

RECONSTRUCCIÓN DE SEQUÍAS FUERTES EN EL PARQUE NACIONAL “PICO DE TANCÍTARO”, MICHOACÁN

RECONSTRUCTION OF SEVERE DROUGHTS IN “PICO DE TANCÍTARO” NATIONAL PARK, MICHOACÁN

Julián Cerano-Paredes¹; José Villanueva-Díaz¹; Rosalinda Cervantes-Martínez¹; Ramón Trucios-Caciano¹; José L. Guerrero-Soto²

¹INIFAP CENID-RASPA. km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, MÉXICO. C. P. 35140. Tel: 871 159 01 04 y 159 01 05.

Correo-e: cerano.julian@inifap.gob.mx (* Autor para correspondencia)

²CONAFOR. Periférico Independencia Núm. 4193, Fracc. Ana María Gallaga (Riviera I). Morelia, Michoacán. MÉXICO. C. P. 58195 Tel: 443 308 13 04.

RESUMEN

El parque nacional Pico de Tancítaro representa la fuente de agua más importante dentro del ciclo de captación y recarga de los acuíferos de la región oeste de Michoacán. El conocimiento de la variabilidad de la precipitación a través del tiempo es fundamental. Sin embargo, se carece de series extensas de datos climáticos y de calidad; por tal motivo, el presente trabajo tuvo los siguientes objetivos: 1) reconstruir la variabilidad de la precipitación para el parque nacional Pico de Tancítaro con base en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa*, y 2) analizar la frecuencia de sequías durante el siglo XX y el primer decenio del siglo XXI. Así, fueron tomadas muestras de *A. religiosa* y se fecharon mediante técnicas dendrocronológicas estandarizadas. La calidad del fechado y su respuesta climática se verificaron con el software COFECHA. Las series presentaron una correlación significativa ($r=0.473$; $P < 0.01$), lo cual indica su potencial para generar series dendroclimáticas. La precipitación se reconstruyó para los últimos 127 años (1884-2010). Las sequías más severas se reconstruyeron para los periodos 1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989 y 1998-2004. Asimismo, se observó un efecto severo de la erupción del volcán Parícutín (1943) sobre el clima regional.

PALABRAS CLAVE:

Dendrocronología, sequías, Pico Tancítaro, *Abies religiosa*.

ABSTRACT

Pico de Tancítaro National Park is the most important source of water for the collection and recharge cycle of the aquifers located in western region of the state of Michoacán. Understanding the precipitation variability throughout time is crucial. Nonetheless, there is a lack of extensive and quality series on climatic data. For this reason, this work established the following objectives: 1) to reconstruct the precipitation variability for Pico de Tancítaro National Park based on the *Abies religiosa* growth rings, and 2) to analyze the drought frequency during the XXth century and the first decade of the XXIst century. Thus, some *A. religiosa* samples were taken and dated using standardized dendrochronological techniques. The quality of the dating as well as the quality of its climatic response were verified with the COFECHA software. These series presented a significant correlation ($r=0.473$; $P < 0.01$), which indicates their potential to generate dendroclimatic series. The precipitation of the last 127 years (1884-2010) was reconstructed. The severest droughts were reconstructed for the 1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989, and 1998-2004 periods. It was also found that the Parícutín volcano eruption (1943) had a significant effect on regional climate.

KEYWORDS: Dendrochronology, droughts, Pico de Tancítaro, *Abies religiosa*



Recibido: 19 de junio, 2012
Aceptado: 15 de abril, 2013
<http://www.chapingo.mx/revistas>
doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.026

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital para cada uno de los procesos de los seres vivos (Fuentes y Bocco, 2003) y también fuente de conflictos de la era moderna (Ortiz *et al.*, 1998). En el caso de Michoacán, la cuenca del río Balsas es una de las cuencas de mayor relevancia por su extensión y significado, tanto socioeconómico como ambiental, en los ámbitos nacional y estatal. Dentro de ella está ubicado el Parque Nacional Pico de Tancítaro (INEGI-SEMARNAP, 1997).

El Pico de Tancítaro es la reserva más grande y de mayor elevación del estado, con más de 23,000 ha y un rango altitudinal de 2,200 a 3,860 m. Está enclavado en la cadena montañosa del Eje Neovolcánico Transversal y comprende los municipios de Tancítaro, San Juan Nuevo Parangaricutiro, Peribán de Ramos y Uruapan (INEGI, 1996). El Pico de Tancítaro representa una riqueza hidrológica para la región y el principal elemento para su desarrollo económico (Fuentes y Bocco, 2003). Por ello, el análisis histórico de su variabilidad climática es fundamental; sin embargo, el registro de las variables climáticas por microrregiones es deficiente dado que no existen actualmente estaciones dentro del parque nacional, y las localizadas en los alrededores carecen de registros extensos y de calidad (IMTA, 2000).

