



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

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA.**

CENID-RASPA

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA DENDROCRONOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN MÉXICO

Laboratorio de Dendrocronología



Por:

Dr. José Villanueva Díaz

Ing. Julián Cerano Paredes

Dr. D. W. Stahle

Dr. M. D. Therrel

Dr. M. K. Cleaveland

Dr. Ignacio Sánchez Cohen

ISBN: 968-800-574-6

Folleto Técnico No. 2

Gómez Palacio, Dgo.

Julio 2004.

El árbol de la portada corresponde a un sabino (*Taxodium mucronatum*) milenario localizado en el sitio “Los Peroles”, Ríoverde, S. L. P.

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA DENDROCRONOLOGÍA Y SUS APLICACIONES EN MÉXICO



CENID-RASPA

2004



CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento
Gómez Palacio, Durango, México
Apdo. Postal 41
35150 Ciudad Lerdo, Durango
Teléfono y Fax 01(871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: cenid.raspa@inifap.gob.mx

El contenido de esta publicación podrá ser reproducido total o parcialmente con fines específicos de divulgación, siempre que se dé el crédito correspondiente a los autores, al INIFAP y al CENID-RASPA.

ISBN: 968-800-574-6

CONTENIDO

	Página
Definición de Dendrocronología	2
Antecedentes	2
Investigación Dendrocronológica	3
Investigación Dendrocronológica Actual en México	4
Estructuras Celulares	6
Identificación de Anillos de Crecimiento	7
Principios Dendrocronológicos	9
Descomposición de las Series de Crecimiento	11
Amplitud Ecológica	12
Desarrollo de una Cronología de Anillos de Árboles	12
Selección del Sitio	12
Obtención de las Muestras	14
Preparación (montado, identificación y pulido)	16
Prefechado	18
Medición	23
Análisis del Fechado con el Programa COFECHA	23
Desarrollo de Cronologías con el Programa ARSTAN	24
Algunas Aplicaciones para México que Pueden Derivarse de Estudios Dendrocronológicos	25
Especies con Potencial Dendrocronológico	26
Laboratorio de Dendrocronología	27
Personal	28
Avances de Investigación	28
Proyectos en Curso	32
Colaboraciones Internacionales	32
Bibliografía	33
Agradecimientos	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Cronologías mexicanas de anillos de árboles (Therrell <i>et al.</i> , 2002).	5
2. Estructura celular de la madera de gimnospermas (coníferas) y angiospermas (dicotiledóneas) (Fritts, 1976).	8
3. Identificación de anillos de crecimiento (Stokes y Smiley, 1996).	9
4. Principios de la dendrocronología: a) árbol vivo, b) árbol muerto y c) madera de ruinas arqueológicas (Stokes y Smiley, 1996).	10
5. Gradiente altitudinal con la presencia de ecosistemas que fluctúan desde un matorral desértico hasta un bosque de <i>picea</i> (Fritts, 1976).	13
6. Fisiografía del sitio, donde el crecimiento del arbolado depende en gran medida de las condiciones climáticas dominantes.	14
7. Componentes del taladro tipo Pressler (Grissino-Mayer, 2003).	15
8. Obtención de un núcleo de crecimiento o viruta con taladro tipo Pressler (Jozsa, 1988).	15
9. Preparación y montaje de la muestra (Stokes y Amiley, 1996).	16
10. Sección transversal del árbol <i>Pseudotsuga menziesii</i> (rodaja de 600 años colectada en el sitio Peña Nevada, Nuevo León).	17
11. Representación esquelética para las serie de patrones comunes de crecimiento.	17
12. Comparación de modelos de crecimiento donde se muestran los años con crecimiento limitado. Observe como los años con crecimiento reducido se presentan de manera simultánea en ambas muestras (Stokes y Smiley, 1996).	18
13. Representación esquelética de una sección de crecimiento. Observe en el gráfico, cómo a los anillos pequeños se les otorga un mayor valor (líneas de mayor longitud) (Stokes y Smiley, 1996).	19
14. Desarrollo del compuesto o cronología maestra. El Gráfico inferior representa el promedio anual en crecimiento de una serie de muestras.	20
15. Fechado cruzado de las muestras. Procedimiento de conteo de anillos para realizar el fechado cruzado de las muestras.	22
16. Corte transversal de un tronco a diferentes alturas donde se observan problemas con anillos perdidos (Stokes y Smiley, 1996).	22
17. Medición de muestras (virutas y secciones transversales) para la generación de cronologías.	23
18. Sabino o ahuehuete (<i>Taxodium mucronatum</i>), especie longeva y con gran potencial dendrocronológico.	26
19. Imagen que muestra la importancia para preservar especies en bosques de galería.	29
20. Cronologías de anillos de árboles desarrolladas por el laboratorio de Dendrocronología del CENID-RASPA, INIFAP.	30
21. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera (enero-junio) para Saltillo, Coahuila, utilizando como "proxy" los índices de una cronología regional de madera temprana en Sierra de Arteaga, Coah.	31

PRÓLOGO

La dendrocronología, disciplina que utiliza el crecimiento de los anillos de árboles fechados al año de su formación, como un método indirecto o “proxy” para analizar el clima del pasado ha logrado un desarrollo sorprendente en las últimas décadas. Este avance tecnológico, sin embargo, no ha sido compartido de igual manera por países que, como México, poseen un sinnúmero de especies arbóreas con alto potencial para estudios paleoclimáticos, ecológicos, análisis de patrones de circulación atmosférica global, reconstrucciones hidrológicas, etc.

En los últimos cinco años y derivado de proyectos colaborativos de investigación, se inició con la implementación del primer laboratorio de dendrocronología en México. La creación de esta infraestructura básica aunado a la preparación técnica del personal involucrado en estos estudios, ha permitido la generación de más de 20 cronologías de anillos de árboles, distribuidas principalmente en la parte norte y centro de México. Derivado de esta red de cronologías, se han realizado reconstrucciones históricas de precipitación y de flujos de agua en la región norte del país y se tienen ubicados sitios con la presencia de árboles milenarios para fines de conservación. Asimismo, se trabaja intensamente en ampliar la red de las cronologías de árboles existentes.

En este folleto técnico, el primero en su tipo en México, se describe de manera general los principios básicos de la dendrocronología, sus aplicaciones y potencial de desarrollo en México. Se cree que esta información es fundamental para el desarrollo de investigación enfocada a establecer las bases técnicas para una mejor planeación del recurso agua en ecosistemas áridos del país. Personal de instituciones avocadas a la conservación y aprovechamiento sustentable de ecosistemas forestales encontrarán en este folleto una herramienta de aplicabilidad directa en la formulación de planes de manejo y restauración de áreas degradadas.

La dendrocronología y sus múltiples aplicaciones tienen un amplio porvenir en nuestro país, y sin duda alguna este folleto despertará el interés de técnicos e investigadores para obtener un conocimiento más amplio de esta área del conocimiento científico.

Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Director del CENID-RASPA

Definición de Dendrocronología

La palabra *dendrocronología* proviene del griego: *dendros* que significa árbol, *chronos* tiempo y *logos* conocimiento. La dendrocronología es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles (Fritts, 1976). Si se considera a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea, la dendrocronología no es otra cosa que la ciencia que interpreta, o “lee” dicho registro ambiental (Dendrocronología, 2002).

Antecedentes

En el año 1901, Andrew E. Douglass, conocido como “El Padre de la Dendrocronología”, observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flangstaff, Arizona, EUA, exhibían variaciones en su anchura. Se preguntaba si los árboles de Arizona eran influenciados más por la humedad disponible que por la competencia dentro del rodal, y si la humedad disponible tenía un efecto de correspondencia sobre el ancho de los anillos. Analizó que si esto era cierto, los años secos deberían registrarse como anillos delgados y podría usar el grosor de los crecimientos como una prueba para un registro de largo alcance del tiempo y del clima. No fue hasta 1911 que Douglass se dio cuenta del verdadero significado de sus observaciones. De esta manera estableció el fechado-cruzado, un procedimiento que podía aplicarse en áreas donde el crecimiento de un anillo está limitado de manera frecuente por el clima. Douglass derivó dos importantes implicaciones de su descubrimiento; el fechado-cruzado, el cual al estudiar el modelo de anillos anchos y delgados podría utilizarse como una herramienta cronológica para identificar el año calendario exacto en que se formaron los anillos de crecimiento. Para lograr lo anterior, se requiere que el año del último anillo sea conocido y que las variaciones relativas de los anillos se observen en muchos árboles. La segunda implicación es que los modelos del ancho de los anillos en sí mismos, representen un registro de las condiciones ambientales sobre una región. Las variaciones observadas del ancho de algunos de los anillos se pueden atribuir a las condiciones locales dominantes del hábitat donde se desarrollan los árboles, pero una gran parte de la variación se puede observar en todos los árboles, y de esta manera se determina que estas variaciones se expresan de manera general en la región (Fritts, 1976).

Investigación Dendrocronológica

Las primeras cronologías de anillos de árboles en México se produjeron en el período de 1940-1950 (Schulman, 1944; Schulman, 1956; Scott, 1966). Estas cronologías se derivaron de rodales de *Pinos sp.*, *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco y *Abies Duranguensis* Martínez ubicados cerca del Salto, Durango. Schulman (1944) examinó de manera particular una variedad de especies y muestras arqueológicas de *Cupressus L.*, *Taxodium mucronatum* Ten y *Abies religiosa* (HBK) Schltld. et Cham, distribuidas en el centro del país; no obstante lo anterior, sólo fue capaz de desarrollar una cronología corta de un rodal de *A. Religiosa*, localizada al sur de la Ciudad de México.

Los esfuerzos de Schulman para desarrollar cronologías en México se mejoraron sustancialmente a consecuencia de varias expediciones de investigación que se realizaron en la década de los 70, como parte del "Proyecto mexicano de anillos de árboles" de la Universidad de Arizona. En dicho proyecto se generaron 20 cronologías de árboles, que además incluyeron cronologías cortas, procedentes de madera encontrada en iglesias de misiones Jesuitas y Franciscanas de la región Tarahumara de Chihuahua y Durango. Estas cronologías están archivadas en el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona, y algunas de ellas se pueden consultar a través del Banco Internacional de Anillos de Árboles (ITRDB, por sus siglas en inglés) con sede en el Centro Nacional Geofísico de Datos en Boulder, Colorado (<Http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html>) (2004).

El único registro de uso de anillos de árboles con fines arqueológicos en México se refiere al fechado de las ruinas prehistóricas de Casas Grandes, Chihuahua (Scott, 1966). Este investigador tuvo éxito en desarrollar una cronología flotante (perdida en el tiempo) de 485 años de longitud con madera de coníferas procedente del sitio de Casas Grandes.

Las primeras reconstrucciones dendrocronológicas climáticas realizadas específicamente para México son estimaciones de precipitación y del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) para el área fronteriza del norte de Sonora (Villanueva-Díaz, 1996; Villanueva-Díaz y McPherson, 1995; 1996).

