

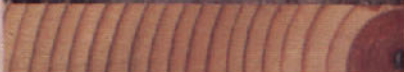
MÉXICO 2010



**GOBIERNO
FEDERAL**

SAGARPA

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



Parámetros para definir el potencial dendrocronológico

Ing. Vicenta Constante García, Dr. José Villanueva Díaz,
M.C. Julián Cerano y Dr. Juan Estrada Ávalos

CENID-RASPA

Gómez Palacio, Dgo. Diciembre del 2010
Folleto Técnico Num. 19

Serie: MX-0-310601-13-10-00-09-19

ISBN: 978-607-425-475-4

25 Aniversario
Ciencia y Tecnología
para el Campo Mexicano



DIRECTORIO INSTITUCIONAL

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda
Secretario

M. C. Mariano Ruiz-Funes Macedo
Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Dr. Pedro Adalberto González Hernández
Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. Arturo Cruz Vázquez
Encargado del Despacho de la Coordinación
de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

Lic. Ricardo Noverón Chávez
Director General Adjunto de la Unidad Jurídica

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

Parámetros para definir el potencial dendrocronológico

Ing. Vicenta Constante García
Dr. José Villanueva Díaz
M. C. Julián Cerano Paredes
Dr. Juan Estrada Ávalos

CENID - RASPA

2010

**Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias**

Progreso N°. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México D. F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-425-475-4

Primera Edición 2010

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

PRESENTACIÓN

La diversidad de especies arbóreas en México es una de las más grandes del mundo, situación que le confiere un potencial enorme para el desarrollo de estudios dendrocronológicos. Una especie arbórea para catalogarse con adecuado potencial dendrocronológico, no basta con que produzca anillos de crecimiento anual bien definidos, si no que exista una variación interanual en el grosor de estos crecimientos, como función a la variabilidad climática existente, previa o durante la estación de crecimiento. Uno de los factores que más limitan el crecimiento radial de los árboles en México es la precipitación, particularmente en climas semiáridos y en zonas templadas y subtropicales. De esta forma, el crecimiento de una gran cantidad de especies arbóreas en este país, estará condicionada a la disponibilidad y distribución en el tiempo de esta variable climática, así por ejemplo, anillos gruesos o anchos se relacionarán con un adecuado suministro de agua y anillos reducidos o angostos con disponibilidad limitada de este recurso.

Para determinar la sensibilidad o potencial de una especie arbórea para el desarrollo de series de tiempo dendroclimáticas existe una serie de parámetros específicos para este propósito como son sensibilidad media, autocorrelación, relación señal-ruido, desviación estándar, entre otros parámetros estadísticos, los cuales serán descritos a detalle en el presente documento.

La sencillez y claridad con que se trata cada uno de estos parámetros y el uso de imágenes específicas para ilustrar cada uno de ellos, hacen de este folleto técnico

un documento esencial para estudiantes en las áreas biológicas y para personal técnico y científico, que desee realizar estudios dendrocronológicos con especies nuevas, o ampliar su conocimiento en especies ya usadas con este mismo propósito.

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG
DIRECTOR
CENID RASPA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes de estudios relacionados con la determinación de potencial dendrocronológico.....	3
Criterios para definir el potencial dendrocronológico	7
Estadísticos del programa COFECHA.....	8
La Intercorrelación entre series	8
Problemas de crecimiento	8
Estadísticos del programa ARSTAN.....	8
Sensibilidad	8
La desviación estándar.....	9
La autocorrelación	9
Proporción señal ruido.....	10
El crecimiento anual y la sensibilidad.....	11
Sensibilidad de <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus pinceana</i> ..	13
Criterios dendrocronológicos en <i>Pinus cembroides</i> y <i>Pinus pinceana</i>	19
Recomendaciones.....	20
<i>Taxodium mucronatum</i>	22
Criterios dendrocronológicos en <i>Taxodium mucronatum</i>	26
Recomendaciones.....	27
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	29
Criterios dendrocronológicos de <i>Pseudotsuga menziesii</i>	31
CONCLUSIONES	34
AGRADECIMIENTOS	35
LITERATURA CITADA	36

INTRODUCCIÓN

Los anillos de los árboles como archivos para determinar el clima del pasado se han utilizado ampliamente por un sinnúmero de autores, desde inicios del siglo XX por el fundador de la dendrocronología, Andrew E. Douglas (Fritts, 1976), hasta la actualidad (Hughes *et al.*, 2011; Stahle *et al.*, 2011).

El potencial dendrocronológico de una especie se refiere a su capacidad para desarrollar anillos de crecimiento anual, con una fuerte señal climática; esta variabilidad climática, se refleja a través de las fluctuaciones en el grosor de sus crecimientos anuales (Fritts, 1976).

En México y en los ecosistemas de bosque templado, existen coníferas con excelente potencial dendrocronológico, cuyo desarrollo tanto de madera temprana como de madera tardía está influenciado por las condiciones dominantes de precipitación de invierno y de verano (Stahle *et al.*, 1998), así mismo, estas especies permiten analizar la influencia de fenómenos climáticos de circulación general, que determinan la variabilidad de la precipitación en ciertas regiones del país (Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 2003).

México es un país megadiverso, con 71 especies de gimnospermas (plantas arbóreas, principalmente) de las cuales, destacan las coníferas (pinos) con 48 especies,

que representan el 48% de las especies de pino a nivel mundial (CONABIO, 1998).

