

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México

## Dendrochronology of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco from Sierra Madre Oriental in Nuevo León, México

María Rafaela Arreola-Ortiz<sup>1</sup>, Martha González-Elizondo<sup>2</sup>  
y José de Jesús Návar-Cháidez<sup>3</sup>

### RESUMEN

Se desarrollaron cronologías para *Pseudotsuga menziesii* de tres sitios en la Sierra Madre Oriental, en el estado de Nuevo León, México: El Potosí, La Marta y La Encantada. Los coeficientes de correlación entre cronologías, pruebas de normalidad en la amplitud y el índice de amplitud de los anillos de crecimiento radial indican la regionalización del clima y una decadencia del crecimiento radial de las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. La reducción del crecimiento radial de las poblaciones estudiadas parece estar relacionada con el cambio climático.

#### PALABRAS CLAVE:

Anillos de crecimiento, cambio climático, decadencia en el crecimiento radial, regionalización del clima, sensibilidad media climática.

### ABSTRACT

Tree-ring chronologies for *Pseudotsuga menziesii* were constructed for three sites of the Sierra Madre Oriental mountain range of the state of Nuevo Leon, Mexico: El Potosí, La Encantada and La Marta. The correlation coefficients between chronologies, the normality tests on the ring width, and an index of ring width indicate both, the climate regionalization and the decadence on diameter growth of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco populations. Potential subtle climatic changes may be contributing to the decline of radial growth of the three plant communities studied.

#### KEY WORDS:

Tree rings, climate change, decadence of annual ring growth, climate regionalization, mean climatic sensibility.

### INTRODUCCIÓN

En México se han realizado pocos estudios dendrocronológicos. Entre los más recientes se encuentran los reportados para la Sierra Madre Occidental, en el estado de Durango (González-Elizondo *et al.*, 2005); Sierra los Ajos, en Sonora (Villanueva y McPherson,

1 Durango, México. mrafaortiz@hotmail.com.mx.

2,3 CIIDIR-IPN Unidad Durango. Sigma 119 Col 20 de Noviembre II. Durango, Dgo. 34220. México. jnavar@ipn.mx.

1999); Sistema Montañoso de Baja California Sur (Díaz-Castro *et al.*, 2001); en algunas regiones del norte, centro y sur de México (Stahle *et al.*, 2000; Therrell *et al.*, 2002) entre otros. Entre las principales aplicaciones de la dendrocronología se encuentran la reconstrucción de eventos y parámetros climáticos tales como: precipitación, temperatura, sequías y periodos lluviosos del pasado. Los parámetros del clima y eventos climáticos ocurridos en el pasado son difíciles de conocer por medio de los registros de las estaciones meteorológicas debido a que no existen registros del clima mayores de 100 o 200 años. Sin embargo, a través de estudios dendrocronológicos es posible reconstruir datos de clima de cientos y en ocasiones hasta de miles de años.

Los anillos de crecimiento de árboles se han usado como fuente de información para establecer historiales hidrológicos (Villanueva *et al.*, 2005), climáticos (Therrell *et al.*, 2002; González-Elizondo *et al.*, 2005), de cambios ecológicos en comunidades forestales (Alvarado *et al.*, 1998), reconstrucción del desarrollo de poblaciones de árboles y modelaje de eventos relacionados con la declinación y mortalidad del arbolado (Villanueva y McPherson, 1999). Estos estudios se han realizado para varias partes del mundo pero, en el estado de Nuevo León, México, existe poca información dendrocronológica sobre los cambios que sufren los bosques a consecuencia de eventos climáticos.

## OBJETIVO

El objetivo de esta investigación fue desarrollar las cronologías de *Pseudotsuga menziesii* en tres sitios en la Sierra Madre Oriental de Nuevo León, México.

## METODOLOGÍA

La Sierra Madre Oriental (SMO) presenta terrenos muy accidentados en forma de sierras paralelas que inician en la parte central de Nuevo León y corren con dirección nor-noreste hacia sur-sureste, hasta el centro de Puebla y Veracruz, donde se une con el Eje Volcánico Transversal. La SMO cubre partes de los estados de Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo, Veracruz y Puebla. Su límite meridional no es fácil de definir ya que se une gradualmente con el Eje Volcánico Transversal (Rzedowski, 1978). Esta cadena de montañas desempeña un papel importante en la regulación de los procesos meteorológicos y en la dinámica hidrológica de la región, ya que actúa como cabecera de las cuencas de la zona noreste del país, dando origen a varios ríos (Návar, 1999; 2001).

La vegetación predominante en la Sierra Madre Oriental está constituida por bosques de pino (*Pinus-Juniperus*), bosques de otras coníferas (*Pinus-Pseudotsuga-Abies*), bosques de pino-encino (*Pinus* y/o *Quercus*), bosques de encino (*Quercus*), bosques de niebla (bosque mesófilo de montaña) y matorral submontano (*Acacia-Pithecellobium-Heliopsis*) (Alanís *et al.*, 1996).

Para este estudio se consideraron las comunidades de coníferas de *Pinus-Pseudotsuga-Abies*, localizadas en el estado de Nuevo León. Estas son comunidades pequeñas y están compuestas por árboles en su mayoría maduros y pocos longevos, con alturas desde 13 a 30 m, que se localizan en pendientes pronunciadas, con exposiciones norte y noreste principalmente, en lugares con climas fríos y húmedos, la altitud donde se localizaron va desde los 2 350 hasta 3 100 msnm.

