

# POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE *Taxodium mucronatum* Ten. Y ACCIONES PARA SU CONSERVACIÓN EN MÉXICO

José Villanueva Díaz<sup>1</sup>, Dave W. Stahle<sup>2</sup>, B.H. Luckman<sup>3</sup>, Julián Cerano Paredes<sup>1</sup>, Matthew D. Therrell<sup>2</sup>, Roque Morán Martínez<sup>1</sup> y Malcom K. Cleaveland<sup>2</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se expone la serie actualizada de cronologías para *Taxodium mucronatum* (ahuehuete, sabino) en México, cuyo número disponible es de 13 y tres más que están en desarrollo. No obstante su hábitat ripario, el ahuehuete es sensible a variaciones de precipitación, especialmente las que acontecen en la época cálida del año, de tal suerte que se han generado dos reconstrucciones estacionales de precipitación con más de 500 años de extensión para el norte de México. La integración de una red dendrocronológica con esta especie resulta importante para analizar la variabilidad hidroclimática del pasado, definir los mecanismos atmosféricos de circulación que afectan el clima, analizar tendencias para determinar posibles escenarios climáticos con fines de planeación y manejo sustentable de los recursos naturales. El sabino es el taxón más longevo en México, y en sitios muy específicos se pueden observar especímenes milenarios, aunque es de notar la dominancia de individuos no mayores a 300 años de edad. Ejemplares en dicha condición se ubican en sitios pobres, con poco disturbio y apartados de poblaciones humanas, lo que implica que los cambios de uso del suelo y acciones antropogénicas han favorecido la muerte o remoción tanto de árboles antiquísimos como de jóvenes, impactando así su dinámica poblacional. El estudio ecológico, de la biodiversidad y de los cambios en el uso del suelo; aunados al acopio de la información climatológica de los ecosistemas riparios con presencia de *T. mucronatum* son fundamentales para promover su conservación con fines adicionales de recreación y ecoturísticos.

**Palabras clave:** Ahuehuete, conservación, dendrocronologías, ecosistemas riparios, paleoclimatología, *Taxodium mucronatum*.

Fecha de recepción: 21 de julio de 2006

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2007

<sup>1</sup> Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP. Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

<sup>2</sup> Laboratorio de Dendrocronología, Universidad de Arkansas, Fayetteville, AK

<sup>3</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Western Ontario, Canadá

## ABSTRACT

This paper describes the current network of *Taxodium mucronatum* (ahuehuete, sabino) chronologies available for Mexico. Currently, 13 cypress chronologies have been developed and 3 more are in process. In spite of its riparian habitat cypress trees are sensible to changes in precipitation, particularly that of the warmer season. Thus, two precipitation reconstructions over 500 years long have been developed for northern Mexico. The development of a cypress chronology network is important to analyze past hydroclimate variability, to determine the historical impact of atmospheric circulatory patterns, to define climatic scenarios, and for conservation and sustainable use of natural resources. The cypress tree is the most long-lived species in Mexico and trees over a thousand years old have been found in several places with low site quality and minimum human impact, but trees less than 300 years are dominant. Population dynamic studies of riparian systems with *T. mucronatum*, understanding their biodiversity, determining the impact of land-use changes, along with instrumental and paleoclimatic information analysis may help to promote the conservation of these ecosystems and to develop additional uses like recreation and ecotourism.

**Keywords:** Ahuehuete, conservation, dendrochronologies, riparian ecosystems, Paleoclimatology, *Taxodium mucronatum*.

## INTRODUCCIÓN

Los estudios dendrocronológicos en México han tenido un resurgimiento reciente, debido a la importancia científica que reviste el conocimiento del cambio climático global, impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico y en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos tanto para fines productivos como de uso doméstico. El entendimiento del clima, sin embargo, no debe fundamentarse tan sólo en registros instrumentales, los cuales tienen la limitante de su corta extensión, calidad dudosa y poca representatividad en tiempo y espacio. El conocimiento histórico de la variabilidad hidroclimática se logra mediante el uso de "proxys" climáticos (fuentes indirectas), uno de ellos son los anillos de árboles, que por su disponibilidad y factibilidad de fechar su crecimiento al año exacto de su formación, representan una de las fuentes más importantes para determinar la variabilidad interanual y multianual del clima en el período Holoceno (últimos 10,000 años).

A pesar de que en un principio se consideró a *Taxodium mucronatum* Ten. para la realización de estudios paleoclimáticos, años más tarde se demostró el potencial dendrocronológico de una especie muy emparentada (*Taxodium distichum* (L.) Rich), que prospera en el sureste de los Estados Unidos de América, especie con la cual se han desarrollado reconstrucciones milenarias

de precipitación y flujos de agua (Stahle y Cleaveland, 1992). Posterior a dicho descubrimiento, en la última década, mediante proyectos en colaboración con el Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas y a través del apoyo financiero de instituciones nacionales (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) e internacionales (Instituto Interamericano para el Cambio Climático Global), se han generado cronologías centenarias de *T. mucronatum* y se trabaja intensamente en la descripción de series de tiempo que superan el milenio con especímenes de ahuehuete distribuidos en el centro de México.

El género *Taxodium* (proviene de las raíces griegas *Taxus* = Tejo y *eidos* = parecido o semejante; es decir que se asemeja al árbol de Tejo, especie de la que se extrae el "taxol", ingrediente activo con propiedades anticancerígenas. Generalmente se clasifica como una especie con dos variedades, todas nativas de Norteamérica, aunque diversos taxónomos la separan en tres: *Taxodium distichium* (baldcypress o ciprés del sur), *Taxodium ascendens* Brongn. (ciprés de los pantanos), distribuido en las costas del sureste desde Virginia hasta Florida y Luisiana, Estados Unidos de América y *Taxodium mucronatum* (ahuehuete o sabino) que crece desde el extremo sur de Texas, en gran parte de México y hasta el extremo occidental de Guatemala (Mattoon, 1915; Martínez, 1963; Little, 1971; Brown y Montz, 1986).

En México, *T. mucronatum* se localiza desde los 250 msnm en algunos sitios del estado de Nuevo León, mientras que supera los 2,500 m en el Estado de México, en la Sierra Gorda de Querétaro se desarrolla a una altitud de 2,800 m, y en Guanajuato su intervalo se ha definido de los 300 a los 2,500 m (Terrones *et al.*, 2004), es decir, se adapta a muy diversas condiciones ambientales, siempre y cuando exista humedad disponible en el suelo, a pesar de su tolerancia a períodos secos (Carranza, 1992; Villanueva *et al.*, 2003a).

La palabra ahuehuete procede del Náhuatl "atl" que significa agua y "huehuetl" viejo o abuelo, por lo que su acepción es "viejo del agua" y se considera el árbol nacional (Luque, 1921). Se distribuye en todo el territorio mexicano, siempre y cuando exista una fuente permanente o semi-permanente de agua o, en su defecto un manto freático muy superficial, de ahí que esta especie se localice en riberas de ríos, manantiales y en humedales de casi toda la República Mexicana (Martínez, 1963).

Los árboles de *T. mucronatum* han estado ligados a la historia de México y se relacionan con hechos importantes como es el caso concreto del "Árbol de la Noche Triste", donde según las crónicas de la época, Hernán Cortés "El Conquistador", se sentó a llorar después de que su ejército había sido derrotado por los Mexicas; este majestuoso ejemplar alcanzó un diámetro de 4.84 m y una edad de 550 a 600 años (Martínez, 1999); en la actualidad, está muerto en pie.

Otros sabinos notables son "El Árbol del Tule" en Oaxaca, reconocido por su corpulencia y longevidad (14.4 m de diámetro, 40 m de altura y aproximadamente 2000 años de edad) que da vida económica y es un icono de identidad de todo un pueblo.

De igual manera, destacan los del "Bosque de Chapultepec", plantados por reyes Mexicas, que son un símbolo de nacionalidad; no de menor importancia son los ahuehuetes del Parque Nacional "El Contador", ubicados cerca de la ciudad de Texcoco, en el Estado de México, sitio en el que durante el reinado de Netzahualcóyotl se plantaron más de 2000 ejemplares de ahuehuete, pero a consecuencia del abatimiento del manto freático y problemas de contaminación, la población original de árboles ha declinado de manera considerable (Martínez, 1999).

Un ahuehuete famoso es el "Árbol Sagrado", relacionado con actividades religiosas, ubicado en el km 40 en la carretera Santiago Tianguistengo-Chalma en el municipio de Ocuilán de Arteaga, Estado de México (Vargas, 1997); un afamado representante del taxón es el localizado en Valle de Bravo, también en el Estado de México, con 25 m de altura y un diámetro de 3.90 m, una edad estimada de 650 a 700 años y que ha estado íntimamente ligado al desarrollo cultural de ese pueblo (Rivas y Moreno, 2005). Otros individuos renombrados se ubican en Cerralvo, Nuevo León y Muzquiz, Coahuila (Vargas, 1997).