Las cronologías de anillos de árboles de México resultan particularmente importantes debido a que la mayoría de ellas están bien correlacionadas con la precipitación invernal y con índices de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés).

La influencia climática del ENSO se refleja en cronologías de anillos de árboles derivadas de coníferas del norte y noroeste de México. Diversos estudios han usado los datos de dendrocronologías mexicanas en el intento de reconstruir índices de ENSO (Lough y Fritts, 1985; Michaelsen, 1989; Michaelsen y Thompson, 1992; Cleaveland *et al.*, 1992; Lough, 1992; Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1998). Con base en estos estudios, resulta claro que las cronologías de anillos de árboles del norte de México detectan a nivel mundial una de las señales más clara de ENSO.

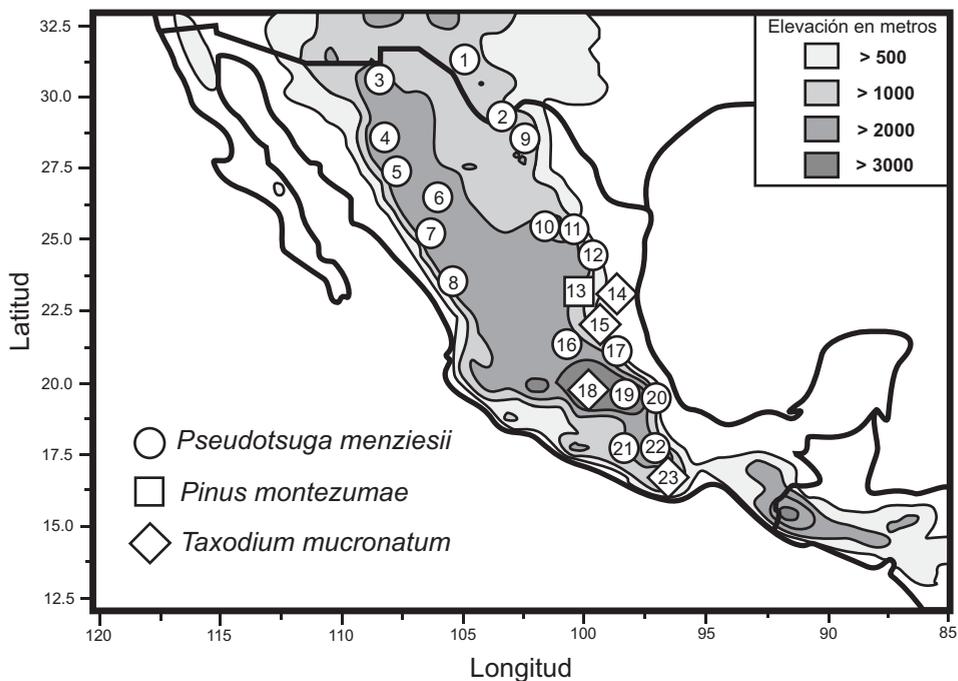
La Figura 1 indica la ubicación geográfica de las cronologías de anillos de árboles generadas por los laboratorios de dendrocronología de las universidades de Arizona y Arkansas, algunas de ellas producidas en colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Investigación Dendrocronológica Actual en México

El interés de la dendrocronología en México ha aumentado en los últimos cinco años. Un factor importante ha sido el soporte técnico y económico otorgado por organismos internacionales y nacionales para estudios de variabilidad histórica del clima, estudios del comportamiento histórico de patrones de circulación atmosférica global y frecuencia e impacto ecológico de incendios, en términos de dinámica de poblaciones y tasas de crecimiento anual.

Además de los estudios dendrocronológicos publicados en México, se tienen en marcha algunos proyectos de investigación.

El Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas y el INIFAP en México, con financiamiento del Instituto Interamericano para el cambio climático (IAI, por sus siglas en inglés) están colaborando en un esfuerzo conjunto, para ampliar en área y tiempo las cronologías de árboles sensitivas al clima en México. El interés principal se centra en desarrollar un mayor número de “proxys” (fuente indirecta para determinar la amplitud de un factor) dendrocronológicos para reconstrucciones de precipitación de invierno y de verano, así como para mejorar el registro paleoclimático de ENSO y analizar otros patrones de circulación atmosférica que afectan el clima en México. De manera similar se pretende extender la red de cronologías de *Pseudotsuga menziesii* y ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) así como de otras especies en el trópico mexicano (Figura 1).



Nombre del sitio	Cronología	Elev. (m)	Nombre del sitio	Cronología	Elev. (m)
1. Guadalupe	1537-1992	2347	13. Rancho del Cielo	1772-1995	1810
2. Big Bond	1473-1992	2057	14. Río Sabinas	1474-1995	315
3. Las Tinajas	1621-1993	2070	15. Río Verde	1574-1996	820
4. El Tabacote	1583-1993	2250	16. Pinal de Amoles	1731-1998	2560
5. Creel	1644-1993	2200	17. El Malpaso	1726-1998	2580
6. Cerro Barajas	1376-1993	3170	18. Parque de Chapultepec	1900-1998	2244
7. Cuevesillas	1651-1993	2500	19. Villarreal	1699-2000	3120
8. El Salto	1481-1993	2590	20. Cuauhtémoc La Fragua	1474-2001	3254
9. Sierra del Carmen	1675-1971	2030	21. Orquidario	1718-2000	2592
10. Las Alazanas	1779-2001	3200	22. Cerro la Peña	1561-2000	2550
11. Las Bateas	1780-1999	3300	23. El Vado	1700-2000	1493
12. Cerro Potosí	1845-1995	2347			

Figura 1. Cronologías mexicanas de anillos de árboles (Therrell *et al.*, 2002).

En los últimos tres años el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP CENID-RASPA, con sede en Gómez Palacio, Durango, realizó 27 colectas de *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus cembroides*, *Pinus arizonica* y *Taxodium mucronatum* para los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Zacatecas y Querétaro. De estas colectas se han generado 20 nuevas cronologías para el norte y centro de México. Asimismo, se está en proceso de producir nuevas cronologías adicionales para colectas obtenidas recientemente.

Algunas de estas cronologías se utilizaron para desarrollar reconstrucciones históricas de precipitación y flujos de agua en regiones importantes del norte y noreste de México. La generación de información sobre edad de especies de hábitos riparios, como es el caso de *Taxodium mucronatum*, se utilizó para proponer sitios de conservación de rodales con árboles milenarios.

De igual manera, el laboratorio brinda apoyo a la formación de recursos humanos mediante diferentes proyectos de investigación para el desarrollo de tesis a nivel licenciatura y postgrado (maestrías y doctorados).

Estructuras Celulares

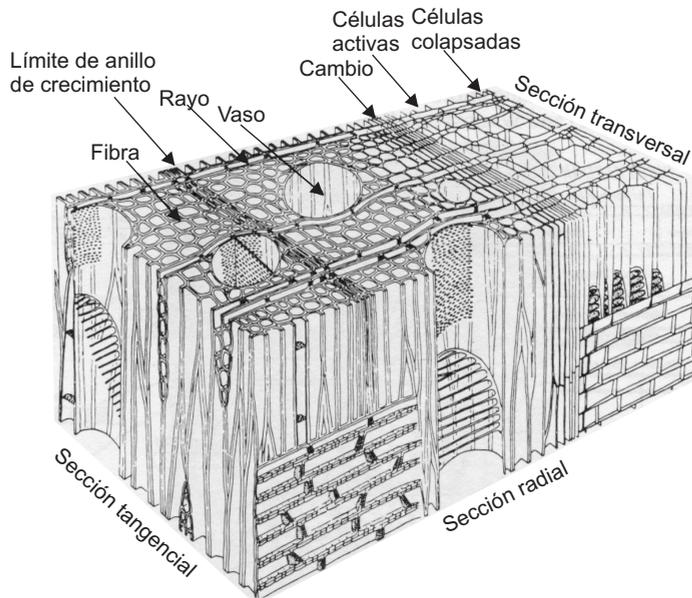
Existe una diferenciación entre las gimnospermas (plantas que no producen flores) y las angiospermas (plantas que sí producen flores). Los crecimientos o anillos de las gimnospermas, como son las coníferas está dominada por traqueidas, que son células orientadas verticalmente, con paredes celulares relativamente lignificadas. Las traqueidas a lo largo de la porción interna de un anillo son anchas y poseen paredes celulares delgadas. Estas células anchas forman la madera temprana (madera de primavera), de constitución porosa, con baja densidad y de tonalidad brillante. En alguna sección de la parte media del anillo, las traqueidas se tornan planas, con paredes gruesas y dan lugar a la madera tardía (madera de verano). La transición entre madera temprana y tardía puede ser gradual en algunas especies y abrupta en otras.

En las gimnospermas, los espacios tubulares de orientación vertical y que conectan las células tanto horizontal como verticalmente, se denominan canales resiníferos. Estos vasos resiníferos pueden estar dispersos, agrupados o ausentes en el anillo de crecimiento. La exudación de resina de estos ductos en tejido dañado ayuda a proteger al árbol del ataque posterior de insectos o enfermedades.

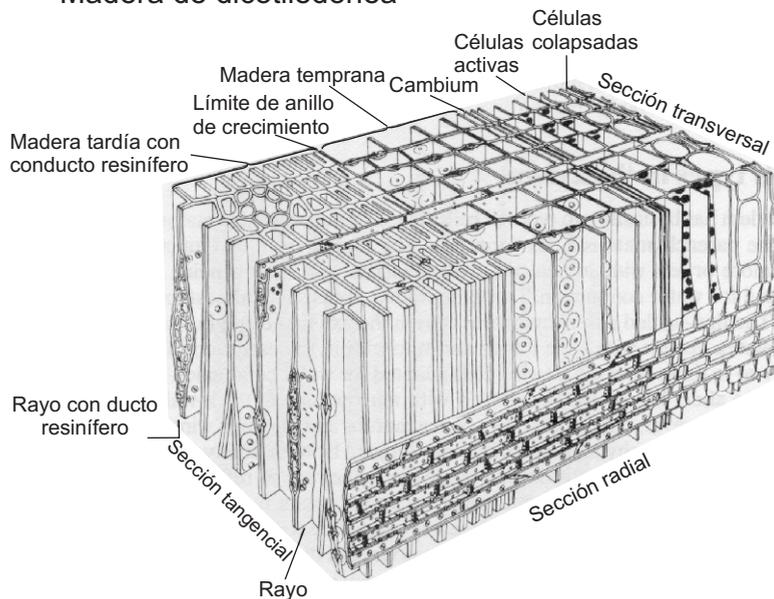
La madera de las angiospermas está compuesta de vasos y fibras y de parénquima orientado longitudinalmente (rayos o rayos del xilema). Los vasos consisten de células tubulares con orientación vertical. La madera de las angiospermas puede ser de constitución porosa o difusa. En madera porosa como de los géneros *Ulnus*, *Fraxinus* y *Quercus*, los vasos en la madera temprana son más anchos que los de la madera tardía, lo que facilita la definición del anillo anual. En especies con madera difusa como de los géneros *Acer*, *Fagus* y *Liriodendron*, los vasos son aproximadamente del mismo diámetro en todo el anillo. En las angiospermas la mayor parte del xilema consiste de fibras con paredes gruesas y diámetros pequeños, principalmente en la parte final del anillo (Figura 2).