Actualmente para México son pocas las especies analizadas desde el punto de vista dendrocronológico y con las cuales se ha generado un red de aproximadamente 100 series dendroclimáticas que han permitido determinar la variabilidad climática, en varios casos por períodos mayores a 600 años. Entre las especies más importantes, sobresalen *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco, *Taxodium mucronatum* Ten. y *Pinus cembroides* Zucc. (Villanueva *et al.*, 2007 y 2008; Constante *et al.*, 2009).

Existe un gran reto ante la necesidad de determinar el potencial dendrocronológico de nuevas especies, que permitan reconstruir variables climáticas, en sitios donde no se ha desarrollado este tipo de base de datos y que contribuyan al desarrollo de una planeación adecuada de los recursos naturales; ante tal situación, en el presente folleto técnico, se plantea como objetivo principal, dar a conocer los criterios básicos empleados para evaluar el potencial dendrocronológico de nuevas especies y su comportamiento en términos de parámetros estadísticos que definen sus sensibilidad para este propósito.

Antecedentes de estudios relacionados con la determinación de potencial dendrocronológico

En el continente Americano se ha generado mucha información relacionada con el potencial dendrocronológico de un sinnúmero de especies arbóreas, las cuales han mostrado excelente potencial y han permitido la reconstrucción de una serie de variables climáticas con una extensión de unos cuantos siglos a varios milenios.

Una de las especies más importantes en el Norte de América es el *Pinus aristata* Englm. y es la especie más longeva encontrada hasta la fecha y de la cual, se determinó su potencial dendrocronológico, que permitió generar la cronología más extensa conocida con una longitud de 7,100 años (Ferguson, 1969).

Para América del Sur se ha determinado el potencial dendrocronológico de especies muy longevas, específicamente para Chile, se ha trabajado ampliamente con la especie *Fitzroya cupressoides* (Mol.) Johnston (Alerce), con la cual se ha logrado desarrollar series de tiempo de 3,600 años, las cuales son sensibles a los cambios de temperatura y precipitación (Neira y Lara, 2000).

Como un esfuerzo conjunto tanto personal científico de Chile como de Argentina han analizado y determinado el potencial dendrocronológico de diferentes especies, tales

como: el ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm & Bizarri), Ciprés de las Guaytecas (*Pilgerodendron uviferum* (D. Don) Florin), araucaria (*Araucaria araucana* (Mol.) Koch.) y Lenga (*Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl.) Krasser).

Para Bolivia, Argollo *et al.* (2004) reporta el potencial dendrocronológico de la especie *Polylepis tarapacana* (Phil.), la cual se desarrolla en el altiplano Boliviano y aéreas cercanas a Perú, Chile y Argentina, esta especie, presenta anillos claramente definidos cuya sensibilidad media es muy similar a otras especies subtropicales presentes en América del Sur (Villalba *et al.* 1987, 1992) y mayores a los reportados para las especies de zonas templadas y frías (Boninsegna, 1992).

Otro de los trabajos desarrollados en centro América fue el realizado con *Pinus occidentalis* Swartz, en República Dominicana. En esta especie se determinó la presencia de anillos falsos, anillos perdidos, anillos lastimados, presencia de microanillos, entre otras determinaciones. De este estudio, se concluyó que el estrés hídrico y bajas temperaturas presentes a mayores elevaciones, propician una mejor definición del anillo anual e incrementan su variabilidad en el tiempo (Speer *et al.*, 2003).

En Perú, se logró analizar el potencial dendrocronológico de *Cedrelinga cateniformis* (Ducke), especie nativa del bosque tropical sudamericano, la cual presenta amplia

variabilidad en sus anillos de crecimiento, situación que se refleja en una correlación y una sensibilidad aceptable (Campos, 2009).

En México así como para el sur de América, este tipo de estudios es relativamente reciente, uno de los primeros ensayos de evaluación de potencial fue el desarrollado por Naylo (1971), el cual analizó el potencial dendrocronológico de cuatro especies de pinos oaxaqueños, sin lograr mucho éxito; en tanto que Suzan y Franco (1981) trabajaron con *Pinus hartwegii* Lindl. de rodales ubicados en los volcanes del centro de México, donde desarrollaron una cronología de 200 años (1780-1980), que consideraron poco sensible a variables climáticas; así mismo, Serrano *et al.* (1990) y Huante *et al.* (1991) trabajaron con *Abies religiosa* (H.B.K.) Schelecht & Cham. en bosques de coníferas del estado de Michoacán y determinaron su potencial dendrocronológico al lograr una cronología de anillo total para el periodo de 1922 a 1986.

Gutiérrez (2003) realizó un análisis dendrocronológico en el sur de Nuevo León, donde integró una cronología compuesta de tres especies de coníferas *Abies vejari* (Mart.) Lui., *Pinus Hartwegii* Lindl. y *Pinus strobiformis* Engelm., en la cual logra definir el valor alto, medio y bajo del potencial de las especies con relación a los estudios realizados por Huante (1991) en Michoacán y por Biondi (2002) en el Nevado de Colima.

Otra de las especies muy estudiadas con este propósito en México es el sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) con el cual se han desarrollado reconstrucciones de precipitación y de caudales en sistemas riparios importantes del norte y centro de México (Villanueva *et al.*, 2007). De igual manera, se ha establecido una red de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Mirb., en sitios muestreados tanto en el norte como en el centro del país. Esta especie por su sensibilidad climática y por captar con fidelidad la señal climática del Niño Oscilación de Sur, se considera la más importante con fines dendroclimáticos (Villanueva *et al.*, 2008).

