

UTILIZACIÓN DE *Taxodium mucronatum* Ten. PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN EN GUANAJUATO

Taxodium mucronatum Ten. USE TO DETERMINE THE SEASONAL RAINFALL VARIATION IN GUANAJUATO

Eunice Nayeli Cortés Barrera ¹, José Villanueva Díaz ², Juan Estrada Ávalos ²,
Cecilia Nieto de Pascual Pola ³, Vidal Guerra de la Cruz ⁴ y Oscar Vázquez Cuecuecha ¹

RESUMEN

Se colectaron núcleos de crecimiento en dos poblaciones de *Taxodium mucronatum* en la región centrosur del estado de Guanajuato y se generaron dos cronologías de ancho de anillo de 128 y 237 años para los municipios de Manuel Doblado y Jerécuaro, respectivamente. Mediante el análisis de componentes principales se determinó una variabilidad común para ambas series de tiempo, por lo que se unieron para crear una cronología regional de 308 años (1700-2007). Para analizar su respuesta climática, se compararon los índices de ancho de anillo con los registros de precipitación de una estación climática regional compuesta por diez estaciones meteorológicas. El período que correlacionó significativamente ($r = 0.75$, $p < 0.01$) corresponde a la temporada enero-abril. El análisis de calibración-verificación indica una respuesta significativa y explica 62 y 52% de la variabilidad de precipitación total, respectivamente. Dado que ambos subperíodos correlacionaron significativamente con los índices de ancho de anillo, se generó el modelo de reconstrucción climática de precipitación invierno-primavera con el total de datos disponibles con una $r^2 = 0.59$ ($p < 0.001$). Las sequías más fuertes que se reconstruyeron están entre los periodos 1778-1788, 1798-1811, 1817-1839 y 1861-1904; mientras que para las condiciones de precipitación arriba del promedio regional destacan las de: 1789-1797, 1840-1860, 1905-1927, 1964-1969, 1987-1994 y 2003-2007.

Palabras clave: Cronología regional, índice de ancho de anillo, núcleos de crecimiento, precipitación reconstruida, sequías, *Taxodium mucronatum*.

ABSTRACT

Increment cores were collected from two *Taxodium mucronatum* populations located in the Central-South of Guanajuato state and two ring-width chronologies of 128 and 237 year long were produced for Manuel Doblado and Jerécuaro sites, respectively. Principal Component Analysis determined a common response for both time series, so a composite chronology was developed for the whole region, covering the period 1700 - 2007 (308 years). To analyze the climatic response of the composite chronology, the ring width indices were compared to precipitation records representing regional climatic data from ten individual meteorological stations. The period of significantly correlation ($r = 0.75$, $p < 0.01$) corresponds to the seasonal January-April total precipitation. Calibration-verification procedures indicated a significant response for the statistic tests involved, explaining 62 and 52% of the variance, respectively. A calibration procedure was run for the whole period, explaining a significant 56% of the variance, and then this model was used to reconstruct a seasonal precipitation for the total length of the chronology (308 years). The reconstructed winter-spring precipitation indicated high hydroclimate variability and severe drought periods were detected from 1778 to 1788, 1798 to 1811, 1817 to 1839, and 1861 to 1904. Pluvials were present from 1789 to 1797, 1840 to 1860, 1905 to 1927, 1964 to 1969, 1987 to 1994, and 2003 to 2007.

Key words: Regional chronology, ring width indices, increment cores, precipitation reconstruction, drought, *Taxodium mucronatum*.

Fecha de recepción: 03 de diciembre de 2009.

Fecha de aceptación: 23 de abril de 2010.

INTRODUCCIÓN

El estado de Guanajuato ocupa el vigésimo segundo lugar en extensión territorial de México y es uno de los más productivos a nivel nacional, pues destaca en la industria minera, petroquímica y de calzado, agricultura, ganadería y turismo. Su ubicación geográfica al centro de la república le da gran accesibilidad tanto al Golfo de México, como al Océano Pacífico, por lo que representa el punto central entre las principales ciudades del país y las fronteras norte y sur, situación que resulta estratégica para su desarrollo económico (INEGI, 2005). El mayor problema que enfrenta la entidad en el tema del agua es la sobreexplotación de los acuíferos, para satisfacer la demanda de todos los sectores (agrícola, urbano, industrial, recreación, etc.). Desde 1990, del 25% de los pozos nacionales que se localizan en Guanajuato, 85% se destinaban al riego; para 1995 se incrementaron a 16,505 y en 1998 se registraron 16,500 aprovechamientos de agua subterránea, de los cuales 14,439 eran pozos; a la fecha, se estima que existen alrededor de 20,000. El volumen total concesionado es de 4,007.3 m³; de ellos 83% (3,326 m³) son de uso agrícola, 14% (561 m³) para el abastecimiento público y el resto para la industria y el sector termoeléctrico (INE, 2003; INAFED, 2005; CONAGUA, 2007).

El acelerado crecimiento poblacional y el empleo poco eficiente del agua, así como su creciente demanda, han provocado que el suministro público sea cada vez más difícil de atender, lo que obliga a su extracción a mayor profundidad, lo que incide en la disminución de su nivel subterráneo y origina hundimiento de terrenos y formación de fallas; todo ello afecta la infraestructura urbana, ya que en la actualidad la

¹Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Correo-e: nayeli_coba@yahoo.com.mx

²Centro Nacional de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera (CENID-RASPA), INIFAP.

³Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF), INIFAP.

⁴Campo Experimental Tlaxcala, Centro de Investigación Regional Centro (CIR-CENTRO), INIFAP.

extracción anual supera la recarga (INAFED, 2005).

La agricultura es una de las principales actividades económicas y la que representa una demanda superior de agua en el estado. Por otra parte, la región centro-sur o Bajío Guanajuatense es la zona más importante desde el punto de vista agrícola, pues reúne la extensión más amplia cultivada bajo el régimen de riego, además de que aporta la mayor producción a nivel nacional (INEGI, 1998).