Identificación de Anillos de Crecimiento

El anillo anual de crecimiento del xilema se forma al exterior del que se formó en el año anterior. Este se divide en dos porciones conocidas como madera temprana y madera tardía. Las células (traqueidas) de la madera temprana se forman al inicio de la época de crecimiento, durante un período rápido de crecimiento radial (Figura 2). En la madera tardía, la actividad del cambium decrece y las traqueidas presentan paredes gruesas con cavidades progresivamente más chicas. Este contraste de las últimas células con las primeras del año siguiente, es lo que delimita a un anillo de crecimiento anual (Figura 3).



Madera de dicotiledónea



Madera de conífera

Figura 2. Estructura celular de la madera de gimnospermas (coníferas) y angiospermas (dicotiledóneas) (Fritts, 1976).

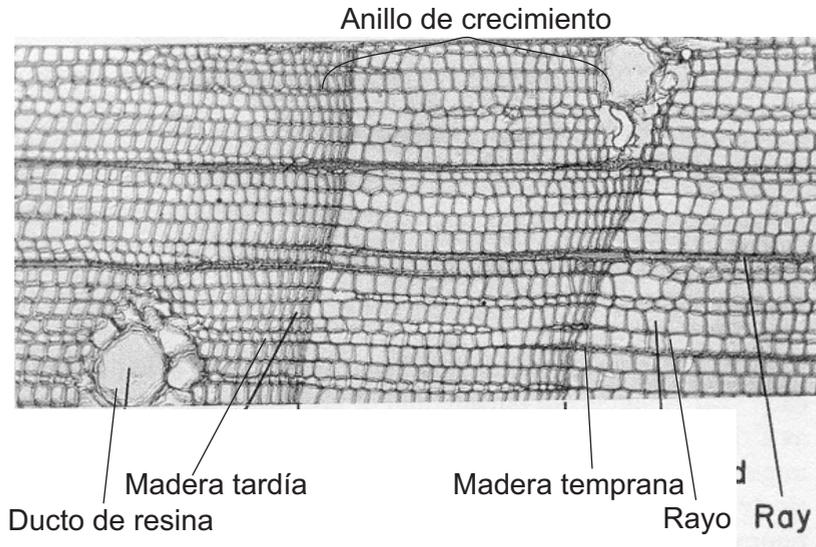


Figura 3. Identificación de anillos de crecimiento (Stokes y Smiley, 1996).

Principios Dendrocronológicos

La dendrocronología se hace posible por el hecho de que en muchos árboles el crecimiento anual de los anillos es visible en una sección transversal, donde se exhiben diferencias en su tamaño (Stokes y Smiley, 1996). Se requieren cuatro condiciones para que estos crecimientos sean de utilidad en el fechado de una muestra (Figura 4).

1. Los árboles deben presentar sólo un anillo para cada estación de crecimiento. No se pueden usar especies que agreguen más de un anillo anual durante una estación de crecimiento.
2. Aunque el crecimiento estacional total es el resultado de muchos factores interrelacionados, como genéticos y medioambientales, sólo un factor medioambiental debe dominar y limitar el crecimiento. En el suroeste de Estados Unidos de América y norte de México, este factor limitante es la precipitación.

3. El crecimiento que se propicia por el factor limitante clima debe variar en intensidad de año a año, y los anillos anuales resultantes deben reflejar tal variación en su anchura de crecimiento.
4. La variable ambiental limitante debe ser uniforme sobre un área geográfica extensa.

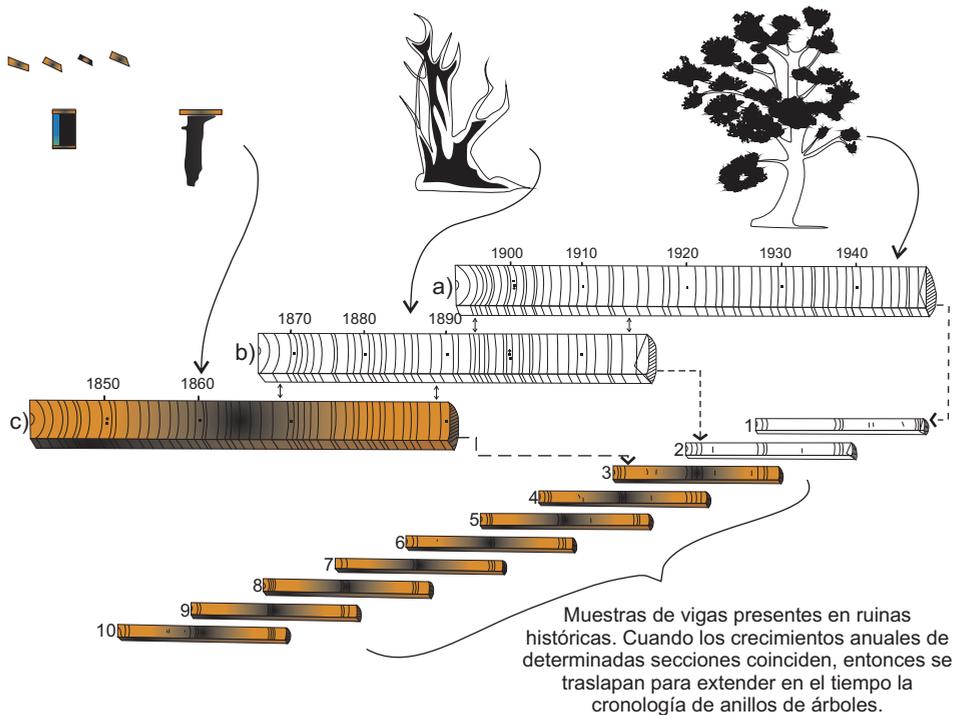


Figura 4. Principios de la dendrocronología: a) árbol vivo, b) árbol muerto y c) madera de ruinas arqueológicas (Stokes y Smiley, 1996).

Descomposición de las Series de Crecimiento

Para descomponer las señales presentes en una serie de anillos, Cook y Kairiukstis (1990) muestran el siguiente modelo lineal:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

Donde: R_t es el ancho del anillo observado en determinado año (t), A_t es la tendencia por edad (tamaño), C_t es la señal climática, $D1_t$ son los pulsos generados por disturbios endógenos (competencia), $D2_t$ son los pulsos generados por disturbios exógenos (plagas, enfermedades, incendios, aprovechamientos, etc.), E_t es la variación no explicada por las otras señales (ruido), δ es el indicador binario de presencia o ausencia (1 ó 0).

Este modelo se expresa en forma lineal para simplificar la discusión de los conceptos asociados con cada componente del modelo. Ciertas propiedades del ancho de anillo normalmente son multiplicables (la relación entre la media y la desviación estándar). Sin embargo, tales relaciones no lineales pueden linearizarse al transformar las anchuras del anillo a logaritmos. En este sentido, la serie de anillos de árboles son intrínsecamente procesos lineales. La relación de δ con D_1 y D_2 es un indicador binario de presencia ($\delta = 1$) o ausencia ($\delta = 0$) de cualquier clase de perturbación en algún momento (t), en la anchura del anillo. Así, A_t , C_t y E_t se asume que están continuamente presentes en R_t , mientras D_1 y D_2 pueden o no estar presentes, dependiendo de si la intervención de una perturbación ha ocurrido en algún momento (t).

A_t es un proceso no estacional que refleja en parte la limitante geométrica del volumen agregado de madera a un tallo de radio en crecimiento. Cuando esta caída en crecimiento es la fuente principal de la tendencia, A_t exhibirá una tendencia exponencial en función del tiempo una vez que el período juvenil de aumento en incremento radial ha cesado. Esta forma de tendencia normalmente es más común en árboles que crecen en ambientes abiertos, donde la competencia y efectos de perturbación son mínimos.

El procedimiento para eliminar el efecto de la edad se le llama estandarización. El objetivo de la estandarización es poder comparar árboles de distinta edad en cuanto a su variabilidad interanual (Fritts, 1976). A cada serie individual se le ajusta una función no-lineal (exponencial, polinomial o suavizada).

Amplitud Ecológica

Este principio indica que una especie arbórea será más sensitiva a factores medioambientales en su límite de distribución latitudinal y altitudinal. Por ejemplo, la especie Douglas-fir distribuida en bosques mixtos de pino de las Sierras Madre Oriental y Occidental en México, crece en una gran “amplitud ecológica”. De otra manera, el espruce (*Picea chihuahuana*) que se desarrolla en sitios muy específicos de estas Sierras, tiene una “amplitud ecológica” muy restringida.

Este concepto es importante porque una especie tiene mayor potencial dendrocronológico cuando crece cerca de su límite de distribución ecológica.

El diagrama muestra los diferentes tipos de bosque y conforme hay un incremento en elevación, la señal climática que se capta en los anillos de crecimiento de algunas de estas especies es mayor (Figura 5). Es deseable para fines dendrocronológicos muestrear los árboles en su máxima elevación. En el caso de *Pseudotsuga menziesii*, la elevación debe ser superior a 2,400 m.

Desarrollo de una Cronología de Anillos de Árboles

Selección del Sitio

Se seleccionan sitios con especímenes que posean características morfológicas específicas para desarrollar una buena cronología.