Los estudios para determinar la edad en individuos de *T. mucronatum* y en general de las poblaciones naturales de estos árboles en la República Mexicana son muy escasos. Así por ejemplo, en la localidad "Los Peroles", San Luis Potosí, se detectaron especímenes con más del milenio de vida (Villanueva *et al.*, 2003a, 2006) (Figura 1). Los ahuehuetes vivos del "Bosque de Chapultepec" tienen una edad estimada que supera los 800 años (Villanueva *et al.*, 2003b), y algunos ya muertos como "El Sargento" se sabe que alcanzó una edad de 700 años. Individuos muy antiguos se han localizado en los bosques de galería de Barranca de Amealco, Qro. (Enríquez, 2005) y en márgenes del río Nazas, Dgo., donde se han identificado ejemplares longevos que superan los mil años (Villanueva *et al.*, 2005b). Las edades del ahuehuete en otros sitios con ese tipo de vegetación oscilan de 37 a 497 años en lugares del estado de Nuevo León y hasta más de 1000 años en Querétaro, San Luis Potosí y Durango (Villanueva *et al.*, 2005b, 2006).

Uno de los problemas frecuentes para determinar la edad de esta especie es su tendencia a presentar pudriciones y ahuecamientos en la parte central del tronco y ramas principales, que son favorecidos por acciones antropogénicas (incendios provocados, cortadura de ramas, heridas en tronco y ramas, contaminación de ríos por desechos urbanos e industriales, etc.) y en algunos casos por el golpeo directo de rocas (durante avenidas fuertes) en los fustes de especímenes ubicados justo en los cauces de corrientes permanentes

o semi-permanentes. Estos daños limitan la extracción de secciones radiales de crecimiento (núcleos o virutas) hasta el centro del árbol, por lo tanto, reducen la probabilidad de obtener una aproximación más real de la edad del arbolado (Villanueva *et al.*, 2005a). No obstante lo anterior, dada la amplia distribución del sabino en México, es probable la existencia de individuos milenarios en otros bosques de galería del país, en particular en localidades aisladas, con escasa influencia humana y en las que el disturbio antropogénico es menor.

Estudios de estructura poblacional y ubicación de árboles añejos son de fundamental importancia tanto para analizar el potencial dendrocronológico de los individuos que lo integran, como para determinar la dinámica del taxón, tasas de crecimiento y la biodiversidad; información relevante que puede ser utilizada por los tomadores de decisiones para la conservación y restauración de algunos ecosistemas de galería con prioridad local, regional o nacional. Uno de estos sitios que amerita acciones urgentes es el paraje Los Peroles, en el ejido San Francisco del municipio de Rioverde, S.L.P., lugar que posee los ahuehetes más antiguos detectados en México, además de ser un área de descanso de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) en su ruta de migración hacia el sur del país; así mismo, la presencia de manantiales profundos y de especies endémicas, enriquece su atractivo ecoturístico. El uso actual del suelo de Los Peroles es básicamente con fines de pastoreo caprino, equino y vacuno, lo que hace peligrar los árboles de *T. mucronatum*, que con frecuencia son afectados por incendios provocados, con el fin de favorecer el rebrote del pasto aguja (*Spartina spartinae* Trin. & Merr.) que proporciona forraje para el ganado.

La pérdida de individuos milenarios en éste y otros ecosistemas de México también lleva consigo la eliminación de un cúmulo de información paleoclimática depositada a través de los siglos en los anillos de crecimiento, lo que significa la destrucción de un "pool" genético y de su interrelación con los factores bióticos y abióticos con los cuales dichos individuos han logrado estabilidad ecológica. Actividades de exclusión de esas áreas o la protección directa de los organismos de mayor edad pueden contribuir directamente a su preservación.

El ahuehuate es la especie más longeva en México con alto potencial para estudios paleoclimáticos; de ahí que el objetivo del presente trabajo sea dar a conocer las series dendrocronológicas desarrolladas hasta el momento con ella, analizar su aplicación y reconstruir la precipitación estacional que permita interpretar la variabilidad interanual (alta frecuencia) y multianual (baja frecuencia) del comportamiento histórico del clima, los patrones de circulación atmosférica que lo afectan y sus posibles tendencias. Información muy valiosa en la planificación del uso de los recursos hídricos, ya que se consideran diversos escenarios climáticos, así como para el manejo y conservación de la biodiversidad de los bosques de galería con fines ecoturísticos, recreación y estabilidad del ecosistema mismo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Procedimiento para la estimación de edades

El método consistió en la extracción de núcleos de crecimiento con un taladro de Pressler y la aplicación de técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1976). El cálculo de la edad de un espécimen se realizó con base en la cantidad de anillos presentes en la sección, viruta extraída con el taladro además de la adición de un determinado número de años en aquellas secciones que no incluyeron el centro del árbol (Applequist, 1958).

Para estimar el total de anillos faltantes se determinó su existencia en los primeros 10 cm de la parte interna de la muestra (opuesta a la corteza). Con este dato y el radio de cada ejemplar arbóreo se hizo una extrapolación para calcular los años contenidos en la sección faltante; así mismo, se adicionó cierto número de años (previamente estimados en brinzales o plantas jóvenes con menos de 1.50 m de altura), que corresponde al tiempo promedio que transcurre para que los sabinos alcancen el tamaño de muestreo, el cual se ejecutó a la altura del pecho (1.3 a 1.5 m).

La edad estimada total del árbol se expresa con la siguiente ecuación:

$$E_{ta} = \sum(N_i + N_f + N_a)$$

Donde:

$E_{ta}$  = Edad total del árbol (años)

$N_i$  = Número total de anillos en la sección de crecimiento o viruta obtenida con el taladro de Pressler

$N_f$  = Número de anillos en la sección faltante (extrapolación y método Applequist)

$N_a$  = Número de años que requiere el árbol para alcanzar la altura de muestreo (sección del fuste donde se obtuvo la viruta)

El valor calculado puede fluctuar de cinco a más años, en función de las condiciones del sitio en el que crece la planta y de la competencia intra o interespecífica (Villanueva *et al.*, 2003a)

### Red de cronologías de *Taxodium mucronatum* en México

La generación de series de tiempo dendrocronológicas en ahuehuete tiene la limitante de ser un procedimiento difícil, ya que la especie sólo en raras

ocasiones llega a constituir un fuste regular y uniforme, por ello el crecimiento radial no es igual en una orientación y en otra, debido a la presencia de lóbulos con crecimientos irregulares, la fusión con sus propias ramas principales o con árboles adyacentes. Esto complica su fechado, al observarse patrones diferentes de crecimiento aún en un mismo individuo, además de la presencia de anillos falsos o perdidos.

Para conseguir un núcleo de crecimiento útil, por lo general se tiene que ascender el tronco, hasta donde inicie un fuste regular o cilíndrico y de ahí extraer varias muestras en diversas orientaciones con un taladro de Pressler, instrumento que deberá contar con una dimensión tal que garantice la obtención de una sección con la mayor cantidad de anillos posibles y de preferencia que contenga el centro del árbol. El tamaño de los taladros que se utilizan con mayor frecuencia para trabajar con ahuehuete varía de 18 a 28" (46 a 71 cm) de longitud.

El proceso de generación de series de tiempo dendrocronológicas de *T. mucronatum* implicó el fechado exacto de las capas de crecimiento al año de su formación (Stokes y Smiley, 1968). Posteriormente mediante programas dendrocronológicos específicos, se verificó dicho proceso y se generaron índices normalizados mediante estandarización (Fritts, 1976; Holmes, 1983; Cook, 1987).

Para definir una función de respuesta, las series de tiempo se compararon con datos meteorológicos instrumentales, en particular precipitación y temperatura (Fritts, 1965). Las cronologías estuvieron asociadas significativamente con la lluvia acumulada estacional pero no con la temperatura, por lo que se corrieron pruebas estadísticas de calibración y verificación entre ambas variables y por último se realizó una reconstrucción de precipitación en la longitud total de la cronología. A las series de precipitación estimada se les ajustó una curva decenal flexible para resaltar eventos de baja frecuencia, en especial períodos secos y húmedos (Cook y Peters, 1981).

### Respuesta climática de las cronologías de *Taxodium mucronatum*

Los métodos de ordenación, entre ellos el de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés), permite agrupar cronologías de *T. mucronatum* o de alguna otra especie con un comportamiento similar. El primer componente o "eigenvalue", explica la mayor varianza posible y agrupa aquellas series de tiempo que muestran una respuesta común a variables meteorológicas (Therrel *et al.*, 2002). El segundo componente integra otro conjunto de cronologías con una alta varianza, pero con una respuesta diferente a la del primer componente; la explicada por el resto de los componentes, generalmente decrece.

En este estudio, el PCA se utilizó para definir aquellas cronologías de *T.*

*mucronatum* con una respuesta común, así como las posibles causas de dicho comportamiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en la ecuación  $Eta = \sum(Ni + Nf + Na)$  se determinaron las edades de ahuehetes adultos en algunos bosques de galería de México, donde la especie de interés se desarrolló de forma aislada o asociada con otras de hábitat ribereño (Figura 1 y Cuadro 1).