El área de estudio se encuentra en la parte de la Sierra Madre Oriental enclavada dentro del estado de Nuevo León que cubre parte de la región centro-oriental del estado, dentro de los municipios de Rayones, Galeana y General Zaragoza.

Los datos de campo se obtuvieron de muestras recolectadas en tres diferentes sitios ubicados en la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León: Cerro El Potosí, Sierra La Marta y La Encantada (Figura 1).

Sierra La Marta se encuentra limitada por las coordenadas geográficas 25° 09' y 25° 15' latitud norte y 100° 20' y 100° 35' longitud oeste (DETENAL, 1978). La ubicación del sitio de muestreo tiene las coordenadas UTM 0353647 (latitud) y 2790611 (longitud) con una altura de 3 100 msnm. De acuerdo con la clasifica-

ción de climas de Köppen modificada por García (1973), este sitio presenta un clima del tipo C(E)x' que corresponde al tipo semifrio subhúmedo con lluvias escasas todo el año, con precipitaciones invernales mayores a 18%.

Franco (1990) y García (2002) reportan que la vegetación de la Sierra La Marta la constituye un bosque formado por *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus hartwegii*, *P. ayacahuite*, *Abies vejari* y *Picea mexicana* en el estrato arbóreo; por *Arctostaphylos pungens*, *Quercus emoryi*, *Q. hypoxanta*, *Arbutus xalapensis*, *Cercocarpus mojadensis*, *Juniperus monosperma*, *Rhus virens*, *Yucca carnerosana*, *Gymnosperma glutinosum* y *Dasyllirion spp.* en el estrato medio; y por *Bromus spp.*, *Vulpia octaflora*, *Geranium mexicanum*, *Hibiscus cardiophyllus* y *Bouteloua spp.* en el estrato herbáceo.

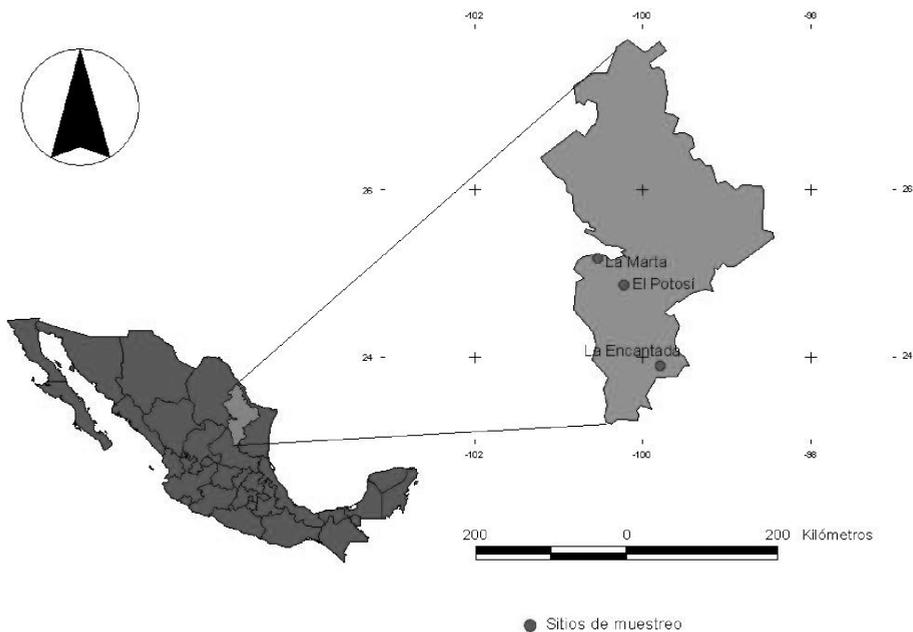


Figura 1. Sitios de muestreo en la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México

Cerro El Potosí se ubica al oeste de la Sierra Madre Oriental, colindando con la Altiplanicie Mexicana (CETENAL, 1977), en el municipio de Galeana, Nuevo León, entre las coordenadas geográficas 24° 50' 45" y 24° 53' 16" latitud norte y los 100° 13' 09" y 100° 15' 12" longitud oeste. El sitio de muestreo se encuentra en las coordenadas UTM 0378879 y 2753615 a una altura de 2 624 msnm. Este sitio presenta un clima C(E)(w1)x' que corresponde al tipo semifrío subhúmedo con lluvias en verano con un porcentaje de lluvias invernales mayor de 10,2. Este sitio de muestreo se encuentra entre las isoyetas de 400 y 500 mm (SPP, 1980). El cerro El Potosí presenta una gran variedad de especies vegetales, tales como: *Pinus arizonica*, *P. cembroides*, *P. hartwegii*, *P. ayacahuite*, *P. culminicola*, *Abies vejari* y *Pseudotsuga menziesii*.

La Encantada es una comunidad boscosa que se localiza al sur del estado, dentro del municipio Zaragoza, Nuevo León, del cual está ubicado en las coordenadas geográficas 23° 54' latitud norte y 99°47' longitud oeste (DETENAL, 1978a). El sitio se encuentra a una altitud de 2 800 msnm (Müller-Using, 1994). La ubicación de los sitios de muestreo tiene las coordenadas UTM 0418993 (latitud) y 26410118 (longitud) con un altura promedio de 3 100 msnm.