Un aspecto importante en el desarrollo de estudios dendrocronológicos es seleccionar adecuadamente el arbolado. Los árboles que mejor captan la señal climática son aquellos localizados en terrenos de ladera con poca disponibilidad de humedad, donde los individuos están más

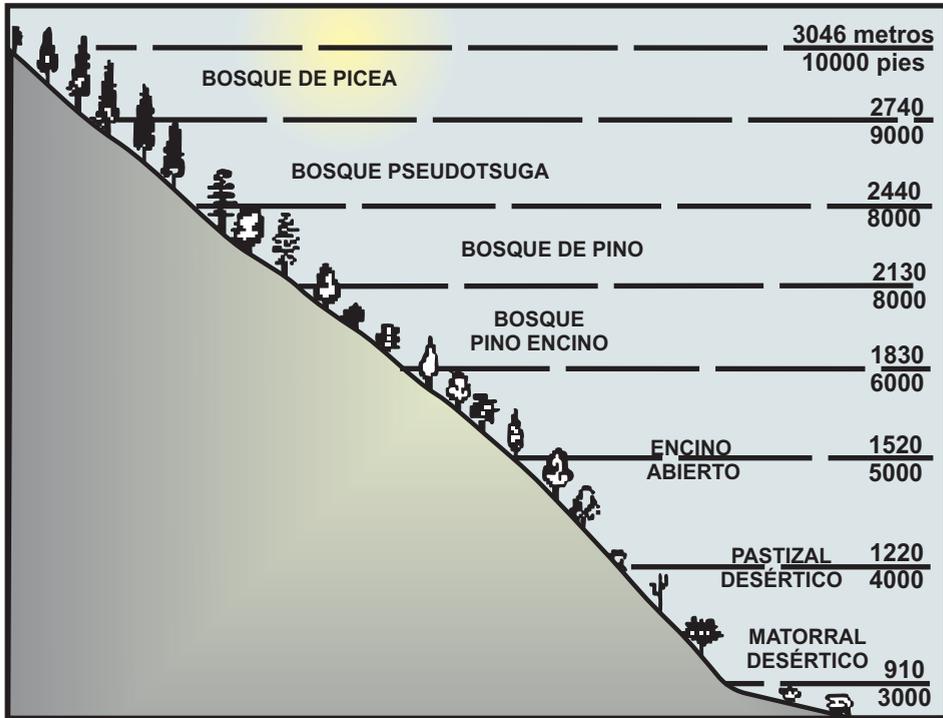


Figura 5. Gradiente altitudinal con la presencia de ecosistemas que fluctúan desde un matorral desértico hasta un bosque de *picea* (Fritts, 1976)..

limitados para la humedad y son más susceptibles a registrar la señal climática (Figura 6). Los árboles que se seleccionan son aquellos con apariencia longeva, generalmente tienen la punta seca, tallo y corteza torcida en forma de espiral, copa no cónica, ramas caídas, etc.

Para cada sitio de trabajo se llena un formato para registrar información geográfica y ecológica del sitio como: coordenadas, elevación, pendiente, nombre del paraje, tipo de vegetación, especies dominantes, uso del suelo, ocurrencia de incendios, etc., datos que permitan disponer de una mejor descripción del área de trabajo, y en dado momento definir qué factores climáticos antropogénicos han influido en el crecimiento del arbolado.



Figura 6. Fisiografía del sitio, donde el crecimiento del arbolado depende en gran medida de las condiciones climáticas dominantes.

Obtención de las Muestras

El taladro de Pressler es la herramienta básica en el trabajo dendrocronológico, el cual se utiliza para la extracción de núcleos de incrementos en árboles vivos (Figura 7).

El proceso para obtener un núcleo o viruta de un árbol consiste en seleccionar una parte sana y sólida en una sección del tronco, generalmente a la altura del pecho (1.35 m), conocido también como diámetro normal.

Para extraer la muestra la barrena se ubica en lo que se cree puede ser la médula (centro del árbol). Para iniciar la extracción de la viruta, la punta de la barrena se presiona firmemente contra la corteza, colocada en ángulo recto (90°), perpendicular al tronco, y el mango se gira en el sentido de las manecillas del reloj. Una vez que la punta de la barrena se fija firmemente en la madera, sólo se necesita presión girando el mango (Grissino-Mayer, 2003), Figura 8.

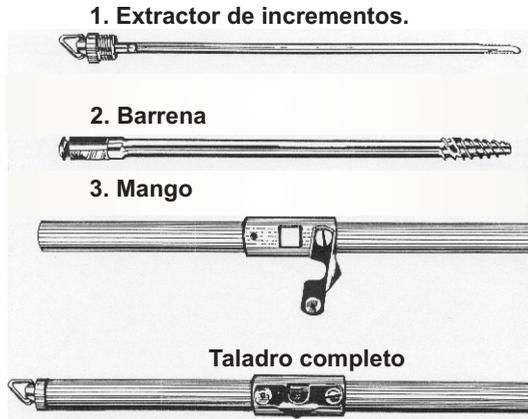


Figura 7. Componentes del taladro tipo Pressler (Grissino-Mayer, 2003).

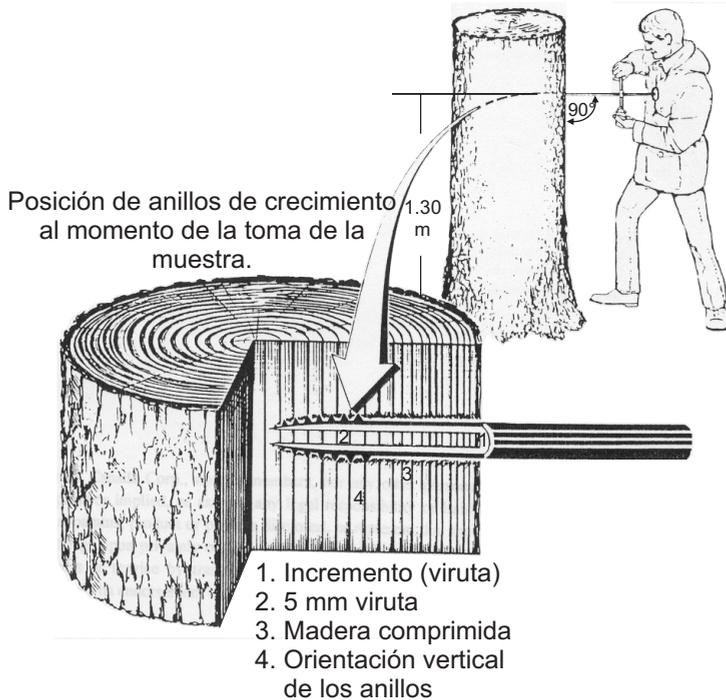


Figura 8. Obtención de un núcleo de crecimiento o viruta con taladro tipo Pressler (Jozsa, 1988).

Preparación (montado, identificación y pulido)

Los núcleos de crecimiento o virutas son porciones de madera muy frágiles, por este motivo, cuando la muestra pierde suficiente humedad (cuando seca), se monta en una moldura de madera con pegamento, ajustando herméticamente con cinta masking tape (Figura 9).

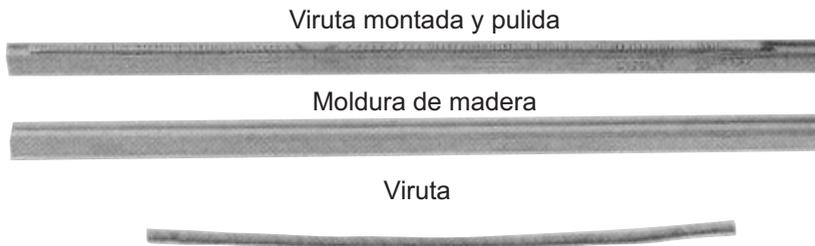


Figura 9. Preparación y montaje de la muestra (Stokes y Smiley, 1996).

Cuando las muestras ya están firmes en la moldura se pulen con lijas de diferente grosor, cuyo número de grados oscilan entre 120 y 1200. En el caso de las secciones transversales (Figura 10), dada la irregularidad de la superficie, primero se prepulan con un cepillo eléctrico y posteriormente se trabajan con lijas de 30 a 400 grados, procedimiento que permite ver y diferenciar más claramente los anillos en la mayoría de las muestras. Sin embargo, en secciones con microanillos, la discriminación de estos se ve dificultada en distinto grado.

La orientación de la muestra al momento del montaje es de gran importancia, ya que de esto depende el poder observar con mayor claridad las bandas de crecimiento anual. Las células de la madera (traqueidas) deben quedar perpendiculares a los incrementos anuales.

Las virutas colectadas de árboles vivos y secciones transversales de árboles muertos se analizan con lupa estereoscópica de aumento 10X a 20X. El conteo de anillos se realiza al señalar con un punto las décadas, cincuenta años dos puntos y períodos de cien años tres puntos, (Figura 11). Posteriormente, mediante representaciones esquemáticas "skeleton plot" y con la simple identificación de anillos angostos y



Figura 10. Sección transversal del árbol *Pseudotsuga menziesii* (rodaja de 600 años colectada en el sitio Peña Nevada, Nuevo León).

anchos, se comparan las series para encontrar patrones comunes de crecimiento. Asimismo, se ubican anillos que muestran reducción en grosor, es decir, más angosto de lo normal. Si sólo se observa una parte de la banda de crecimiento, entonces se trata de un microanillo, en este caso, se utilizan dos puntos paralelos para señalar estos microanillos, y dos puntos alternos para señalar un anillo perdido (Figura 12).

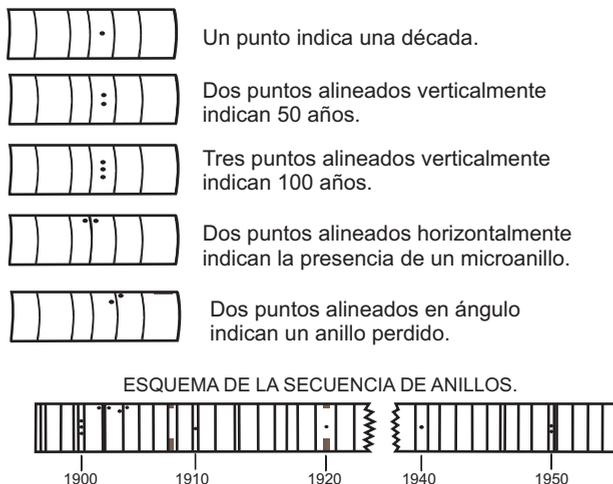


Figura 11. Representación esquelética para las serie de patrones comunes de crecimiento.

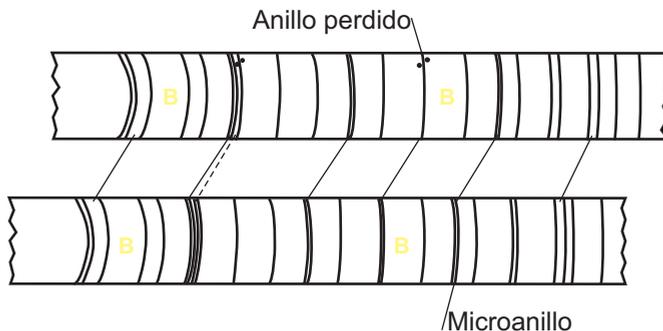


Figura 12. Comparación de modelos de crecimiento donde se muestran los años con crecimiento limitado. Observe como los años con crecimiento reducido se presentan de manera simultánea en ambas muestras (Stokes y Smiley, 1996).

Prefechado

La técnica del “skeleton plot” es una forma gráfica de representar de manera subjetiva el grosor de los anillos (Swetnam *et al.*, 1985). Estos gráficos se usan como una ayuda cronológica para comparar un grupo de muestras y definir patrones de comportamiento, los cuales son esenciales para el fechado exacto de los crecimientos anuales. El proceso de fechado se inicia con la construcción de un gráfico de crecimiento “skeleton plot” para cada muestra individual (Figura 13). Para lo anterior, una tira de papel cuadriculado se etiqueta con la clave de la muestra. Para facilitar el conteo, se escribe un cero al extremo izquierdo del papel, y cada diez cuadros a la derecha se numera en décadas de acuerdo con la longitud de la muestra. Cada una de las líneas verticales en la gráfica de papel corresponde a un anillo. El anillo más interno en la muestra se identifica como anillo cero (anillo del centro) y el marcado se continúa de manera progresiva de este punto en la muestra hasta la corteza (Figura 14).