La primera cronología de ahuehete en México que comprende un período de 522 años (1474 – 1995) fue desarrollada por investigadores del Laboratorio de Dendrocronología de la Universidad de Arkansas en 1999, con especímenes ubicados en el río Sabinas, Tamps. (Stahle *et al.*, 2000); además, se han generado otras con extensiones de 422 años (1574 – 1996) y 250 años (1750 – 1999) con individuos localizados en los márgenes del Río Verde en S. L. P.; El Vado, Oax. y Bosque de Chapultepec D. F. (Villanueva *et al.*, 2003b), En los últimos dos años, el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP produjo algunas más para la especie en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Durango, Jalisco, Nuevo León, San Luis Potosí, Querétaro y Zacatecas (Cuadro 2, Figura 2). Las características de esas cronologías se muestran en el Cuadro 3.

### Asociación entre las cronologías de *Taxodium mucronatum*

Al comparar las tendencias anuales de crecimiento de las cronologías del ahuehete para un período común (1887 – 1995) resultaron tener correlaciones bajas, aunque se detectó que algunas de ellas fueron significativas, como es el caso específico de las del Nazas (NAZ) con Barrial de Guadalupe (BDG) en la Comarca Lagunera ( $r = 0.414$ ,  $p < 0.05$ ), Nazas con Barranca de Amealco, Qro. (BAM), Rioverde, S. L. P. (VER) y Cerralvo, N. L. (CER), todas ellas con valores de  $r$  superiores a 0.25 ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 4).

La correlación más alta observada ( $r = 0.414$ ) entre dos cronologías (NAZ vs. BDG) se debe, probablemente, a la influencia de condiciones climáticas comunes, en el crecimiento, ya que ambas se ubican en la región hidrológica 36 de la cuenca Nazas-Aguanaval; sin embargo, dentro de un mismo estado, series de tiempo cercanas, como las desarrolladas para Nuevo León, no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), lo que implica la presencia de condiciones heterogéneas del clima en dicha entidad, o bien las acciones antropogénicas que han afectado de forma importante el crecimiento del arbolado y, en consecuencia, enmascaran la respuesta climática, que se esperaría fuera similar para sitios con ahuehetes muy próximos (Cuadro 4).

El análisis de Componentes Principales indicó que los componentes 1, 2 y 3 explican 20.8, 15.8 y 10.4% de la varianza, respectivamente. Para el primer componente las





Figura 1. Ejemplar milenario de ahuehuete de más de 1300 años de edad, localizado en el sitio "Los Peroles", Ejido San Francisco, Rioverde, San Luis Potosí. El árbol fue bautizado como "Maximino Martínez" en honor del gran botánico mexicano del mismo nombre.

Cuadro 1. Edad estimada de árboles de ahuehuete en diversos sitios muestreados del centro y norte de México

Nombre de sitio	Localización Geográfica (Latitud, Longitud)	Altitud (m)	Intervalo de diámetro (cm)	Intervalo de Edad (años)
Salto de los Salado, Ags.	21° 45' 08" N, 102° 22' 00" W	1690	80.0 – 300.0	100 – 380
Cerralvo, N. L.	26° 05' 00" N, 99° 37' 19" W	1280	58.7 - 360.0	37 – 497
Río Nazas, Dgo.	25° 27' 13" N, 103 <sup>a</sup> 43' 39" W	1100	6.0 – 250.0	14 – 1350
Río Mezquital, Dgo.	23° 32' 51" N, 104° 22' 13" W	1620	45.0 - 145.0	40 – 210
Raíces, Ajllende, N. L.	25° 15' 21" N, 100° 00' 59" W	530	27.5 a 200.0	59 – 310
Río San Juan, Santiago, N. L.	25° 27' 00" N, 100° 05' 26" W	1240	78.0 a 174.5	71 – 207
Puente Cabezones Linares N. L.	24° 59' 24" N, 99° 45' 10" W	570	60.0 – 150.0	100 – 150
Márgenes Río Nazas, Dgo.	25° 27' 13" N, 103° 43' 39" W	1100	5.6 – 245.7	14 – 1350
Márgenes Río Mezquital, Dgo.	23° 32' 51" N, 104° 22' 13" W	1620	45.0 – 145.0	40 – 210
Atotonilco, Jal.	20° 34' 11" N, 102° 27' 17" W	1650	35.0 – 140.0	85 – 186
Panales, Tolimán, Qro.	20° 52' 43.5" N, 99° 59' 19.2" W	1672	71.1 – 200.0	154 – 217
Moctezuma, Qro.	20° 52' 43.5" N, 99° 59' 19.2" W	1672	72.0 – 165.0	154 – 196
Barranca de Amealco, Qro.	20° 20' 25" N, 100° 07' 21.5" W	1950	70.0 – 210.0	250 - 1125
Los Peroles, Río Verde, S. L. P.	22° 11' 8" N, 99° 53' 56" W	950	69.8 – 210.0	166 – 1550
Bosque de Chapultepec, México, D. F.	19° 24' 00" N, 99° 11' 00" W	2309	45.7 – 227.0	80 – 830
El Vado, Oax.	16° 36' 04" N, 96° 54' 00" W	1493	60.0 – 230.0	100 – 575
Jalpa, Zac.	21° 40' 46" N, 102° 55' 25" W	1430	40.0 – 190.0	60 - 250

Cuadro 2. Cronologías de *Taxodium mucronatum* desarrolladas para la República Mexicana por los Laboratorios de Dendrocronología del INIFAP y la Universidad de Arkansas.

Entidad federativa	Nombre del Sitio	Clave	Coordenadas (Latitud N, Longitud W)	Altitud (m)	Longitud de Cronología	Tipo de Cronología <sup>1</sup>
Aguascalientes	Salto de los Salado	SAS	21.752, -102.367	1690	1622 – 2004	RW
Coahuila	Río Sabinas	RSA	27.757, -101.020	911	1684 – 2004	RW
	Barrial de Guadalupe	BDG	25.990, -103.241	1295	1834 – 2000	RW
	San Juan del Sabino	SJS	27.918, -101.289	387	En proceso	RW
Durango	Nazas	NAZ	25.453, -103.727	1100	1420 - 2004	RW
	Mezquital	MEZ	23.547, -104.37	1620	En proceso	RW
Jalisco	Atotonilco	ATO	20.569, -102.454	1650	1826 - 2006	RW
Distrito Federal	Chapultepec	CHA	19.417, -99.263	2309	1891 - 1998	RW

Continúa cuadro 2

Nuevo León	Cerralvo	CER	26.083, -99.620	1280	1741 - 2003	RW
	Río San Juan	RSJ	25.450, -100.088	1240	1887 - 2003	RW
Oaxaca	El Vado <sup>2</sup>	VAD	16.607, -96.900	1493	1750 - 1999	RW
Querétaro	Barranca de Amealco <sup>2</sup>	BAM	20.338, -100.120	1950	825 - 2004	RW
San Luís Potosí	Río Verde	VER	21.684, -99.781	820	1574- 1996	RW
	Peroles <sup>2</sup>	PER	22.188, -99.898	960	465 - 2004	RW
Tamaulipas	Río Sabinas	SAB	23.148, -99.150	317	1474 - 1995	RW
Zacatecas	Jalpa	JAL	21.680, -102.920	1430	En proceso	RW

<sup>1</sup>RW0 = Ancho de Anillo Total; <sup>2</sup>Cronologías en proceso de actualización

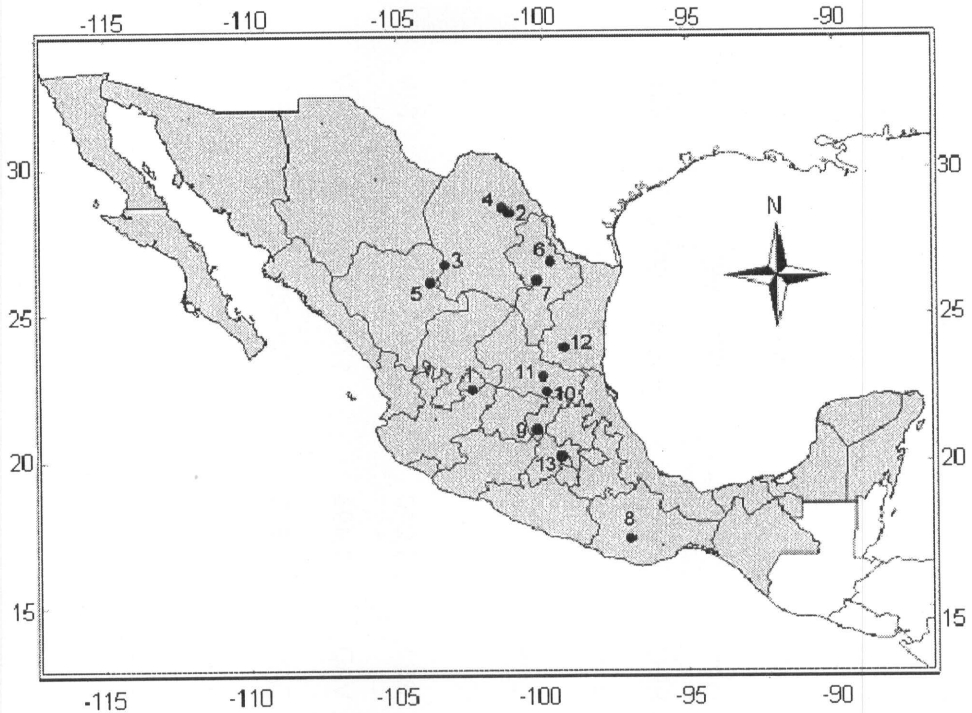


Figura 2. Distribución geográfica actualizada de las cronologías de ahuehuetle generadas en México por los laboratorios de dendrocronología del INIFAP y de Arkansas

cronologías que aportan un mayor peso son Nazas, Dgo. (NAZ), Rioverde, S.L.P. (VER), Sabinas, Tamps. (SAB) y El Vado, Oax. (VAD); para el segundo son Barrial de Guadalupe, Dgo. (BDG), Salto de los Salado, Agsc. (SAS), Río Sabinas, Coah. (RSA) y Río Nazas, Dgo. (NAZ). La agrupación observada no indica una respuesta climática regional, ya que en un mismo componente están presentes cronologías ubicadas al norte y al sur del Trópico de Cáncer (Figura 3).