Estudios recientes con diversas especies de pinos piñoneros han generado excelentes resultados, Constante *et al.*, (2009) desarrolló un estudio con *Pinus cembroides* Zucc. en el Área Natural Protegida Sierra de Zapalinamé, Coahuila y determinó un buen potencial de la especie y al mismo tiempo logró reconstruir la variabilidad de la precipitación para los últimos 400 años. Mientras que con *Pinus pincena* Gordon, se trabajó en 10 poblaciones distribuidas en la Sierra Madre Oriental, estudio que demostró su buen potencial para la reconstrucción de la variabilidad de precipitación en esta región (Santillan *et al.*, 2010).

Criterios para definir el potencial dendrocronológico

Los estudios enfocados a evaluar el potencial dendrocronológico, se basan principalmente en cuatro criterios básicos: (1) la sensibilidad media, (2) la desviación estándar, (3) la autocorrelación de primer orden y (4) la proporción señal ruido. Sin embargo, también se consideran otros parámetros estadísticos importantes como son: la cantidad de problemas que presentan las muestras al momento del fechado y la asociación de las series de crecimiento, es decir, la intercorrelación entre series.

Los valores para cada uno de los diferentes criterios se generan a partir del análisis de las series de crecimiento anual, en los programas básicos utilizados para el desarrollo de estudios dendrocronológicos que son COFECHA y ARSTAN, y cuyos valores se pueden observar en los archivos de salida.

A continuación, se describe de manera breve cada uno de los criterios y los rangos más frecuentes de sus valores, con el objetivo de analizar la variación de estos parámetros, determinados por la especie y el área geográfica donde se desarrolla. Las definiciones y valores aquí plasmados son descritos por (Grissino-Mayer, 2001).

Estadísticos del programa COFECHA

La Interrelación entre series

Es la medida de la influencia de la señal climática común en todas las muestras de los árboles del sitio y representa la confiabilidad de la cronología. Los valores para este parámetro oscilan de 0.4 a 0.9, sin embargo, la mayoría de las cronologías en general muestran valores que oscilan entre 0.55 y 0.75.

Problemas de crecimiento

Este criterio se refiere al número de problemas que presenta la muestra o bien a la baja sincronía entre los anillos de diferentes muestras para un mismo período, esta variable se ve reflejada de manera directa en la correlación, de tal manera que lo ideal es tener series de crecimiento sin ningún problema, es decir, series con una alta sincronía entre los crecimientos anuales.

Estadísticos del programa ARSTAN

Sensibilidad

La sensibilidad es uno de los principios básicos de la dendrocronología, este principio puede ser evaluado a través de un parámetro estadístico denominado sensibilidad media, el cual indica las diferencias relativas en anchura

entre los anillos adyacentes, cuya variación está definida por las fluctuaciones de un factor climático limitante, que para México generalmente es la lluvia.

El valor de la sensibilidad media varía de acuerdo a la especie y la región climática, pero de manera general se indica que un valor de 0.65 se presenta en especies muy sensibles y de 0.15 para especies poco sensibles.

La desviación estándar

Es una media de la variación en crecimiento del año previo con respecto al año actual, antes de que las series sean estandarizadas. Generalmente los valores de este parámetro oscilan entre 0.3 a 0.8. Es una medida que tiene poca utilidad cuando se realiza una reconstrucción climática, pero es indicativo de la fluctuación existente entre crecimientos.

La autocorrelación

La autocorrelación es una medida de cómo gran proporción del ancho del anillo en un año " n " es influenciado por el grosor del anillo en un año " $n-1$ ". Las series de anillos de árboles presentan esta correlación denominada de primer orden o Lag-1, principalmente porque el proceso fisiológico en árboles, crea un Lag o retraso en respuesta al clima, y también porque las anomalías del clima persisten de un año

al siguiente. Valores altos de intercorrelación y sensibilidad media, se asocian con una baja autocorrelación.

Los valores más bajos de autocorrelación se dan en el rango de 0.3 a 0.5, estos valores se encuentran en especies con una alta sensibilidad; los valores más comunes oscilan entre 0.6 y 0.8, y los más altos presentan valores por arriba de 0.9. Por ejemplo en el caso de *T. mucronatum* este muestra alta autocorrelación, lo que produce que el crecimiento de un año específico, esté influenciado por el crecimiento ocurrido hasta dos años previos.

Proporción señal ruido

Se denomina señal a la información de interés y ruido al resto, visualizado de esta manera, una serie de anillos de árboles es un conjunto de varias señales que pueden ser señal o ruido según la información que se desee resaltar o extraer.

En general, se establece que para indicar el buen potencial dendrocronológico de una especie, esta debe presentar una alta intercorrelación entre series, alta sensibilidad, alta desviación estándar, alta relación señal ruido y una baja autocorrelación de primer orden (Delgado, 2000).

El crecimiento anual y la sensibilidad

Los crecimientos anuales dependen de ciertas condiciones para su formación, dentro de lo que es un ciclo anual de crecimiento, de tal manera que en zonas intertropicales, la actividad del cambium vascular se presenta en la mayor parte del año, debido a las condiciones de humedad y temperatura favorables, en tanto que, en las zonas desérticas, la actividad se restringe al período de lluvias y en las zonas templadas, se inicia cuando las temperaturas se incrementan (Borchert, 1999; Creber y Chaloner, 1984).