En este contexto, los registros de los anillos de los árboles pueden ser usados para recuperar información climática del pasado a una escala de resolución anual. Por ello, el presente trabajo tuvo estos objetivos: 1) reconstruir la variabilidad de la precipitación en el parque nacional Pico de Tancítaro con base en los anillos de crecimiento de *Abies religiosa*, y 2) analizar la frecuencia de sequías durante el siglo XX y el primer decenio del siglo XXI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El parque nacional Pico de Tancítaro se localiza en la parte centro occidente de México, en el oeste del estado de Michoacán, entre las coordenadas 19° 20' 00'' y 19° 32' 00'' de latitud norte y 102° 13' 05'' y 102° 23' 05'' de longitud oeste (Figura 1).

Etapas de campo

En el Pico de Tancítaro se seleccionaron rodales de *Abies religiosa*, y luego se tomaron muestras de árboles vivos con el apoyo de un taladro de Pressler y secciones transversales de árboles muertos y tocones con una motosierra.

Etapas de laboratorio

Las muestras se prepararon en laboratorio. Se usaron lijas de diferente tamaño de grano (120 a 1,200) para resaltar las estructuras de crecimiento anual y facilitar el análisis micros-

INTRODUCTION

Water is a vital resource for each of the processes carried out by living beings (Fuentes and Bocco, 2003), and also a source of conflict in the modern era (Ortiz *et al.*, 1998). In regard to the state of Michoacán, the Balsas River basin is one of the most important watersheds due to its size and significance, both socioeconomic and environmental, at the state and national level. It is within its limits that Pico de Tancítaro National Park is located (INEGI-SEMARNAP, 1997).

The Pico de Tancítaro area is the largest and highest natural reserve in the state, consisting of more than 23,000 ha at an altitude ranging from 2,200 to 3,860 m. It is part of the Transvolcanic Belt mountain range and comprises the municipalities of Tancítaro, San Juan Nuevo Parangaricutiro, Peribán de Ramos, and Uruapan (INEGI 1996). Pico de Tancítaro represents a hydrological wealth for the region and the main element for its economic development (Fuentes and Bocco, 2003). Thus, the historical analysis of climatic variability is crucial. However, the record of climatic variables by micro-regions is deficient due to the fact that there are no stations in the national park at the present time, and the ones located in the surrounding area have records lacking in quality and extensiveness (IMTA, 2000).

In this context, tree-ring series could be used to recover climatic information from the past in an annual resolution scale. Therefore, this research had the following objectives: 1) to reconstruct the precipitation variability for Pico de Tancítaro National Park based on the *Abies religiosa* growth rings, and 2) to analyze the drought frequency that took place during the twentieth century, and during the first decade of the twenty-first century.

MATERIALS AND METHODS

Study Area

Pico de Tancítaro National Park is located in the western part of central Mexico, in the western region of the state of Michoacán, between 19° 20' 00'' and 19° 32' 00'' N latitude, and 102° 13' 05'' and 102° 23' 05'' W longitude (Figure 1).

Fieldwork stage

In the park, some *Abies religiosa* stands were selected and then live tree samples were taken with the aid of a Pressler borer and a chainsaw was used to obtain cross-sections of dead trees and stumps.

Laboratory stage

The samples were prepared in the laboratory. Sandpapers with different grain size (from 120 to 1,200) were used to highlight the annual growth structures and facilitate microscopic analysis. Each of the growth rings was dated back

cópico. Cada uno de los anillos de crecimiento fue datado al año exacto de formación mediante técnicas dendrocronológicas estandarizadas (Stokes y Smiley, 1968). Después se midieron individualmente empleando un sistema de medición VELMEX con precisión de 0.001 mm. El fechado, calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo fueron verificados con el programa COFECHA (Holmes, 1983). Las tendencias biológicas y geométricas no relacionadas con clima se removieron con el programa ARSTAN (Cook y Holmes, 1984). Fue generada una serie de índices normalizados (cronologías) con media 1.0 y varianza homogénea (Cook, 1987; Fritts, 2001). La cronología se comparó con datos regionales de precipitación, y así se generó un modelo de regresión lineal que permitió, con base en los índices de ancho de anillo, reconstruir la variabilidad de la precipitación.