Al ajustar una curva decenal flexible a las cronologías generadas, que en algunas de ellas se extiende para los últimos 500 años, se advierten frecuencias comunes, especialmente en períodos secos (Figura 4); lo anterior sugiere la influencia de eventos extremos en el crecimiento de *T. mucronatum*, que abarcaron amplias áreas del país y que pueden estar relacionados con patrones de circulación atmosférica global, como es el evento del Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), fenómeno que afecta de manera particular el norte de México en el período invernal (Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 1999),

Cuadro 3. Características de las cronologías que se muestran en la Figura 2.

No.	Estado	Nombre del Sitio	Clave	Elevación (m)	Longitud de Cronología	Tipo de Cronología
1	Aguascalientes	Salto de los Salados	SAS	1,690	1622-2004	RW
2	Coahuila	Río-Sabinas	RSA	911	1684-2004	RW
3	Coahuila	Barrial de Guadalupe	BDG	1,295	1834-2000	RW
4	Coahuila	San Juan del Sabino	SJS	387	En proceso	RW
5	Durango	Nazas	NAZ	1,100	1500-2004	RW
6	Nuevo León	Cerralvo	CER	1,280	1741-2003	RW
7	Nuevo León	Río San Juan	RSJ	1,240	1887-2003	RW
8	Oaxaca	El Vado	VAD	1,493	1750-1999	RW
9	Querétaro	Barranca de Amealco	BAM	1,950	825-2004	RW
10	San Luis Potosí	Río Verde	VER	820	1574-1996	RW
11	San Luis Potosí	Peroles	PER	960	467-2004	RW
12	Tamaulipas	Río Sabinas	SAB	317	1474-1995	RW
13	México, D.F.	Chapultepec	CHA	2,309	1891-1998	RW

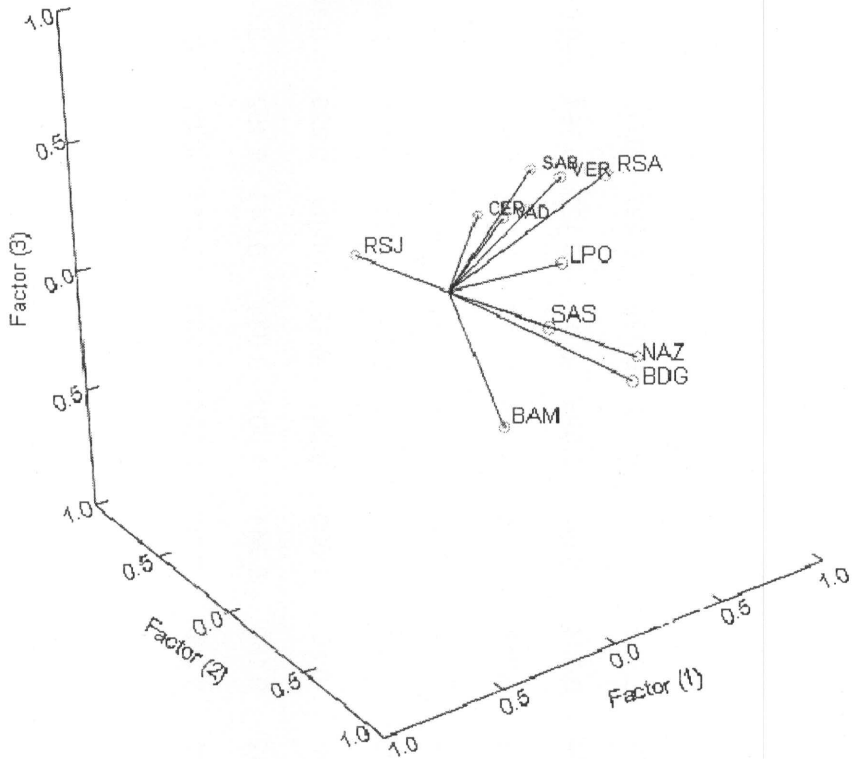


Figura 3. El componente 1 explica 20.8% de la varianza total e integra a las cronologías Nazas (NAZ), Rioverde (VER), Sabinas (SAB) y El Vado (VAD).

y que tiene importantes repercusiones en la producción de madera, forraje y de recarga de mantos acuíferos de los bosques templados de las Sierras Madre Occidental y Oriental.

### Influencia del clima en el crecimiento de *Taxodium mucronatum*

El impacto de las condiciones climáticas en el crecimiento del ahuehuate para un período específico del año, no se ha definido con certeza como ocurre con poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirbel) Franco en el norte y centro de México, que responden a la precipitación estacional invierno – primavera, lo que implica que gran parte de su desarrollo anual está influido por las condiciones predominantes en los meses de noviembre del año previo a junio del año vigente de desarrollo (Stahle *et al.*, 2000; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2005a).

Cuadro 4. Correlaciones entre cronologías estándar de anillo total (RW) de *T. mucronatum* para el periodo común comparado de 1887 a 1998 (112 años).

Clave	BAM	PER	NAZ	SAB	VER	SAS	RSA	CER	VAD	BDG	RSJ
BAM	1.000	0.061	<b>0.256</b>	0.102	0.022	-0.06	-0.10	<b>0.226</b>	<b>0.227</b>	-0.06	-0.07
PER	0.061	1.000	0.177	0.109	<b>0.206</b>	-0.04	0.098	-0.01	0.123	<b>0.194</b>	-0.08
NAZ	<b>0.256</b>	0.177	1.000	0.172	<b>0.245</b>	0.039	<b>0.264</b>	0.119	0.188	<b>0.414</b>	-0.09
SAB	0.102	0.109	0.172	1.000	<b>0.287</b>	-0.01	0.142	<b>0.353</b>	<b>0.312</b>	0.008	0.020
VER	0.022	<b>0.206</b>	<b>0.245</b>	<b>0.287</b>	1.000	-0.10	0.160	<b>0.250</b>	<b>0.247</b>	0.170	0.062
SAS	-0.06	-0.04	0.039	-0.01	-0.10	1.000	<b>0.241</b>	-0.12	-0.09	<b>0.229</b>	-0.14
RSA	-0.11	0.098	<b>0.264</b>	0.142	0.160	<b>0.241</b>	1.000	0.034	0.043	0.152	-0.14
CER	<b>0.226</b>	-0.01	0.119	<b>0.353</b>	<b>0.250</b>	-0.12	0.034	1.000	<b>0.214</b>	-0.01	0.183
VAD	<b>0.227</b>	0.123	0.188	<b>0.312</b>	<b>0.247</b>	-0.09	0.043	<b>0.214</b>	1.000	-0.14	-0.08
BDG	-0.06	<b>0.194</b>	<b>0.414</b>	0.008	0.170	<b>0.229</b>	0.152	-0.01	-0.14	1.000	-0.15
RSJ	-0.08	-0.09	-0.09	0.020	0.062	-0.14	-0.14	0.183	-0.08	-0.15	1.000



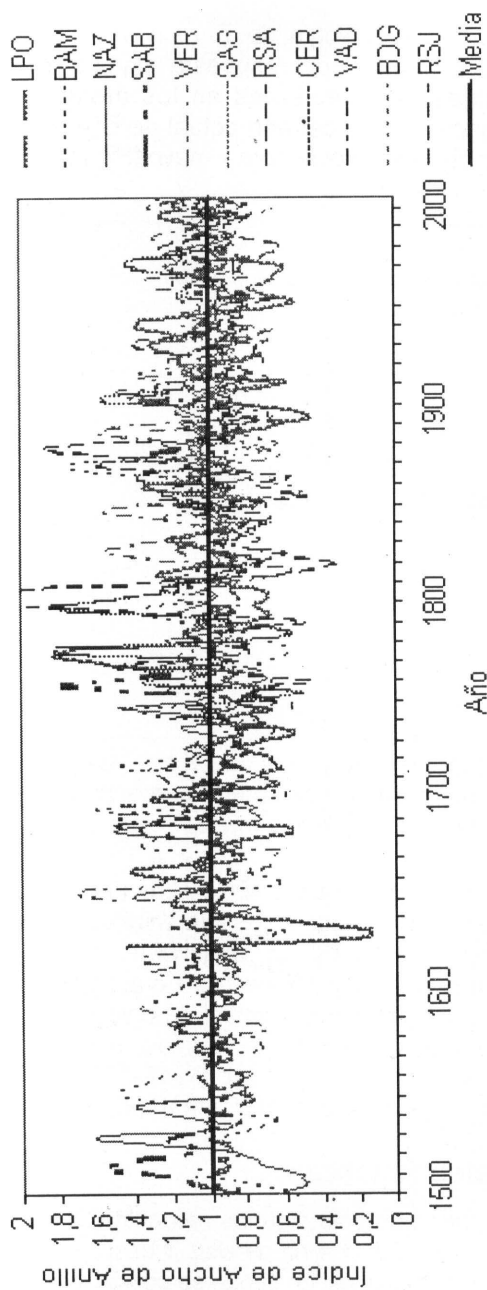


Figura 4. Comparación gráfica del comportamiento de las cronologías. Las curvas decenales flexibles de cada una de las cronologías indican alta variación y enfatizan tendencias comunes para ciertos períodos.

