189-207.*

Mattos, P.P. (1999). *Identificacao de aneis anuais de crescimento e estimative de idade e increment annual em diametro de species nativas do pantanal da Necholandia, MS*. Tesis de Doctorado. Setor de Ciencias Agrarias, Universidade Federal do Paraná, UFPR. Curitiba: 116 p.

McCarroll, D., y N.J. Loader. (2004). Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23 (2004): 771–801.

Makocki, M. W., y J. I. Valdez-Hernández. (2001). Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of Mexico: Implications for their management. Pp: 85-96. *In Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture*. College of Forestry and Natural Resources, University of the Philippines, Los Baños.

Mauseth, J. D. 1988. *Plant Anatomy*. Addison Wesley/Benjamin Cummings. San Francisco, California. 297 pp.

Mariaux, (1981). Past efforts in measuring age and annual growth in tropical trees. Pp. 20-30. *In Age and growth rate of tropical trees: New directions for research* (Borhmann, F.H. y G. Berlyn eds.). Yale University Press, New Haven, Connecticut.

Metcalf, C.R., y L. Chalk. (1983). *Anatomy of the dycotiledons*. Oxford: Clarendon Press; 297 pp.

Mozeto, A.A., P. Fritz, M. Z. Moreira, R.E. Vetter, R. Aravena, E. Salati y R.J. Drimmie (1988). Growth rates of natural Amazonian forest trees based on radiocarbon measurements. *Radiocarbon* 30:1-6.

Nakamura, T., H. Miyahara, K. Masuda, H. Menjo, K. Kuwana, K. Kimura,

- M. Okuno, M. Minami, H. Oda, A. Rakowski, T. Ohta, A. Ikeda y E. Niu.** (2007). High precision ^{14}C measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 259: 408–413.
- Pennington, D.T., y Sarukhán J.** (2005). *Árboles tropicales de México*. Editorial Fondo de Cultura Económica, México. pp.40
- Raven, H.P., F. Evert F. Ray., Eichhorn, E, Susan.** 2005. *Biology of plants*. W.H. Freeman and Company Publishers. New York. pp 370.
- Robinson, W.J., y R. Evans.** (1980). A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin*.40: 59-64.
- Roig, F.A., y S.C. Delgado.** (1996). Biogeografía de especies de uso potencial en estudios dendroclimáticos en la zona subtropical-templada de Sudamérica, 23-38°S. *Abstract proceedings IAI International Workshop, Canela, Brasil*.
- Roig, F.A.** (2000). Dendrocronología en los bosques del neotrópico: Revisión y prospección futura. Pp. 103-134. *in Dendrocronología en América Latina*. (Roig, F. ed.). EDIUNC, Mendoza.
- Roig, F.A., O.J. Jimenez, D.J. Villanueva, B. Luckman, H. Tiessen, A. Medina y E.J. Noellemeyer.** (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. *Dendrochronology*. 22: 187–193.
- Roig, F.A., R. Siegwolf y J.A. Boninsegna.** (2006). Stable oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) in *Austrocedrus chilensis* tree rings reflect climate variability in northwestern Patagonia, Argentina. *International Journal of Biometeorology*, 51: 97-105.

Rosero, J. (2009). Dendrocronología de árboles de mogno *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocurrentes en la floresta tropical Amazonica del Departamento de Madre de Dios, Perú. Piracicaba, 129 pp.

Rosell, A.J., M.E. Olson, A. Weeks, J.A. De-Nova, R. Medina-Lemos, J. Pérez-Camacho, T.P. Ferial, R. Gómez-Bermejo, J.C. Montero y L.E. Eguiarte. (2010). Diversification in species complexes tests of species origin and delimitation in the *Bursera simaruba* clade of tropical trees (Burseraceae). *Molecular phylogenetics and evolution* 57: 798-811

Ruzin, S.E. (1998). *Plant microtechnique and microscopy*. New York Oxford. Oxford University Press, 98 pp.