En la región de la comunidad La Encantada se presentan tres tipos de clima: Cw<sub>1</sub> en la zona de ubicación del pueblo, Bs<sub>1</sub>(k'w) (templado-semiseco con pocas precipitaciones en verano) que colinda con el Altiplano Mexicano y (E)Cw<sub>1</sub> (templado-frío), perteneciente a las cumbres montañosas de más de 3 000 metros de altura (Müller-Using, 1994). La temperatura media anual del lugar oscila entre los 12 y los 18°C y la temperatura del mes más frío oscila entre -3 y 18°C (Martínez, 1977).

En los sitios de muestreo se seleccionaron las poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* con las características morfológicas deseables para los estudios dendroclimáticos: árboles sobre maduros, de tallo y corteza torcida en forma de espiral, ramas caídas y copa deforme. Generalmente estos árboles crecen en suelos poco profundos y en pendientes pronunciadas; con poca disponibilidad de humedad, lo que los hace muy susceptibles a los cambios climáticos.

En cada sitio de muestreo se registró la siguiente información: a) nombre del ejido o comunidad, b) nombre del sitio de muestreo, c) número de árbol, d) exposición, e) coordenadas, f) altitud, g) pendiente, h) caracterización del sitio (suelo, vegetación, tipo de aprovechamiento, etc.) e, i) observaciones generales. La colecta de muestras o núcleos de crecimiento (también conocidas como virutas) de *Pseudotsuga menziesii* consistió en extraer dos núcleos por individuo, los cuales se tomaron a una altura de 1,30 m del árbol, con dirección perpendicular a la pendiente del terreno, una de cada lado. Las virutas se depositaron en popotes previamente perforados para favorecer la ventilación y evitar el desarrollo de hongos. Los popotes se etiquetaron con los siguientes datos: localidad, fecha, número de muestra, lado por cara muestreada, diámetro normal y condiciones generales del vigor del árbol.

Las muestras o virutas se montaron con pegamento sobre molduras de madera, sujetándolas con cinta adhesiva para evitar su torcedura durante el secado al aire libre por aproximadamente tres días. Una vez que las muestras estuvieron secas, se lijaron y se pulieron para facilitar la observación de los anillos de crecimiento a través de un estereomicroscopio.

El análisis e interpretación de los datos se realizó en tres fases: desarrollo de cronologías, comparación de tendencias entre cronologías y pruebas de normalidad de la amplitud de los anillos de crecimiento.

### **Desarrollo de cronologías**

El desarrollo de cronologías se llevó a cabo por medio de las técnicas tradicionales en dendrocronología (Fritts, 1976) mediante los siguientes pasos:

a) Conteo de anillos. Utilizando un estereomicroscopio, se realizó el conteo de los anillos en todas las muestras obtenidas para conocer la edad aproximada de cada árbol.

b) Skeleton plots. También, con el uso de un estereomicroscopio se efectuó la construcción de la representación gráfica de cada serie de anillos de crecimiento para posteriormente detectar la ausencia de anillos y la presencia de falsos anillos.

c) Fechado cruzado o cross-dating. Con el mismo instrumento se creó una serie de marcas en las muestras para estudiar el patrón del grosor de los anillos y, de este modo, usarlos como herramienta cronológica para la identificación de la fecha de formación de los anillos, en cada una de las muestras.

d) Medición de los anillos. Se llevó a cabo en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de Gómez Palacio, Durango, México (INIFAP, CENID-RASPA). Se midió el ancho total del anillo anual (madera temprana y tardía) utilizando un dendrómetro Velmex y el software Medir (Krusic *et al.*, 1996, citado por González, 2003).

e) Obtención de cronologías. Con la utilización de los programas de cómputo Cofecha (Holmes, 1996, citado por González, 2003) y Arstan (Cook, 1996, citado por González, 2003) se verificó el fechado y medición de los anillos de crecimiento de cada serie de datos obtenida y se construyeron las cronologías de cada uno de los sitios muestreados.

Las cronologías que se presentan para los tres sitios de estudio corresponden a la versión estándar que origina el programa Arstan, la cual tiene la propiedad de almacenar las variaciones de más baja frecuencia con buen análisis estadístico.

### **Comparación de los patrones de desarrollo**

La comparación de los patrones de desarrollo de las tres cronologías individuales se obtuvo por medio del coeficiente de correlación de Pearson. Los coeficientes de correlación con significancia estadística merecieron interpretación.

### **Pruebas de normalidad en los datos de amplitud de los anillos de crecimiento**

Se realizaron dos pruebas de ajuste de distribuciones probabilísticas: la de  $\chi^2$  y de Kolmogorov-Smirnov (K-S). La primera se realiza sobre la distribución de frecuencias relativas (fdp) y la segunda sobre la distribución de frecuencias acumuladas (fda). Ambas pruebas estadísticas establecen la hipótesis nula de que los datos se distribuyen de acuerdo con la distribución de ajuste, en este caso, la distribución normal. Para aceptar o rechazar la hipótesis nula se consideró un error  $\alpha = 0,05$ . Las series de datos utilizadas fueron: a) la serie maestra de valores medios asignados a cada año de