Las fases de crecimiento y la inactividad de la planta están muy ligadas con los cambios ambientales, de tal manera, que las bajas temperaturas inducen generalmente a periodos de inactividad en los meristemos, mientras que las condiciones húmedas y cálidas provocan su reactivación, siendo esta periodicidad en el cambium vascular, la que determina el crecimiento anual y su amplitud (Ajmal e Iqbal, 1987; Lim Soh, 1997).

La marcada variación de ancho de anillo ocasionada por la presencia de un factor limitante de crecimiento, recibe el nombre de "*sensibilidad*", en tanto que la poca variabilidad en el crecimiento en una especie, se denomina "*complacencia*". Los árboles complacientes producen anillos muy uniformes que muestren condiciones climáticas constantes todos los años, esto propiciado por la alta disponibilidad de agua y suelos fértiles (McCarthy, 1998;

Fritts, 1976). Por ejemplo, la Figura 1 muestra una sección transversal en la cual se exhiben los crecimientos anuales de una especie complaciente.



Figura 1. Sección transversal, donde se observa una limitada variabilidad en los crecimientos anuales (muy uniformes en crecimiento), situación que se atribuye a una baja sensibilidad climática.

La Figura 2, por el contrario, indica alta variabilidad en el ancho de los crecimientos, lo cual es un ejemplo claro de una especie con alta sensibilidad climática.



Figura 2. Sección transversal, donde se observa alta variabilidad en los crecimientos anuales (anillos anchos y estrechos), situación que se atribuye a una alta sensibilidad climática.

Sensibilidad de *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana*



Figura 3. Especímen arbóreo de *Pinus cembroides* en un rodal ubicado en Sierra de Zapalinamé, Coahuila.

El valor de los criterios que permiten la evaluación del potencial dendrocronológico de una especie determinada, están en función a la sensibilidad, la cual a su vez, depende de la zona geográfica donde se desarrolla y la variable climática que más limita su crecimiento.

A continuación se describe la sensibilidad de algunas especies con base a características del sitio y condiciones climáticas donde se desarrollan. Las especies que se discuten, se han estudiado en todo su proceso dendrocronológico, que implica desde la obtención de los núcleos de crecimiento en campo hasta el fechado de sus anillos anuales en el laboratorio.

Las especies de *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana* son representativas de las partes bajas de las cadenas montañosas en el norte y centro de México, *P. cembroides* se desarrolla por lo general en exposiciones norte (Figura 3), sobre valles, en lugares más húmedos que *P. pinceana*; esta última especie, se distribuye sólo en la Sierra Madre Oriental y se ubica en pequeños rodales con exposición sur, en condiciones más áridas y de estrés (Figura 8); esta quizás sea una de las razones por las cuales *Pinus pinceana* muestra mayor variabilidad en sus crecimientos, lo que la hace comparativamente más sensible (Figura 4).



Figura 4. Condiciones ecológicas donde se desarrollan las especies de *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana* en la Sierra Madre Oriental.

Las condiciones ambientales antes señaladas donde se desarrolla *P. pinceana*, influyen para que esta muestre mayor variabilidad en sus crecimientos (Figura 5), presencia de un número mayor de microanillos, así como de anillos ausentes o perdidos, esto en comparación con *P. cembroides* (Figura 6). En general, el crecimiento anual promedio de *P. pinceana* para años secos específicos es menor a la de *P. cembroides*, lo cual indica una mayor sensibilidad al clima.



Figura 5. Sección transversal de *Pinus pinceana* donde muestra una gran cantidad de microanillos y de anillos ausentes.



Figura 6. Sección transversal de *Pinus cembroides*. La nitidez de los anillos anuales es mejor y la especie muestra una menor proporción de microanillos y de anillos perdidos en comparación con *Pinus pinceana*.

La alta sensibilidad de ambas especies y la variable climática limitante común (precipitación), permite el desarrollo de patrones de crecimiento similares entre árboles de la misma especie colectados en un área determinada, esto permite obtener una mayor sincronía entre los crecimientos para años específicos, situación deseable para lograr un buen fechado (Figura 7).

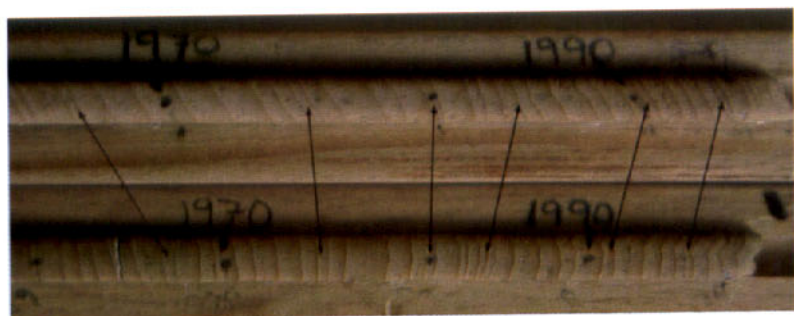


Figura 7. Sincronía entre los anillos de crecimiento de *Pinus cembroides* al compararse dos núcleos de crecimiento obtenidos en la misma región.



Figura 8. Individuos de *Pinus pinceana* en un rodal ubicado en el ejido Norias, Cuatrociénegas, Coahuila.

Criterios dendrocronológicos en *Pinus cembroides* y *Pinus pinceana*

En el ecosistema donde se desarrollan estas especies, la variable climática limitante es la precipitación, una variación importante en la reducción de la precipitación va a propiciar crecimientos muy pequeños, situación que se detecta en todos los árboles de la región, lo que se denomina señal común entre árboles, y que permite fechar el mayor número de muestras de estas especies.