Rzedowski, J. (1988). *Vegetación de México*. Editorial Limusa, México D.F. pp.189

Shiokura, T. (1989). A method to measure radial increment in tropical trees. *IAWA Bull.* 10: 147- 154.

Stahle, D.W., D'Arrigo, P.J. Krusic, M.K. Cleaveland, E.R. Cook, R.J. Allan, J.E. Cole, R.B. Dunbar, M.D. Therrell, D.A. Gay, M.D. Moore, M.A. Stokes, B.T. Burns, J.D. Villanueva y L.G. Thompson. (1998). Experimental Dendroclimatic reconstruction of the southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (10): 2137- 2152.

Stokes, M.A., y T.L. Smiley. (1968). *An introduction to Tree Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago. pp.33

Schweingruber, F.H. (1996). *Tree ring and environment*. Paul Haupt Bern. Available at swiss Federal Institute for Forest, snow and Landscape Research, CH-8903 Birmensdorf.

Silveira, L.M. (2011). *Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de Cedrela odorata L., Cedrela fissilis Vell. E Schizolobium parahyba var. amazonicum Hub. Ex Ducke, no estado do Acre, Brasil*. Tesis de Doctorado, Universidad de Sao Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Pp 64

Suntaxi, F., y E. Jimenez. (2004). *Realizar una aproximación dendrocroclimatológica, en un bosque seco utilizando la especie Guasmo (Guazuma ulmifolia) y su relación con la precipitación y temperatura en el periodo de 1974-2007*. Facultad de Ingeniería Mecánica y ciencias de la producción. Guayaquil Ecuador. pp.39

Swetnam, T.W., M.A. Thomson y E.K. Sutherland. (1985). *Using dendrochronology to measure radial growth of defoliate trees*. USDA-Forestry Service. Agriculture Handbook No. 639.

Saz, M.A., y J. Creuss. (2001). *El clima del pirineo Centro Oriental desde el S. XV: estudio dendroclimático del observatorio de Capdella*. Boletín Glaciológico Aragonés. Departamento de Geografía y ordenación del territorio. Universidad de Zaragoza, Zaragoza.

Rosell, A.J., M.E. Olson, A. Weeks, J.A. De-Nova, R.L. Medina, C.J. Pérez, P.T. Feria, G.R. Bermejo, J.C. Montero y L.E. Eguiarte. (2010). *Diversification in species complexes: Tests of species origin and delimitation in the Bursera simaruba clade of tropical trees (Burseraceae)*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 57: 798- 811.

Srur, A.M., R. Villalba, P. Villagra y D. Hertel. (2008). *Influencias de las variaciones en el clima y en la concentración de CO₂ sobre el crecimiento de*

Nothofagus pumilio en la Patagonia. *Revista Chilena de Historia Natural* 81: 239-256.

Soltis, D.E., D. Bell, K. Sangtae y P.S. Soltis. (2008). Origin and early Evolution of Angiosperms. *Annals of the New York academy of sciences* 1133: 3-25.

Toledo M.C. (1982). *El Género Bursera (Burseraceae) en el Estado de Guerrero en México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tomazello, M.F., P. Botosso y C. Lisi. (2001). Análise e aplicacao dos aneis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. P.p. 117- 143. *In Indicadores ambientais: conceitos e applicacoes.* (Maia, N.B., H.L. Martos y W. Barrella, Eds.). Sao Paulo: EDUC, COMPED, INE. pp. 32

Tomazello M.F., y N. Cardoso. (1999). Seasonal variations of the vascular cambium of Teak (*Tectona grandis* L.) in Brazil. Pp. 147–154, *in Tree Ring Analysis* (Wimmer, R., y R.E. Vetter, eds.). England. CAB International.

Vetter, R.E. y P.C. Botosso. (1989). Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. *IAWA Bull.* 10: 33-145.

