

SAGARPA

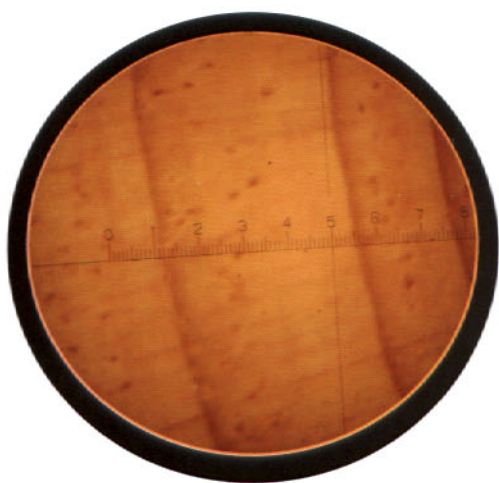


SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Medición y calidad de fechado en anillos de árboles



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

CENID-RASPA

Gómez Palacio, Dgo.

Folleto Técnico 14

Octubre del 2009

Serie MX-0-310406-52-10-00-14-01

ISBN: 978-607-425-204-0

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

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

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda

Secretario

Ing. Francisco López Tostado

Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez

Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Jeffrey Max Jones Jones

Subsecretario de Fomento a los Agronegocios

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y
PECUARIAS**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos

Director General

Dr. Enrique Astengo López

Coordinador de Planeación y Desarrollo

Dr. Salvador Fernández Rivera

Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Lic. Marcial A. García Morteo

Coordinador de Administración y Sistemas

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

Dr. José Antonio Cueto Wong

Director del CENID-RASPA

Medición y calidad de fechado en anillos de árboles

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

**CENID RASPA
2009**

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Av. Progreso No. 5 Barrio de Santa Catarina,
Delegación Coyoacán, C. P. 04010 México, D. F.
Teléfono: (55) 38718700

ISBN: 978-607-425-204-0

Primera Edición 2009

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación,
ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea elec-
trónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros medios, sin el permí-

Presentación

El objetivo del presente documento es describir de manera pormenorizada las etapas básicas para la generación de series dendrocronológicas, las cuales pueden tener amplia aplicación en las áreas de ecología, paleoclimatología, hidrología, producción forestal, entre muchas otras.

La generación de cronologías de anillos de árboles involucra una serie de etapas, entre ellas el fechado, medición, control de calidad y aplicación de técnicas de estandarización. Estos procesos, aunque elementales en estudios dendrocronológicos, han sido descritos de manera muy somera y se encuentran dispersos en textos que tratan sobre este tema. En este contexto, el presente folleto técnico describe de manera sencilla los pasos secuenciales y detallados para cada una de las etapas involucradas en la medición de los anillos de crecimiento, fechado, detección de errores de medición y generación de series de tiempo dendrocronológicas.

Se analiza a detalle los softwares de medición MeasureJ2X para Windows y Measure PJK5 para Mac y se describe paso a paso el uso de la platina deslizable Velmex Inc. para generar series de medición de anillo total, madera temprana y tardía. Finalmente se describe el uso del programa COFECHA que permite realizar el control de calidad del fechado, de tal manera que las series generadas sean confiables para la generación de información paleoclimáticas y su posterior aplicación en diversas áreas científicas.

Este documento vierte toda la experiencia adquirida por los autores en este tema y seguramente será de apoyo fundamental para aquellos estudiantes, profesionistas e investigadores de las diversas áreas científicas que quieren incursionar en el desarrollo de series de tiempo con anillos de árboles.

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director del CENID-RASPA



Contenido

Introducción	1
Anillos de crecimiento, formación e importancia	2
Conteo de anillos y prefchado	4
Equipo de medición	7
Medición de anillo total y madera temprana y tardía	8
Secuencia metodológica para la medición de anillo total	8
Madera temprana y tardía en un anillo de crecimiento anual y su medición	15
Solución de problemas en el proceso de medición	20
Simbología para facilitar el proceso de medición	22
Software COFECHA	26
Análisis de los archivos de medición por medio del programa COFECHA	26
Descripción de los pasos requeridos para ejecutar el programa COFECHA	38
Literatura consultada	42



Introducción

Los anillos de crecimiento de especies arbóreas constituyen una fuente de información ecológica, hidrológica y paleoclimática, entre otras muchas aplicaciones, ya que diversos factores bióticos y abióticos están ligados directamente con su formación, ya sea durante el proceso de división celular o antes de la estación de crecimiento. Al aislar cada uno de los factores de interés y discriminar los restantes constituye la base técnica para cuantificar por separado la influencia de cada uno de ellos (Cook, 1987; Delgado, 2000). Analizado desde esta perspectiva, queda clara la gran cantidad de información que se puede extraer de cada anillo de crecimiento, de ahí la importancia de fecharlo exactamente al año de su formación y de medir su grosor y bandas de crecimiento lo más preciso posible. Al realizar lo anterior, se estará en la posibilidad de comparar los crecimientos con cada una de las variables de interés involucradas y desarrollar reconstrucciones de variables hidrológicas, climáticas, ecológicas, etc., para su posterior interpretación y aplicación.

El fechado y medición del grosor de los anillos anuales es el primer paso en el análisis dendrocronológico, aunque en la actualidad y al menos para México, no existe un documento que sirva de base técnica o de guía metodológica y que facilite de manera secuencial la medición de las capas de crecimiento anual.

Sin menospreciar su importancia, la mayoría de los documentos existentes contienen información referente al fechado de los crecimientos, omitiendo la descripción de la medición, proceso que es fundamental si se quiere derivar información que relacione correctamente la influencia de factores ambientales. El objetivo de este documento es describir las bases metodológicas para la medición de las bandas de crecimiento anual de anillos de árboles.

También describe la metodología para corregir muestras mal fechadas con el uso del software COFECHA, así como los pasos para correr este programa e interpretación de resultados. Lo anterior, le facilitará al usuario el proceso de fechado y de medición, etapa que muchas veces constituye una barrera para el uso generalizado de esta tecnología.

Anillos de crecimiento, formación e importancia

El crecimiento anual del árbol está influenciado por una serie de factores endógenos (competencia o supresión) y exógenos (plagas, incendios, vientos, agricultura y contaminación) que definen el grosor de los anillos para un año específico, y su variación en grosor puede ser representado con un modelo lineal (Cook, 1987; Villanueva *et al.*, 2004). Otras variables exógenas que influyen en el grosor de los anillos involucran algunas perturbaciones tales como terremotos, deposición de contaminantes, fluctuaciones hidrológicas y la historia misma del manejo del sitio (Kitzberger *et al.*, 1995; Meya *et al.*, 2001; Bernal, 2004; Villanueva-Díaz *et al.*, 2005).

El resultado de dichos impactos se refleja en un incremento y disminución brusca de las tasas de crecimiento anual de las especies que sobreviven a tales perturbaciones; así, si un árbol sufrió daño físico, éste deja una huella en la

madera formada durante el año correspondiente en que ocurrió el disturbio (Cook, 1990; Nowackig y Abrams, 1997; Rozas, 2004).

En lugares donde las estaciones del año son muy marcadas, particularmente en regiones templadas y frías, los árboles producen un anillo de crecimiento por año, en el cual se registran las condiciones climáticas que se presentaron antes o durante la estación de crecimiento. De acuerdo a lo anterior, se pueden diferenciar patrones en el ancho, densidad y composición isotópica de los anillos, que reflejan las fluctuaciones climáticas durante su formación (Frits, 1976; Villanueva *et al.*, 2008a).

El estudio de este tipo de afectaciones requiere del uso de filtros matemáticos que desechan el ruido y maximizan la señal buscada (Holmes *et al.*, 1986). La aplicación de esta información ha sido utilizada para estudios de dinámica forestal, impacto de incendios, movimientos de taludes, estudios de variabilidad climática, entre otras muchas aplicaciones (Lusk y Ogden, 1992; Abrams y Copenheaver, 1999; Villanueva *et al.*, 2008b).

En las gimnospermas, caso concreto las coníferas, cada anillo anual está formado por células denominadas traqueidas, que inician su formación durante la estación de crecimiento, período que se caracteriza por un rápido incremento radial (madera temprana); pero con el tiempo, la actividad del cambium decrece y las traqueidas desarrollan paredes celulares más gruesas con cavidades progresivamente más pequeñas (madera tardía). La diferencia en coloración y densidad de la pared celular de las últimas células, en relación con las primeras del año siguiente, es lo

que delimita a un anillo de crecimiento anual (Fritts, 1976; Bernal y Terrazas, 2000).