crecimiento por el programa Cofecha y b) los promedios de los índices de crecimiento anual estandarizados (cronologías propiamente dichas) que produce el programa Arstan. La serie maestra calculada por Cofecha es sólo el promedio de la amplitud de los anillos de las series individuales; e incluye los efectos de los cambios climáticos, factores ecológicos, como la posible competencia o mortalidad de individuos vecinos, y el efecto del cambio en el incremento con la edad de los diferentes individuos. En las cronologías obtenidas mediante Arstan, se elimina el efecto del cambio en el incremento radial por el efecto de la edad de los árboles y por lo tanto es un indicador del probable cambio climático.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cronologías de *Pseudotsuga menziesii* de los sitios: El Potosí, La Marta y La Encantada, de la Sierra Madre Oriental en N. L. Las cronologías desarrolladas comprenden periodos de edad que van desde los 144 años hasta 203 años. El periodo más corto de edad corresponde a la cronología del cerro 'El Potosí'; la cronología de 'La Marta' es ligeramente

más amplia (157 más) y el periodo de edad más largo (203 años) corresponde a la cronología de 'La Encantada'.

Comparación del patrón de desarrollo de las cronologías de *Pseudotsuga menziesii* de los sitios El Potosí, La Marta y La Encantada. Las correlaciones internas de las tres series maestras son buenas (Tabla 1) con valores de 0,67 para La Encantada, de 0,83 para La Marta y de 0,79 para El Potosí. La menor correlación interna entre las series individuales de La Encantada se explica por la variación espacial en las que se colectaron las muestras de esta cronología, ya que, a diferencia de los sitios El Potosí y La Marta, en La Encantada se estudiaron árboles que crecen en diferentes exposiciones (norte, noroeste y sur) con diferentes condiciones de suelo y altitud.

La sensibilidad media notoria se observa mejor en El Potosí y en menor grado en La Encantada. Esto se explica parcialmente por: a) la frecuencia de incendios, b) tipo y profundidad del suelo, c) exposición y d) otros factores que contribuyen a que el crecimiento radial responda rápidamente a los cambios climáticos.

Tabla 1. Resumen comparativo de los resultados de Cofecha de las series de crecimiento de los tres sitios muestreados ('El Potosí', 'La Marta' y 'La Encantada').

Estadísticos	El Potosí	La Marta	La Encantada
Número de series fechadas	45	47	42
Serie maestra	1860-2003	1847-2003	1801-2003
Total de años	144	157	203
Total de anillos medidos	3 701	3 813	3 630
Anillos perdidos	1	16	44
Intercorrelación entre series	0,791	0,826	0,668
Sensibilidad media	0,512	0,412	0,306
Segmentos con posibles errores	0	1	0
Longitud media en años	82,2	81,1	86,4

El coeficiente de correlación entre las cronologías de los tres sitios (La Encantada, La Marta y El Potosí) indica que existe un mayor grado de asociación entre los sitios La Marta y El Potosí presentando una correlación media o aceptable con un valor de 0,623. Las correlaciones entre La Marta y La Encantada, así como entre El Potosí y La Encantada son relativamente bajas en ambos casos (Tabla 2). La baja correlación de la cronología de La Encantada con las dos restantes se explica, en parte, por la diferencia en ubicación de los sitios de muestreo, ya que el clima, que

influye de manera decisiva sobre el crecimiento está determinado en la región en gran medida por la altitud, la latitud y la exposición.

La figura 2 muestra las tres cronologías estudiadas. Se observa que el ritmo de crecimiento de la cronología La Encantada contrasta con las cronologías La Marta y El Potosí durante los primeros 100 años (1860-1960). Esto es más notorio para el periodo de 1860 a 1880. Posterior a 1960 se observan ritmos de crecimiento similares en las tres cronologías.

Tabla 2. Coeficiente de correlación y su probabilidad entre las tres cronologías construidas (La Encantada, La Marta y El Potosí), de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México.

	La Encantada	La Marta	El Potosí
La Encantada	1,00		
La Marta	0,41 (<0,0001)	1,00	
El Potosí	0,44 (<0,0001)	0,62 (<0,0001)	1,00

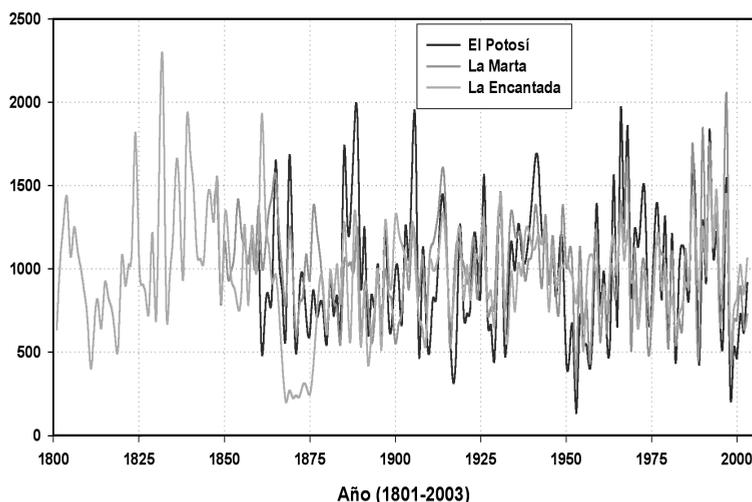


Figura 2. La amplitud del crecimiento radial de las cronologías El Potosí, La Marta y La Encantada.