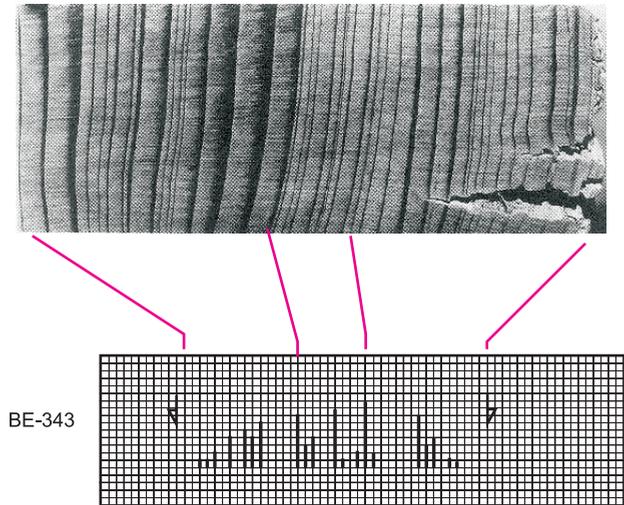


Figura 13. Representación esquelética de una sección de crecimiento. Observe en el gráfico, cómo a los anillos pequeños se les otorga un mayor valor -líneas de mayor longitud-. (Stokes y Smiley, 1996).

En el gráfico de crecimiento, los anillos estrechos son los primeros en compararse y plasmarse en el gráfico. Así que se marca una línea en cada intervalo donde aparece un anillo. La decisión de estrechez se basa en la comparación de cada uno de los anillos inmediatos vecinos o los de a lado. Entre más angosto sea el anillo, mayor la longitud de la línea marcada. La estrechez de los anillos está representada arbitrariamente con una línea de 2 cm de altura. Los anillos excepcionalmente anchos se marcan con una “B” o un “G” (Big o Grande); los anillos promedio no se marcan.

Si un anillo muestra reducción en anchura y se observa incompleto, se trata de un microanillo; en tal caso, en el gráfico de crecimiento se traza una línea de longitud mayor a la utilizada para anillos pequeños. En el caso de anillos perdidos, en la posición gráfica donde en teoría debería de estar, se traza una línea punteada para señalar su presencia (Figura 12).

Después de trazar para cada una de las muestras su gráfico “skeleton plot”, se comparan varios de ellos al mismo tiempo. Al hacer lo anterior, puede observarse similitudes en los patrones de crecimiento de los anillos, ya que se desarrolla un mosaico de gran número de muestras. Cuando el emparejado o cruzado de todos los gráficos de crecimiento se ha hecho correctamente, todos los anillos durante un año en particular (aunque todavía no se asigne una fecha) se colocan en la misma línea vertical.

Después de que se colocan todas las muestras, se pone en la parte inferior un gráfico de papel cuadriculado y se realiza un gráfico compuesto (cronología maestra), que traza la media de la longitud de las líneas para cada año. Puesto que estas líneas no tienen una longitud específica, los promedios generados, de manera similar a los gráficos individuales, son cuestión de juicio personal (Figura 14).

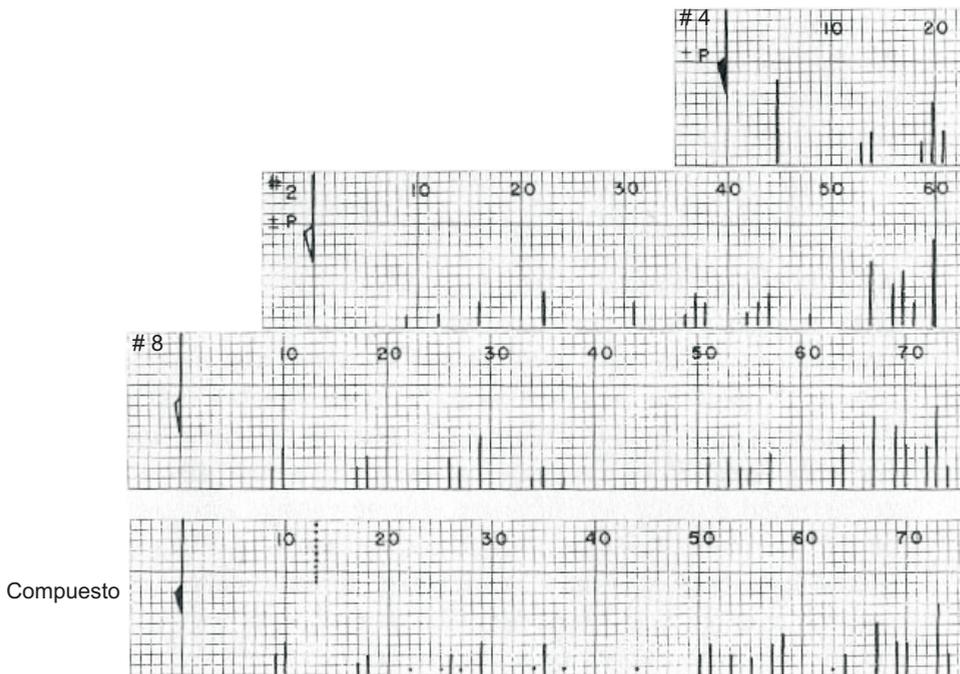


Figura 14. Desarrollo del compuesto o cronología maestra. El Gráfico inferior representa el promedio anual en crecimiento de una serie de muestras.

En árboles que producen crecimientos anuales bien definidos, generalmente se forma un anillo por cada estación de crecimiento (año), pero en años en que el crecimiento es sumamente pequeño, este anillo no puede mostrarse en cada punto del tronco del árbol (Figura 12). Para ciertos años, el crecimiento en el árbol probablemente sólo ocurre en puntos de tensión, como el lado de la pendiente de un tronco o en un punto cerca y bajo las ramas. Los problemas se presentan de igual manera cuando los anillos se encuentran cerca de años muy secos (Figura 16).

Los anillos perdidos pueden descubrirse fácilmente durante el proceso de fechado cruzado de varios individuos (Figura 15). Los modelos del anillo se empalman anillo por anillo, y de esta manera se determina el año en que el anillo está perdido en una de las muestras. El conteo de los anillos estará desfasado un año del punto siguiente, a menos que en la corrección se haya insertado un “anillo” en el lugar apropiado de la secuencia (Stokes y Smiley, 1996).

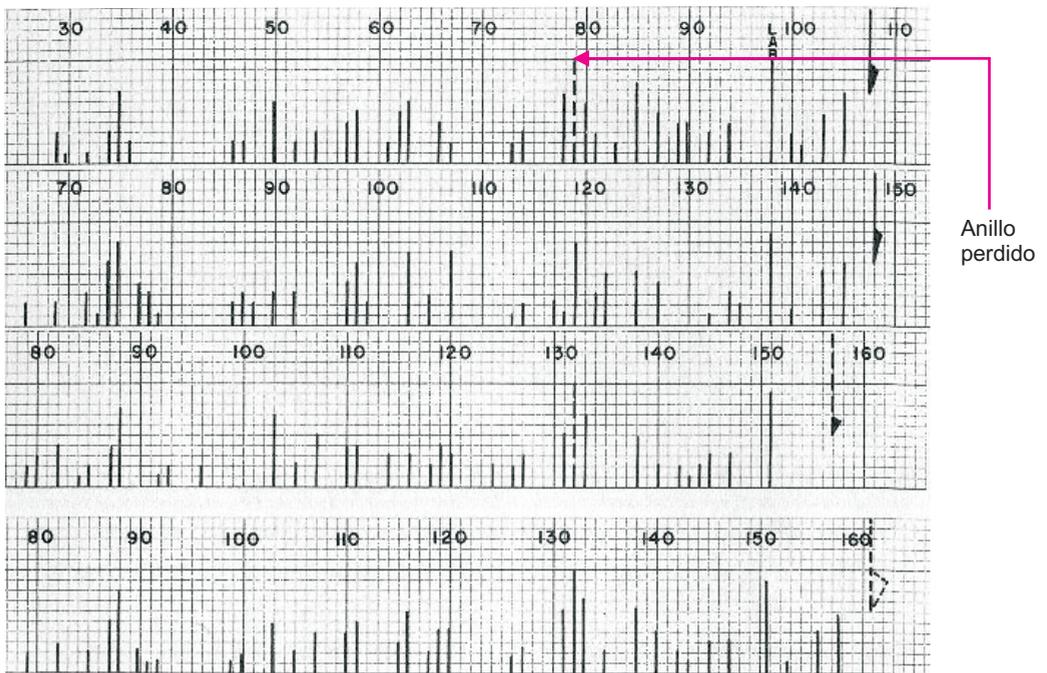




Figura 15. Fechado cruzado de las muestras. Procedimiento de conteo de anillos para realizar el fechado cruzado de las muestras.

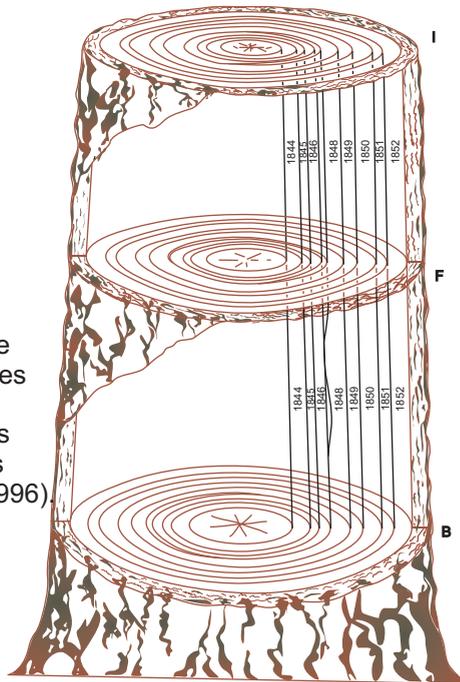


Figura 16. Corte transversal de un tronco a diferentes alturas donde se observan problemas con anillos perdidos (Stokes y Smiley, 1996)

Medición

Posterior al prefchado para cada una de las muestras, la medición de éstas se realiza con un micrómetro de precisión de 0.01 mm y platina de fase deslizante, conectada a una computadora (Robinson y Evans, 1980). Las muestras se miden una a una, deslizando la platina y observando la muestra a través de un estereoscopio con un ocular reticulado. La medición se inicia con el anillo más interno y se procede de esta manera hasta el anillo exterior. En cada anillo se mide madera temprana (clara), madera tardía (oscura) y anillo total (Figura 17).



Figura 17. Medición de muestras (virutas y secciones transversales) para la generación de cronologías.