A una determinada secuencia de anillos extraída del fuste principal del árbol con un taladro de Pressler, se le denomina «serie de crecimiento», incremento radial o viruta.

Una de las bondades de las series de tiempo dendrocronológicas como valores «proxy» es la exactitud en el fechado de las capas de crecimiento anual, así como la disponibilidad de árboles sensibles al clima y la preservación de la alta y baja frecuencia de la variación en las series de crecimiento, de ahí que se haya generado una serie de estudios utilizando esta técnica en diversas regiones de México (Meko *et al.*, 1996; Villanueva *et al.*, 2006; Villanueva *et al.*, 2007a).

Conteo de anillos y prefchado

El prefchado es un proceso básico para la medición posterior de los anillos de crecimiento de especies arbóreas; este procedimiento consiste en determinar el año exacto en el cual se formó cada anillo. Lo anterior se logra al analizar una gran cantidad de series de crecimiento de árboles diferentes para un sitio específico; dicha técnica se conoce como «**Skeleton Plot**» y es de aplicación básica dentro de la dendrocronología. La técnica consiste en graficar de manera subjetiva el grosor de cada uno de los crecimientos presentes en la viruta (Stokes y Smiley, 1968; Swetnam *et al.*, 1985). Esta técnica se ha aplicado en estudios recientes para México (Villanueva *et al.*, 2006; Villanueva *et al.*, 2007b; Villanueva *et al.*, 2008a). Cabe mencionar que el fechado se lleva a cabo una vez que las muestras pasan por un proceso de control de calidad y posterior a la medición de cada crecimiento.

El ancho del anillo se representa por una línea vertical, que variará de tamaño en función al grosor del anillo; es decir, entre más estrecho sea el anillo más grande será la línea a dibujar. Esta representación se plasma en un papel tipo cuadrículado (de preferencia de 2x2 mm, 25 cuadros por cm) dividido en décadas, al igual que la muestra de crecimiento, donde cada línea del papel representa un año o anillo de crecimiento. Antes de iniciar el proceso de graficado se realiza un escaneo visual de toda la muestra, con la idea de generar un patrón mental del tamaño de los anillos tanto pequeños como anchos; de esta manera se inicia el proceso de graficado con una muestra previamente contada década por década a lo largo de toda la serie y omitiendo graficar los anillos muy uniformes, es decir, con poca variación en su crecimiento, pero respetando su espacio dentro del gráfico. En la muestra, anillos de crecimiento inusual o muy grandes se plasman sobre el gráfico de crecimiento con una **B** de (Big) o una **G** de (Grande) Figura 1.

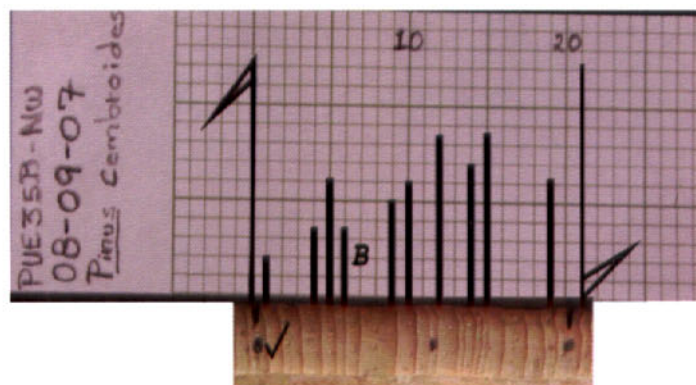


Figura 1. Gráfico de crecimiento «Skeleton Plots», etiquetado del lado izquierdo con la información de la muestra analizada y la representación gráfica de cada anillo sobre el papel milimétrico.

Después de graficada cada muestra se realiza una comparación entre todas las series de crecimiento, con el propósito de detectar anillos perdidos o ausentes y anillos falsos o dobles a través del proceso de comparación. Finalmente, se construye un gráfico compuesto o cronología maestra la cual integra la la variabilidad promedio de los anillos representativos o clave en las muestras estudiadas, y que en teoría representa la variabilidad en crecimiento de los anillos para ese sitio específico (Figura 2); de esta manera se pasa la información a las muestras físicas (virutas) quedando prefechadas de acuerdo a su longevidad.

Conocer el año de formación del anillo más interno en una serie de anillos de crecimiento anual resulta fundamental para este proceso, ya que dicho año se tomará como base para el inicio de la medición, que terminará en el anillo más externo pegado a la corteza (Figura 3).

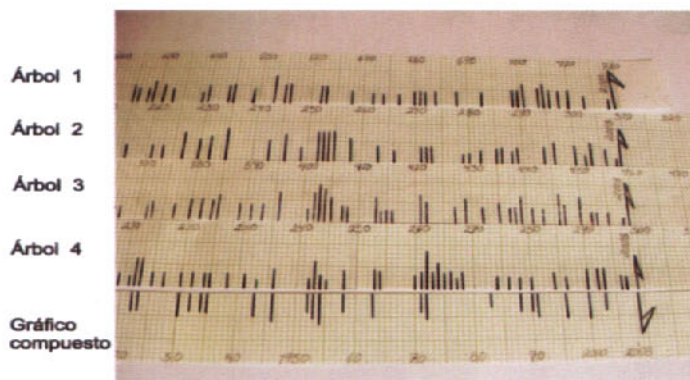


Figura 2. Construcción del gráfico maestro o compuesto (parte inferior de la figura), que representa las condiciones de crecimiento promedio al integrar diversos gráficos de crecimiento para un sitio específico.

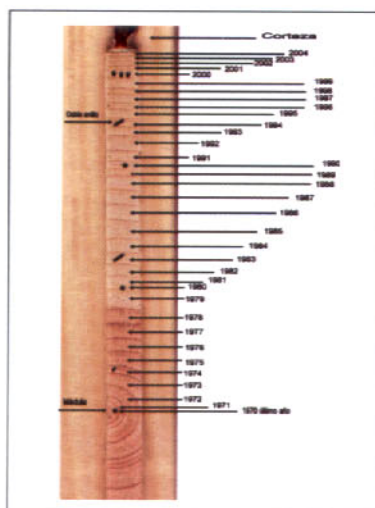


Figura 3. Núcleo de crecimiento mostrando el anillo interno (cerca de la médula) y externo (pegado a la corteza) para el inicio del proceso de medición. El anillo interno para propósitos de medición es aquel que se encuentre completo y no necesariamente debe ser el de la médula (centro del árbol), como se señala en el gráfico.

Equipo de medición

El equipo de medición de anillos de crecimiento más común con fines dendrocronológicos se compone de un estereoscopio trilocular o lupa de alta resolución 10X, un sistema de medición Velmex con un micrómetro de precisión 0.001 mm, que se conecta a una platina de fase deslizante y que a su vez se acopla a una computadora personal, en la cual debe estar cargado un software de medición, comúnmente denominado MeasureJ2X para Windows y Measure PJK5 para Mac (Robinson y Evans, 1980) (Figura 4).

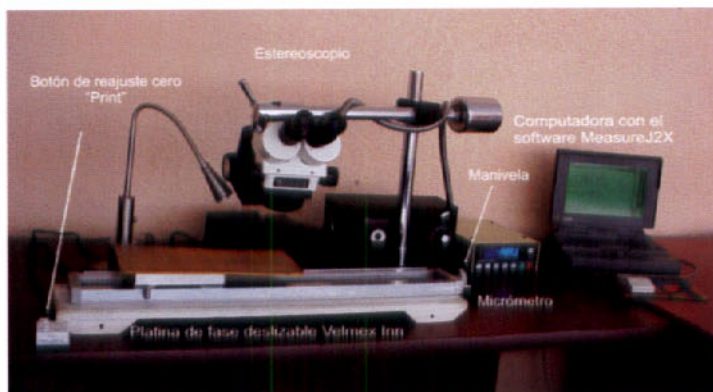


Figura 4. Estación de medición de anillos de árboles compuesta por un sistema de medida Velmex con platina de fase deslizable, una caja de registro de las mediciones y una computadora personal que contiene el programa donde se registran los datos.