Tomazello F.M., y M. Worbes. (1998). *Potentiality and applications of dendrochronology in tropical species.* Congreso Latinoamericano de Botànica, 7º. México, D.F. 33 pp.

Villalba, R. (2000). Dendroclimatology: a southern hemisphere perspective. *in Paleo and Neoclimates of the southern hemisphere: The state of the Arts* (Smolka P. y W. Volkheimer, eds.). Springer. Berlin. pp. 28-57

Villanueva, D.J. (1996). *Influence of Land-use and Climate on soils and forest structure in Mountains of the Southwestern United States and Northern México*. Tesis de Doctorado. University of Arizona, Tucson. 203 pp.

Villanueva, D.J., y G.R. McPherson. (1995). Forest stand structure in mountains of Sonora, México and New México, USA. Pp. 416-423, in *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky. Islands of the Southwestern United States and Northern México* (DeBano, L.F., P.E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G.J. Gottfried, R.H. Hamre y C.E. Edminster, eds.). USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264.

Villanueva, D.J., y G.R. McPherson. (1996). Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New México, USA ad Sonora, México, Hidrology and Water Resources in Arizona and the Southwest. *Hidrology section, Arizona-Nevada Academy of Science 26: 45-54.*

Villanueva, D.J., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y M.D. Therrell. (2000). Estado actual de la dendrocronología en México. *Ciencia Forestal en México, 25(88): 3- 34*

Villanueva, D.J., P.J. Cerano, D.W. Stahle, M.D. Therrell y M.K. Cleaveland. (2003). *Cronologías de anillos de árboles del norte de México y su potencial hidroclimático*. XII Congreso Nacional de Irrigación (ANEI). Zacatecas, Zac. Mex.

Villanueva, D.J., P.J. Cerano, D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland y B.H. Luckman. (2005). *Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. Capítulo I*. Libro Técnico Nùm.1. Contribución al estudio de los servicios ambientales. SAGARPA, INIFAP. Pp.

7-32.

Villanueva D.J., D.W. Stahle, B.H. Luckman, P.J. Cerano, M.D. Therrel y M.K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climate Change* 83: 117 – 131.

Villanueva, D.J., P.J. Cerano, V.G. Constante, Z.F. Peter y O.E. Cornejo. (2009). Variabilidad Hidroclimática histórica de la sierra de Zapalinamé y disponibilidad de recursos hídricos para Saltillo , Coahuila. *Madera y Bosques* 15(3): 45-64.

Villanueva, D.J., P.J. Cerano, A.J. Estrada, M.R. Morán y G.V. Constante. (2010). Precipitación y gasto reconstruido en la Cuenca Baja del Rio Nazas. *Ciencia Forestal*, 1(1): 3-25.

Worbes, M. (1989). Growth rings, increment and age of trees in inundation forests, savannas and a mountain forest in the Neotropics, *in Growth Rings in Tropical Woods* (P. Baas, P., y R.E. Vetter, eds.). IAWA Bull. 10: 109-122.

Worbes, M. y W.J. Junk. (1989). Dating tropical trees by means of ¹⁴C from bomb tests. *Ecology* 70: 503-507.

Worbes, M. (1993). Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. *J. Ecol.* 87: 391-403.

Worbes, M. (1995). How to measure growth dynamics in tropical trees - A review. *Iawa Journal* 16:337-351.

Worbes, M.R., Staschei., Roloff, y W. J. Junk.A. (2003). Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood a production of a natural forest stand in Cameroon. *For. Ecol. and Manage*, 173: 105-123.

Zumaeta, L.E.C., M.F. Tomazello, Pollito., Percy Amilcar Zevallos D. Castillo, F.Y. Alza, M.S. Lobao y F.M. Gomez. (2009). Dendrochronological analysis of *Cedrelinga cateniformis* trees from the center for investigation at Jenaro Herrera Loreto, *in International conference on Dendrochronology*, Peru, 1: 1.