Análisis del Fechado con el Programa COFECHA

Generados los archivos de medición de anillo total, madera temprana y tardía, los datos se ingresan al programa COFECHA, donde se realiza el control de calidad del fechado y medición (Holmes, 1983); además, permite identificar segmentos de la serie de anillos que tienen baja correlación con la serie maestra y que podrían representar posibles errores de fechado o de medición. Este programa produce la serie maestra y la media de cada uno de los años de todas las series

individuales; analiza estadísticamente el fechado de cada serie al correlacionar sucesivamente segmentos traslapados de 50 años de cada serie individual con la serie maestra, y además, produce un resumen final de las estadísticas descriptivas para el conjunto total de los datos.

Las series en las que COFECHA identifica problemas se grafican con la rutina BARPLOT (Holmes *et al.*, 1986). Esta subrutina calcula la desviación estándar de cada serie individual. Mediante la comparación de los gráficos de las series individuales y la serie promedio para el sitio así como con el análisis cuidadoso en microscopio de las muestras con problemas, se identifican y se corrigen los problemas que se detectan.

Desarrollo de Cronologías con el Programa ARSTAN

Determinada la calidad del fechado y la medición por el programa COFECHA se desarrollan cronologías de índices de ancho de anillos con el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Este programa realiza la estandarización de las series individuales de cada árbol al remover la varianza debida a factores biológicos, como edad y crecimiento radial y la varianza de la productividad diferente entre micrositos y cambio en el ambiente de los árboles no relacionados con el clima (Fritts, 1976; Cook y Kairiukstis, 1990). El programa ARSTAN maximiza la varianza debida a factores ambientales que afectan a la población en su conjunto.

Este programa tiene la opción de ajustar diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o curvas flexibles de diferente rigidez), las cuales tratan de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento. Entrás más rígida sea la curva de ajuste, se preserva un mayor porcentaje de la varianza de baja frecuencia (ondas largas).

La función que comúnmente utiliza ARSTAN para la estandarización es la exponencial negativa mencionada por Fritts (1976) y Cook y Kairiukstis (1990).

Finalmente, las series resultantes de amplitud de anillos estandarizados se pueden comparar con la media y la varianza de la parte interna y externa de cada serie. Eliminada la varianza debida al crecimiento diferente entre árboles jóvenes y viejos se promedia cada uno de los índices anuales de las series individuales y se obtiene la cronología maestra para el sitio (Stoke y Smiley, 1968). A la cronología maestra

también se le llama cronología estandarizada (Fritts, 1976). El programa ARSTAN genera tres cronologías: estándar, residual y Arstan (Cook y Holmes, 1984).

Entre los parámetros estadísticos que permiten caracterizar la calidad de una cronología se encuentra la sensibilidad media, la desviación estándar, la autocorrelación y la relación señal-ruido. Se considera que una cronología tiene buen potencial dendrocronológico si presenta las siguientes características: alta sensibilidad media, desviación estándar alta, baja autocorrelación de primer orden, alta relación señal-ruido y alta correlación entre series (Fritts, 1976).

Algunas Aplicaciones para México que Pueden Derivarse de Estudios Dendrocronológicos

La dendrocronología se puede aplicar a la solución de una variedad de problemas tanto en el área de recursos naturales, como en climatología, geología, arqueología, antropología, medicina, entre otras.

De manera específica, esta tecnología puede avocarse a determinar los siguientes aspectos:

Integración de base de datos paleoclimáticos; es decir, reconstrucción histórica de variables climáticas como precipitación, temperatura, presión atmosférica, etc.

Estudio de fluctuaciones hidroclimáticas en el tiempo (inundaciones, sequías), reconstrucción de flujos de agua en sistemas hidrológicos (ríos).

Cambios climáticos globales por efecto de la deforestación, contaminación, calentamiento global.

Estudios ecológicos (estructura de vegetación, frecuencia de incendios, plagas, enfermedades, etc.) para conservación y restauración de ecosistemas.

Estudios ecológicos para conservación de ecosistemas y especies de flora y fauna endémicas.

Tasas de crecimiento de especies forestales económicamente importantes para el aprovechamiento sustentable.

Estudio de patrones de circulación atmosférica global (El Niño, Oscilación del sur; El Monzón del suroeste de los Estados Unidos y norte de México, Oscilación Decadal del Pacífico, ciclones, tormentas convectivas, etc.).

Repercusiones económicas y sociales de cambios climáticos, producción de alimentos, brotes epidémicos.

Estudios antropológicos, ejemplo causas de la desaparición de civilizaciones antiguas, condiciones climáticas dominantes durante el establecimiento, florecimiento y decadencia de civilizaciones, etc.

Generación de cronologías de árboles en zonas semitropicales, templadas y áridas para estudios de aprovechamiento sustentable.

Especies con Potencial Dendrocronológico

La república mexicana, debido a su riqueza en biodiversidad, posee un sinnúmero de especies con potencial dendrocronológico conocido, pero en el que todavía no se ha explorado el potencial que tienen muchas otras especies distribuidas tanto en las zonas templadas como en las tropicales. En la actualidad, sólo se ha trabajado intensamente con dos especies: *Pseudotsuga menziesii* y *Taxodium mucronatum*, con las cuales se han producido cronologías en algunos casos por más de 600 años, distribuidas desde el sur hasta el norte de México (Figura 18). En el desarrollo de estas cronologías ha participado personal de diversas instituciones de investigación, como es el caso de los Laboratorios de Dendrocronología de las Universidades de Arizona y Arkansas, así como el laboratorio del INIFAP CENID-RASPA.



Figura 18. Sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), especie longeva y con gran potencial dendrocronológico.

Laboratorio de Dendrocronología

El establecimiento de un laboratorio de Dendrocronología en el INIFAP se gestó en 1999, derivado de un proyecto con financiamiento internacional denominado **“Estimación de la variabilidad climática presente, pasada y futura en las Américas con árboles en bosques de altura”**, PRECI 2363, con sede en la Universidad de Western Ontario, Canada, financiado con fondos del Instituto Interamericano para el Cambio Climático Global (IAI, por sus siglas en Inglés). Este laboratorio tuvo su inicio en el Campo Experimental “Palma de la Cruz” en San Luis Potosí, pero se ubica actualmente en el CENID-RASPA, Gómez Palacio, Durango. La esencia de la integración de este laboratorio fue en principio cumplir con los objetivos generales del proyecto que le dio origen mediante el desarrollo de cronologías de anillos de árboles en todo el país para estudios paleoclimáticos, análisis de la variabilidad hidroclimática en el tiempo, así como el estudio de patrones de circulación atmosférica global que afectan la república mexicana.

A través de los años y con el soporte económico de convenios con el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas, Fayetteville, USA y proyectos adicionales con fondos sectoriales CONAFOR-CONACYT, CONAFOR-SEMARNAT y fondos fiscales del propio INIFAP, se ha integrado un laboratorio básico que en la actualidad dispone de infraestructura para apoyar proyectos de carácter local, nacional e internacional, entrenamiento de personal del INIFAP, universidades y de otras instituciones de investigación con interés en aplicaciones dendrocronológicas, generación de tesis a todos los niveles (licenciatura, maestría y doctorado).

El laboratorio de Dendrocronología del INIFAP es único en el país, no existe uno semejante aún en instituciones superiores de investigación forestal o áreas relacionadas, y sus acciones de investigación están reconocidas por instituciones de investigación extranjeras, casos específicos son La Universidad de Arkansas, Fayetteville, Arkansas; Universidad de Arizona, Tucson, Arizona en Estados Unidos; Universidad de Western, Ontario, Canada; Instituto de Dendroglaciología (IANIGLA), Mendoza, Argentina, Universidad Forestal de Chile, y otras instituciones latinoamericanas de investigación. A nivel nacional se ha colaborado con investigadores del Colegio de Postgraduados de Chapingo, Texcoco, Estado de México; Facultad Forestal de Linares, Nuevo León; Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”; Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) del Instituto Politécnico Nacional; Facultades de Agronomía en la Comarca Lagunera, entre otras.

Personal

El laboratorio de Dendrocronología cuenta con el equipo esencial para la generación y análisis de cronologías de anillos de árboles. En términos de infraestructura, el laboratorio dispone de un edificio adaptado para este fin, el cual incluye un taller de carpintería con las herramientas técnicas requeridas para realizar el montaje de incrementos radiales (gusanos o virutas), procesamiento y pulido de secciones transversales; un área de conteo de anillos con varios esteromicroscopios de baja y alta resolución, una sala exclusiva de medición con dos micrómetros con platinas deslizables para medición de madera temprana, tardía y total, los cuales se encuentran conectados a equipos de cómputo con disponibilidad de programas dendrocronológicos para la generación, análisis de cronologías y asociaciones con variables climáticas; asimismo, se dispone con áreas de exhibición y de almacenamiento de secciones transversales, sección de almacenamiento de virutas o núcleos exactamente fechados, un área de apoyo para sistemas de información geográfica, una sala de juntas y cubículos para el personal investigador y de apoyo.

El personal técnico incluye a un investigador de tiempo completo, personal técnico encargado de la preparación de muestras, medición y generación de cronologías, así como estudiantes a nivel licenciatura y maestría involucrados en el desarrollo de tesis con un enfoque dendrocronológico.

Avances de Investigación

Estudios de variabilidad climática utilizando el crecimiento anual de anillos de árboles como “proxy”, tiene una amplia aplicación en la planeación y aprovechamiento racional del manejo de agua, así como en la preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos en ecosistemas de bosques templados, zonas tropicales y subtropicales, y regiones áridas y semiáridas (Figura19).



Figura 19. Imagen que muestra la importancia de preservar especies en bosques de galería.