De acuerdo con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la variabilidad de la precipitación en Guanajuato mediante la generación de cronologías basadas en anillos de crecimiento de *Taxodium mucronatum* Ten. (ahuehuate o sabino) para realizar reconstrucciones de precipitación e identificar períodos extremos de humedad y de sequía, información que es de gran trascendencia para el manejo y planeación actual y futura del uso del agua en la región centro-sur del estado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro de la zona centro-sur de Guanajuato se ubicaron dos rodales de ahuehuate en ecosistema de bosques de galería en los municipios de Jerécuaro y Manuel Doblado. Ambos sitios pertenecen a la región hidrográfica Lerma-Chapala-Santiago (RH12), en la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico. El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano, temperatura media anual de 14 a 18°C, precipitación de 600 a 800 mm anuales y suelos de tipo Vertisol compuestos por arcillas.

En las dos localidades el agua es utilizada con fines de riego, principalmente, para lo cual las presas juegan un papel fundamental, además de control de avenidas extremas (Figura 1), (Cuadro 1) (INEGI, 1998).

Se extrajeron entre dos y cuatro núcleos de crecimiento o virutas por árbol con un taladro de Pressler, marca Hagloff, SUUNTO, de 50.8 a 70.12 cm, con un diámetro interno de 5.1 mm y de 2 a 3 cuerdas, de especímenes seleccionados de ahuehuate de apariencia longeva y sin daño aparente. Las muestras obtenidas se identificaron y montaron en secciones acanaladas de madera, para después pulirlas con lijas de diverso grado (fino a grueso).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de los rodales de ahuehuate en los municipios Jerécuaro y Manuel Doblado, Guanajuato.

Sitio	Clave	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Altitud (m)
Jerécuaro	JER	20.166	-100.484	1,974
Manuel Doblado	MDO	20.651	-101.881	1,735

En el Laboratorio de Dendrocronología del INIFAP, con apoyo de un estereoscopio trinocular de alta resolución, se contaron y fecharon los anillos decrecimiento al año exacto de su formación (Stokes y Smiley, 1968). Posteriormente, se midió el ancho de anillo total con un sistema de medición VELMEX, información que se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001) Las tendencias biológicas y geométricas no relacionadas con el clima se removieron mediante el programa ARSTAN al insertar una

curva exponencial negativa o línea recta a la serie de medición y dividir cada valor anual de medición entre el valor obtenido de la curva (Cook, 1987).

Para determinar la influencia del clima en el crecimiento estacional del ahuehuate, se ubicaron aquellas estaciones más cercanas a los sitios de recolecta, para lo cual se utilizó la base climática ERIC III (Extractor Rápido de Información Climática) (IMTA, 1997) (Figura 1, Cuadro 2). La respuesta climática entre precipitación y crecimiento anual se analizó con la subrutina RESPO, por sus siglas en inglés (Análisis de Función de Respuesta), que permite identificar el período de respuesta climática de la especie. Los datos disponibles se analizaron con la subrutina VERIFY; con la mitad de ellos, se realizó una calibración y con la otra una verificación (Fritts, 1991). Por último, se obtuvo una ecuación de transferencia para desarrollar la reconstrucción de precipitación en el total de la cronología. La serie de alta frecuencia se ajustó con una curva decenal flexible, para resaltar eventos de baja frecuencia (períodos secos o húmedos) (Cook y Peters, 1981).

Los períodos reconstruidos con sequías extremas o con lapsos de tiempo húmedos se cotejaron con archivos históricos de la región y a nivel nacional; así como con reconstrucciones de precipitación previamente desarrolladas con anillos de árboles para otras regiones del norte y noreste de México. Con este análisis se considera factible determinar la extensión de los eventos secos y la influencia de patrones atmosféricos circulatorios, como es el caso concreto de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés).

Para lo anterior, se compararon los índices de ENSO y los de lluvia tropical (TRI, por sus siglas en inglés) contra el índice de ancho de anillo, se siguió el mismo proceso para la precipitación reconstruida.

Se utilizó el TRI porque es un estimativo de la variabilidad de ENSO, al considerar anomalías de precipitación en la región del Océano Pacífico Central y que puede tener mayor estabilidad que el índice Tahití-Darwin, con el que se estima la variabilidad de ENSO (Wright, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se estudiaron dos poblaciones de *T. mucronatum* en la región centro-sur del estado de Guanajuato con lo que se generaron dos series de tiempo: la primera de 128 años (1880 - 2007) para el municipio de Jerécuaro y la segunda de 237 años (1770 - 2006) para el municipio de Manuel Doblado.



Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo y de las estaciones climáticas utilizadas para generar una base de datos de precipitación regional para la zona centro-sur de Guanajuato.

Cuadro 2. Estaciones climáticas para generar una base de datos regional de precipitación para la zona centro-sur de Guanajuato.

Nombre de la estación	Longitud (grados)	Latitud (grados)	Altitud (m)
Calderones	-101.200	21.000	1,900
Guanajal, San Francisco del Rincón	-101.867	21.067	1,778
Hacienda de Arriba, León	-101.700	21.200	1,950
Irapuato, Irapuato	-101.350	20.683	1,724
Jaral de Berrios, San Felipe	-101.017	21.683	----
Las Adjuntas, Tierra Blanca	-101.850	20.683	1,500
Ocampo, Ocampo	-101.517	21.633	1,238
San Antonio de los Martínez, San Luis de la Paz	-101.044	21.074	2,280
Salamanca, Salamanca	-101.183	20.567	1,722
Presa del Barrial, San Francisco del Rincón	-101.833	21.050	2,043

Del análisis de correlación y de componentes principales entre ambas cronologías resultó que presentan una variabilidad común y significativa ($p < 0.05$) por lo cual se trabajó en integrar una serie de tiempo y generar una reconstrucción de precipitación regionales de los últimos 238 años (1770 - 2007).