to the precise year of formation by means of standardized dendrochronological techniques (Stokes and Smiley, 1968). Next, they were individually measured with the VELMEX measurement system with an accuracy of 0.001 mm. Dating, climatic response quality, and precision in the measurement of each ring were verified through the COFECHA program (Holmes, 1983). Biological and geometric trends unrelated to climate were removed using the ARSTAN program (Cook and Holmes, 1984). A series of normalized indices (chronologies) was generated with an average of 1.0, and a homogeneous variance (Cook, 1987; Fritts, 2001). The resulting chronology was compared with regional precipitation data, and thus a linear regression model was generated, allowing the reconstruction, based on the ring width indices of the precipitation variability.

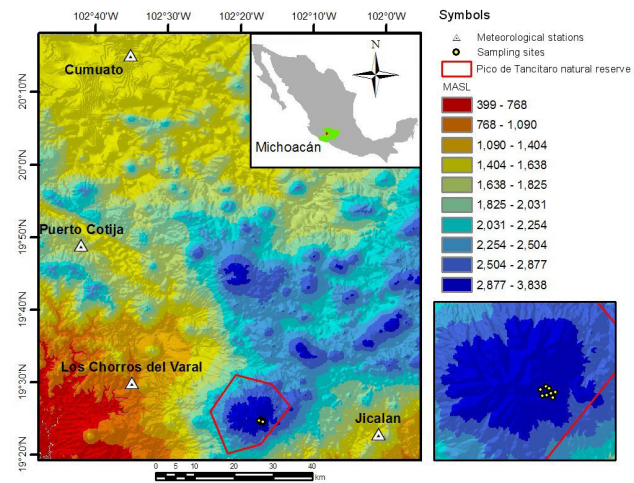
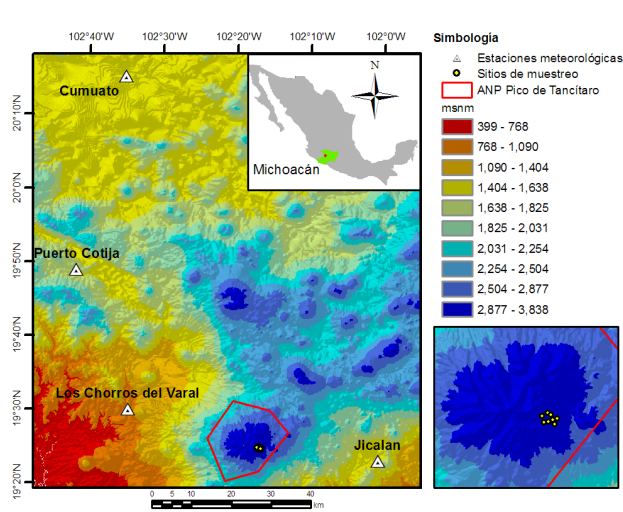


FIGURA 1. Modelo digital de elevación que muestra la ubicación geográfica del área de estudio en el parque nacional Pico de Tancitaro, Michoacán, y las estaciones meteorológicas empleadas para el análisis dendroclimático en la región oeste del estado de Michoacán.

FIGURE 1. Digital elevation model showing the geographic location of the study area within Pico de Tancitaro National Park, Michoacán state, and the meteorological stations used in the dendroclimatic analysis in the western region of the state of Michoacán.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTS AND DISCUSSION

Veinticinco (25) series de *Abies religiosa* fueron fechadas al año exacto de su formación; los resultados de COFECHA indicaron una intercorrelación entre series con $r = 0.473$ ($P \leq 0.01$). El programa COFECHA establece como mínima una correlación significativa ($P \leq 0.01$) de $r=0.3281$ entre series (Holmes, 1983). El resultado indica, entonces, un valioso potencial de uso de las series de *Abies religiosa* para ser consideradas Proxy de la variabilidad climática de la región.

Twenty five *Abies religiosa* series were dated to their exact year of formation; the results obtained from the COFECHA program indicated an intercorrelation between series with $r = 0.473$ ($P \leq 0.01$). This program sets as a minimum a significant correlation ($P \leq 0.01$) of $r=0.3281$ between series (Holmes, 1983). Thus, the result shows a valuable potential usage of the *Abies religiosa* series to be considered the climatic variability proxies of the region.