Medición de anillo total y madera temprana y tardía

Secuencia metodológica para la medición de anillo total

La medición de los anillos de crecimiento constituye uno de los pasos más importantes para poder utilizar programas subsiguientes, relacionados con la calidad del fechado, para posteriormente proceder al desarrollo de índices dendrocronológicos. El proceso de medición debe ser correctamente realizado, de tal manera que conlleve a una determinación confiable del crecimiento anual; por lo anterior, se describe una serie de pasos secuenciales y de posicionamiento de la muestra, así como lo relacionado con el uso del software de medición en un ordenador Macintosh, para el cual existe un programa específico que registra tanto anillo total como madera temprana y tardía. Los pasos a seguir se describen a continuación:

1. Con el software de medición previamente cargado, el archivo aparecerá en la computadora como PJK5 y 5Metronics040, y las indicaciones para llevar a cabo el desarrollo de la medición se encuentran en el idioma inglés, aunque esto no debe ser una limitante, ya que en este trabajo se describe paso a paso la metodología para lograr la medición de cada anillo fechado y generar las series de crecimiento.
2. Elegir del menú la opción que se requiera ejecutar, por ejemplo, si se necesita editar un archivo de medición ya existente, utilizar la opción **IP**; por otra parte, si se desea crear un archivo individual para medición de anillo total utilizar **IF**, esta opción genera un archivo para cada muestra medida. En el caso de que no se requiera generar archivos individuales, sólo se ejecuta la opción «**enter**» (sin elegir opción alguna), el programa por default maneja la función para medir anillo total y los archivos de medición de cada muestra medida se crean en un solo archivo. Para el caso de que se requiera medir madera temprana y tardía se elige el código **EL**; al seleccionar cualquiera de las diferentes rutinas y avanzar con un «**enter**» nuevamente aparecerá la misma ventana, con la diferencia que ahora la opción mostrará un asterisco (*), que indica que la rutina ha sido seleccionada y asimismo, puede utilizar otras opciones acorde a las tareas a desarrollar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Menú del programa de medición PJK5 utilizando un ordenador Macintosh.

INITIAL PROGRAM		
SET-UP MENU		
USE EXPANDED ID FIEL		(EX)
REVERSE MEASUREMENT DIRECTION		(RV)
EDIT AN EXISTING MEASUREMENT FILE		(IP)
APPEND MEASUREMENTS TO EXISTING FILE		(AP)
CREATE INDIVIDUAL RAW DATE FILES		(IF)
EARLYWOOD / LATEWOOD MEASUREMENT		(EL)
CHANGE MEASUREMENT PRECISION		(CP)
EXIT SET- UP MENU >>>>		(N)
TO EXIT THE PROGRAM AT ANY TIME		
ENTER (Q)UIT		
.....		

3. Ya abierto el programa, éste requiere de varios datos tales como: a) Iniciales del nombre y apellido de la persona que realizará la medición y b) Fecha de la medición (día, mes y año).
4. Nombre del archivo, el cual debe tener como máximo seis caracteres. Se introduce el nombre del archivo con el que se guardará la medición, y con este nombre se generarán dos tipos de archivos para el caso de anillo total (**IF**), uno con la terminación **.RAW** y otro más con la terminación **.LOG**. Cuando se mide la madera temprana y tardía «**EL**» se generan cuatro archivos, que más adelante se explicará su contenido. En el caso de anillo total, los archivos que se utilizan para el análisis posterior

son los que contienen las bases de datos de medición **.RAW**.

5. Como siguiente paso se coloca la clave de la serie de crecimiento individual, ésta se compone de tres letras que secuencialmente identifican al nombre del rodal o sitio, número de árbol y número de muestra obtenida de cada árbol, es decir A, B, C, D., etc. Para ejemplificar lo anterior, una clave descrita en una muestra como PUE35B implica que PUE describe al sitio Puentecillas, el 35 indica al árbol muestreado y B a la muestra obtenida del mismo árbol, para este caso, se refiere a la segunda muestra, ya que la anterior tuvo que haber sido A.
6. Posteriormente se escribe el año del anillo completo más interno a medir, para este caso es el último anillo fechado en la serie de crecimiento (anillo más interno pegado a la médula o al centro del árbol) (Figura 3).
7. Una vez identificado el año de inicio, con el estereoscopio trilocular y particularmente en el ocular derecho, se encuentra una línea graduada (retículo), que se utiliza como guía para determinar el inicio y terminación de cada anillo de crecimiento (Figura 5).

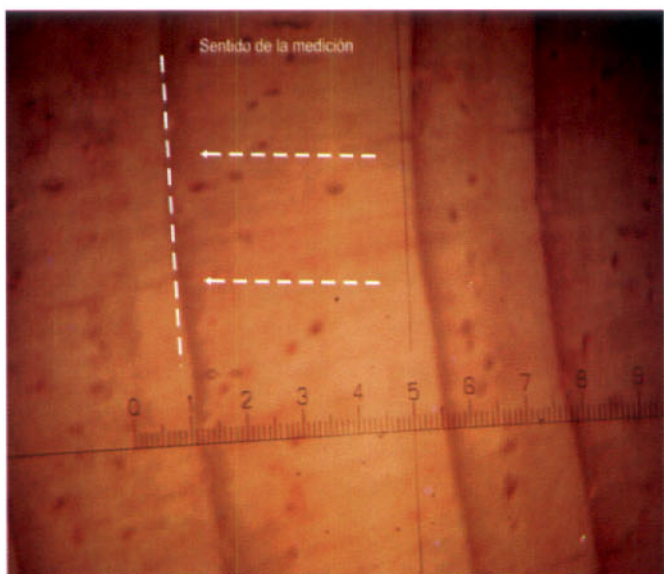


Figura 5. Medición de un anillo total al utilizar la retícula graduada en el ocular derecho del estereoscopio. Se coloca la línea guía al inicio de la madera temprana y se desplaza hasta el final del límite del anillo a través del movimiento secuencial de la manivela.

8. Para iniciar la medición en la muestra física (viruta), la línea graduada (línea negra gruesa) se coloca paralela al límite inicial del anillo de crecimiento (inicio de la madera temprana), de tal manera que al mover la platina (parte donde descansa la muestra a medir), por medio de la manivela que se ubica en la parte derecha de la platina, a cada giro se irá desplazando la línea en dirección perpendicular en todo el ancho del anillo (Figuras 5 y 6).

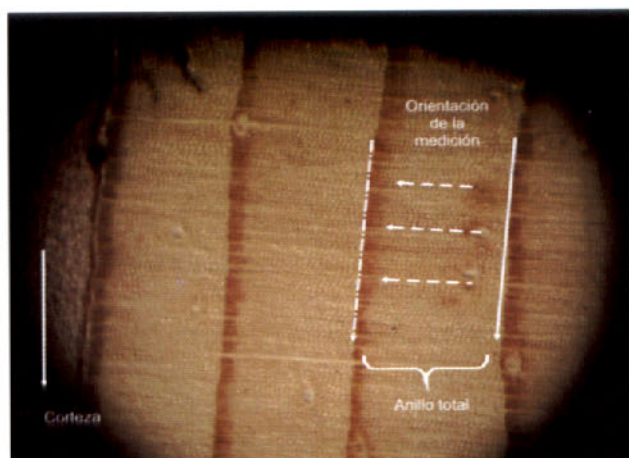


Figura 6. Medición de ancho total de anillo. El procedimiento inicia con las primeras células de la madera temprana y termina con la madera tardía decélulas con pared más gruesa y que es de coloración más oscura.

Al girar la manivela se crea un movimiento parecido a un deslizamiento de la línea a lo largo del anillo, esto se puede apreciar a través de los lentes estereoscópicos. Al parejo del movimiento de la manivela el micrómetro va registrando cada incremento en el valor medido, conforme se produce el desplazamiento y una vez que la línea llega al final de la madera tardía se presiona el botón «**Print**» para registrar el valor del ancho de anillo. En la pantalla de la computadora se observa el año, la medición y una separación en filas década por década de la serie de crecimiento en proceso. Por ejemplo, si en la muestra a medir, el último año observado fuera 1925 (año de inicio), las mediciones se apreciarían de la siguiente manera (Cuadro 2).

Cuadro 2. Formato de medición de anillo total utilizado por el programa de medición PJK5.

Año	Valor acumulado de los anillos medidos	Medición unitaria de anillo total
1925(A.I)	0.770	RRW = 0.770
1926	1.37	RRW = 0.600
1927	2.34	RRW = 0.970

A.I = Anillo inicial

El valor acumulado es importante, ya que si se presenta un error durante el proceso de medición, el programa requerirá el valor acumulado perteneciente al año anterior al que se quiera volver a medir.