Con un análisis de correlación entre los índices dendrocronológicos y los datos de precipitación regional promedio procedentes de 10 estaciones climáticas del estado para el intervalo de 1959 a 2004, se determinó que el período del año en que dicho factor influye de manera significativa en el crecimiento de los árboles incluye los meses de enero a agosto; no obstante, al comparar los índices dendrocronológicos con el lapso estacional con mayor correlación, enero - mayo, ésta aumenta ($r = 0.75$, $p < 0.05$) (Figura 2).

Al relacionar la serie de índices de crecimiento de anillo total con los registros instrumentales regionales para el período estacional enero-mayo que abarca de 1959 a 2004, se observa una asociación significativa entre ambas variables con una correlación de $r = 0.75$ ($p < 0.0001$), lo que implica que la serie dendrocronológica posee un alto potencial para fines de reconstruir precipitación en los meses considerados; en el análisis se eliminaron los años que mostraron información atípica: 1986, 1989, 1995 y 2003, es decir, aquellos en los que no se presenta una relación lógica entre el grosor de los anillos y el dato de la variable climática, con el objeto de lograr mayor confiabilidad estadística en el modelo de regresión (figuras 3 y 4).

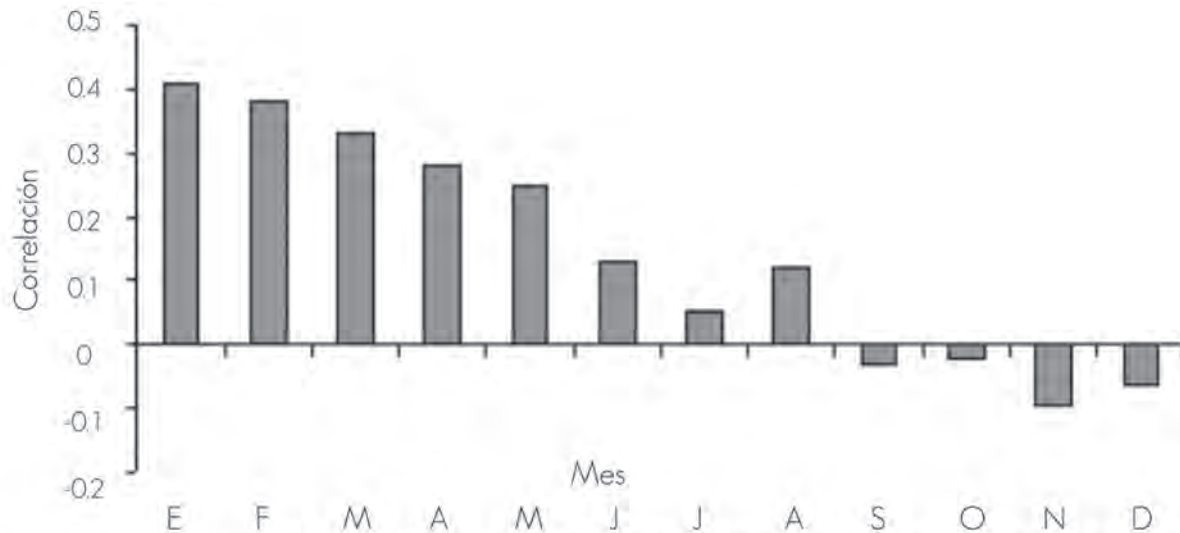


Figura 2. Correlación entre los índices dendrocronológicos de anillo total y los registros de precipitación promedio para el periodo 1959 a 2004.

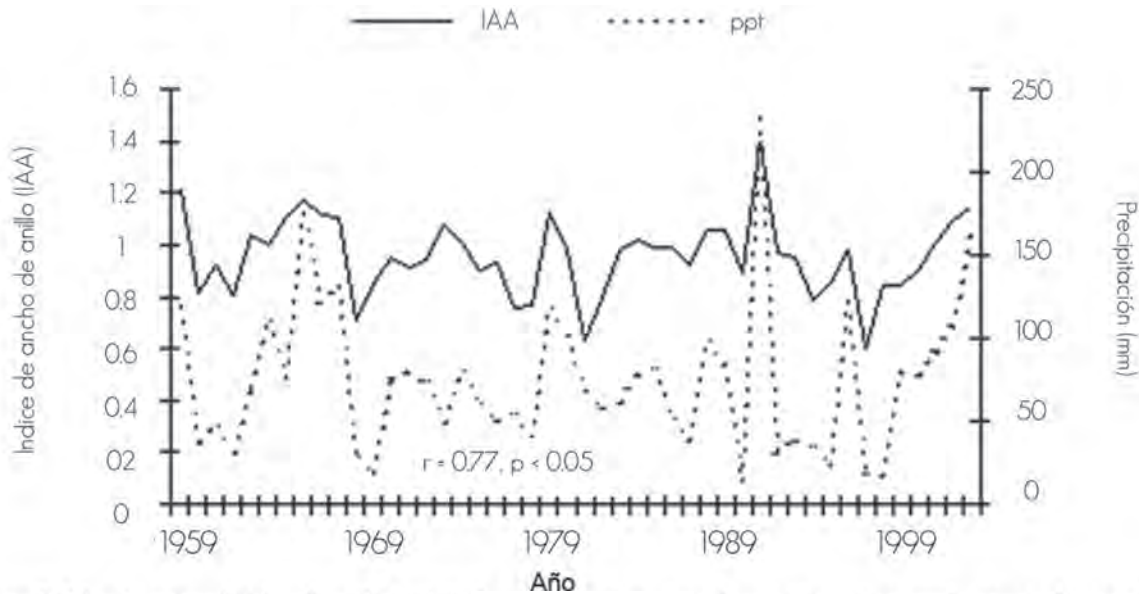


Figura 3. Relación entre el índice de anillo total de *Taxodium mucronatum* y la precipitación promedio regional para el periodo enero-mayo.