Los valores de *P. pinceana* para cada uno de los criterios dendrocronológicos son: sensibilidad de 0.53, una intercorrelación entre series de 0.61 y autocorrelación de 0.21. Para el caso de *P. cembroides*, la especie registra valores de sensibilidad de 0.36, intercorrelación entre series de 0.74 y una autocorrelación 0.39.

Los datos estadísticos anteriores corroboran lo señalado anteriormente con base a la variabilidad de los crecimientos; *P. pinceana* indica una mayor sensibilidad con respecto a *P. cembroides* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estadísticos generados para cada uno de los diferentes criterios de las especies *P. cembroides* y *P. pinceana*.

Estadísticos	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinus pinceana</i>	<i>Pinus pinceana</i>
	El Diamante ¹	Huachichil ¹	Norias ¹	Palmas Altas ¹
Intercorrelación entre series	0.742	0.688	0.61	0.77
Segmentos con problemas	0	1	6	0
Sensibilidad media	0.369	0.278	0.53	0.59
Desviación estándar	0.3871	0.3061	0.32	0.46
Autocorrelción de primer orden	0.3992	0.4723	0.21	0.28
Relación señal ruido	42.95	54.523	14.7	30.02

¹ Los sitios de estudio se localizan en el estado de Coahuila para las dos especies (Villanueva et al., 2008; Santillán et al., 2010).

Sin embargo, en términos generales al comparar los valores de los criterios dendrocronológicos de ambas especies, con los criterios promedio indicados por Grissino-Mayer (2001), se determinó que tanto *P. pinceana* como *P. cembroides* presentan un buen potencial dendrocronológico para la reconstrucción de variables climáticas.

Recomendaciones

Ambas especies presentan una alta sensibilidad, lo que se traduce en una alta variabilidad en sus crecimientos, situación que origina una mayor dificultad para el fechado de muestras. La alta sensibilidad se traduce en una baja intercorrelación entre series, por lo tanto, para estas especies es importante considerar la colecta de un alto

número de muestras por árbol y por área de muestreo, situación que facilita el observar la replicación de años con muy reducido crecimiento, así como para facilita su fechado.

La experiencia que se tiene en el fechado de las especies de *Pinus cembroides* y *Pinus pincena* indica que el principal problema es la presencia de microanillos y la tendencia a generar anillos ausentes o perdidos, derivado de eventos mínimos de precipitación. El hecho de presentar este tipo de crecimientos influye en un más alto valor de sensibilidad, pero a su vez, esto puede abatir también el valor de intercorrelación entre series, debido a que se incrementa el grado de dificultad para fechar estas especies.

Para disminuir este tipo de problemas, se recomienda incrementar el número de muestras por árbol, es decir, obtener mínimo tres núcleos de crecimiento y en la medida de lo posible, obtener secciones transversales, que permitan incrementar la replicación de anillos ausentes en un mayor número de individuos.

Taxodium mucronatum

Figura 9. Ejemplar de *Taxodium mucronatum* ubicado en los márgenes del río San Pedro Mezquital, Durango .

Esta especie, se desarrolla a la orilla de ríos (Figura 9 y 10), donde generalmente se ve afectado por daños naturales provocados por avenidas fuertes, así como de origen antropogénico, entre los que se encuentra el corte de ramas, que deriva en pudriciones, incendios intencionales y cortes al tallo principal y en raíces (Figura 11).



Figura 10. Condiciones ecológicas en las que se desarrolla *Taxodium mucronatum*, una especie de hábitos riparios.



Figura 11. Tallo de *Taxodium mucronatum* que muestra deformación en sus crecimientos anuales debido a disturbios tanto de origen natural como antropogénico.

En general, se ha observado que *Taxodium mucronatum* presenta una adecuada sensibilidad (Figura 12), aunque para lograr lo anterior es necesario realizar una selección cuidadosa del sitio y los individuos a muestrear, que los núcleos de crecimiento se obtengan de una parte del fuste o rama donde este sea relativamente cilíndrico, de tal manera que se minimice la presencia de crecimientos irregulares derivados de malformaciones (contrafuertes), o de daños físicos provocados; situación que genera anillos de crecimiento anual cuyo grosor estará más influenciado por factores climáticos (Figura 12).



Figura 12. Anillos de *Taxodium mucronatum* que muestran una gran variación en sus crecimiento como resultado de la influencia de la variabilidad climática.

La sensibilidad de una especie se puede determinar a simple vista al analizar la variabilidad observada en sus crecimientos anuales; es decir, la presencia de anillos anchos para ciertos períodos y anillos pequeños en otros. Un buen ejemplo de lo indicado anteriormente es la muestra de la Figura 12, donde se puede apreciar la sensibilidad de la especie derivado de su variabilidad en crecimiento.

Criterios dendrocronológicos en *Taxodium mucronatum*

Una forma diferente para definir la sensibilidad de la especie es de manera estadística y con fundamento en los criterios dendrocronológicos. El sabino presenta en promedio una intercorrelación entre series de 0.50, sensibilidad de 0.30 y una autocorrelación de primer orden de 0.39 (Cuadro 2).

La sensibilidad que muestra esta especie es adecuada en términos dendrocronológicos, si se considera que los valores oscilan entre 0.65 para especies muy sensibles y 0.15 para especies con una baja sensibilidad (Grssino-Mayer, 200).