- Para guardar el archivo de los crecimientos medidos de la muestra en cuestión, la manivela se gira de dos a tres veces en sentido contrario a las manecillas del reloj; luego se oprime el botón (**Print**) y con esta acción aparecerá el «**Interrupt Menu**» (menú de interrupción) (Cuadro 3), en el cual se seleccionará la opción (**W**) para guardar el archivo de medición. En seguida, el programa preguntará si se desea medir otra serie o se quiere finalizar el programa a través de las siguientes opciones: **T**=True (afirmativo) para continuar o **F**= False (falso) para finalizar. Con la primera opción se continua el proceso de medición con otra muestra, mientras que con la segunda se finaliza el proceso y se sale del programa.
- Finalmente, los archivos de medición quedan guardados en la base de datos de la computadora con la extensión «**.RAW**», siempre y cuando se trabaje con la opción **IF** de medición de anillo total.

Cuadro 3. Menú de opciones que despliega el programa de medición para corregir o editar valores.

```

+++++ INTERUPT MENU +++++
++ (W) WRITE                (I) INSERT VALUE
++ (SO) START OVER         (R) REMEASURE
++ (SS) SHIFT SERIES      (C) CONTINUE
++ (V) VIEW DATA         (Q) QUIT
++ (D) DELETE             (H) HELP
++ (RS) RESET ESTAGE

```

Es importante indicar que si se eligió la opción **IF** para medir anillo total, cada muestra medida se guardará en un archivo individual. Para este caso, al finalizar el proceso de medición todos los datos deberán integrarse en un solo archivo; la forma para realizarlo consiste en generar un archivo de texto (**.txt**), ya sea con la aplicación «MFC WORDPAD» o con el «Block de Notas», posteriormente se abren los archivos de cada muestra, se copian y se integran para guardar en un nuevo archivo, el cual contendrá todas las mediciones de las series procesadas.

Madera temprana y tardía en una anillo de crecimiento anual y su medición

La diferencia estructural entre la madera tardía de una estación y la madera temprana del año siguiente constituye la base para el reconocimiento de la naturaleza periódica de producción de madera, tal como se ve en el anillo anual. La transición entre una y otra se asocia con dos aspectos físicamente explicables; la diferenciación del xilema celular, disminución del tamaño de la célula y aumento del grosor de

la pared celular. Un diámetro mayor de las traqueidas en la madera temprana es una respuesta a la función principal que desempeña, en este caso el transporte; mientras que la madera tardía cumple con dos funciones: el transporte y la resistencia mecánica, por lo que un diámetro reducido, junto con una pared celular gruesa es lo ideal para que desarrolle adecuadamente su función (Esau, 1965; Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1976; Bernal y Terrazas, 2000).

El grosor de cada franja está influenciada por las condiciones climáticas dominantes antes o durante la formación de las mismas (Cleaveland, 1988; Stahle *et al.*, 1998; Villanueva *et al.*, 2008a). De ahí, la importancia de trabajar con anillos que presentan una alta proporción en ambas bandas, situación que es útil para entender mejor las condiciones climáticas a las que fueron expuestas durante su crecimiento.

Para llevar a cabo la medición se sugiere seguir el mismo procedimiento descrito para el anillo total; sólo que en esta ocasión, se seleccionará en el menú (Cuadro 1) la opción «**EL**» que permitirá medir las dos bandas.

Al iniciar el proceso de medición, el software solicita un nombre para identificar los archivos, este nombre puede ser el de las primeras tres letras del sitio o rodal. En esta etapa es importante tener bien claro dónde inicia y dónde termina la madera temprana y tardía; de esta manera se evitarán errores de medición de cada una de las franjas.

El proceso de medición se inicia en el tono claro y finaliza en el oscuro (Figura 7).

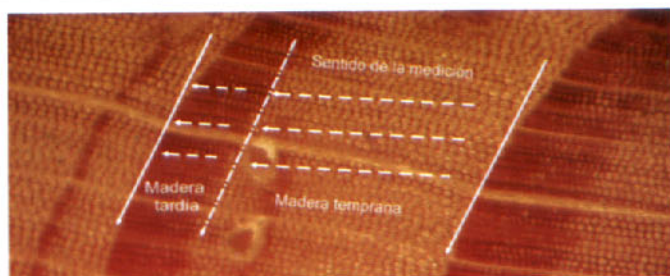


Figura 7. Orientación para medir las bandas de crecimiento.

En ocasiones es difícil ubicar con precisión cuándo inicia la formación del tono oscuro, debido a que la transición entre una banda y otra es muy difusa o bien, cuando se trata de anillos falsos. En términos prácticos, la medición de madera tardía se inicia en el punto donde el color oscuro se torna uniforme y un doble, donde termina la primera banda de crecimiento (Figura 8).

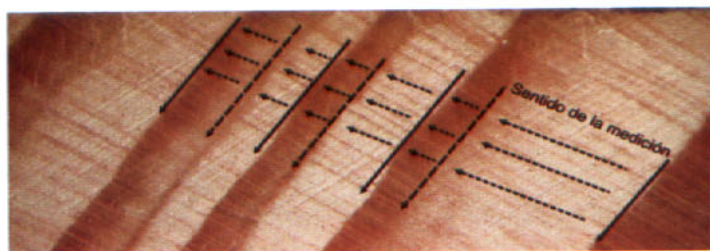


Figura 8. Determinación de los bandas y orientación al medir en forma continua.

El formato de medición en la computadora cambia con respecto al formato de anillo total; los valores de las dos franjas equivalen al ancho total de anillo. Por ejemplo, en el año 1901 el valor de la madera temprana fue de 0.190 y el de la tardía de 0.360, por lo tanto, el valor total del ancho de anillo será de 0.550, con un valor acumulado 1.120 (Cuadro 4).

Una vez que se ha terminado de medir toda la serie de crecimiento se gira la manivela en el sentido contrario al que se midió y se oprime el botón «Print», de esta manera el software activará el «Interrupt Menu», el cual cuenta con la opción «W» que permite guardar la medición de dicha muestra. A continuación el programa pregunta si se desea medir otra serie o finalizar, y despliega las siguientes opciones: **T**= True para seguir midiendo o **F**= False para finalizar y salir del programa.

Cuadro 4. Formato de medición de madera tardía y temprana durante el proceso de medición.

TO EXIT FROM MEASURING AT ANY TIME SEND A VALUE LESS THAN THE CURRENT VALUE IN THE DISPLAY		
BEGIN MEASUREMENT WHIT YEAR >>>>1900<<<<		
	EW = 0.356	
	LW = 0.214	
1900	RRW = 0.57	0.570
	EW = 0.190	
	LW = 0.360	
1901	RRW = 0.550	1.120

La medición continuará con otra serie de crecimiento hasta terminar las muestras fechadas para el desarrollo de la serie dendrocronológica. Al finalizar se obtendrán archivos con la extensión «.lw» para la madera tardía, «.ew» para la madera temprana y «.rw» para el ancho total de anillo. El formato final de archivos de medición se presenta en el Cuadro 5.

La muestra incluida en el cuadro anterior es la TIZ43B, cuyo año inicial de medición fue 1959 y finalizó en 2008. Los valores de los anillos de crecimiento se presentan en block de cada diez años. De esta manera, se observa que para la

década de 1950 sólo se midió el año de 1959, aunque las siguientes décadas como 1960, 1970, 1980 y 1990 están completas. Para finalizar, en el lapso del 2000 al 2008 el programa coloca el número **-9999** para indicar que en el año 2009 ya no hay valores. Es importante considerar que cuando una medición coincide con un valor de 9999, el programa dividirá los valores en dos, como si se tratara de dos secciones distintas. Lo anterior se detecta al correr el programa y el problema se puede corregir de forma sencilla, para ello, en la base de datos se busca este valor y se modifica al escribir el número 9998 o bien 10000; la idea es evitar la presencia de este valor (9999) en un punto intermedio de la base de datos.

En algunas especies como *Taxodium mucronatum*, *Pinus pinceana*, *Pinus cembroides*, entre otras, la madera tardía es muy difícil de diferenciar, por lo que para estas especies se acostumbra medir sólo anillo total. No obstante, en la medida de lo posible es preferible registrar ambas bandas de crecimiento, lo cual dará oportunidad de analizar con mayor detalle la influencia de variables climáticas en la formación de cada banda de crecimiento.

Cuadro 5. Formato de medición final tanto para las maderas temprana, tardía y anillo total.