En el noreste de México, la cronología de *T. mucronatum* procedente del Río Sabinas, Tamps. tiene una función de respuesta significativa ( $p < 0.05$ ) a las condiciones meteorológicas prevaletientes en los meses de diciembre del año anterior a enero, marzo y abril del año actual de crecimiento, y de manera estacional a la temporada de lluvias noviembre – mayo (Figura 5).

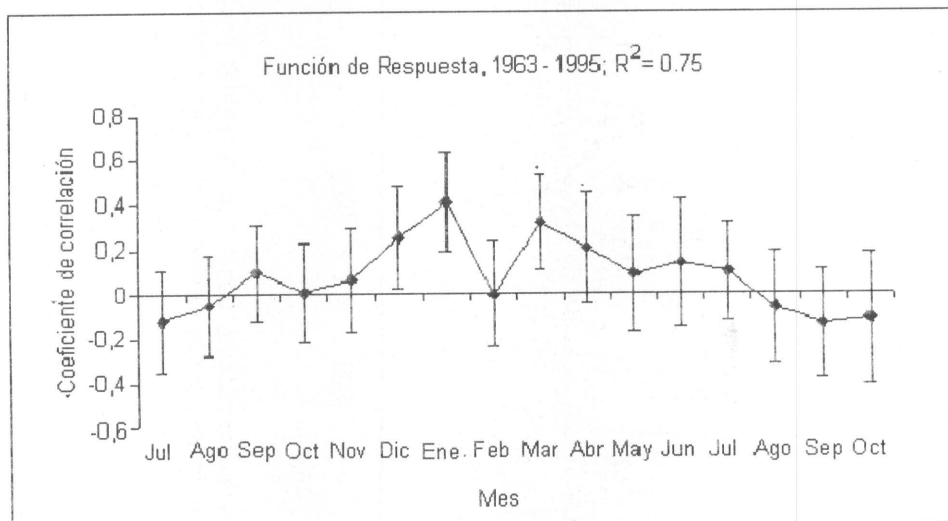


Figura 5. La cronología responde significativamente a las condiciones climáticas dominantes de los meses de diciembre, enero, marzo y abril y de manera combinada al período noviembre-mayo.

Alternativamente, en Barranca de Amealco, Qro. y Los Peroles, S. L. P. se observa un impacto en su incremento radial producto de la precipitación acumulada de junio–septiembre; mientras que poblaciones de ahuehuate en el Río Nazas, Dgo. reaccionan a la lluvia acumulada estacional y al flujo de agua que circula en su caudal de agosto del año previo a febrero del año actual de crecimiento. La cronología de ahuehuate procedente del sitio Salto de los Salado, Ags. respondió mejor a la precipitación acumulada del período enero–mayo (1947–1998), aunque la correlación obtenida resultó significativa, pero baja ( $r = 0.53$ ;  $p < 0.05$ ).

## Reconstrucciones paleoclimáticas

En la actualidad se han elaborado sólo algunas reconstrucciones de precipitación a partir de cronologías de *T. mucronatum*. Una de ellas corresponde a la lluvia estacional para la región centro-sur de Tamaulipas, en la que se usaron los datos instrumentales de cinco estaciones meteorológicas distribuidas en dicha región (Figura 6).

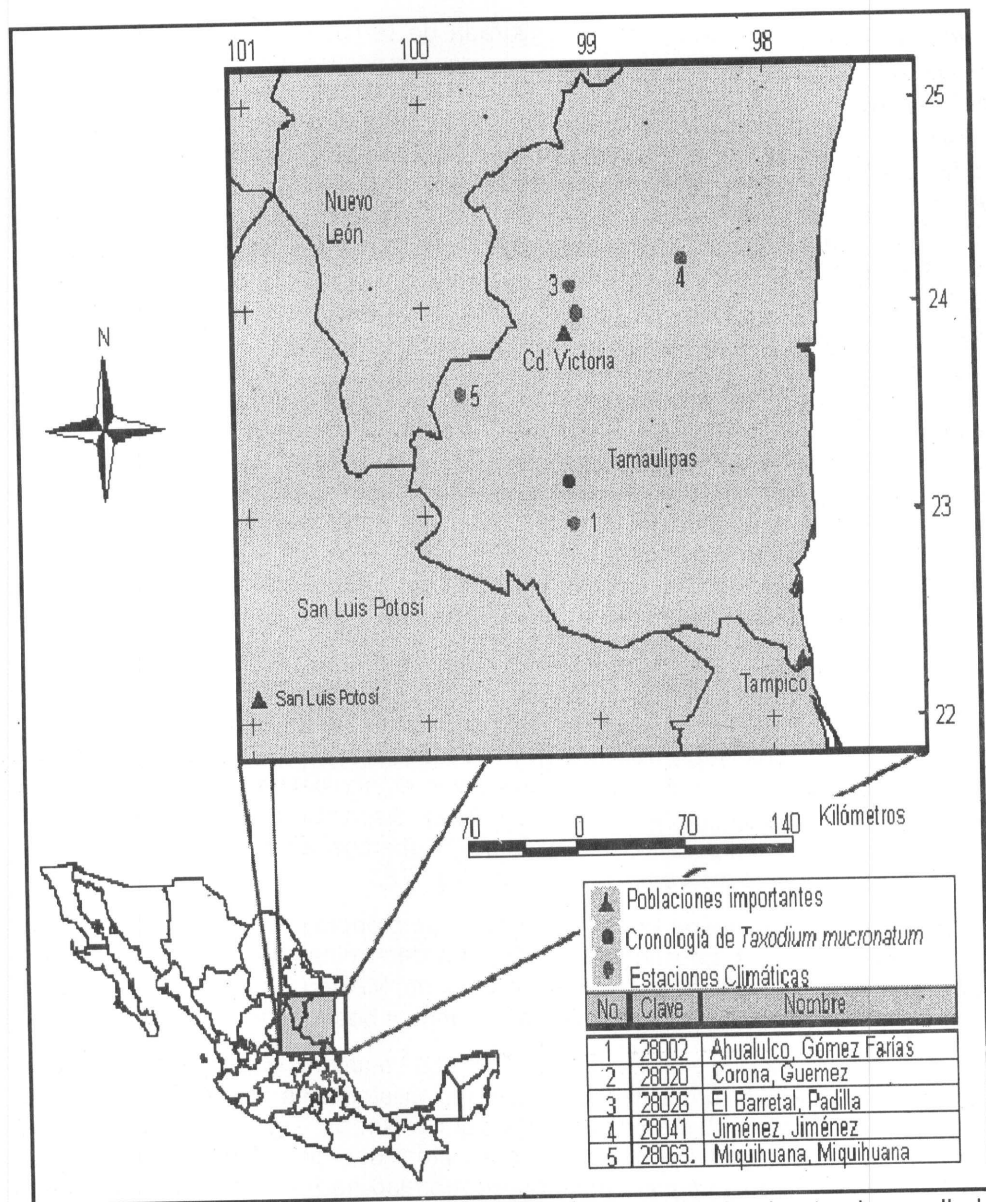


Figura 6. Localización geográfica de la cronología de ahuehuate desarrollada para el Río Sabinas, Tamaulipas (SAB) y las estaciones climáticas, utilizadas para generar datos de precipitación regional con fines de reconstrucción de precipitación.

Al comparar la información así registrada de la lluvia estacional del período noviembre – mayo con los valores reconstruidos, se percibe que el incremento radial anual de los árboles en este sitio explica más del 50% de la variabilidad de precipitación estacional observada para el centro-sur de la entidad (Figura 7), por lo que los crecimientos anuales del ahuehuete fueron estadísticamente confiables para desarrollar una reconstrucción de lluvia de los últimos 517 años (1478–1995) (Figura 8). Su elaboración permitió detectar la presencia de eventos secos de gran magnitud que afectaron la región; caso específico son los de los períodos 1485–1492, 1500–1503, 1535–1540, 1555–1565, 1601–1607, 1622–1632, 1638–1649, 1653–1676, 1693– 1701, 1710–1751, 1775–1784, 1794–1802, 1811–1824, 1835–1846, 1854–1866, 1881 – 1899, 1914–1931, 1937–1953 y 1975–1980.