Cuadro 2. Estadísticos generados en base a *T. mucronatum* para cada uno de los diferentes criterios.

Estadísticos	<i>Taxodium mucronatum</i>	<i>Taxodium mucronatum</i>
	Río Barrial de Gpe.	Río Sabinas
Intercorrelación entre series	0.456	0.543
Segmentos con problemas	9	15
Sensibilidad media	0.233	0.369
Desviación estándar	0.2591	0.5052
Autocorrelción de primer orden	0.3878	0.41
Relación señal ruido	2.493	7.347

¹Sitios de estudio localizados en el estado de Coahuila.

Recomendaciones

Los problemas comunes que se encuentran al datar esta especie son principalmente derivados de la presencia de anillos falsos y anillos perdidos, lo cual aunado a la irregularidad en sus crecimientos por los contrafuertes que presenta, la deformación de sus anillos por la inclinación a temprana edad, los daños por pudrición y el efecto del disturbio, que finalmente se refleja en sus crecimientos, la convierten en una especie que aunque presenten una buena sensibilidad es difícil de fechar.

Sabino presenta una gran longevidad, llegando a vivir más de mil años, esta característica origina una uniformidad en la anchura de sus anillos, de tal manera que entre más longevos sean los árboles, sus anillos muestran una menor irregularidad y mayor sincronía que facilita un mejor fechado (Figura 13).

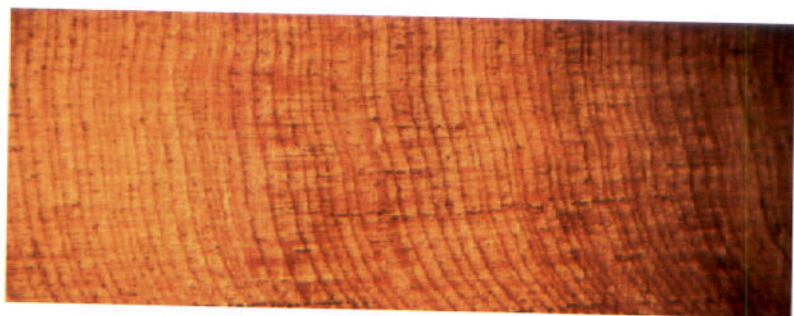


Figura 13. Estabilización de anillos en árboles longevos de *Taxodium mucronatum*.

En general, una adecuada selección del sitio, los árboles a muestrear y seleccionar cierto número de árboles longevos, puede contribuir en gran medida a un exitoso fechado y excelente señal climática de la cronología. El Sabino constituye la opción más factible para generar cronologías milenarias en México.

Pseudotsuga menziesii



Figura 14. Árbol de *Pseudotsuga menziesii*

Una de las especies más reconocidas en estudios dendrocronológicos por su alta sensibilidad a la variabilidad climática es *Pseudotsugamenziesii* (Figura 14). Esta especie posee alta variabilidad en sus crecimientos, períodos secos y húmedos claramente definidos, microanillos y baja proporción de anillos ausentes (Figura 15). Para México es sin duda la especie con mejor potencial dendrocronológico y una ventaja adicional es que es factible medir tanto las bandas de madera temprana como tardía en un crecimiento anual.



Figura 15. Crecimientos anuales de *Pseudotsugamenziesii*, que indican buena sensibilidad.

Esta especie debido a que se distribuye en lugares a gran elevación, está menos expuesta a la influencia antropogénica, razón por la cual capta en sus anillos de crecimiento una mayor señal climática.

Criterios dendrocronológicos de *Pseudotsuga menziesii*

En general, la señal climática que capta esta especie puede estar influenciada en gran medida por la altitud en la que se distribuye, ya que ha mayor altitud, las especies son más sensibles, reflejándose en una alta variabilidad del crecimiento anual, lo cual permite una mayor sincronía de los patrones de crecimiento (Figura 16).

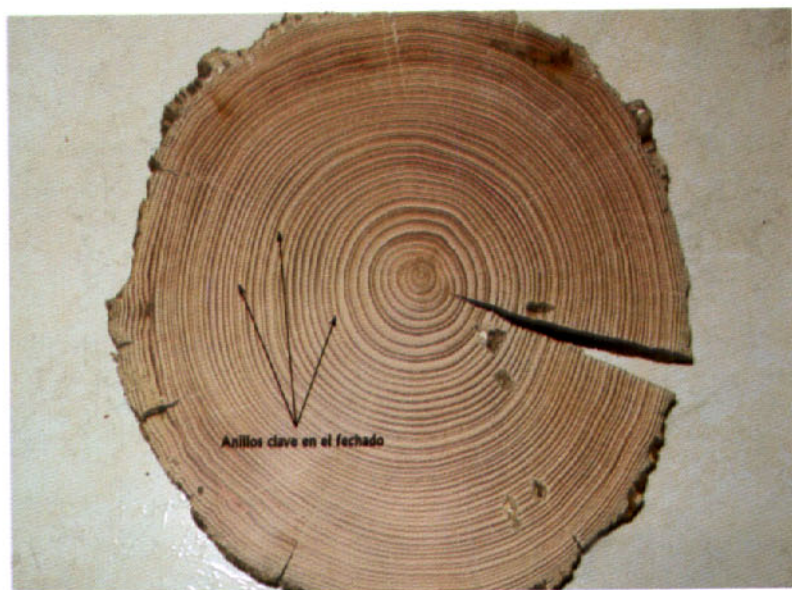


Figura 16. Sección transversal de *Pseudotsuga menziesii*. La variabilidad en los crecimientos e identificación de anillos clave (pequeños) es fundamental para una adecuada sincronía entre muestras y lograr un perfecto fechado.