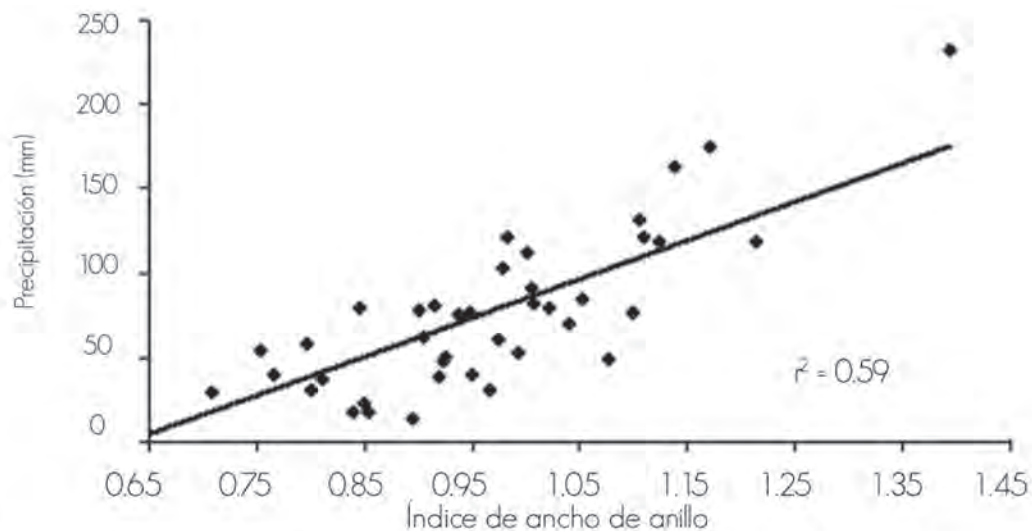


Figura 4. Gráfico de dispersión del modelo de regresión que muestra la variabilidad de la cronología regional de ancho de anillo total para la región centro-sur de Guanajuato.

A fin de tener una mayor confiabilidad estadística al generar el modelo de reconstrucción se desarrolló el proceso de calibración-verificación en el total de registros observados disponibles (1959-2004) y precipitación reconstruida; para tal efecto, los datos se dividieron en dos subperíodos: 1959-1982 para calibración y 1983-2004 para verificación (Cuadro 3).

decir la variabilidad genética, características físico-químicas de suelo donde se desarrolla la especie, por ejemplo.

El modelo de regresión obtenido para el período 1959-2004, considerado estadísticamente válido para reconstruir el período total de la cronología es:

$$Y_t = -144.71 + 229.24 X_t$$

Cuadro 3. Estadísticas de verificación para la reconstrucción estacional de precipitación enero-mayo para la región centro-sur de Guanajuato.

Período	Correlación (Pearson)	Reducción del error ^a	Prueba de "t" ^b	Prueba de signos ^c	Primera diferencia negativa	R ² ajustada
1959 - 1979	0.7924*	0.4119*	2.7564*	3*	6 ns	0.78
1980 - 2004	0.7237*	-0.0878 ns	1.725*	8 ns	8 ns	0.71

Significativo (p<0.05); ns = no significativo (p>0.05); a = Reducción del error: cualquier resultado positivo indica que la reconstrucción contribuye únicamente a proporcionar información climática; b = Comparación de la magnitud relativa entre aciertos y fallas en la prueba de "t" indicada; c = Las medias se abstraen de cada serie y los residuales se multiplican (Fritts, 1991)

Los resultados indican que la cronología explica 54% ($r^2 = 0.54$, $p < 0.0001$) de la variabilidad de la precipitación para el período de calibración, mientras que en el de verificación lo hace en 49% ($r^2 = 0.49$, $p < 0.0001$) (Figura 5).

Donde:

Y_t = Valor de la precipitación reconstruida para el periodo enero-mayo de un año particular (mm)

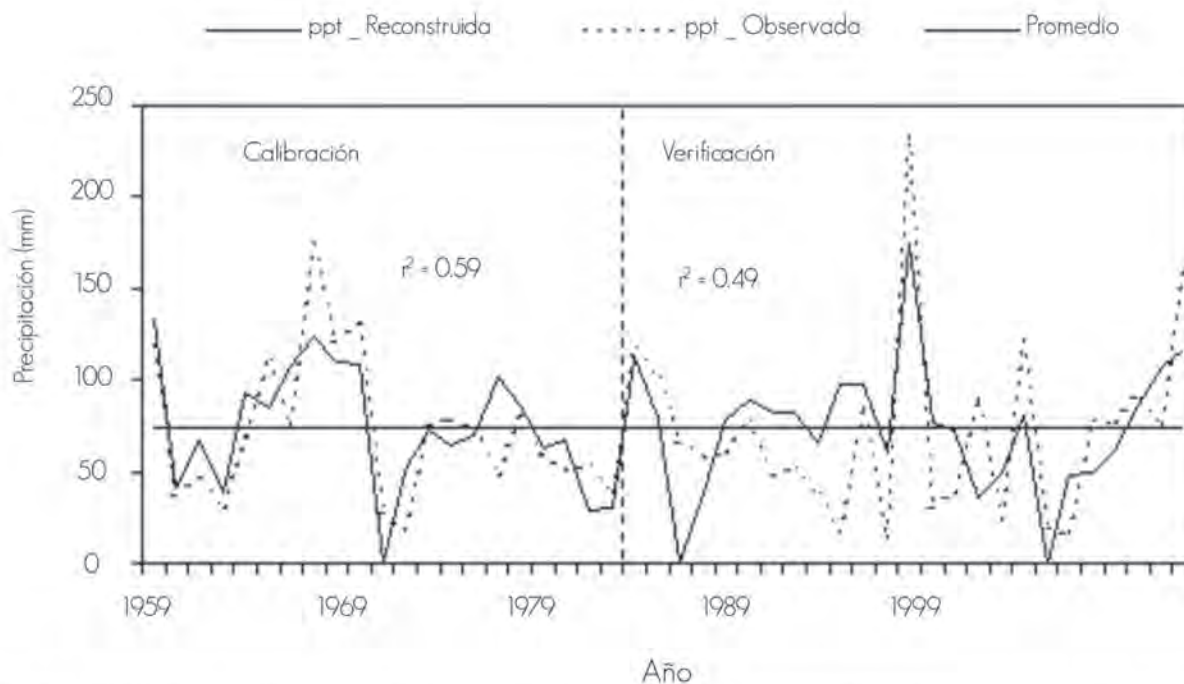


Figura 5. Comparación de precipitación observada y precipitación reconstruida invierno-primavera (enero-mayo) para 46 años de datos climáticos disponibles.