MUESTRA	AÑO	MEDICION									
TIZ43B	1959	1069									
TIZ43B	1960	1380	1170	1190	1129	840	1249	660	750	369	609
TIZ43B	1970	739	760	590	630	829	769	550	969	1120	1219
TIZ43B	1980	730	1099	770	1180	2030	3149	2780	3540	1750	1569
TIZ43B	1990	1159	1090	899	470	430	630	429	870	789	520
TIZ43B	2000	600	909	1009	1330	1020	1309	909	1220	5291-9999	

Solución de problemas en el proceso de medición

Durante el proceso de medición se pueden presentar diversos problemas, algunos de los cuales se describen a continuación:

1. Movimiento de la muestra durante el proceso de medición, en cuyo caso se debe reacomodar y medir de nuevo cada anillo de crecimiento.
2. Falla en el registro de la medición por errores en la apreciación de los anillos de crecimiento, situación que ocurre comúnmente con anillos pequeños cuando se mide muy rápido.
3. Oprimir dos veces «**Print**» , cuyo efecto es que se registran dos anillos en lugar de uno.

Estos problemas originan que el software no registre valores o registre valores erróneos, lo que ocasiona un desfase en las fechas. El problema generado se observa en la pantalla de la computadora, ya que ésta indicará error en el valor acumulado y medición de anillo unitario. Lo anterior se ejemplifica para los años 1932 y 1933 (Cuadro 6). Se recomienda que al finalizar la medición de cada una de las décadas se observe la pantalla de la computadora para verificar si no se presenta algún desfase en las fechas. Existen algunos sistemas de medición, que al término de cada una de las décadas emiten un sonido diferente, situación que permite verificar si la medición es correcta.

En ocasiones, al medir muy rápido o al presionar por equivocación el botón «**Print**» varias veces, el programa desconoce la medición e inmediatamente aparece el menú «**Interrupt Menu**»; con lo que el programa da por entendido

que se generó un error. En este caso se recomienda volver a medir al inicio de la década anterior previo al fallo.

Cuadro 6. Error producido durante el proceso de medición de anillo total para los años 1931 y 1932.

Año	Valor acumulado de anillos medidos	Medición unitaria de anillo total
1930(A.I)	0.000	RRW = 0.670
1931	0.670	RRW = 0.900
1932	*****	RRW = NAN(017)
1933	*****	RRW = NAN(017)
1934	4.920	RRW = 0.520
1935	4.400	RRW = 0.680
1936	5.080	RRW = 0.805
1937	5.885	RRW = 0.754
1938	6.639	RRW = 0.600
1939	7.239	RRW = 0.545

A.I = Anillo inicial

Para volver a medir la década anterior se selecciona la opción (**R**: Remeasure) en el «**Interrupt Menu**», el software pregunta por el número de años. El número de anillos se elije de la siguiente manera; por ejemplo, si el error ocurrió en los años 1932 y 1933, y si este error no fue detectado a tiempo y se continuó con la medición hasta el año 1939, entonces se produjo un valor acumulado erróneo para los años 1934, 1935, 1936, 1937, 1938 y 1939; para solucionar este problema se tendrá que volver a medir a partir del año 1932.

El número de anillos en este caso serán ocho y el valor absoluto de 1931 (0.670) se utilizará como punto de partida en el micrómetro, valor que se obtiene al hacer girar la manivela en sentido contrario al que se midieron los anillos (Figura 9); de esta manera, el valor numérico retrocederá hasta coincidir con el valor absoluto registrado en el año 1931 y así empezar a medir nuevamente a partir de 1932.



Figura 9. Platina de fase deslizante que muestra la manivela. Al realizar la medición de los anillos, ésta se gira en sentido de las manecillas del reloj.

Cabe indicar que el micrómetro muestra siempre el valor unitario y absoluto para cada anillo, de manera que para cada anillo medido se produce un incremento en el valor numérico a desplegar, es por esto, que al volver a medir sólo se precisa de regresar la manivela para encontrar el valor indicado, como se indica en el ejemplo previo. Ya corregido el error de medición se continúa con los anillos restantes hasta finalizar la muestra. Para no caer nuevamente en errores de esta índole se recomienda revisar con frecuencia la pantalla (al finalizar cada década) y cerciorarse de que no existan problemas de medición.

Simbología para facilitar el proceso de medición

Cuando se realiza la medición, el proceso se facilita si se utiliza cierta simbología en las muestras fechadas. Este proceso consiste en indicar con claridad la presencia de anillos perdidos, microanillos, anillos falsos o dobles y partiduras producidas por pudriciones, daños o rompimiento de fibras celulares debido al proceso de secado de la madera. Las

muestras deben estar correctamente señaladas con indicaciones para 10, 50 y 100 años.

La simbología a utilizar inicia con el señalamiento del primer anillo interno a medir, que comúnmente se indica con una viñeta (\checkmark) (Figura 10).



Figura 10. Anillo interno de la muestra con el que se inicia el proceso de medición. Este anillo se marca con una señal para indicar el primer año a medir.

En términos de conteo, sobre el núcleo de crecimiento o viruta, una década (10 años) se representa con un punto (\bullet), dos puntos alineados verticalmente (\therefore) indican 50 años y tres puntos también en forma vertical ($\ddot{\vdots}$) representan 100 años. El procedimiento se repite en la extensión total de la muestra (Figura 11).

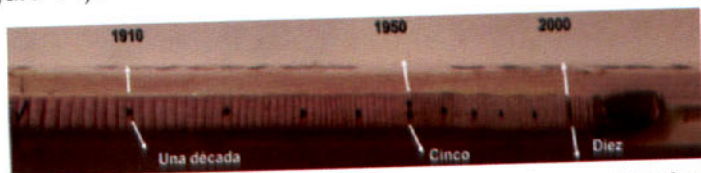


Figura 11. Simbología para representar una, cinco y 10 décadas a lo largo de la muestra física.

Cabe mencionar que la señal de cinco décadas, representada por dos puntos, se colocará en los años que corresponden a cada mitad de siglo, es decir, 1750, 1850, 1950; por ende, el señalamiento de 100 años concordará con fechas de fin de siglo, tales como 1700, 1800, 1900 y 2000.

El software de medición emitirá un sonido al cumplirse una década y en la pantalla de la computadora cada una de ellas se separará; por ejemplo, si la medición inició en 1977, la década se cumplirá al medir los siguientes tres anillos y al llegar al año de 1980 iniciará un block de diez nuevas mediciones separadas del anterior, misma que inicia con un sonido.

Es importante observar los señalamientos plasmados en la viruta con el fin de evitar errores de medición. Por ejemplo, una línea diagonal indica que el anillo a medir es falso o doble, lo que evita que las dos bandas que caracterizan al anillo falso se midan por separado, lo cual produciría un desfaseamiento en el fechado (Figura 12).



Figura 12. Simbología que indica la presencia de un anillo doble (falso). Se observa cómo la línea tenue de células de la parte media de este crecimiento da la impresión de constituir el límite del anillo, cuando en realidad es parte del mismo crecimiento anual.

Otro aspecto importante a considerar es la presencia de anillos muy angostos o microanillos, los cuales se tienen que señalar en la muestra para que durante la medición no pasen desapercibidos. La manera de señalarlos es colocar

dos puntos horizontales que marcan los límites del microanillo. Así también, un anillo perdido o ausente se señala con dos puntos colocados en posición diagonal (Figura 13).



Figura 13. Dos puntos horizontales indican un microanillo (anillo muy angosto) y dos puntos en forma diagonal señalan donde se ubicaca un anillo ausente o perdido.

Durante el proceso de medición se puede presentar en la muestra el caso de un anillo perdido o ausente, si esto ocurre se procede de la siguiente manera: se oprime el botón «Print» justo donde aparezca la señal que lo indica, esta acción otorga un valor de «cero», el cual aparecerá en la pantalla de la computadora (Cuadro 7).

Cuadro 7. Vista de la pantalla de un anillo ausente con su respectivo valor cero, que en este caso se refiere al año de 1927.

Año	Valor acumulado (de los anillos medidos)	Medición unitaria de anillo total
1925(A.I)	0.000	RRW = 0.770
1926	0.770	RRW = 0.600
1927	1.370	RRW = 0.000
1928	1.370	RRW = 0.556
1929	1.926	RRW = 0.893

A.I = Anillo inicial

Software COFECHA

Análisis de los archivos de medición por medio del programa COFECHA

El programa COFECHA es un software de control de calidad del fechado y es uno de los más importantes para el desarrollo de series dendrocronológicas. Este software se encuentra dentro de la Librería de Programas Dendrocronológicos de la Universidad de Arizona (DPL, por sus siglas en inglés) (Holmes, 1983). El programa, a través de los archivos de medición de cada serie de crecimiento, compara estadísticamente el fechado de cada muestra al correlacionar sucesivamente segmentos de 50 años con traslapes de 25. Los valores de correlación bajos detectados por el programa los representa con la letra «**B**», que indica la presencia de un posible problema (anillos perdidos, falsos, problemas de medición, etc.), que puede corregirse para incrementar la correlación; asimismo, el programa representa

con la letra «**A**» valores bajos de correlación, pero que no se pueden mejorar y no atribuibles al fechado, sino más bien a crecimientos irregulares. Estas indicaciones aparecen a un lado del valor numérico dado por el software; de esta manera, se identifican problemas en cada período de la serie de crecimiento (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001).