La regionalización del clima parece ser una observación importante en varias partes del mundo. Para México, las investigaciones realizadas por Díaz-Castro *et al.* (2001) y González-Elizondo *et al.* (2005) muestran que el clima o factores asociados a éste, se encuentran relacionados con áreas espacialmente delimitadas. Es posible que la región sur de Nuevo León, donde se encuentra La Encantada, haya recibido los efectos de sequías severas durante el periodo de 1860 a 1880, lo que coincide con las sequías encontradas en los estudios reportados por Villanueva *et al.* (2000), Cleaveland *et al.* (2003), Pohl *et al.* (2003), González-Elizondo *et al.* (2005) y por Návar *et al.* (2008; 2008a). Posteriormente, los contrastes entre las cronologías pueden explicarse por la alternancia de los cambios en la región sur y centro de Nuevo León y por la exposición del sitio de muestreo.

De acuerdo con la prueba de normalidad de  $\chi^2$ , los datos de ancho de los anillos de crecimiento del arbolado estudiado presentan una distribución normal sólo para la serie de El Potosí ( $p \geq \chi^2 = 0,054$ ); no así para las series de La Marta ( $p \geq \chi^2 = 0,00029$ ) y La Encantada ( $p \geq \chi^2 =$

0,0068). En contraste, y de acuerdo con la prueba de ajuste de K-S, todas las series de la amplitud de los anillos presentaron una distribución normal (Tabla 3 y Figura 3).

El índice de amplitud de los anillos presentó una tendencia similar a la variable de amplitud de los anillos de crecimiento (Figura 4). Con la excepción de que ninguna de las series se distribuyó normalmente, de acuerdo con la prueba de  $\chi^2$  ( $p \geq \chi^2 \leq 0,05$ ). La prueba de Kolmogorov-Smirnov continuó indicando que las series se distribuyen normalmente para el índice de la amplitud de los anillos de las tres cronologías de *Pseudotsuga* en Nuevo León, México (Figura 4 y Tabla 4).

Los coeficientes de asimetría y de curtosis indican que la amplitud de los anillos y el índice de amplitud de las cronologías presentan distribuciones sesgadas para los tres sitios de estudio. La cronología El Potosí presenta el mayor sesgo (0,50) en contraste con las cronologías de La Marta y La Encantada (Tablas 3 y 4). El coeficiente de curtosis no presenta tendencias importantes notorias porque difiere en signo.

Tabla 3. Las pruebas de normalidad de  $\chi^2$  y de Kolmogorov-Smirnov de la amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Estadísticos	El Potosí	La Marta	La Encantada
Promedio	972,26	985,98	973,08
Desviación estándar	383,26	314,50	320,97
Intervalo de confianza	61,33	50,33	43,41
Coefficiente de asimetría	0,50	0,12	0,34
Coefficiente de curtosis	-0,28	1,14	1,38
$\chi^2$	12,36	27,35	21,12
$P \geq \chi^2$	0,054	0,0002	0,006
Desviación máxima	0,091	0,050	0,055
Desviación máxima KS	0,113	0,108	0,095