Se generó una cronología o serie de tiempo para los últimos 127 años (1884 a 2010). Asimismo, con base en los datos regionales de precipitación de 1979 a 1995 (17 años) de las estaciones Cumuato, Puerto Cotija, Los Chorros del Varal y Jicalán (Figura 1), se generó un modelo de regresión lineal:

A chronology or time line was generated for the past 127 years (from 1884 to 2010). Additionally, based on the regional precipitation data from 1979 to 1995 (17 years) obtained from the Cumuato, Puerto Cotija, Los Chorros del Varal, and Jicalán stations (Figure 1), a linear regression model was generated:

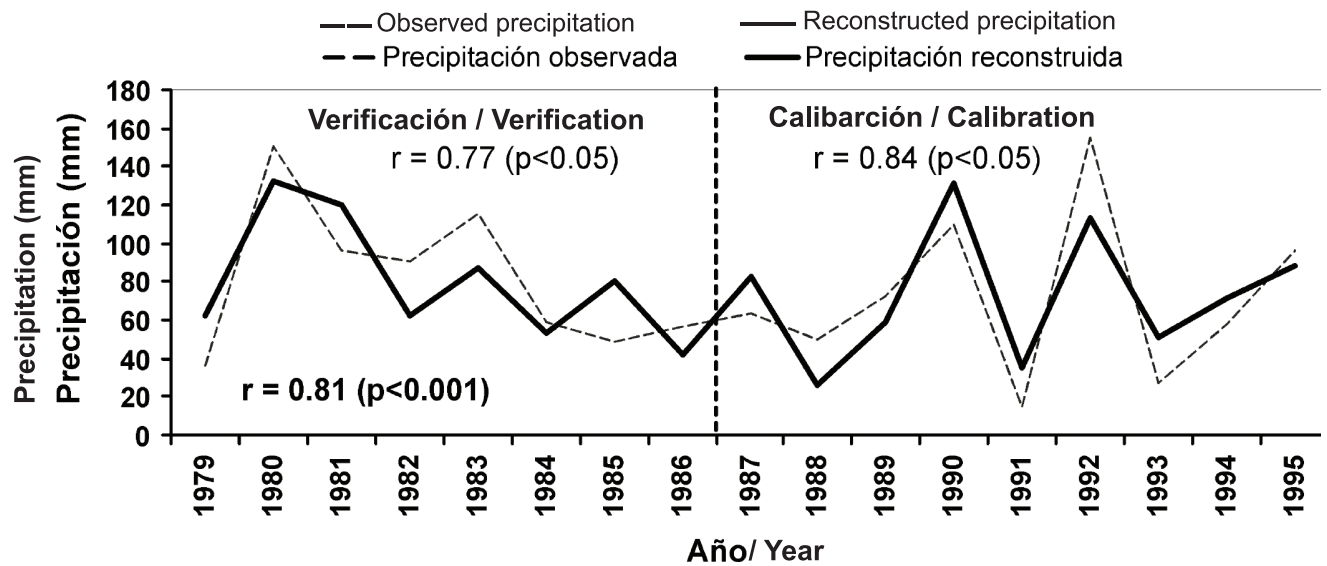


FIGURA 2. Comparación entre la precipitación reconstruida (línea negra sólida) y observada (línea con guiones) para el periodo noviembre de 1979 a junio de 1995 (17 años), que permite validar el modelo generado y aplicarlo a la cronología total.

FIGURE 2. Comparison between the reconstructed precipitation (the bold black line) and the precipitation monitored by the stations (the hyphenated line) for the November 1979 to June 1995 period (17 years), which validates the generated model and allows applying it to the whole time line.