Dado que ambos subperíodos se correlacionaron de manera significativa con los índices de la cronología de anillo total, se utilizó el total de datos climáticos disponibles (1959 a 2004) para el modelo de reconstrucción que mostró una $r^2 = .59$ ($p < 0.001$) (Figura 5, Cuadro 4). Este valor implica que la cronología de anillo total explica 56% de la variabilidad de precipitación observada para la región centro-sur de Guanajuato en el período estacional enero-mayo; el restante 44% del crecimiento obedece a la influencia de otros factores, es

X_t = Índice de anillo total en el mismo año.

La reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para la región centro-sur de Guanajuato comprende 238 años que se extienden de 1770 a 2007 y muestra una alta y baja frecuencia de los patrones de precipitación estacional para esta región. Con el fin de resaltar eventos de baja frecuencia (períodos húmedos y secos) ocurridos a lo largo de la reconstrucción, los datos anuales se ajustaron mediante una línea flexible (spline) representada por una curva suavizada a nivel decenal (Figura 6).

Las causas de la variabilidad climática en la región, de acuerdo a los análisis efectuados, particularmente con índices de ENSO (1950 - 1995) y TRI (1950 - 1995), no muestran impacto significativo; ya que las correlaciones fueron casi nulas con valores inferiores a 0.2 (Cuadro 5).

Al comparar los valores de los índices de la cronología regional con eventos de la fase fría y cálida de ENSO, no se observó un patrón definido en el crecimiento. Así por ejemplo, en el período 1869-2007 se presentaron 37 eventos de la fase fría de ENSO, de los cuales en 15 de ellos (40.5%) se detectaron incrementos superiores a la media (>1.0); mientras que para los 22 restantes (59.5%) fueron inferiores (<1.0). Así mismo en el lapso de 1868-2006 se registraron 30 eventos cálidos de ENSO, aunque sólo 9 (30%) produjeron crecimiento superior a la media (>1.0) y en 21 de ellos (70%) éste resultó inferior (<1.0) (Cuadro 6). Con la información expuesta se puede argumentar la falta de claridad en el impacto del fenómeno ENSO para la región de Guanajuato

estudiada, cuyo crecimiento de los árboles de *T. mucronatum* quizás esté más influenciado por otros fenómenos atmosféricos como pueden ser las tormentas tropicales y el impacto de huracanes (Therrell *et al.*, 2002).

Las sequías reconstruidas cubren de: 1778-1789, 1798-1811, 1817-1839, 1862-1905, 1944-1961, 1977-1985 y 1995-2002 cubren períodos que abarcan algunos de los eventos más importantes que han afectado al estado y otras regiones del país, además de estar respaldados por cronologías realizadas para el centro y norte de México (Cuadro 7).

La sincronización entre eventos de baja frecuencia (períodos húmedos y secos) no es similar en las diversas reconstrucciones de precipitación invierno-primavera, particularmente, si se compara la precipitación reconstruida del centro-sur de Guanajuato con otras desarrolladas para el norte y noreste de México.

Cuadro 4. Análisis de regresión para el total de datos climáticos disponibles.

Periodo	R ²	Coeficientes	Error estándar	Prueba de "t"	Probabilidad
1959 - 2004		-144.71	29.08	-4.97	0.000013
	0.59	229.24	30.18	7.59	0.000000

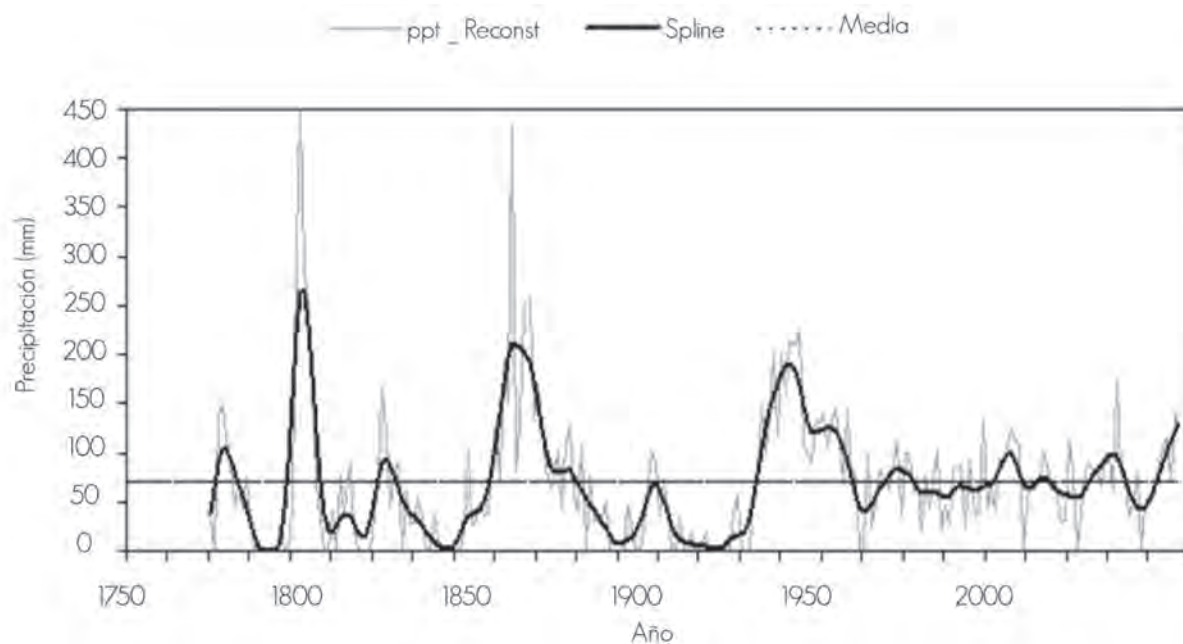


Figura 6. Reconstrucción de la precipitación invierno-primavera para el centro-sur de Guanajuato