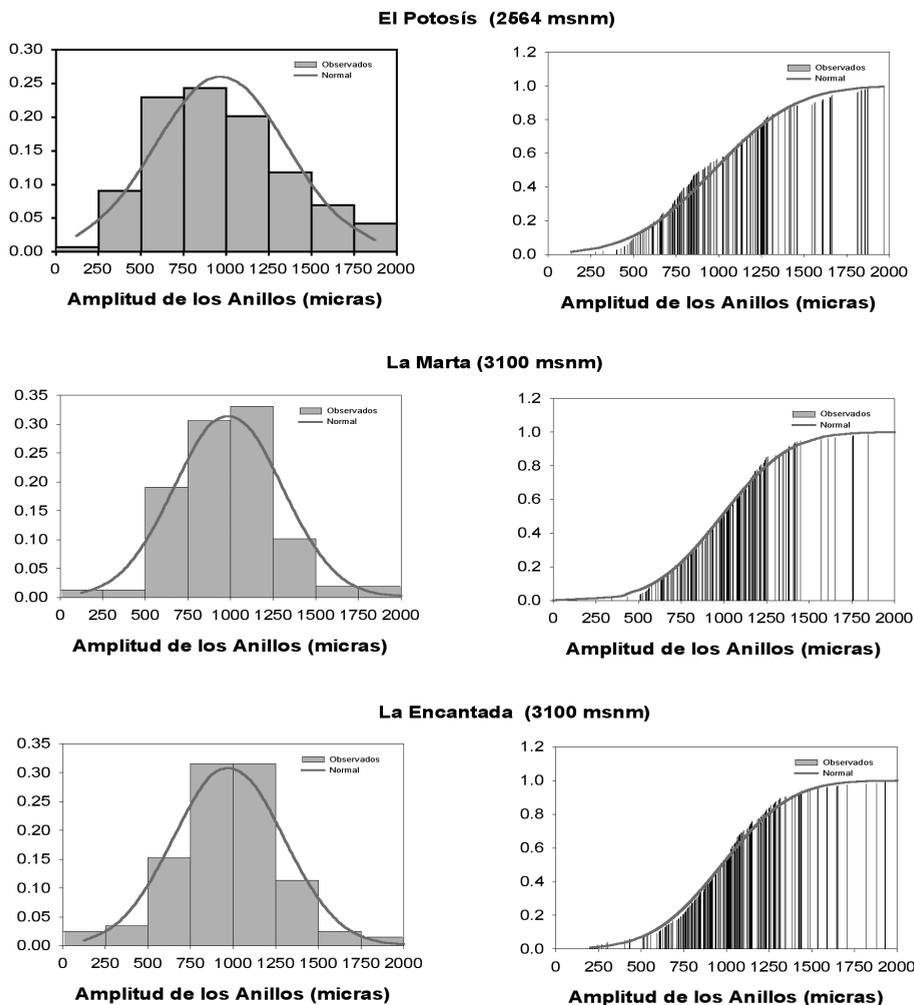


Figura 3. Las pruebas de normalidad de  $\chi^2$  y de Kolmogorov-Smirnov de la amplitud de los anillos de tres cronologías de anillos de crecimiento de *Pseudotsuga* en Nuevo León, México.

Sin embargo, el sesgo es consistente-mente positivo indicando que existen en general pocos años con crecimiento radial por arriba del promedio, y muchos años con crecimiento radial por debajo del promedio.

La prueba de  $\chi^2$  es más rigurosa en la decisión que se toma sobre la aceptación o rechazo de la hipótesis de la similitud entre las distribuciones teórica y observada porque considera a toda la información presente. Por otra parte, la prueba de Kolmogorov-Smirnov basa su

decisión en sólo la desviación máxima entre las distribuciones teórica y observada de la información. Es decir considera exclusivamente un solo dato (Haan, 1996). Por esta razón, se concluye que las pruebas de normalidad son más confiables con la prueba de  $\chi^2$ . Basado en esta observación, se concluye que 5 de 6 pruebas rechazan la hipótesis nula. El crecimiento y el índice de crecimiento

radial se distribuyen no normalmente, con la mayoría de los datos hacia la izquierda, con crecimientos menores al promedio aritmético, mediana o moda (Figuras 3 y 4).

La temperatura de la Tierra está cambiando. En el presente es casi un grado Celsius más cálida la biosfera terrestre que en 1860 (IPCC, 2001).

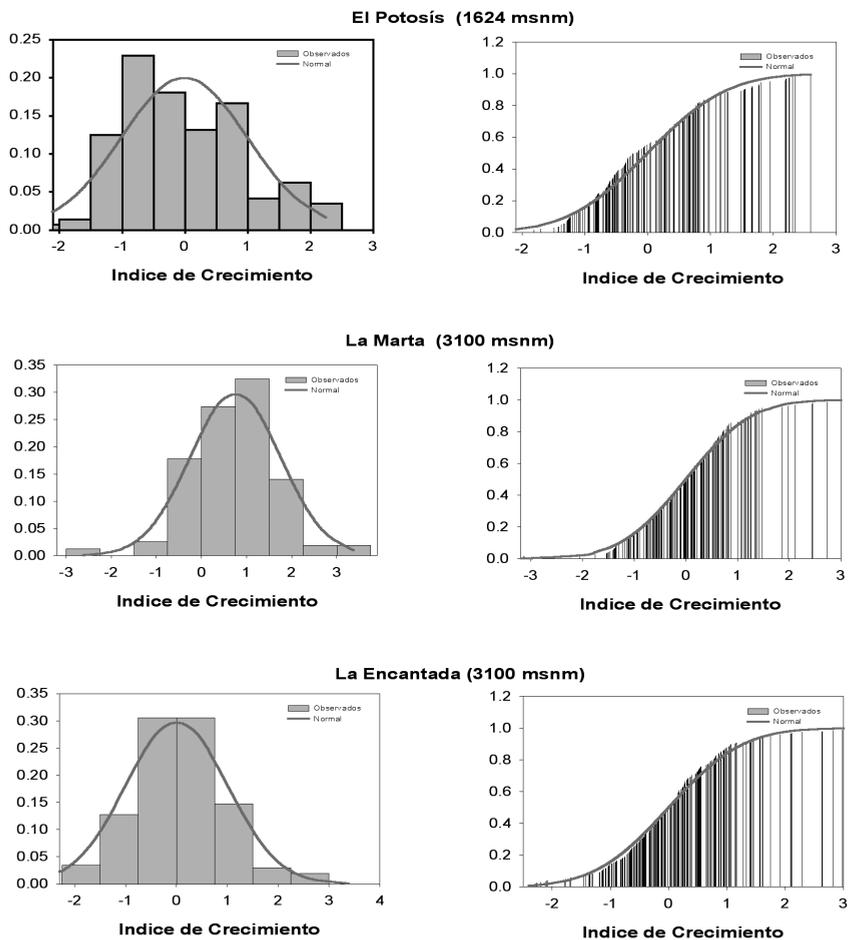


Figura 4. Las pruebas de normalidad de  $\chi^2$  y de Kolmogorov-Smirnov del índice de amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Tabla 4. Las pruebas de normalidad de  $\chi^2$  y de Kolmogorov-Smirnov del índice de amplitud de los anillos de tres dendrocronologías de Nuevo León, México.