Los valores promedio para los criterios dendrocronológicos que presenta esta especie son: sensibilidad de 0.35, intercorrelación entre series de 0.75 y una autocorrelación de 0.35 (Cuadro 3).

Los estadísticos generados para *P. menziesii* permiten corroborar el potencial de la especie, se registran valores mayores a los promedios establecidos por Grissino Mayer, (2001), para algunos de los parámetros. Sobresaliendo para este caso, los valores de intercorrelación entre series, que rebasa el rango establecido.

Cuadro 3. Estadísticos de *Pseudotsuga menziesii* para cada uno de los diferentes criterios dendrocronológicos.

Estadísticos	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	
	El Coahuilón ¹	La Viga ¹
Intercorrelación entre series	0.83*	0.73*
Segmentos con problemas	0	4A
Sensibilidad media	0.35	0.36
Desviación estándar	0.315	0.33
Autocorrelación de primer orden	0.3211	0.44
Relación señal ruido	51.89	32.2

¹ Áreas de estudio en el estado de Coahuila (Cerano, 2004).

* Valores que sobrepasan los rango establecidos para este criterio.

Otras especies estudiadas

Otras especies de interés dendrocronológico son diversas especies de coníferas, entre las que se encuentran el *Pinus hartwegii* Lindl., *Pinus lumholtzi* Robins & Ferns, *Pinus culminicola* Andresen & Beaman, *Pinus gregii* Engelm., entre otras especies. La sensibilidad de las mismas es muy variable y esta es mayor para *P. culminicola* y *P. lumholtzii* en comparación con especies de sitios elevados como *P. hartwegii*. La generación de los valores de sensibilidad para estas especies se encuentran en proceso y en un futuro cercano permitirán tener un acopio más completo de la sensibilidad de las especies para fines de reconstrucción paleoclimática.

CONCLUSIONES

En México la variable climática limitante del crecimiento en las coníferas es la precipitación, esta variable es la responsable de la diferencia en anchura entre los anillos de crecimiento anual, sin embargo, la alta o baja variabilidad esta dada en gran media por la especie y el área geográfica de distribución.

La sensibilidad de una especie es posible determinarla a simple vista al observar variabilidad en el grosor de sus anillos, o de manera estadística por medio de cada uno de los criterios dendrocronológicos antes descritos. Una alta o baja sensibilidad puede significar dificultad en el proceso de fechado, especies como *Pinus pinceana* y *Pinus cembroides* muestran una alta sensibilidad como consecuencia del gran número de microanillos y anillos ausentes, por el contrario, *Pseudotsuga menziesii* presenta valores intermedios de sensibilidad, atribuible al reducido número de anillos ausentes. Sin embargo, presenta alta sincronía en sus patrones de crecimiento, reflejado en una alta intercorrelación entre series.

De los diferentes criterios dendrocronológicos descritos, los más importantes a considerar cuando el objetivo es generar una cronología, son la sensibilidad media y la intercorrelación entre series, ya que parámetros como la desviación estándar y la autocorrelación de primer orden se eliminan en el proceso de estandarización.

Las especies analizadas presentaron altos valores para los criterios descritos, esto en base a la escala promedio planteada por Grissino-Mayer (2001) para determinar el potencial de una especie, por lo que se clasifican como especies con bueno y alto potencial.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de fondos del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Climático (IAI), Proyecto CRN#2047, a su vez financiado por el US/National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

LITERATURA CITADA

- Ajmal, S. y M. Iqbal. 1987. Annual rhythm of cambial activity in *Streblus asper*. IAWA Bulletin new series 8(3): 275-283.
- Argollo, J., C. Soliz, R. Villalba. 2004. Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39:5-24.
- Biondi, F. 1997. Mediciones de *Pinus hartwegii* del Nevado de Colima. International Tree-Ring Data Bank, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Colorado, USA. <<http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html>>, (Diciembre del 2010).
- Boninsegna, J.A. 1992. South American dendroclimatological records. pp. 446-462. En R. S. Bradley & P. D. Jones (eds.). *Climate Since A.D. 1500*. Routledge, Londres.
- Borchert, R. 1999. Climatic periodicity, phenology y cambium activity in tropical dry forest trees. *IAWA Journal* 20(3): 239-247.
- Cerano, P. J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, Méx. 152 p.
- Campos, Z. L. E. 2009. Dendrocronología en árboles de Tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del Centro de Investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Región Loreto – Perú.

- Tesos de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú. 129p.
- CONABIO. 1998. La diversidad biológica de México: Estudio de país. México. p 64.
- Constante, G. V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. H. Cornejo O., S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* y reconstrucción de la precipitación estacional para el sureste del estado de Coahuila. *Ciencia Forestal*. 34(16):17-41.
- Ferguson, C. W. 1969. A 7104-year annual tree-ring chronology for bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin* 29: 1-29.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic press. New York. 567 p.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57 (2) 205 – 221.
- Gutierrez, G. G. 2003. Análisis dendrocronológico y económico de *Abies*, *vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis* y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garzas Nuevo León.
- Huante, P., E. Rincon, T. H. Swetnam. 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan, México. *Tree-ring Bulletin* 51: 15 – 28.
- Hughes, M. K., T. W. Swetnam and H. F. Diaz. 2011. *Dendroclimatology, Developments in Paleoenvironmental Research*. Springer. 365 p.