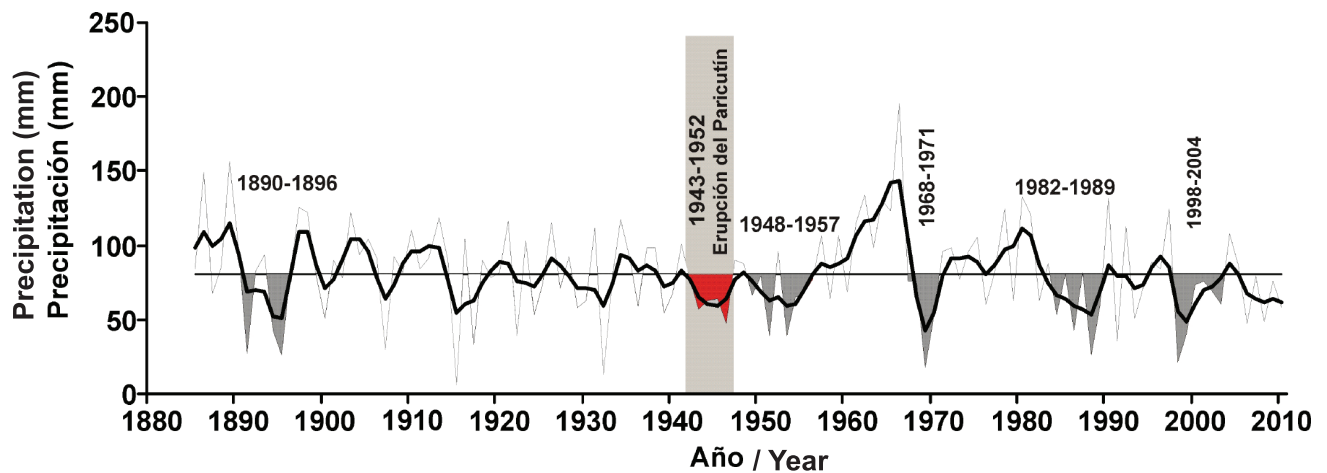


FIGURA 3. Reconstrucción de la variabilidad de la precipitación para el parque nacional Pico de Tancitaro, que indica una variabilidad de alta y baja frecuencia durante los últimos 127 años. Los eventos sombreados en color oscuro representan las sequías más severas. Lo resaltado en color rojo indica una disminución del crecimiento de los anillos no atribuible a una reducción en la precipitación; representa el efecto de la erupción del volcán Parícutín, que tuvo su mayor actividad de 1943 a 1948 (Sheppard *et al.*, 2008).

FIGURE 3. Reconstruction of the precipitation variability for Pico de Tancitaro National Park indicating a high and low frequency variability during the last 127 years. The events shaded with a dark color represent the severest droughts. The areas highlighted in red indicate a decrease in ring growth unrelated to any precipitation reduction; it represents the effect of the Parícutín volcano eruption, which had its most intensive activity from 1943 to 1948 (Sheppard *et al.*, 2008).

$$Y_t = -79.69 + 162.70 * X_t$$

Donde:

Y_t = Valor de la precipitación (mm) para un año específico.

X_t = Índice de anillo para un año específico.

El modelo se calibró y verificó para el periodo en común (Figura 2).

Dado que ambos sub-periodos, en los cuales se realizaron la calibración y la verificación del modelo, mostraron una asociación significativa (Figura 2), se utilizó el periodo total de datos climáticos disponibles (1979-1995) para generar la ecuación de reconstrucción que mostró una $r = 0.81$ ($r^2 = 0.65$, $P \leq 0.001$) (Figura 2).

Las sequías más severas reconstruidas para la región del Pico de Tancítaro fueron: 1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989 y 1998-2004. De igual manera, se reconstruyeron periodos húmedos: 1897-1899, 1902-1906, 1908-1914, 1960-1968 y 1980-1982; sobresale el intervalo de tiempo 1960-1966 como el periodo con mayor precipitación de los últimos 127 años (Figura 3).

Las reconstrucciones paleoclimáticas generadas para el centro de México (Puebla, Tlaxcala, Guanajuato y Querétaro) permiten apreciar severas sequías para los decenios de 1890, 1950, 1970, 1980 y 1990 (Therrell *et al.*, 2004; Cardoza, 2010; Cortés *et al.*, 2010; Stahle *et al.*, 2011). Ello indica que posiblemente una misma variabilidad y fenómenos climáticos comunes modulan la variabilidad climática en estas regiones del centro de México.

CONCLUSIÓN

La reconstrucción de la variabilidad de la precipitación para la región oeste de Michoacán (Pico de Tancítaro) representa el primer trabajo dendroclimático, hasta donde nosotros sabemos, que permite observar los periodos de las sequías más severas (1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989 y 1998-2004). Estas sequías han sido reportadas para otras regiones del centro y norte de México. Se observa una recurrencia de 50 años en la serie reconstruida para el Pico de Tancítaro, al igual que en el norte de México, lo cual indica que posiblemente algunos fenómenos climáticos comunes en periodos específicos tienen una influencia significativa sobre la variabilidad climática, a gran escala, que presenta ciclos multidecadales.

$$Y_t = -79.69 + 162.70 * X_t$$

Where:

Y_t = Value of precipitation (mm) per specified year.

X_t = Ring index per specified year.

The model was calibrated and verified for the same period (Figure 2).