Estadístico	El Potosí	La Marta	La Encantada
Promedio	-2,89E-09	5,46E-09	1,197E-08
Desviación estándar	0,99	0,99	1,00
Intervalo de confianza	0,16	0,15	0,13
Coefficiente de asimetría	0,50	0,12	0,33
Coefficiente de curtosis	-0,28	1,149	1,38
$\chi^2$	44,55	84,12	184,55
$P \geq \chi^2$	1,671-07	1,97E-15	2,121E-36
Desviación máxima	0,091	0,050	0,055
Desviación máxima de KS	0,113	0,108	0,095

Además, los últimos años de la década de los 1990s y los primeros años del nuevo siglo han sido registrados como los más cálidos en los últimos 200 y tal vez en los últimos 400 000 años. Las poblaciones de pináceas estudiadas, características de climas boreales, están posiblemente presentando signos de inestabilidad y el crecimiento en diámetro y en altura se está modificando en respuesta a las tendencias al calentamiento global de la biosfera terrestre.

Existen evidencias que predicen que el cambio climático está modificando la superficie forestal del planeta (Hansen *et al.*, 2001; Shafer *et al.*, 2001; Bonan, 2008). Escenarios para México descritos por Villers-Ruiz y Trejo-Vázquez (1997) indican que gran parte de la superficie forestal de bosques fríos y cálidos desaparecerá en los próximos 100 años. Además, Gómez-Mendoza y Arriaga (2007) indican que los bosques mexicanos de pino y de encino se reducirían entre 0,2 y 64% y entre 7 y 48% de la superficie actual para el año 2050, de continuarse la tendencia del cambio climático presente. En específico, las proyecciones sobre la superficie forestal para los relictos de las poblaciones de *P.*

*menziesii* no es nada halagador, ya que se presenta evidencia de que de continuar cambiando el clima, los modelos predicen que las poblaciones de esta especie desaparecerán prácticamente del norte de México durante este siglo (Shafer *et al.*, 2001).

Dale *et al.* (2001), señalaron que el cambio climático puede afectar la superficie forestal al alterar la frecuencia, intensidad, duración y el tiempo de los incendios, las sequías, las especies introducidas, las plagas y enfermedades, los huracanes, las tormentas y las avalanchas. Nívar *et al.* (2005) presenta evidencia de la reducción de la productividad del orden de casi media tonelada por hectárea por año para poblaciones de pino por efecto de la sequía de los 1990s en el norte de México. Nívar *et al.* (2008a), en otro estudio sobre las mismas poblaciones de *P. menziesii* notaron que los anillos de crecimiento se reducen de casi 1,2 mm a<sup>-1</sup> en épocas húmedas a 0,80 mm a<sup>-1</sup> en tiempos de sequías. Es decir, al menos en los últimos 200 años, la presencia de sequías y otros factores climáticos está posiblemente repercutiendo en el crecimiento radial de las poblaciones de *P. menziesii*.

De ser ciertas las proyecciones con respecto a las precipitaciones en el norte de México por el cambio climático (Mulholland *et al.*, 1997; IPCC, 2001) es posible que las sequías no sólo se agudizarían por el crecimiento demográfico y los disturbios a los ecosistemas, sino que también el clima estaría contribuyendo a que estos fenómenos climáticos se magnifiquen aún más, en detrimento del crecimiento radial y de la supervivencia de las poblaciones relicto de *P. menziesii*.

### CONCLUSIONES

Se desarrollaron cronologías para *Pseudotsuga menziesii* de tres sitios (El Potosí, La Marta y La Encantada) de la Sierra Madre Oriental en el estado de Nuevo León, México. El patrón de desarrollo o ritmo de crecimiento presenta un contraste muy alto entre la cronología de La Encantada y las cronologías de El Potosí y La Marta, durante los años de 1860 a 1880, manteniéndose esta diferencia con menor intensidad hasta el año 1960. A partir de 1970 hasta el 2003 se establece una importante similitud entre las tres cronologías. A pesar de estas diferencias, las tres cronologías presentaron buenas relaciones intrínsecas y extrínsecas. Se presenta evidencia de que la amplitud de los anillos no se distribuye normalmente para las cronologías y estos tienden a sesgarse hacia menores ritmos de crecimiento radial, posiblemente como una consecuencia de cambio climático en la zona montañosa del estado de Nuevo León, México.

### REFERENCIAS

- Alanís F.G., G. Cano y M. Robalo. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León. Una guía botánico-ecológica. CEMEX, México.
- Alvarado, E., D.V. Sandberg y S.G. Pickford. 1998. Modeling large forest fires as extreme events. *Northwest Sci*, pp. 72-78.
- Arreola-Ortiz, M.R. y J.J. Návar-Chaidéz. 2010. Análisis de sequías y productividad con cronologías de *Pseudotsuga menziesii* Rob & Fern y su asociación con El Niño en el nordeste de México. En prensa en *Investigaciones Geográficas*.
- Bonan, G.B. 2008. Forests and climate change: forcing, feedbacks and the climate benefits of forests. *Science* 320:1444-1449.
- CETENAL. 1977. Carta topográfica. Sierra La Marta. G14 C45 Coahuila y Nuevo León, escala 1:50 000. México, D. F.
- Cleaveland, M.K., D.W. Stahle, M.D. Therrel, J. Villanueva-Diaz y B.T. Burns. 2003. Tree-rings reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59:369-388.
- Dale, V.H., L.A. Joyce, S. McNulty, R.P. Neilson, M.P. Ayres, M.D. Flannigan, P.J. Hanson, L.C. Irland, A.E. Lugo, C.J. Peterson, D. Simberloff, F.J. Swanson, B.J. Stocks y B.M. Wotton. 2001. Climate change and forests disturbances. *Bioscience* 51:723-734.
- DETENAL. 1978. Carta topográfica. C. El Potosí. G14 C56, Nuevo León, escala 1:50 000. México.
- DETENAL. 1978a. Carta topográfica. Zaragoza, N. L.-Tamaulipas. F14 A17, escala 1:50 000. México.
- Díaz-Castro, S., R. Touchan y T.W. Swetnam. 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja Cali-