Para proceder al análisis de COFECHA, cada anillo debe haber sido fechado previamente y haber pasado por el proceso de medición. El formato del archivo generado en el proceso de medición ya fue explicado previamente; sin embargo, es importante señalar que dicho archivo con la extensión «**.raw**» debe cambiarse a otro archivo con la extensión «**.dat**» para que el programa COFECHA lo acepte y así proceda a correr el software (Figura 14).

Los problemas que se identifican en las series de crecimiento (anillos perdidos o dobles) se corrigen utilizando el programa BARPLOT, el cual calcula la desviación estándar de cada serie individual y permite generar y comparar los gráficos de las series individuales y la serie promedio del sitio (Holmes *et al.*, 1986).

Al correr el programa COFECHA en su primera etapa proporciona información relacionada con la extensión de la cronología, su sensibilidad media, lista los segmentos con posibles problemas de fechado, genera un resumen de anillos comúnmente ausentes, entre otros datos. De esta información, la más importante es la relacionada con la correlación entre series, que permite analizar si el fechado es correcto o requiere modificarse (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultados de una corrida de COFECHA mostrando un resumen de los parámetros que determinan su calidad.

Time span of Master dating series is 1596 to 2008 413 years
 Continuous time span is 1596 to 2008 413 years
 Portion with two or more series is 1620 to 2008 389 years

RNZ02a 1624 absent in 1 of 2 series, but is not usually narrow: master index is -.083
 RNZ02a 1643 absent in 1 of 2 series, but is not usually narrow: master index is .135

```
*****
*C* Number of dated series      31          *C*
*O* Master series 1596 2008 413 yrs  *O*
*F* Total rings in all series  5372        *F*
*E* Total dated rings checked  5348        *E*
*C* Series intercorrelation    .426          *C*
*H* Average mean sensitivity    .361          *H*
*A* Segments, possible problems  53          *A*
*** Mean length of series      173.3        ***
*****
```

ABSENT RINGS listed by SERIES: (See Master Dating Series for absent rings listed by year)

```
RNZ02A  1 absent rings: 1803
RNZ02a  5 absent rings: 1624 1643 1668 1837 1881
RNZ06B  1 absent rings: 1673
```

Para entender mejor la información producida por el programa COFECHA se proporciona un ejemplo de análisis realizado con este programa. La cronología analizada contiene muestras que van del año 1790 al 2008. De izquierda a derecha se puede apreciar en la primera columna el número de muestra, la clave de la muestra, el período fechado cronológicamente para cada serie, el valor de correlación para cada serie con respecto a las demás en segmentos de 50 años y traslapes de 25, y una correlación promedio al final para cada segmento (Cuadro 9).

En general, una de las etapas más importantes del programa es la parte de salida del programa COFECHA (Cuadro 9), donde se muestra de manera general las

correlaciones por segmentos entre todas las muestras de la base de datos; en este apartado se puede identificar la calidad del fechado de cada una de las diferentes muestras a lo largo de su extensión; los problemas potenciales que presenta se pueden dividir en dos, si son problemas que pueden ser corregidos «**B**» o si los problemas son atribuidos al comportamiento del crecimiento, y aunque las correlaciones son bajas es lo mejor que se puede presentar «**A**».

El archivo de salida de COFECHA tiene un apartado en el que indica los posibles problemas de fechado para cada muestra analizada. Estos problemas los genera con base en la serie maestra o valor promedio de ancho para cada anillo, a lo largo del tiempo cubierto por las series de crecimiento involucradas.

Para explicar de una manera práctica algunos problemas de fechado detectados por el programa COFECHA, se ofrecen ejemplos derivados de corridas realizadas para las especies más comunes con las que se ha trabajado en México (Cuadro 10).

Cuadro 9. Correlación entre series para segmentos de 50 años y traslapes de 25.

PART 5: CORRELATION OF SERIES BY SEGMENTS: Rio Nazas 09:56 Mon 27 Oct 2008 Page 5

Correlations of 50-year dated segments, lagged 25 years

Flags: A = correlation under .3281 but highest as dated;
B=correlation higher at other than dated position

Seq Series	Time	1775	1800	1825	1850	1875	1900	1925	1950	1975
1 RNZ02A	1790 2008									
2 RNZ03A	1900 2008						24B 21A	0.40	0.40	0.44
3 RNZ07A	1910 2008						.28A	0.35	0.47	0.49
4 RNZ07B	1800 2008						0.49	0.51	0.43	0.49
5 RNZ04A	1900 2008						.11B	.30A	0.50	0.50
6 RNZ16C	1940 2008							.12B	0.48	0.47
7 RNZ16D	1930 2008							.21B	0.40	0.47
8 RNZ18A	1920 2008						.22B	.31A	0.83	0.79
9 RNZ16E	1920 2008						.32B	0.41	0.55	0.54
10 RNZ17A	1930 2008						0.36	0.54	0.48	0.48
11 RNZ17C	1830 2008						.27A	.31A	0.40	0.43
13 RNZ20A	1930 2008							.16B	0.50	0.56
Av segment correlation		0.48	0.39	0.35	0.38	0.43	0.42	0.45	0.56	0.54

En el Cuadro 10, **Caso 1**, la primer columna contiene los segmentos («**segment**») de la muestra analizada en períodos de 50 años (1900–1949, primera fila) con traslape de 25 años (1925–1974, segunda fila); posteriormente, el encabezado de la siguiente columna a la derecha («**high**») contiene números con signo positivo o negativo y se refiere al número de años que el programa sugiere modificar acorde al anillo fechado (0). Las siguientes columnas contienen las correlaciones obtenidas 10 años antes y 10 años después al anillo fechado; un valor de correlación con asterisco (*) indica que dicho valor es estadísticamente significativo al 99 por ciento de nivel de confianza, que el software considera como correlación de referencia a partir de 0.3281; es importante recalcar que si el asterisco no se encuentra justo abajo del encabezado **+0**, entonces será necesario volver a checar la muestra, ya que esto indica que el fechado actual no es significativo al menos para el intervalo que se señala en el apartado «**segment**».

Se debe tener en mente que el programa COFECHA es sólo una guía metodológica, fundamentada en diversos procesos estadísticos para facilitar el desarrollo de una cronología, y que el fechado se realiza al año exacto de su formación, aunque ello no implica que no se pueda aplicar criterio personal, particularmente en sitios con especies de crecimiento muy irregular o donde han estado sujetos a un alto impacto humano, y los crecimientos pudieran variar en comparación con otros especímenes, cuyo efecto del disturbio en el crecimiento ha sido mínimo. De esta manera, en ciertos casos y para determinadas muestras, el programa puede indicar que el fechado puede mejorar al recorrer cierto número de años hacia delante o hacia atrás, cuando en realidad el

fechado puede ser correcto. En este caso, los datos adicionales colectados en campo para cada uno de los árboles muestreados pueden ayudar a determinar si el árbol por su ubicación física en el terreno o presencia de daños originó crecimientos atípicos y, en tal caso, lo más recomendable es descartar dicha muestra, para que no altere el promedio obtenido con los índices dendrocronológicos de las demás muestras.

Para un mejor entendimiento, el ejemplo del Cuadro 10 ayudará a explicar la información generada por este programa. Para la salida de COFECHA en el **Caso 1**, la muestra COR06C se extiende de 1900 a 1995. El programa indica que el segmento 1900-1949 tiene la mejor correlación como fue fechado (0, $r = 0.27^*$), por lo tanto no hay que modificarlo. Sin embargo, para el segmento 1925-1974, el programa indica que hay dos anillos perdidos (-2), si se realiza el ajuste, se obtiene una correlación de 0.34^* , superior a la obtenida con el fechado actual (0, $r = 0.25$). Con base en este resultado, lo aconsejable es no realizar directamente el cambio en el fechado actual, sino más bien checar otra vez la muestra y compararla con otras bien fechadas y en función a lo anterior, decidir si existe suficiente evidencia para realizar el cambio de fechado.