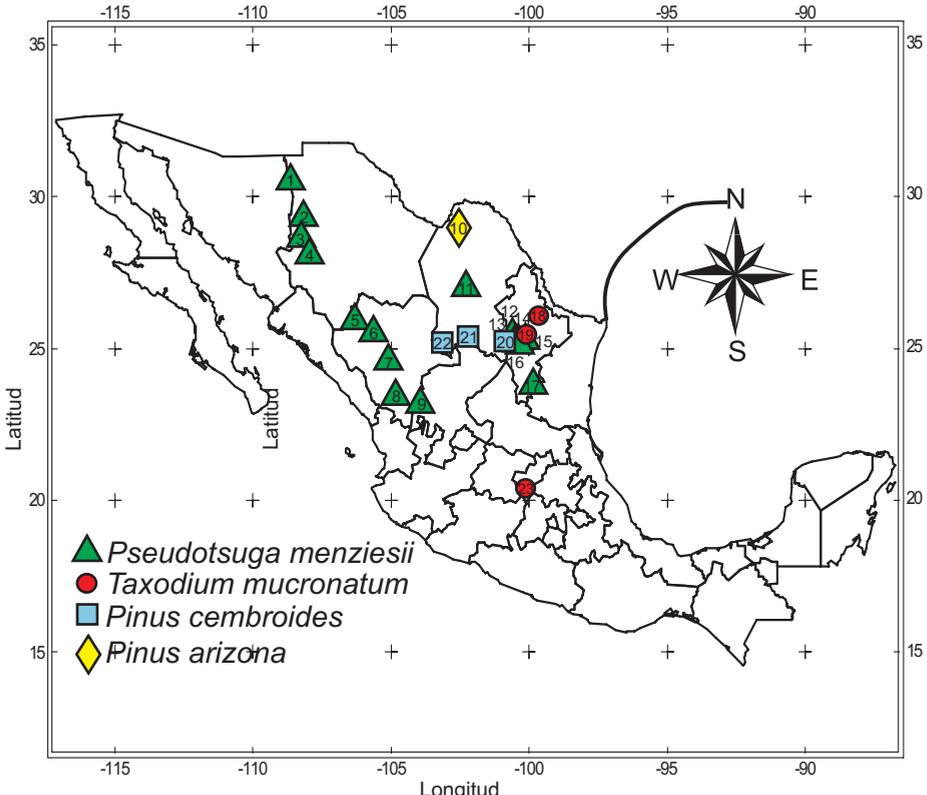
México es un país con gran biodiversidad y especies como *Pseudotsuga menziesii*, *Taxodium mucronatum* y otras coníferas y hojosas más, tienen alto potencial para aprovecharse en estudios dendroclimáticos, hidrológicos, ecológicos, etc.

La generación de bases de datos que muestren el comportamiento histórico del clima es fundamental para realizar una planeación eficiente del agua, así como para generar modelos de predicción que posean mayor confiabilidad. La presencia de eventos extremos, tanto húmedos como secos, su ciclicidad en el tiempo, y el efecto de patrones de circulación atmosférica global como El Niño-Oscilación del Sur, Monzón Mexicano, etc., son importantes para un entendimiento del impacto de dichos fenómenos en nuestro país y su posible comportamiento en el futuro.

Actualmente, el laboratorio ha generado 20 cronologías de anillos de árboles. Estas cronologías están distribuidas básicamente en el norte y noreste de México; pero de manera adicional se ha participado en la generación de cronologías para el sur y centro del país (Figura 20).

Como productos científicos derivados de estudios dendrocronológicos se tienen reconstrucciones de precipitación centenarias para Chihuahua, Sonora, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Figura 21), reconstrucciones históricas de los Índices de Oscilación del Sur, impacto del Monzón en el inicio de la estación de crecimiento, reconstrucciones históricas de volúmenes de maíz en el centro de México y estudios específicos de árboles viejos en sistemas riparios para propó-

sitos de conservación. Diversas cronologías se han generado en sitios de anidamiento de un ave conocida como la “cotorra serrana” (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*), lo cual puede aportar información ecológica básica para su conservación. Actualmente se participa en dos proyectos internacionales enfocados al estudio de frecuencia histórica de incendios para restauración de ecosistemas.



Nombre del sitio	Cronología	Elev. (m)	Nombre del sitio	Cronología	Elev. (m)
1. Mesa de las Guacamayas	1636-2002	2665	12. El Tarillal	1775-2000	3200
2. Madera	1774-2001	2820	13. Pilares	1855-2000	3150
3. Bisaloachi	1537-2002	2744	14. La Viga	1659-2001	3400
4. Cebadillas de Ocampo	1588-2002	2781	15. La Coahuilón	1700-2001	3200
5. El Cócono	1450-2002	1950	16. El Morro	1872-2000	3500
6. Ciénega de la Vaca	1763-2002	2800	17. Mesa de los Gatos	1400-2002	3200
7. Cerro Bandera	1675-2001	3170	18. Cerralvo	1741-2003	1280
8. Las Bayas	1681-2001	2980	19. Río San Juan	1887-2003	1240
9. Jiménez de Teúl	1758-2001	2758	20. Sierra Zapalinamé	En proceso	
10. Maderas del Carmen	1761-2002	1700	21. Sierra de Parras	En proceso	
11. Sierra Cuatro Ciénegas	1719-2003	2180	22. Sierra de Jimulco	En proceso	
			23. Barranca de Amealco	En proceso	

Figura 20. Cronologías de anillos de árboles desarrolladas por el laboratorio de Dendrocronología del CENID-RASPA, INIFAP.

El potencial de los estudios que se desarrollan tienen amplia aplicabilidad en la conservación de ecosistemas, y el apoyo que se obtiene del INIFAP en términos de reconocimiento, contratación de personal e infraestructura misma, seguramente contribuirá a que este laboratorio aporte conocimientos básicos en la solución de problemas ecológicos, contaminación, planeación en el aprovechamiento del agua y explotación sustentable de recursos forestales a nivel local, regional y nacional.

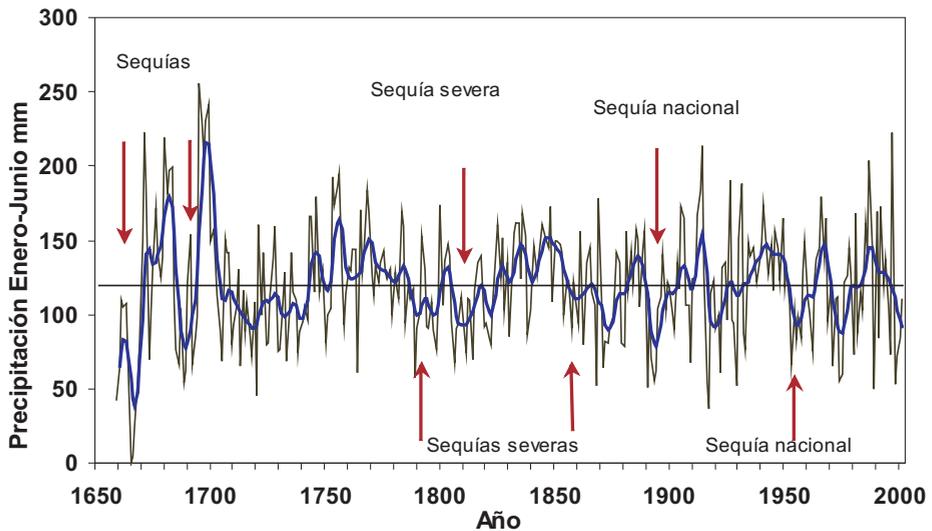


Figura 21. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera (enero-junio) para Saltillo, Coahuila, utilizando como “proxy” los índices de una cronología regional de madera temprana en Sierra de Arteaga, Coah.

Proyectos en Curso

Actualmente se trabaja en los siguientes proyectos de investigación:

1. "Estimación de la variabilidad climática presente, pasada y futura en las Américas con árboles en bosques de altura". PRECI 2363, financiamiento IAI.
2. "Variabilidad hidroclimática en cuencas del norte de México", PRECI 2946, financiamiento INIFAP.
3. "Bosques centenarios del centro-norte de México y su potencial para estudios dendrocronológicos y ecológicos"; PRECI 1495613F, financiamiento CONAFOR-CONACYT.
4. "Variabilidad y cambio climático en México: diagnósticos y mecanismos de adaptación por sector". Proyecto grupal, cuyo responsable es el Dr. Carlos Guy, del departamento de Ciencias Atmosféricas de la UNAM. La porción de investigación del INIFAP, a cargo del Dr. José Villanueva Díaz. Financiamiento SEMARNAT-CONACYT.

Colaboraciones Internacionales

Se colabora activamente con personal de diversas instituciones como:

Laboratorio de Dendrocronología del Departamento de Geografía, Universidad de Arkansas, Fayetteville, Estados Unidos. Director Dr. Dave Stahle.

Laboratorio de Dendrocronología del Departamento de Geografía, Universidad de Western Ontario, Canadá. Director Dr. Brian Luckman.

Departamento de Geografía, Universidad de Iowa. Profesor Investigador, Matthew Therrell.

Departamento Forestal, Universidad de Yale. Helen Mills. Inglaterra.

Departamento de Conservación de Ecosistemas, Universidad del Norte de Arizona. Profesor Investigador, Peter Fulé.

Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arizona. Profesor Investigador Malcom Hughes.

Bibliografía

- Centro Nacional Geofísico de Datos (2004). Banco Internacional de Anillos de Árboles (ITRDB).
Http:// www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html
- Cleaveland, M. K., E. R. Cook and D. W. Stahle. 1992. Secular variability of the Southern Oscillation detected in tree-ring data from Mexico and the southern United States. In: Díaz, H. F. and V. Markgraf (Eds.). El Niño: Historic and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation. Cambridge University Press. 271-291 pp.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Díaz, and B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369-388.
- Cook, E. R. and R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 pp.
- Cook, E. R. and L. A. Kairiukstis. 1990. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Kluwer. 394 pp.
- Dendrocronología. 2002. El árbol como indicador de cambios ambientales. *Http://usuarios.lycos.es/picadura/dendrocronologia.htm*
- Fritts H. C. 1976. Tree-rings and Climate. Academic Press, London-New York, San Francisco.
- Grissino-Mayer, H. 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. *Tree-Ring Research* 59(2):63-79.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assited quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43:69-78.
- Holmes, R. L., R. K. Adams and G. 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.
- Jozsa, L. 1988. Increment core sampling techniques for higt quality cores. Wood Science Department, Forintek Canada Corp. Special Publication No. SP-30.