El escaso soporte de escritos históricos antes del siglo XIX impide verificar algunas de las sequías que afectaron esta zona de Tamaulipas, ya que la mayor cantidad de información existe, principalmente, para el Valle de México. No obstante, son de notar los lapsos con poca lluvia que coinciden con algunas reconstrucciones de precipitación para el noreste y otras zonas del norte de México, en particular eventos ocurridos en las décadas de 1670, 1690, 1710 a 1740, 1790, 1860, 1890, 1950 y 1980 (Cleaveland *et al.*, 2003; Pohl *et al.*, 2003; Cerano, 2004; González-Elizondo *et al.*, 2005; Villanueva *et al.*, 2005a).

En el transcurso del siglo XIX se documentó la presencia de diversas temporadas carentes de agua pluvial en Tamaulipas, la mayoría de las cuales están representadas en la reconstrucción del río Sabinas, entre ellas las de los años secos de 1878, 1882, 1884, 1886, 1889 y 1899 (Escobar, 1997). La intensidad de las sequías fue variable y en años particulares como el “año del hambre” (1785 – 1786) que produjo una crisis generalizada de falta de disponibilidad de alimentos en el Valle de México (Florescano, 1980), también aparece en dicha reconstrucción, aunque la anualidad más seca correspondió a 1785.

El desarrollo regional de un mayor número de cronologías (algunas de ellas en proceso) con fines paleoclimáticos permitirá determinar de forma más precisa la variabilidad hidroclimática en el noreste de México, información relevante para la conservación de los ecosistemas riparios y bosques templados.

En el norte de México y en especial la Comarca Lagunera, la única reconstrucción correspondiente a la precipitación de verano existente es la realizada con una cronología de ahuehuete procedente del río Nazas, Dgo. (Figura 9). Dicho estudio es trascendental para entender la variabilidad hidroclimática histórica en la Comarca, cuyo desarrollo social y económico se fundamentan en el agua producida en la parte superior de la cuenca Nazas-Aguanaval de la Sierra Madre Occidental. La reconstrucción indica alta variabilidad en el tiempo con etapas secas en las décadas de 1500, 1550, 1590, 1640, 1690, 1760, 1860, 1950 y 1990; es decir cíclicas, casi cada 50 años. Los períodos húmedos son menos

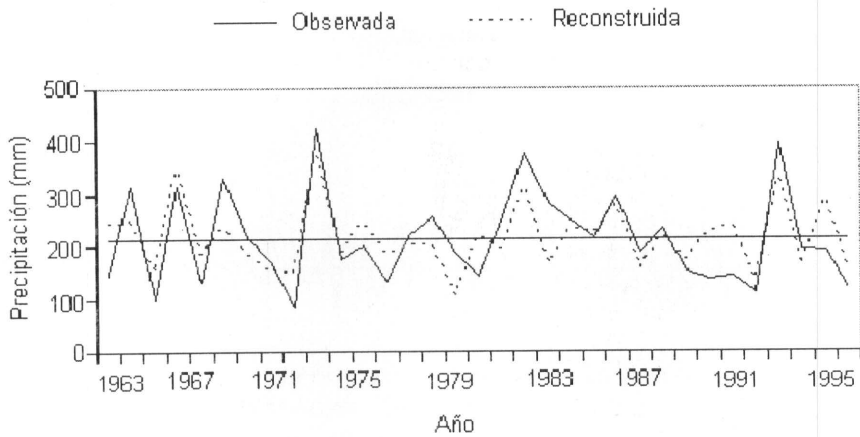


Figura 7. Los anillos de crecimiento explican 52% de la varianza en precipitación estacional observada para el período noviembre-mayo en la región centro-sur de Tamaulipas. Este valor es significativo ( $p < 0.01$ ) e indica que la cronología es confiable para propósitos de reconstrucción de precipitación.

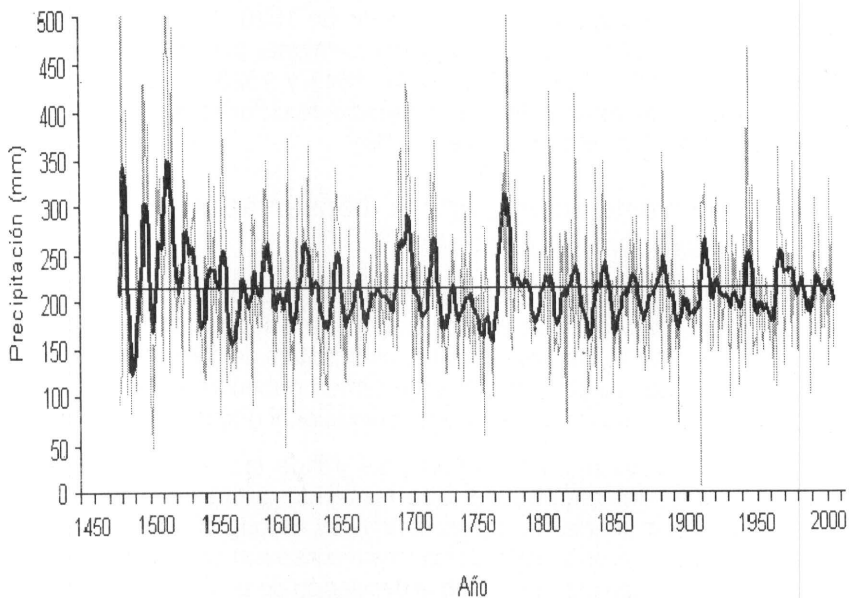


Figura 8. Reconstrucción de precipitación estacional (noviembre-mayo) para el centro-sur de Tamaulipas para el período 1478-1995 (517 años) con una cronología de ahuehuate del Río Sabinas, Tamaulipas.

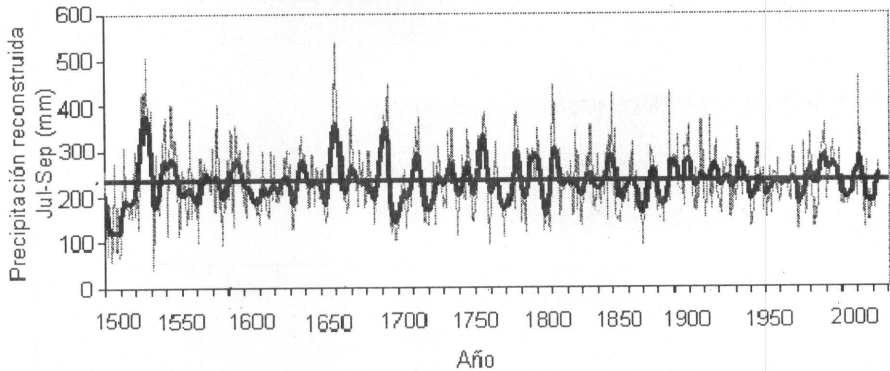


Figura 9. Reconstrucción de precipitación estacional (julio–septiembre) para la cuenca baja del Nazas, región hidrológica 36, para el período 1500 – 2003 (504 años) con una cronología de ahuehuete desarrollada en márgenes del Río Nazas, Durango.

evidentes, pero se presentaron en las décadas de 1520, 1540, 1580, 1650, 1680, 1740, 1790, 1830, 1870 y 1960. Años particularmente húmedos se registraron en 1991, 1968, 1912, 1868, 1830, 1791, 1683, 1649 y 1526, cuya presencia puede estar relacionada al efecto de El Niño y al impacto de ciclones o tormentas tropicales en esa región de México (Magaña *et al.*, 1999).

### Acciones de investigación para la conservación de ecosistemas riparios con *Taxodium mucronatum*

A pesar de la importancia ecológica que reviste *T. mucronatum* al formar áreas de belleza escénica, favorecer la estabilización de cauces, construir verdaderos microclimas y fomentar la biodiversidad de los bosques de galería en México, pocos han sido los esfuerzos realizados por organismos gubernamentales y la sociedad misma, para conservar este árbol de identidad nacional (Figura 10).

Son innumerables los ejemplos en el país donde los ríos o cuerpos de agua superficial, hábitat del ahuehuete, que han sido contaminados y arruinados mediante la descarga directa de aguas residuales de origen urbano, industrial o de ambos, así como por la modificación de cauces a consecuencia de aprovechamientos agrícolas, mineros, de uso urbano, o bien la desviación de corrientes superficiales hacia sitios de almacenamiento con fines agropecuarios, acciones que han modificado el comportamiento hidrológico de los sistemas riparios y originado la desaparición de árboles añejos.