En una situación de que el programa estuviera correcto e indicara (-2) para el anillo (0) fechado en 1930, la fecha verdadera sería 1928, por lo que en el gráfico se tendrían que añadir dos anillos perdidos; caso contrario ocurre si se tiene (+2), en cuyo caso el fechado correcto sería 1932, lo que sugiere la presencia de anillos dobles o falsos. Lo anterior, tendrá que verificarse en la viruta y realizar las ediciones

correspondientes con el programa de medición o bien, volver a medir.

En el (**Caso 2**), la muestra BAM36A es una clara evidencia de que lo que indica el programa COFECHA es correcto particularmente cuando presenta correlaciones significativas en todos los segmentos analizados, lo que sugiere que la fecha correcta del crecimiento es dos años previos (-2) a como está fechado; es decir, el crecimiento fechado (0) es 1918, la fecha correcta sería 1916, lo que sugiere la presencia de anillos perdidos en la muestra, que tendrán que ser ubicados para realizar la corrección.

Uno de los problemas frecuentes, sobre todo para muestras de sitios muy perturbados, es lo que se denomina «problemas de crecimiento» y se refleja en la dispersión irregular de las correlaciones significativas (con asterisco) para los diversos subperíodos analizados Cuadro 10 (**Caso 3**). Para esta situación, lo recomendable es revisar con detenimiento los crecimientos de dicha muestra con relación en otras bien fechadas, y en caso de que los crecimientos fueran diferentes, entonces se procedería a eliminar la muestra; de no ser así, disminuye la correlación entre series.

Es importante dejar en claro que los problemas potenciales detectados por el programa COFECHA tienen que analizarse visualmente con las series de crecimiento; es decir, hacer un examen directo con el estereoscopio enfatizando los subperíodos indicados por dicho programa, ya que existen ocasiones en donde al modificar el inicio de la serie de crecimiento puede contribuir a lograr una correlación significativa en el resto de los segmentos de una muestra específica.

Una muestra bien fechada indicará sólo su correlación significativa con la serie maestra; en este caso, ya no se presenta la tabla de valores que señala los anillos que hay que modificar y que se indican con asteriscos en los diferentes segmentos. Esta muestra tiene un fechado perfecto como se señala en el Cuadro 10 (**Caso 4**).

Una opción para editar valores en un archivo de medición es el programa EDRM, ubicado dentro del (DPL). Esta subrutina se utiliza para editar archivos existentes, como insertar, cambiar y borrar valores de las series. Los valores editados en el EDRM deben concordar con los valores de crecimiento de la muestra física.

El archivo de salida de COFECHA contiene una sección (Part 7) donde describe las estadísticas descriptivas para cada serie analizada. En esta parte se indica la extensión de las series, número de segmentos considerados, número de traslapes existentes y correlación con la cronología maestra (promedio). El resto de la información estadística se divide en dos categorías «no filtrada» (unfiltered) y «filtrada» (filtered): La primera, se basa en los valores directos de la cronología y la segunda, en términos óptimos determinados por el programa.

Cuadro 10. Ejemplificación de problemas potenciales en el fechado de anillos de crecimiento producidos por COFECHA.

Caso 1		1900 to 1995		96		year		Series 22																																							
COR06C		High		-10		-9		-8		-7		-6		-5		-4		-3		-2		-1		0		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10			
[A]		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---	
1900	1949	0	-0.12	-0.23	-0.10	0.17	-0.02	-0.01	0.23	0.04	0.14	0.00	0.27*	0.11	0.00	-0.02	-0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03	0.21	0.07	-0.17	0.21	0.05	-0.12	0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03	0.21	0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03			
1925	1974	-2	0.09	-0.18	-0.15	0.07	-0.02	0.11	-0.01	0.06	0.34*	0.01	0.25	0.23	0.15	-0.15	0.05	-0.12	0.07	-0.17	0.21	0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03	0.21	0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03	0.21	0.07	-0.16	-0.14	-0.21	0.04	-0.14	-0.03			
Caso 2		1900 to 2007		90		year		Series 12																																							
BAM36A		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---	
1918	1967	-2	-0.19	-0.04	-0.25	-0.14	0.18	0.04	0.16	0.10	0.32*	0.11	.15	0.12	0.03	-0.25	-0.15	-0.23	0.09	0.05	-0.15	0.31	0.10	0.16	0.06	0.05	0.00	0.06	0.00	-0.23	0.09	0.05	-0.15	-0.23	0.09	0.05	-0.15	0.31	0.10	0.16	0.06	0.05					
1925	1974	-2	-0.17	-0.01	-0.20	-0.25	0.02	0.11	0.19	-0.01	0.36*	0.08	.15	0.03	-0.05	-0.25	-0.26	0.00	0.06	0.05	0.00	0.16	0.13	0.16	0.06	0.05	0.00	0.06	0.00	-0.23	0.09	0.05	-0.15	-0.23	0.09	0.05	-0.15	0.31	0.10	0.16	0.06	0.05					

Caso 3

MDO32A [A]	1647 Segment	to High	2006 -10	160 years										Series 8									
				-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1647	1696	-4	-0.24	-0.03	-0.02	-0.05	0.11	-0.20	25*	0.20	0.13	-0.03	0.16	0.09	-0.04	0.09	0.17	0.24	0.05	0.02	0.09	-0.01	-0.05
1650	1899	-3	-0.21	-0.03	-0.07	-0.01	0.13	-0.12	0.09	30*	0.24	-0.04	0.08	0.05	-0.03	0.07	0.15	0.24	0.07	-0.01	0.16	0.00	-0.11
1675	1924	0	-0.1	-0.02	-0.16	0.01	0.22	-0.08	-0.13	-0.01	0.05	-0.05	0.29*	0.08	0.00	0.04	0.15	0.12	0.17	0.07	0.24	-0.15	-0.04
1900	1949	7	0.05	-0.01	0.04	0.00	-0.02	-0.03	-0.33	0.21	-0.20	0.20	0.24	0.29	-0.02	0.02	-0.03	-0.13	-0.13	30*	0.04	0.02	-0.03

Caso 4

RNZ06B	1620	to	2008	309	years
--------	------	----	------	-----	-------

[B] Entire series, effect on correlation (.491) is:

Lower 1881< -0.25 1625< -0.15 1646< -0.12 1677> -0.12 1627> -0.09 1622> -0.07 Higher 1669 0.09 1992 0.08

Algunos de los estadísticos producidos como «autocorrelación de primer orden» se refiere a la relación que existe entre el anillo de un año particular «t» con el del anterior «t-1» o con la del siguiente «t+1» (Fritts, 1976; Villanueva *et al.*, 2008b). La autocorrelación refleja la variación de baja frecuencia y es producida por el efecto retardado de condiciones climáticas favorables o desfavorables que siguen afectando directa o indirectamente al crecimiento de un árbol, aún después del año en que se produjo el crecimiento. El valor más bajo se encuentra en el rango de 0.3 a 0.5, pero el rango típico se ubica entre los valores 0.6 a 0.8, siendo el valor más alto el de 0.9. Esta información es de gran importancia para un análisis detallado de la cronología con respecto al sitio de estudio o series de crecimiento en general.

Descripción de los pasos requeridos para ejecutar el programa COFECHA.

Para ingresar al software es necesario abrir la carpeta de los diferentes programas del DPL (Holmes, 1994). Una vez abierto el programa se alimenta con el archivo de medición, el cual debe haberse transformado previamente al formato **.dat** para poder ejecutarlo. El primer dato que solicita el programa es el nombre con el cual se van a identificar los resultados del análisis (archivo de salida), este debe tener menos de cinco caracteres. A continuación el software pregunta por el nombre del archivo de medición con la extensión **.dat**. Un ejemplo de cómo correr el programa se da al tomar el archivo COR.DAT creado para el sitio Río Corona, Tamaulipas (Figura 15).

```

C:\N>DPL\DIR\COFECHEA
PROGRAM COFECHA
Version 6.063 12:56 Thu 03 Sep 2009
*****
Program COFECHA does data quality control on a set of tree-ring measurements,
verifying crossdating among measurements and indicating possible dating
or measurement problems. It identifies positions of tree-ring series that may
have dating errors or important errors in measurement. You may also check
crossdating among chronologies.

Before problems are identified each time series is transformed to enhance
characteristics related to crossdating. Low-frequency variance is removed
by cubic smoothing spline. Autoregressive modeling removes persistence.
To weigh proportional differences equally the series is log-transformed.
Each transformed series is then tested against the master dating series.
Segment by segment, and successive segments are lagged with a 50% overlap.

Maximum time span 4896 years For more information type: ?

Identify job (up to 5 characters) => COR
CROSSDATED TREE-RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file -> COR.DAT

First 8 lines COR.DAT
COR899a 1297 2421 1627 1853
COR899b 1080 2316 1535 1700
COR899c 1818 9118 2238 1215
COR899d 1820 3496 2914 1981
COR899e 1830 1454 1357 897
COR899f 1848 2268 1387 952
COR899g 1858 988 1462 3662
COR899h 1868 1981 1793 1347
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7
Format is Measurements, correct? (Y/N ->)

```

Figura 15. Vista de pantalla mostrando el nombre del archivo de medición y el formato requerido por el programa COFECHA.