Since both sub-periods, in which the model was calibrated and verified, showed a significant association (Figure 2), the total period of available climatic data (1979-1995) was employed to generate the reconstruction equation indicating that $r = 0.81$ ($r^2 = 0.65$, $P \leq 0.001$) (Figure 2).

The severest reconstructed droughts for the Pico de Tancítaro region were: 1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989, and 1998-2004. Similarly, the wet periods were reconstructed: 1897-1899, 1902-1906, 1908-1914, 1960-1968, and 1980-1982; the 1960-1966 time interval stands out as the period with the most precipitation in the last 127 years (Figure 3).

Paleoclimatic reconstructions generated for central Mexico (Puebla, Tlaxcala, Guanajuato, and Querétaro) show the severe droughts of the 1890's, 1950's, 1970's, 1980's, and 1990's (Therrell *et al.*, 2004; Cardoza, 2010; Cortés *et al.*, 2010; Stahle *et al.*, 2011). This indicates that, perhaps, the same variability and shared climatic phenomena modulate the climatic variability in the central Mexico regions.

CONCLUSIONS

The reconstruction of the precipitation variability for the western Michoacán region (Pico de Tancítaro) represents the first dendroclimatic study, as far as we know, that allows us to observe the severest drought periods (1890-1896, 1948-1956, 1967-1971, 1982-1989, and 1998-2004). These same droughts have been reported for other regions in central and northern Mexico. A 50-year recurrence is observed in the reconstructed series for Pico de Tancítaro, as well as for the north of Mexico, which indicates that some shared climatic phenomena in specific periods possibly have a significant influence over the climatic variability, in a large scale, presented by multi-decadal cycles.

End of English Version

LITERATURA CITADA

- CARDOZA, M. G. F. 2010. Reconstrucción de precipitación anual empleando métodos dendrocronológicos, para Santa María de las Cuevas, Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias. UJED. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango, México. 78 pp.
- COOK, E. R.; HOLMES, R. H. 1984. Program ARSTAN and Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. 15 pp.
- COOK, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37-59.
- CORTÉS, B. E. N.; VILLANUEVA-DÍAZ, J.; ESTRADA-ÁVALOS, J.; PASCUAL-POLA, C. N.; GUERRA-DE LA CRUZ, V.; VÁZQUEZ-CUECUECHA, O. 2010. Utilización de *Taxodium mucronatum* Ten. Para determinar la variación estacional de la precipitación en Guanajuato. *Rev. Mex. Ciencias For.* 1(1): 113-121.
- FRITTS, H. C. 2001. *Tree Rings and Climate*, Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. 567 pp.
- FUENTES, J.; BOCCO, G.. 2003. El Agua: Dinámica y Análisis Regional. In: Velázquez, A., A. Torres, G. Bocco (Compiladores). *Las enseñanzas de San Juan. Investigación Participativa para el Manejo Integral de Recursos Naturales*. INE-SEMARNAT. pp 95-125.
- 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). 2000. *Extractor Rápido de Información Climatológica III (ERIC)*. Software. Jiutepec, Morelos, México. s/p.
- INEGI. 1996. *Anuario Estadístico del Estado de Michoacán*. INEGI-Gobierno del Estado de Michoacán. México. 435 p.
- INEGI-SEMARNAP. 1997. *Estadísticas del Medio Ambiente*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México. 461 pp.
- ORTIZ, R. G.; CRUZ, F.; VALENCIA, J. C. 1998. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. *Conferencia Internacional Agua y Desarrollo Sostenible*. París, Francia.
- SHEPPARD, R. P.; ORT, M. H.; ANDERSON, K. C.; ELSON, M. D.; VÁZQUEZ-SELEM, L.; CLEMENS, A. W.; LITTLE, N. C.; SPEAKMAN, R. J. 2008. Multiple dendro-chronological signals indicate the eruption of Parícutín Volcano, Michoacán, Mexico. *Tree-Ring Research* 64(2): 97-108.
- STAHLE, D. W.; VILLANUEVA-DÍAZ, J.; BURNETTE, D. J.; CERANO-PAREDES, J.; HEIM JR., R. R.; FYE, F. K.; ACUÑA-SOTO, R.; THERRELL, M. D.; CLEAVELAND, M. K.; STAHLE, D. K. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letters* 38: L05703, 1-4.
- STOKES, M. A.; SMILEY, T. L. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago. 73 p.
- THERRELL, M. D.; STAHLE, D. W.; ACUÑA-SOTO, R. 2004. Aztec drought and the "Course of One Rabbit." *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85: 1263-1272. doi: 10.1175/BAMS-85-9-1263.