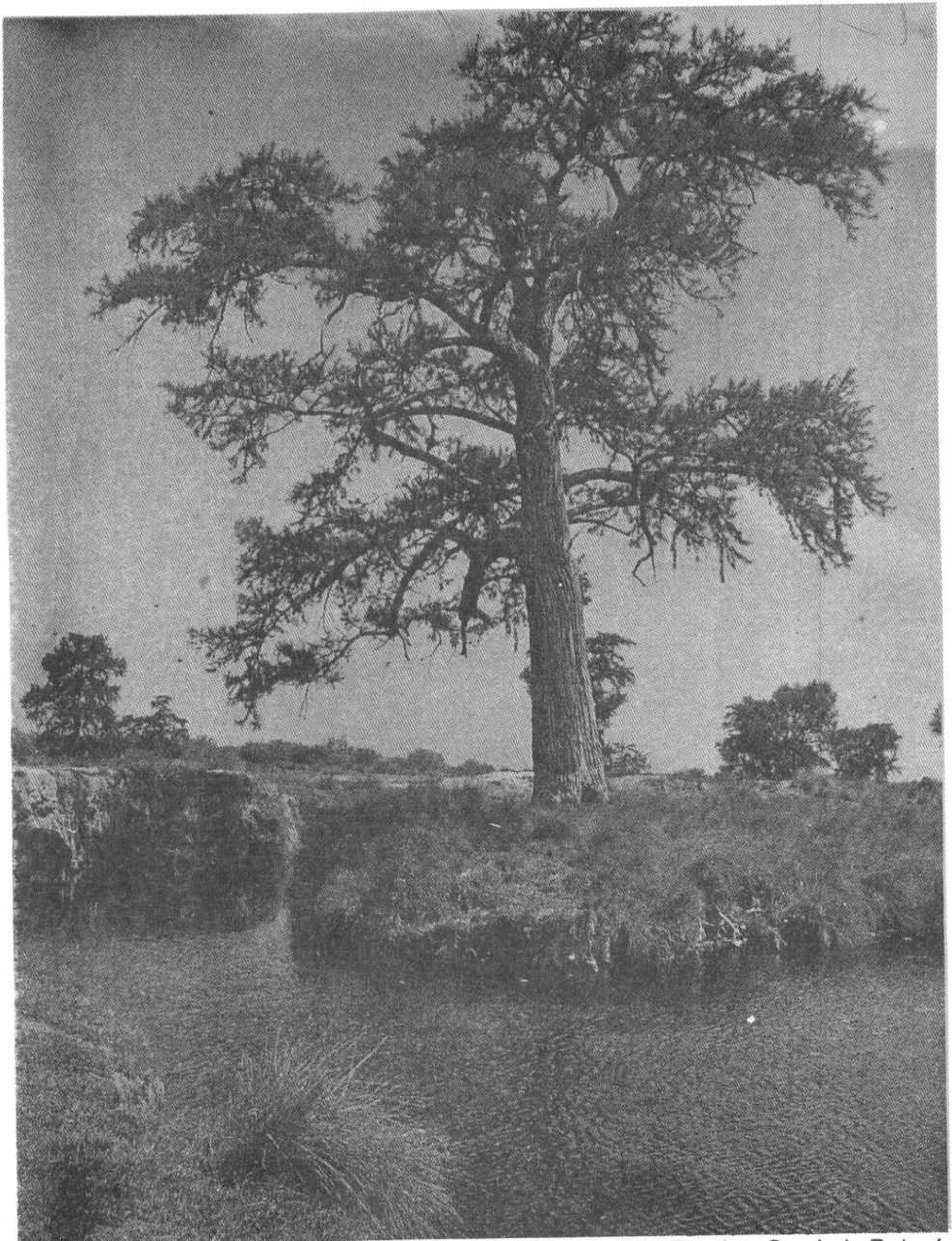


Figura 10. Ejemplar de ahuehuete centenario en el sitio Los Peroles, San Luis Potosí. El árbol se ubica a un costado de un manantial profundo, cuyas aguas se utilizan con fines de riego. El sitio también es estancia de la mariposa monarca en su peregrinar hacia el sur de México y es utilizado como zona de pastoreo y de recreo familiar.

Por otra parte, el daño directo que se ha inflingido al arbolado por el corte de ramas, heridas en troncos, lo que responde a actos vandálicos que han derivado en incendios provocados o remoción del arbolado mismo para cambios de uso del suelo, ha ocasionado un deterioro irreparable a los bosques de galería, por lo que urgen acciones que fomenten una cultura de valoración de la especie y permitan la restauración de algunos de estos ecosistemas, otrora lugares de recreación y de orgullo nacional.

Actividades mineras que han provocado la muerte masiva del ahuehuete en grandes transectos de la ribera del Río Sabinas, Coah., al generar cambios en el gradiente hidráulico de la circulación del flujo, indican que los árboles estuvieron sujetos por varios años a una limitada disponibilidad de agua antes de morir (Figura 11). Por lo tanto, es importante efectuar acciones de reforestación de sus márgenes, después de haberse estabilizado el flujo natural de agua para su regeneración. Las medidas normativas que prohíban la explotación de minas de carbón o de otro tipo de minerales en áreas aledañas a los cauces de corrientes permanentes, contribuiría a minimizar el impacto hidrológico de dichas actividades en estos ecosistemas.

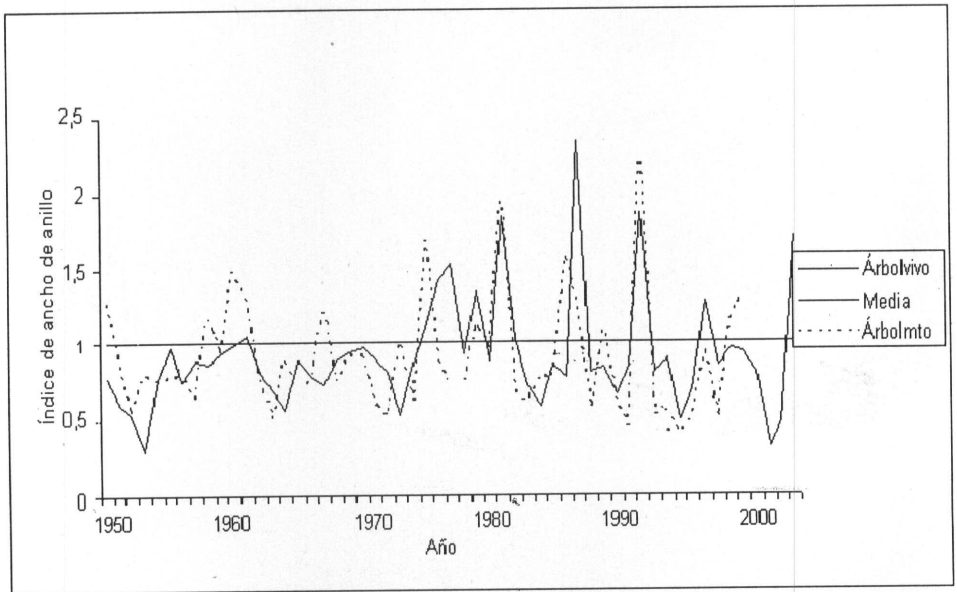


Figura 11. Índice de ancho de anillo de árboles de ahuehuete vivos (línea sólida) y muertos (línea punteada) en márgenes del Río Sabinas, Coahuila. Al comparar el comportamiento en crecimiento de árboles vivos y muertos, se observa que el crecimiento del arbolado con déficit de agua inició a ser menor en 1993, los árboles murieron en el año 2000.



La preservación de sitios con árboles milenarios de *T. mucronatum* como es el caso de la Barranca de Amealco en el estado de Querétaro y de otros en el centro y sur de México, constituye un verdadero reto para los organismos gubernamentales avocados a la conservación de la biodiversidad.

Estudios de dinámica poblacional y dendrocronológicos aportan información técnica y científica que coadyuva a la aplicación de medidas para su conservación y restauración, como sucede con las investigaciones referentes a la dinámica poblacional en márgenes del río Nazas, Dgo (Figura 12). Los ahuehuetes de Barranca de Amealco, Qro. son muy sensibles a la precipitación que ocurre en el

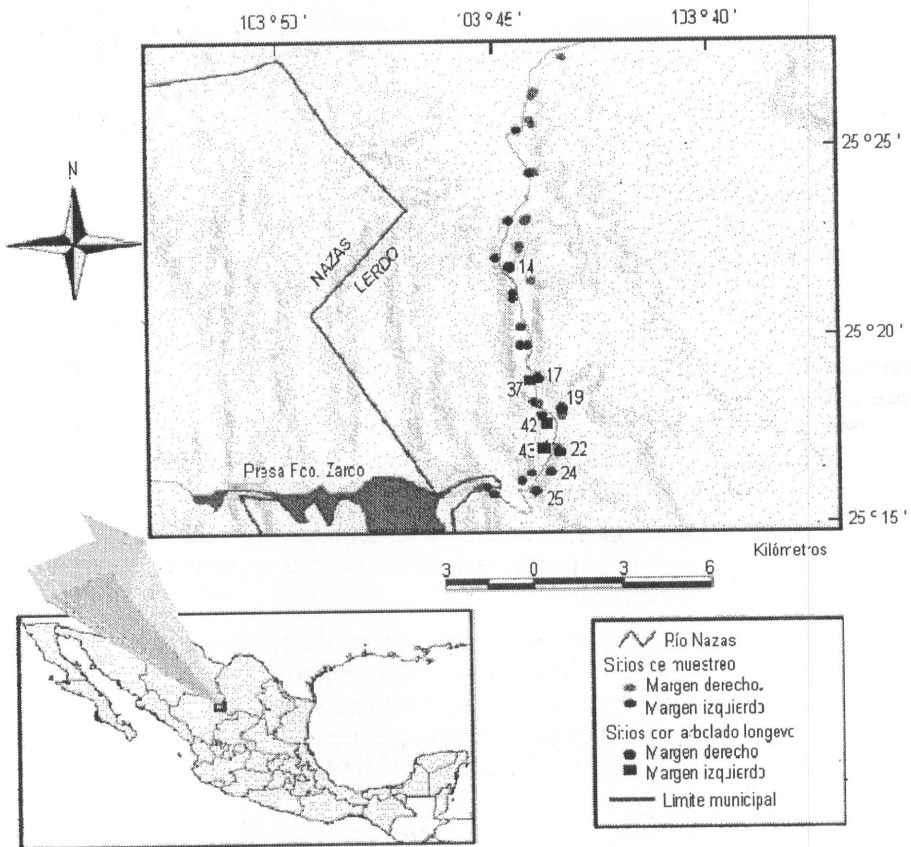


Figura 12. Distribución de arbolado de ahuehuate en transectos de los márgenes del Río Nazas, Dgo. Los árboles más longevos se ubican en sitios aledaños a barrancas, de difícil acceso y generalmente más retirados de asentamientos humanos.

verano y, a pesar de que se localizan fuera del Valle de México, logran reflejar las condiciones climáticas predominantes durante el establecimiento, florecimiento y decadencia de las civilizaciones prehispánicas que habitaron en dicha región.