En el siguiente paso, el programa pregunta si existe algún archivo medido pero sin fechar, el cual, al compararse con un archivo previamente fechado, puede utilizarse para asignarle fechas. En caso de no existir, sólo se presiona «**enter**» para continuar; por último, el programa solicita un nombre para identificar la corrida y se presiona la tecla «**enter**» tres veces; esta acción permitirá que el programa utilice las especificaciones por default y termine el análisis (Figura 16).

```

C:\N:\DPL\COFECHA.EZE
|| PROGRAM COPIE ||
Version 1.0B (15.11.1987) The DPL Sep 2007

Program COFECHA does data quality control on a set of tree ring measurements,
verifying concordance among measurement series and indicating possible dating
or measurement problems. It identifies portions of tree ring series that may
have dating errors or important errors in measurement. You may also check
concordance among chronologies.

Before problems are identified each time series is transformed to enhance
characteristics related to concordance. Low frequency variance is removed
by cubic smoothing splines. Autoregressive modeling removes persistence.
To weigh proportional differences equally the series is log transformed.
Each transformed series is then tested against the master dating series
segment by segment, and successive segments are lagged with a 50% overlap.

Master time span: 1896 years. For more information type: ?
Identify job top to 5 characters: COB
UNDODED TREE RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file: COB.DAT
  Year  R  T  COB
COB890 1222 2421 1629 105.4
COB890 1000 2316 1535 12000 1211 116.4 1199 1602 2070 411.4 67.77
COB890 1010 2110 2230 1215 1203 1252 1170 1142 241 125.0 80.1
COB890 1020 1496 2914 1901 905 029 1500 670 231 2942 125.2
COB890 1030 145.4 1352 092 019 290 1132 1100 1233 1400 205.9
COB890 1040 226.0 1102 95.2 195 630 616 1006 1129 165.3 1232
COB890 1050 900 146.2 166.2 195 205 1139 1124 1600 245.2 92.6
COB890 1060 1901 1293 1342 446 952 1255 1000 902 242 95.5
...
Format is Measurements, correct? (Y/N) Y
Checking time span
Time series span 1222 1227 201 years 15 series, mean length 112.20 yrs
all series cover 1940 1995 56 years
6 series identify out of order
UNDODED TREE RING SERIES
... Name of EXISTING INPUT file:
TITLE OF THIS RUN: Rio Coruna, Tapanites
  
```

Figura 16. Vista de la pantalla que muestra paso a paso la corrida del programa COFECHA.

El nombre del archivo de salida es (CORCOF.OUT). Este archivo contendrá el análisis de control de calidad del fechado, donde se detectan los posibles problemas que requieren modificación en determinados segmentos de la muestra, los cuales son atribuibles a condiciones de crecimiento o meramente de fechado. Una vez que se realizan las correcciones sugeridas por el programa se vuelven a medir las muestras y se corre nuevamente el programa. Este procedimiento se repite hasta que la salida de COFECHA no indique problemas. Posterior a ello se estará en la posibilidad de correr un nuevo programa que generará las series de tiempo estandarizadas o cronologías de anillos de árboles.

Agradecimientos

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

Literatura consultada

- Abrams, M . D. and C. A. Copenheaver. 1999. Temporal variation in species recruitment and dendroecology of an old-growth white oak forest in the Virginia Piedmont, USA. *Forest Ecology and Management* 124, 275-284.
- Bernal, S. S. y T. Terrazas S. 2000. Influencia climática sobre la variación radial de caracteres anatómicos de madera en *Abies religiosa*. *Maderas y Bosques* 6(1): 73-86.
- Bernal S., I. S., 2004. El papel de las variables ambientales y los contaminantes atmosféricos en la actividad cambial. Tesis doctoral en ciencias. Colegio de Posgraduados. Programa de Botánica. Montecillos Texcoco. Estado de México. 106p.
- Cleaveland, M. K. 1988. Corrigendum to climate response of densitometric properties in semiarid sites. *Tree Ring Bulletin* 48: 41-47.
- Cook, E. R. 1987. The composition of tree ring for environmental studies. *Tree Ring. Bulletin* 43:37-59.
- ___ and L. A. Kairiuskstis. 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 394 p.
- Delgado, S. C. 2000. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. En Roig, (ed). *Dendrocronología en América Latina*. Mendoza (Argentina), EDIUNC.79-102.

- Esau, K. 1965. *Anatomía Vegetal*, Barcelona, Ediciones Omega, S. A. 729 p.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and Climate*. Academic Press, London. 567p.
- 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 and 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. 1994. DPL-Dendrochronology Program Library. University of Arizona, Tucson, AZ.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Kitzberger T., T. T Veblen, and R. Villalba. 1995. Tectonic influences on tree growth in northern Patagonia, Argentina: the roles of substrate stability and climatic variation. *Can. J. For. Res.* 25:1684-1696.
- Lusk, C. and J Ogden. 1992. Age structure and dynamics of a podocarp-broadleaf forest in Tongariro National Park, New Zealand. *Journal of Ecology* 80:379-393.

- Meko, D. C., W. Stockton and W. R. Boggess. 1996. The tree-ring record of severe sustained drought. *Water Resources Bulletin* 31: 789-801.
- Meya, D., J. M. González, A. Avnos. 2001. Evolución del crecimiento radial en un rodal adulto de *Pinus nigra* Arn. de la provincia de Lleida. *Inv. Agrar. Sist. Recur. For.* 10(1) 96-110.
- Nowackig, J., and M. D. Abrams. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecol Monogr* 67, 225-249.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40: 59-64.
- Rozas V., 2004. Efectos de la historia del dosel y el clima sobre los patrones de crecimiento radial de *Fagus sylvatica* L. y *Quercus rubur* L. *Inv. Agrar. Sist. Recur. For.* 13(3) 479-491.
- 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. Villanueva-Diaz, and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79(10): 2137-2152.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago. Illinois. 73 p.

- Swetnam, T. W., M. A. Thomson, and E. K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliate trees. USDA-Forestry Service. Agriculture Handbook No. 639. 39 p.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M. D Therrell, M. K Cleaveland, I. Sánchez C. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. Folleto técnico No .2. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango. 37p.
- ___ B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrel, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutierrez-Garcia, J. Estrada-Avalos, R. Jaso-Ibarra. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin. Water management implications of the irrigated area of the Comarca Lagunera, Mexico. *Dendrocronología* 22 (3): 215-223.
- ___ J. Cerano Paredes, D.W. Stahle; M.D. Therrell; L. Vázquez Selem; R. Morán Martínez y B.H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: Importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. 46 pp.
- ___ D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2007a. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climate Change* 83:117-131.
- ___ D. W Stahle, B. H Luckman, J. Cerano P., M. D Therrell, R Morán, M., M. K Cleaveland. 2007b. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y

acciones para su conservación en México. Rev. Cien. For. en Méx. 32 (101): 9-37.

- ____ J. Cerano P., D. W. Stahle, J. Estrada A. y V. Constante G. 2008a. Potencial de dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco y Reconstrucción de Precipitaciones y Flujo en México. Folleto Científico No 13. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 49 p.
- ____ J. Cerano P. y J. Estrada A. 2008b. Reconstrucción de la Precipitación estacional de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Sierra la Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. Rev. Cien. For. en Méx. 28(104) 17-35.

Editora: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

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

Revisor Técnico

Dr. Luis Valenzuela Núñez
M.C Ma. de Lourdes González López

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de octubre del 2009 en los talleres del Grupo Colorama Adolfo Aymes N° 50 Cd. Industrial, Torreón, Coahuila.
Su tiraje consta de 600 ejemplares



CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, MÉXICO.
Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.
Tels. y Fax: 01 (871) 159-01-04, 159-01-05
e-mail: constante.garcia@inifap.gob.mx