Cuadro 5 Análisis de correlación entre la precipitación reconstruida y el índice de ancho de anillo de la cronología regional de ahuehuate contra los índices de ENSO y TRI para distintos periodos de la reconstrucción.

Variables comparadas	Períodos				
	Anual	enero-agosto	enero-mayo	enero-junio	julio-diciembre
ppt rec. vs. índices ENSO	-0.0145	-0.1090	-0.0604	-0.0713	-0.1633
IAA' vs. índices ENSO	-0.1464	-0.1093	-0.0606	-0.0715	-0.1641
ppt rec. vs. TRI	0.0754	0.0815	0.0943	0.1037	0.0309
IAA vs. TRI	0.0686	0.0738	0.0918	0.1017	0.0227

Esta situación pudiera atribuirse al impacto diferente de ENSO para dichas regiones, al ser el efecto de mayor intensidad, en especial la fase cálida de ENSO para el norte de México. No obstante lo anterior, es importante señalar que ciertos períodos húmedos fueron comunes para las reconstrucciones, lo cual significa que eventos ENSO de alta intensidad cubrieron gran parte del territorio nacional (Figura 7).

En el intervalo de 1788 a 1811 en el estado de Guanajuato ocurrieron seis subperíodos secos en los años de: 1780, 1784-1786, 1793, 1803 y 1809 (Endfield *et al.*, 2004); sin embargo, a nivel nacional sólo tuvieron lugar dos que comprendieron de: 1808 a 1809 y de 1810 a 1811, que provocaron pérdidas de cosecha con fuertes repercusiones económicas (Florescano, 1980; García, 1993); además de, hambrunas, carestías e incremento en los precios de los alimentos básicos (Contreras, 2005). La falta de alimento, aunado a la

escasa disponibilidad de agua aun para aseo personal, se asocian a la epidemia de tifus que afectó a la población humana del Valle de México entre 1785 y 1786 (Acuña-Soto *et al.*, 2002).

Sequías históricas detectadas en el centro-sur de la entidad se han presentado simultáneamente, hasta en regiones consideradas húmedas como es el caso de la Península de Yucatán, donde en los períodos 1822-1823 y 1833-1834 ocasionaron migración, hambre y tumulto. En el último período también se presentó alza de precios en Michoacán (Contreras, 2005).

La falta de agua extrema registrada para el periodo 1862-1905 afectó principalmente a Sinaloa, estado en el que hubo muerte masiva de ganado y carestía de grano para las décadas 1860 y 1870, respectivamente (Escobar, 1997).

Cuadro 6. Relación entre los índices de crecimiento (IAA) de la cronología regional de sabino para el centro-sur de Guanajuato y el efecto de las fases frías y cálidas de ENSO.

Año (fase fría)	IAA	Año (fase cálida)	IAA
1906	1.0584	1905	1.2804
1908	1.5023	1911	1.3305
1909	1.1461	1913	1.5455
1910	1.5076	1918	1.2104
1916	1.0601	1940	1.0585
1922	1.2060	1963	1.0402
1924	1.1175	1965	1.1009
1938	1.1216	2002	1.0068
1954	1.0660	2006	1.2517
1956	1.0444		
1964	1.0026		
1967	1.1110		
1974	1.0774		
1975	1.0079		
2007	1.1726		