- fornia Sur, México. Int. J. Climatol. 21:1007-1009.
- Díaz-Castro, S., C.L.Z. Brito, C.A. Salinas y A. Douglas. 2003. Dendrocronología, una herramienta para reconstruir escu-rimientos superficiales en la vertiente continental del Golfo de California In: Resúmenes IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Nuevas Tecno-logías para el Manejo Forestal. San Luis Potosí, S.L.P. México. 32 p.
- Franco, P.J.G. 1990. Dinámica de la rege-neración de *Pseudotsuga flahaulti* Flous, en el bosque de *Pseudotsuga-Pinus-Abies*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Buena-vista, Saltillo, Coahuila, México.
- Fritts, H.C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press, London - New York - San Francisco.
- Gómez-Mendoza, L. y L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. Conservation Biology 21:1545-1555.
- González-Elizondo, M. 2003. Indicadores de cambio climático en algunas especies de pináceas de la Sierra Madre Occi-dental, México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias Forestales U.A.N.L. Linares, N. L., México. 193 p.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M.S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre y J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate rela-tionships for Douglas-fir chronolo-gies from the Sierra Madre Occi-dental, México: a 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management 213:39-53.
- Haan, C.T. 1996. Statistical methods in hydrology. Iowa State University Press. Iowa. USA. 378 p.
- Hansen, A.J., R.P. Neilson, V.H. Dale, C.H. Flather, L.R. Iverson, D.J. Currie, S. Shafer, R. Cook y P.J. Bartlein. 2001. Global change in forests: response of species, communities and biomes. BioScience 51:765-779.
- IPCC. 2001. Climate change 2001. The scientific basis. Third assessment report. WMO. UNEP. Roma. Italia.
- Martínez, R. L.A. 1977. Conservación y mejoramiento de la variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el sur del estado de Nuevo León. Proyecto de investigación. Monterrey, N. L.
- Mulholland, P.J., G.R. Best, C.C. Coutant, G.M. Hornberger, J.L. Meyer, P.J. Robinson, J.R. Stemberg, R.E. Turner, F. Vera-Herrera y R.G. Wetzel. 1997. Effects of climate change on freshwater ecosystems of United States and the Gulf of Mexico. Hydrological Processes 11:949-970.
- Müller-Using, B. 1994. Contribuciones al conocimiento de los bosques de encino y pino-encino en el noreste de México. Reporte científico. No. espe-cial 14. Facultad de Ciencias Fores-tales, U.A.N.L. Linares, N. L., México. 194 p.
- Návar, J. 1999. Agua y desarrollo susten-table en la cuenca baja de los ríos Bravo y San Juan. Ciencia. UANL 2(4):356-362.
- Návar, J. 2001. Water supply and demand scenarios in the San Juan watershed. Geofísica Internacional 40:121-134.
- Návar, J., M. González-Elizondo, S. González-Elizondo, M. Márquez-

- Linares y E. Merlín-Bermúdez. 2005. Diversidad, estructura y productividad de ecosistemas forestales templados de Durango, México. *Divulgación* 4(6):35-37.
- Návar, J. 2008. Reconstrucción de las sequías en los últimos 10 mil años en el norte de México. *Agrofaz* 8:41-53.
- Pohl, K., M. Therrell, J. Santiago-Blay, N. Ayotte, S. Bernal-Salazar, J. Cabrera-Hernández, S. Díaz-Castro, A. Elvir, M. González-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, L. Vazquez-Salem y D.V. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, México. *Tree-Ring Res.* 59(1):11-19.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México. 432 p.
- Shafer, S.L., P.J. Bartlein y R.S. Thompson. 2001. Potential changes in the distributions of western North America tree and shrub taxa under future climate scenarios. *Ecosystems* 4:200-215.
- Stahle, D.V., J. Villanueva, M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, G.J. Paull, B.T. Burns, W. Salinas, H. Suzan y P. Fule. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. *Dendrocronología en América Latina*. F. A. Roinr (Comp.) EDIUNC, Mendoza, Argentina, pp. 285-305.
- Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland y J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107:14-24.
- Villanueva, D.J. y G.R. McPherson. 1999. Estudios dendroclimáticos en montañas del suroeste de los Estados Unidos de América y del norte de México. *Revista Ciencia Forestal en México* 24(86):37-61.
- Villanueva, D.J., P.J. Cerano y M.R. Moran. 2005. Cronologías de los anillos de los árboles de Durango: Fuente de información climática y ecológica para conservación de ecosistemas en la Sierra Madre Occidental. *Rev. Divulgación Científica Tecnológica Humanística. Órgano de Divulgación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango* 4(6):40-41.

Manuscrito recibido el 16 de junio de 2008

Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Arreola-Ortiz, M.R., M. González-Elizondo, J.J. Návar-Cháidez. 2010. Dendrocronología de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco de la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, México. *Madera y Bosques* 16(1):71-84.