La difusión del potencial de *T. mucronatum* para generar datos paleoclimáticos, aunado a los beneficios ecológicos, estéticos y de biodiversidad de los bosques de galería en México, aportan elementos esenciales para ejercer acciones conducentes a la conservación de esta especie.

## CONCLUSIONES

La integración de una red dendrocronológica de *Taxodium mucronatum* desde el norte hasta el sur de México, constituye un reto de investigación y de colaboración entre las diversas instituciones de investigación dedicadas a generar información científica y tecnológica para la conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas de galería en México.

Actualmente se han desarrollado sólo 13 cronologías con *T. mucronatum*, las cuales se distribuyen principalmente en el norte-centro de México y tres más están en proceso. Este avance es muy limitado, si se considera que la especie se desarrolla en diversas condiciones ecológicas en gran parte del territorio nacional.

Una red dendrocronológica de ahuehuete es fundamental para analizar la variabilidad hidroclimática del pasado, en particular la que ocurre en el verano y que conforma más del 75% del total anual, así como para definir los mecanismos atmosféricos de circulación que afectan el clima, conocer sus tendencias y determinar posibles escenarios climáticos venideros para fines tanto de planeación, como de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, en particular, del agua.

Las reconstrucciones paleoclimáticas generadas con *T. mucronatum* indican el alto potencial que tiene la especie para determinar la variación estacional de la precipitación en el último milenio.

Los cambios de uso del suelo y acciones antropogénicas que se han traducido en contaminación de ríos, desviación de corrientes perennes, captación del agua en presas con fines agropecuarios e industriales y sobrepastoreo de las áreas ribereñas, han favorecido la muerte o remoción de individuos longevos y jóvenes con impacto en la dinámica y conservación de la especie.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento otorgado a través de los proyectos "Bosques centenarios del centro-norte de México y su potencial para estudios dendroclimáticos y ecológicos" (CONAFOR-2002-C01-5037); "Variabilidad presente, pasada y futura en las Américas con árboles en bosques de altura" (IAI CRN03) y proyecto IAI CRNII-047.

## REFERENCIAS

- Applequist, M. B. 1958. A simple pith locator for use with off-center increment cores. *Journal of Forestry* 56: 141.
- Brown, C. A. and G. N. Montz. 1986. Baldcypress: the tree unique, the wood eternal. Claitor s Publishing Division. Baton Rouge, LA. USA 139 p.
- Carranza, E. 1992. Taxodiaceae. *In*: J. Rzedowski y G. Calderón de Rzedowski (Comp.). Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Mich. México. Fascículo 4. pp. 1 – 7.
- Cerano, P. J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah. 152 p.
- Cleaveland, M. K., D. W. Stahle, M. D. Therrell, J. Villanueva-Diaz and B. T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation and tropical teleconnections in Durango, Mexico. *Climatic Change* 59: 369 – 388.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47:37-59.
- Cook, E. R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45 – 53.
- Enríquez E., G. 2005. Estructura poblacional y demográfica de *Taxodium mucronatum* Ten. en sistemas riparios en el estado de Querétaro. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro. 130 p.
- Escobar, H. A. 1997. Las sequías y sus impactos en las sociedades del México decimonónico, 1856–1900. *In*: V. García A. (Coord.) Historia y desastres en América Latina Vol. II. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. CIESAS. México. pp. 2–24.
- Florescano, E. 1980. Las sequías en las economías preindustriales: El caso de Nueva España (1521–1821). *In*: E. Florescano (Coord.) Análisis histórico de las sequías en México. SARH. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D. F. pp. 21 – 39.
- Fritts, H. C. 1965. Tree-ring evidence for climatic changes in western North America. *Monthly Weather Review* 93: 421 - 443.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press London. UK. 567 p.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Navar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva, O. Aguirre and J. Jiménez. 2005. Tree-rings and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the Sierra Madre Occidental, Mexico: a 1681–2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213: 39 – 53.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69 – 78.

- Laboratorio de Dendrocronología. Universidad de Arkansas. (2005).  
<http://www.uark.edu/misc/dendro/>.
- Laboratorio de Dendrocronología. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. (2006).  
<http://www.inifap.gob.mx/contenido/cenids/dendrocronologia.htm>.
- Little, E. L. Jr. 1971. Conifer and important hardwoods. Atlas of the United States Trees, Vol. 1, USDA Forest Service. Miscellaneous publications. 1146 p.
- Luque, E. 1921. Voto razonado para elegir el árbol nacional. Sociedad Forestal Mexicana. Revista México Forestal 1 (9 – 10): 3.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez-Carrizosa y J. Pérez. 1999. El Niño y el clima. In: Magaña, V. (Ed.). Los impactos del Niño en México. SEP-CONACYT. México. pp. 23 – 68.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ª. Edición. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México, D. F. 345 p.
- Martínez, A. 1999. El ahuehuete. Biodiversitas 5(25): 12 – 14.
- Mattoon, W. R. 1915. The southern cipress. Bulletin No. 272. US Department of Agriculture. Contributions from the Forest Service. Washington, DC. USA. 73 p.
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. G. Cabrera-Hernández, S. Díaz-Castro, E. Cornejo-Oviedo, J. A. Elvir, M. González-Elizondo, D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal-Salazar, L. Vásquez-Selem, J. Villanueva-Díaz and D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. Tree-Ring Research 59(1):11-19.
- Rivas, M. y F. Moreno. 2005. Un árbol mágico en Valle de Bravo. Arbórea 7(12-13): 51-52.
- 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., R. D. Dárrigo, P. J. Krusic, M. K. Cleaveland, E. R. Cook, R. J. Allan, J. E. Cole, R. B. Dunbar, M. D. Therrell, D. A. Guy, M. D. Moore, M. A. Stokes, B. T. Burns, J. Villanueva-Díaz, and L. G. Thompson. 1998. Experimental dendroclimatic reconstruction of the Southern Oscillation. Bulletin of the American Meteorological Society 70(10): 2137-2152.
- Stahle, D. W., J. Villanueva, M. K. Cleaveland, M. D. Therrell, G. J. Paull, B. T. Burns, W. Saliñas, H. Suzan and P. Z. Fulé. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. In: F. A. Roig (Comp.). Dendrocronología en América Latina. EDIUNC, Mendoza, Argentina. pp. 285-306.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating University of Chicago Press, Chicago. IL. USA. 73 pp.
- Terrones, R. E., C. González S. y S. A. Ríos. 2004. Arbustivas nativas de uso múltiple en Guanajuato. INIFAP-Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Bajío. Libro Técnico No. 2. Celaya, Gto., México. 213 p.

- Therrell M., D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva-Díaz. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14): 6-1 – 6-7.
- Vargas M., F. 1997. Compendio de árboles históricos y notables de México. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT. México. 68 p.
- Villanueva D., J., A. Hernández R., F. García S., E. Cornejo O., D. W. Stahle, M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2003a. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en Los Peroles, San Luis Potosí, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (94): 57 – 79.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, F. Camacho Morfín, P. Núñez D. de la F., S. Gómez Ch., J. Sánchez S. y J. A. Ramírez G. 2003b. Registros climáticos de los ahuehuetes de Chapultepec en los últimos 450 años. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 8(23): 34 – 42.
- Villanueva D., J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutiérrez-García, J. Estrada-Ávalos and R. Jasso-Ibarra. 2005a. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronologia* 22(3): 215 – 223.
- Villanueva D., J., J. Cerano Paredes y R. Morán M. 2005b. Algunos sitios con arbolado viejo y su potencial dendroecológico en el norte-centro de México. *In: Memorias de la XII Semana Internacional de Agronomía*. FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. pp. 656 – 663.
- Villanueva D., J., J. Cerano Paredes, D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez- Selem, R. Morán M. B. H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: importancia ecológica y paleoclimática. Folleto Científico No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 46 p.