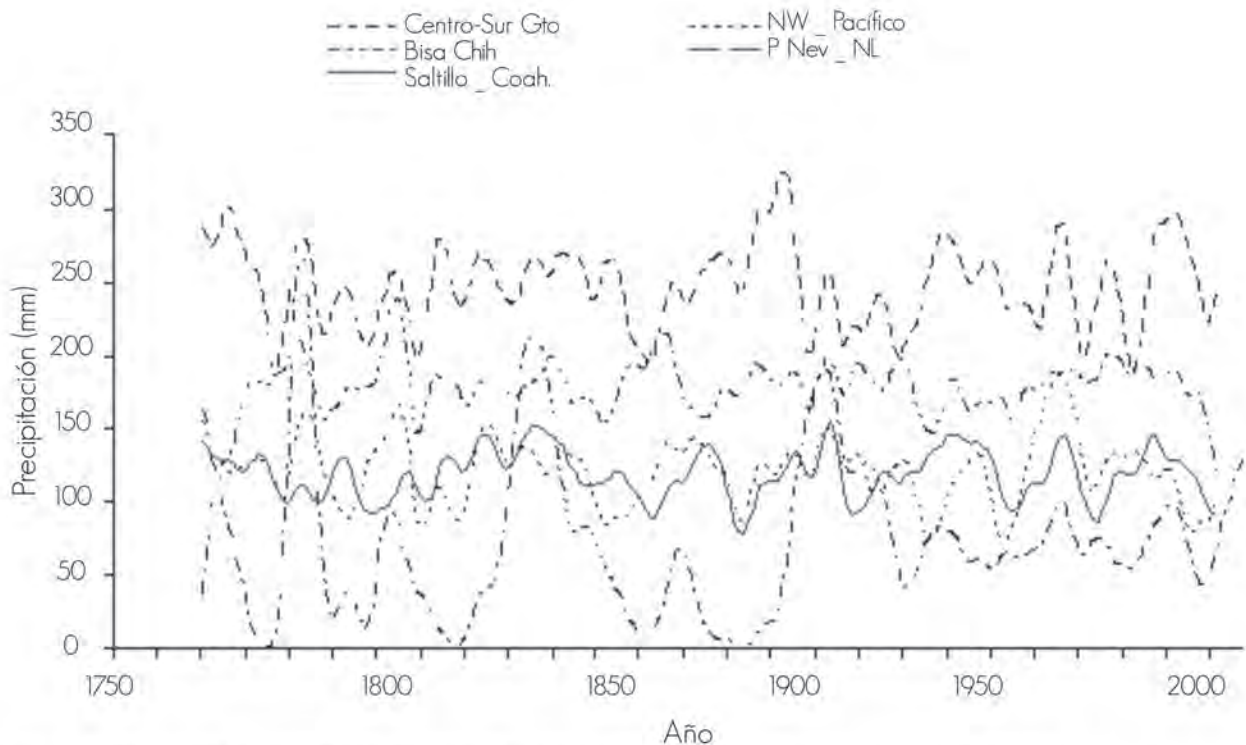


Figura 7. Tendencias de la precipitación reconstruida invierno-primavera para diversas regiones de México.

Cuadro 7 Comparación de los períodos reconstruidos de sequías para el centro-sur de Guanajuato con sequías reconstruidas con anillos de árboles para el centro y norte de México.

Cronología existente Periodo reconstruido	Díaz <i>et al.</i> (2001)	Díaz <i>et al.</i> (2002)	Pohl <i>et al.</i> (2003)	Villanueva <i>et al.</i> (2005)	González-Elizondo <i>et al.</i> (2005)	Therrell <i>et al.</i> (2006)	Villanueva <i>et al.</i> (2007)	Villanueva <i>et al.</i> (2008)	Villanueva <i>et al.</i> (2009)
1778-1789					1772-1779	1785	1784-1789		1767-1778 1785-1790
1789-1811				1797-1811	1805		1806-1809		1797-1805
1817-1839		1820				1835-1843	1817-1820		
1862-1905			1857-1880	1857-1872 1880-1896	1857-1876		1867-1875	1890-1900 1934-1956	1859-1868 1882-1887
1944-1961	1939-1958	1943-1969	1953-1957	1950-1957				1950-1965	1945-1960
1977-1985		1980							
1995-2002									1993-2002

En el centro-norte de México, las sequías de: 1882-1883, 1889-1890 y 1891-1895 propiciaron migración y afectaron drásticamente la ganadería (Escobar, 1997; Contreras, 2005).

Las condiciones de precipitación por arriba del promedio regional reconstruidos se observaron en los periodos de: 1789-1797, 1839-1860, 1906-1927, 1963-1970, 1987-1995 y 2003-2007. Antes de 1950 se reconstruyeron tres de los más húmedos, entre los que destacan: 1789-1797, 1840-1860 y 1905-1927, que en algunos años alcanzó valores de 450 mm. Posterior a 1950 se registraron tres nuevos eventos con lluvia por arriba de la media regional, aunque a diferencia de los anteriores a este año, el más húmedo apenas tuvo condiciones superiores a los 170 mm de precipitación.

En el estado de Guanajuato han ocurrido inundaciones desde el siglo XVII hasta nuestros días. De 1970 a 2003 han tenido lugar 55 severas en 19 municipios, entre ellas destacan las que sucedieron en los años: 1770, 1772, 1780, 1788, 1803, 1883, 1887, 1888, 1890, 1967, 1971, 1973, 1998 y 2003. Las consecuencias de estos desastres naturales, provocados por lluvias extraordinarias, fue el desbordamiento de ríos que ocasionó la muerte y desaparición de personas, pérdida de casas, caminos anegados y terrenos situados aguas abajo (Garza, 1998; CEAG, 1999; García-Acosta *et al.*, 2003; Escobar, 2004); sin embargo, no todos se originaron por las intensas lluvias, sino por causas antropogénicas como la invasión de cauces de ríos y la acumulación de sedimentos, escombros o basura que alteran las llanuras inundables (Salas y Jiménez, 2004; Matías *et al.*, 2007; Endfield *et al.*, 2004).


CONCLUSIONES

Se reconstruyó la precipitación estacional invierno-primavera de 238 años para la zona centro sur de Guanajuato, la cual sugiere que las condiciones hidroclimáticas dominantes son similares, por lo tanto, es representativa de esta región. Los períodos más secos reconstruidos se presentaron de: 1778 a 1789, 1798 a 1811, 1817

a 1839, 1862 a 1905, 1944 a 1961, 1977 a 1985 y de 1995 a 2002; mientras que, los que tuvieron condiciones de precipitación por arriba del promedio regional comprendieron los años de: 1789 a 1797, 1839 a 1860, 1906 a 1927, 1963 a 1970, 1987 a 1995 y 2003 a 2007, dichos periodos coinciden en gran medida con eventos históricos documentados relacionados con sequías, inundaciones, epidemias y crisis agrícolas intensas para Guanajuato y otros estados del país.

El efecto de patrones circulatorios como es el caso de ENSO en la precipitación de la entidad estudiada no mostró una influencia significativa, excepto la presencia de "Niños" muy intensos que se han detectado simultáneamente en otras regiones de la República Mexicana. Esto indica el potencial que tienen las cronologías de anillos de árboles para entender la variabilidad hidroclimática histórica de esta región en los últimos siglos; así como, para analizar la cobertura y distribución de los fenómenos climáticos. Debido a lo anterior es pertinente ampliar la red de cronologías de anillos de árboles en otras partes de Guanajuato y estados circunvecinos, para determinar con más precisión, la influencia de dicho patrón circulatorio y de otros más, que pudieran resultar importantes para explicar el clima.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el financiamiento otorgado a través del proyecto "Manejo integral de los recursos naturales en el ámbito de la Ciudad de León, Guanajuato" que concensó en la convocatoria CONACYT CONAFORT 2006-01, con clave 33366, por el cual fue posible realizar este trabajo. 