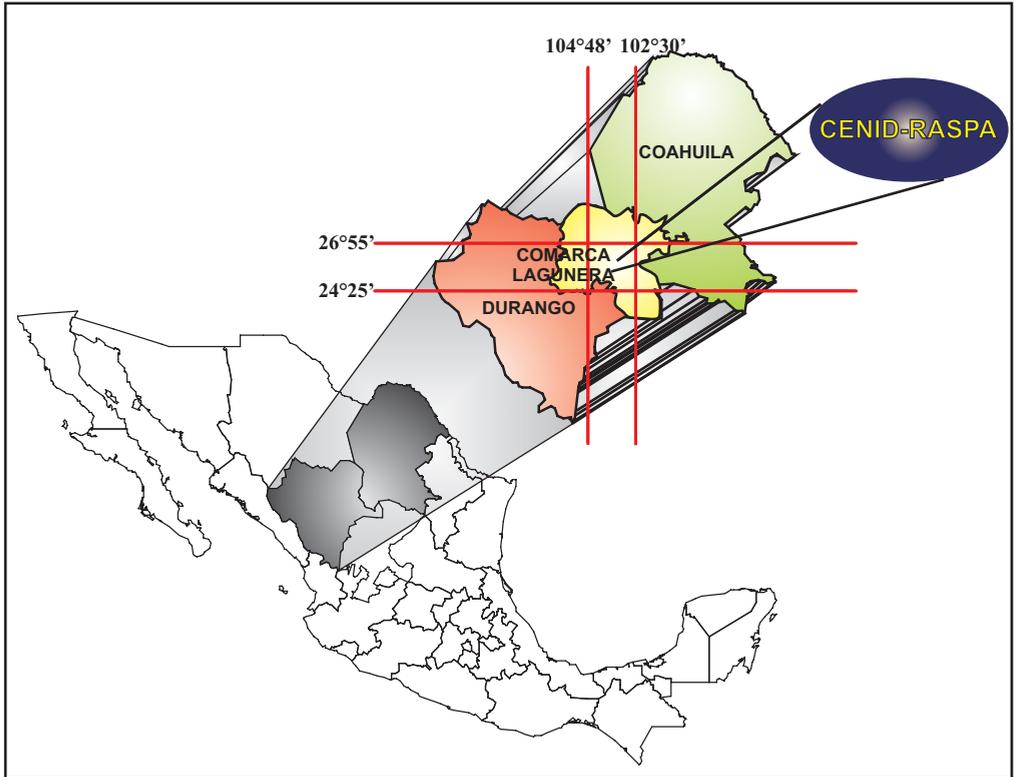
- Lough, J. M. and H. C. Fritts. 1985. The Southern Oscillation and tree rings: 1600-1961. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 24: 952-966.
- Lough, J. M., 1992. An index of the Southern Oscillation reconstructed from western North America tree-ring chronologies. In: Diaz, H. F. And V. Markgraf (Eds.). 1992. *El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. pp. 215-226.
- Michaelsen, J. 1989. Long period fluctuations in El Niño amplitude and frequency reconstructed from tree rings. In: Peterson, D. H. (Ed.). 1989. *Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas*. AGU, Washington, D. C. Geophysical Monograph 55, 69-74 pp.
- Michaelsen, J. and L. G. Thompson. 1992. A Comparison of proxy records of El Niño/Southern Oscillation. In: Diaz, H. F. And V. Markgraf (Eds.). 1992. *El Niño: historical and paleoclimatic aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press. 326-348 pp.
- Naylor, T. H. 1971. Dendrochronology in Oaxaca, Mexico: A preliminary study. *Tree-Ring Bulletin* 31:25-29.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-Ring Bulletin* 40:50-64.
- Schulman, E. 1944. Dendrochronology in Mexico. *Tree-Ring, Bulletin* 10:18 24.
- _____. 1956. *Dendroclimatic changes in semiarid america*. University of Arizona Press, Tucson. 142 pp.
- Scott, S. D. 1966. Dendrochronology in Mexico. *Papers of the Laboratory of Tree-Ring Research*, University of Arizona Press, Tucson. 80 pp.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1992. Reconstruction and analysis of spring rainfall over the southeastern United States for the past 1000 years. *Bulletin of the American Meteorological Society* 73: 1947-1961.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1993. Southern Oscillation extremes reconstructed from tree-rings of the Sierra Madre Occidental and Southern Great Plains. *Journal of Climate* 6:129-140.

- Stahle, D. W., R. D. 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. 1996. *An introduction to Tree-Ring Dating*. University of Arizona Press, Tucson, Az.
- Swetnam, T. W., M. A. Thompson, and E. K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. USDA-Forest Service. *Agriculture Handbook No. 639*.
- Therrel, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research*. 107 (D14):6-1-6-7.
- Villanueva-Diaz, J. and G. R. McPherson. 1995. Forest stand structure in mountains of Sonora, México and New México, USA. In: DeBano, L. F., P. E. Ffolliott, A. Ortega-Rubio, G. J. Gottfried, R. H. Hamre, and C. E. Edminster (Tech. Coord.). *Biodiversity and Management of the Madrean Archipelago: The Sky Islands of the Southwestern United States and Northern Mexico*. USDA-Forest Service, General Technical Report RM-GTR-264. Pp. 416-423.
- Villanueva-Díaz, J. 1996. Influence of land-use and climate on soils and forest structure in mountains of the Southwestern United States and Northern Mexico. Ph. D. Dissertation. University of Arizona, Tucson. 203 p.
- Villanueva-Diaz, J. and G. R. McPherson. 1996. Reconstruction of precipitation and PDSI from tree-ring chronologies developed in mountains of New Mexico, USA and Sonora, Mexico. *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*. Hydrology Section, Arizona-Nevada Academy of Science 26:45-54.

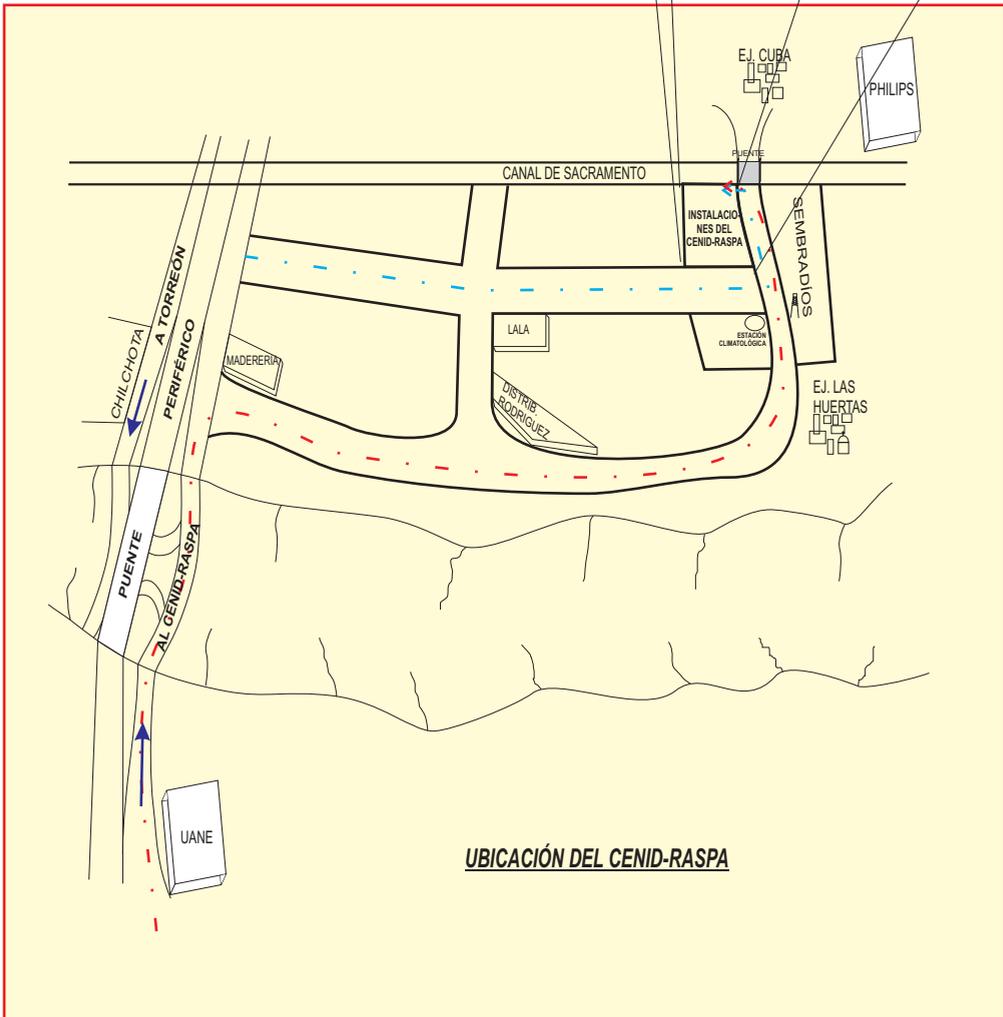
Agradecimientos

La información contenida en el presente Folleto Técnico se genera con fondos del Proyecto IAICRN03 "Assessment of present, past and future climate variability in the Americas from treeline environments.

Los gastos de impresión fueron cubiertos mediante el Proyecto "Estudio integral de sistemas de producción agrícola, pecuaria y forestal y de los recursos naturales de la Región Hidrológica No. 36 Cuencas de los Ríos Nazas y Aguanaval" PRECI 1025676M.



Localización del CENID-RASPA



UBICACIÓN DEL CENID-RASPA

Editor
Ing. Raquel Anguiano Gallegos

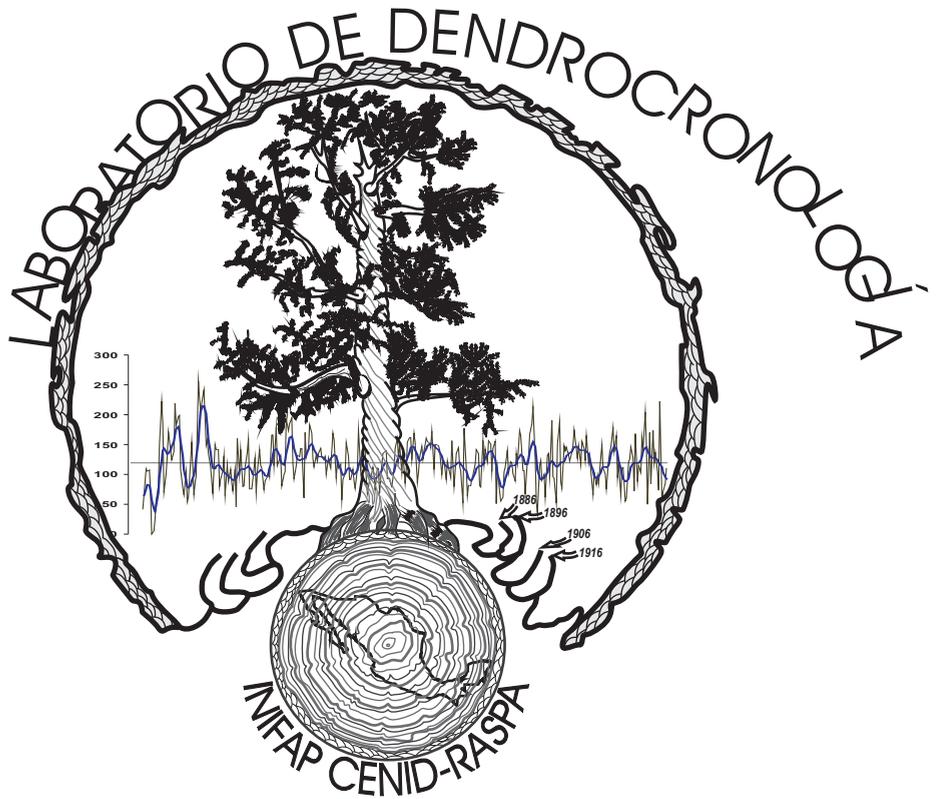
Editor Adjunto
Dr. Ignacio Orona

Comité Editorial del CENID-RASPA
Presidente: Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Elaboración:

Ing. Irene Portillo Esparza
Ing. Roque Morán Martínez

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de
julio del 2004 en los talleres del Grupo Colorama
de Torreón, Coah.
Su tiraje consta de 1000 ejemplares.



inifap

CENID-RASPA



SECRETARÍA DE AGRICULTURA
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL
PESCA Y ALIMENTACIÓN

SAGARPA