- Lara, A. y R. Villalba. 1993. A 3620-year temperature record from *Fitzroya cupressoides* tree rings in southern South America. *Science* 260: 1104–1106.
- Magaña, V., J. L. Vázquez, J. L. Pérez y J. B. Pérez. 2003. Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica internacional*. Universidad Nacional Autónoma de México, México 42: 313-330.
- Neira, E. y A. Lara. 2000. Desarrollo de cronologías de ancho de anillos para alerce (*Fitzroya cupressoides*) en Contao y Mirador, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 73: 693-703.
- Nylor, T. H. 1971. Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study. *Tree-ring Bulletin* 31: 25– 29.
- Santillán, H. M., E. Cornejo O., J. Villanueva D., J. Cerano P., S. Valencia M., M. A. Capo A. 2010. Potencial dendroclimático de *Pinus pinceana* Gordon en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques* 16(1):17-29.
- Serrano, J., L. Rodríguez y Y. Vargas. 1990. Análisis estadístico de datos dendrocronológicos para el Desierto de los Leones, México, D.F. En: XI Congreso de Botánica: Programas y Resúmenes. Oaxtepec, Morelos. 30 de Septiembre al 5 de Octubre. P. 184.
- Speer, J. H., K. H. Orvis, H. D. Grissino-Mayer, L. M. Kennedy and S. P. Horton. 2004. Assessing the dendrochronological potential of *Pinus occdentalis* Swartz in the Cordillera Central of the Dominican Republic. *The Holocene* 14,4 (2004): 563-569.
- Stahle, D. W., J. Villanueva D., D. J. Burnette, J. Cerano P., R. R. Heim Jr., F. K. Fye, R. Acuña S., M. D. Therrell, M. K. Cleaveland and D. K. Stahle. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium.

- Geophysical Research Letters. Vol. 38, L05703. 1-4.
- Stahle, D. W., R. D. D'Arrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. D. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Gay, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva D. and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79 (10): 2137-2152.
- Suzan, H. y M. Franco. 1981. Estudios dendrocronológicos en México en poblaciones de *Pinus hartwegii*. En: *Memorias del VII Congreso Mexicano de Botánica*. Pp. 277 – 278.
- Villalba, R., J. A. Boninsegna and A. Ripalta. 1987. Climate site conditions and tree growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17 (12): 1527-1544.
- Villalba, R. R. L. Holmes and J. A. Boninsegna. 1992. Spatial patterns of climate and tree growth anomalies in subtropical Northwestern Argentina. *Journal of Biogeography* 19: 631-649.
- Villanueva, D. J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P., M. D. Therrell, R. Morán M., L. Cleaveland. 2007. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. *Ciencia Forestal* 32(101):9-37.
- Villanueva, D. J., J. Cerano P., D. W. Stahle, J. Estrada A. y V. Constante G. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mrlb.) Franco y reconstrucción de la precipitación y Flujo en México. *Folleto Científico No. 23. INIFAP CENID-RASPA*. Gómez Palacio, Durango. México. 49 p.

Villanueva, D. J., J. Cerano P., V. Constante G., E. H. Cornejo O. y M. Santillán H. 2008. Los piñoneros del noreste de México y su respuesta climática. AGROFAZ. Vol. 8, Num. 3: 167-176.



Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centros Nacionales de Investigación Disciplinaria, Centros de Investigación Regional y Campos Experimentales



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA

RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

DR. JOSÉ ANTONIO CUETO WONG

Director

ING. ARMANDO ESTRADA GONZÁLEZ

Jefe de Operación

LIC. FLOR CARINA ESPINOZA DELGADILLO

Jefe Administrativo

PERSONAL INVESTIGADOR

Investigador

Red de Investigación e Innovación

Catalán Valencia Ernesto Alonso

Modelaje

Cerano Paredes Julián

Servicios Ambientales

Constante García Vicenta

Servicios Ambientales

Estrada Ávalos Juan

Agua y Suelo

González Barrios José Luis

Agua y Suelo

González Cervantes Guillermo

Agua y Suelo

Inzunza Ibarra Marco Antonio

Agua y Suelo

Macías Rodríguez Hilario

Agua y Suelo

Muñoz Villalobos Jesús Arcadio

Agua y Suelo

Potisek Talavera María del Carmen

Agua y Suelo

Rivera González Miguel

Agua y Suelo

Román López Abel

Agua y Suelo

Sánchez Cohen Ignacio

Agua y Suelo

Trucíos Caciano Ramón

Agua y Suelo

Valenzuela Núñez Luis Manuel

Servicios Ambientales

Velazquez Valle Miguel Agustín

Modelaje

Villa Castorena María Magdalena

Agua y suelo

Villanueva Díaz José

Servicios Ambientales

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos
M. C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos

M.C. Ramón Trucíos Caciano

Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Edición y diseño:

Lic. Leticia Zamora Téllez

La presente publicación se terminó de imprimir el mes de Diciembre de 2010 en los Talleres del Grupo Colorama, Adolfo Aymes No 50

Cd. Industrial, Torreón, Coah.

Su tiraje consta de 500 ejemplares.



www.gobiernofederal.gob.mx
www.sagarpa.gob.mx
www.inifap.gob.mx
www.bicentenario.gob.mx