REFERENCIAS

- Acuña-Soto R., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland y M. D. Therrell. 2002. Megadrought and megadeath in 16th century Mexico. *Emerging Infectious Diseases* 8(4): 360-362.
- Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (CEAG). 1999. Diagnóstico de la situación hidráulica del estado de Guanajuato, Comisión Estatal del

- Agua de Guanajuato. Guanajuato, Gto. México. 22 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2007. Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 259 p.
- Contreras S., C. 2005. Las sequías en México durante el siglo XIX. *Investigaciones Geográficas*. 56: 118-133.
- 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.
- Díaz, S. C., R. Touchan and T. W. Swetnam. 2001. A Tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico. *International Journal of Climatology* 21: 1007-1019.
- Díaz, S. C., M. D. Therrell, D. W. Stahle and M. K. Cleaveland. 2002. Chihuahua winter-spring precipitation reconstructed from tree-rings, 1647-1992. *Climate Research* 22: 237-244.
- Endfield, G. H., I. Fernández T. and S. L. O'Hara. 2004. Conflict and cooperation: water, floods and social response in colonial Guanajuato, Mexico. *Environmental History*. 9 (2): 14 - 43.
- Escobar O., A. 1997. Las sequías y su impacto en las sociedades del México Decimonónico, 1856-1900. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Historia y Desastres en América Latina. Volumen II. CESAS, México, D. F. México.* 32 p.
- Escobar O., A. 2004. Catálogo de desastres agrícolas en México. Tomo II. Siglo XIX (1822-1900). Fondo de Cultura Económica. México, D. F. México. 31 p.
- Florescano, E. M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, D. F. México. 157 p.
- Fritts, H. C. 1991. *Reconstructing large-scale climatic patterns from tree-ring data.* University of Arizona Press. Tucson, AZ. USA. 286 p.
- García A., V. 1993. Las sequías históricas en México. *Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Desastres y Sociedad. Núm. 1. Año 1.* 2 - 18 p.
- García-Acosta, V., A. Molina y J. M. Pérez. 2003. Catálogo de desastres agrícolas en México. Tomo I Épocas prehispánica y colonial (1958-1822). Fondo de Cultura Económica. México, D. F. México. 506 p.
- Garza-Salinas, M. A. 1998. "Breve historia de la Protección Civil en México": en los desastres en México, una perspectiva multidisciplinaria. Universidad Iberoamericana-Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México, pp. 247-280.
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Nívar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva D., O. Aguirre and J. Jiménez. 2005. Tree-ring and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the la Sierra Madre Occidental, Mexico: A 1681-2001 rain reconstruction. *Forest Ecology and Management* 213: 39-53.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205 - 221.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree Ring Bulletin* 43: 69 - 78.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA); 1997. Estaciones climáticas, extraído de ERIC (Extractor Rápido de Información Climática). 1 CD. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-IMTA, Jiutepec, Mor. México.
- Instituto Nacional para el Fideicomiso y el Desarrollo Municipal (INAFED). 2005. Estado de Guanajuato. Enciclopedia de los Municipios de México. Instituto Nacional para el Fideicomiso y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Guanajuato. <http://www.wemexico.gob.mx/work/EMM/8/guanajuato/preshtm> [5 de octubre de 2008].
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2003. Diagnóstico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. Instituto Nacional de Ecología. Dirección de Investigación de ordenamiento ecológico y conservación de ecosistemas. Dirección de Manejo Integral de Cuencas Hídricas. México, D. F. México. 226 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1998. Estudio Hidrológico del estado de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato. Guanajuato, Gto. México. 151 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. II Censo de Población y Vivienda. <http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general/MDXQueryGrafica.asp?#Regreso&c=10401> [28 de septiembre de 2008].
- Matías R., J. G., O. Oropeza O., J. Lugo H., M. Cortez V. y E. Jáuregui O. 2007. Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas* 64: 7-25.
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. G. Cabrera H., S. Díaz, E. Cornejo O., J. A. Elvir, M. Gonzalez E., D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal S., Vazquez S., J. Villanueva-Díaz and D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. *Tree-ring Research* 59(1): 11-19.
- Salas, M. y M. Jiménez. 2004. Inundaciones. CENAPRED. México, D. F. México. 53 p.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. *An introduction to tree-ring dating.* The University of Chicago Press, Chicago, IL. USA. 73 p.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, M. K. Cleaveland and J. Villanueva D. 2002. Warm season tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research* 107 (D14):6-1 - 6-7.
- Therrell, M. D., D. W. Stahle, J. Villanueva D., E. Cornejo O., M. K. Cleaveland. 2006. Tree-ring reconstructed maize yield in central Mexico: 1474-2001. *Climatic Change* 74: 493-504.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez S., R. Morán M. and B. H. Luckman. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: Water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera, Mexico. *Dendrochronologia* 22: 215-223.
- Villanueva-Díaz, J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano-Paredes, M. D. Therrell and M. K. Cleaveland. 2007. Winter-spring precipitation reconstructions from tree rings for northeast Mexico. *Climate Change* 83: 117-131.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., J. Estrada A. y R. Morán M. 2008. Respuesta climática de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco en Sierra la Madera, Cuatrociénegas, Coahuila. *Rev. Cien. For. en Méx.* 33 (104): 17-35.
- Villanueva D., J., P. Z. Fulé, D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P. y J. Estrada A. 2009. Reconstrucción de precipitación para el Barlovento de la Sierra Madre Occidental. *Rev. Cien. For. en Méx.* 34 (105): 37 - 69.
- Wright, P. B. 1979. Persistence of rainfall anomalies in the central Pacific. *Nature* 277: 371 - 374.