



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Miranda-Avilés, Raúl; Puy-Alquiza, María Jesús; Martínez-Reyes, Juan José
Potencial del Uso del Fresno (*Fraxinus udhei*) en Estudios Dendrocronológicos
Conciencia Tecnológica, núm. 38, julio-diciembre, 2009, pp. 24-29
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94412327005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Potencial del Uso del Fresno (*Fraxinus udhei*) en Estudios Dendrocronológicos

Investigación

Dr. Raúl Miranda-Avilés¹, Dra. María Jesús Puy-Alquiza¹, M.C. Juan José Martínez-Reyes¹

¹ Departamento de Minas Metalurgia y Geología, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda San Matías S/N,

Guanajuato, C.P. 36000, Guanajuato, México, Tel. (473)-73-22291, Fax. (473) 73 22291,

e-mail: rmiranda@quijote.ugto.mx

Resumen

Se analizó la potencialidad de uso del Fresno (*Fraxinus udhei*) en dendrocronología. Se construyó una cronología de ancho total de anillos en la cuenca del Río Guanajuato en un periodo de 160 años que corresponde al período 1846 al 2005. Se utilizaron los programas COFECHA y ARSTRAN para revisar la calidad de los datos y generar la cronología estandarizada respectivamente. Al comparar datos históricos de inundaciones y sequías de la ciudad de Guanajuato con una curva de precipitación reconstruida a partir de la cronología de anillo total indica un uso potencial del *Fraxinus udhei* en paleoclimatología. La curva de precipitación inferida de la cronología de ancho de anillos permitió reconstruir las sequías y periodos húmedos de 160 años en la cuenca del Río Guanajuato.

Palabras clave: Dendrocronología, Río Guanajuato, Guanajuato, Fresno, cambio climático.

Abstract

The dendrochronological potential of Tropical ash (*Fraxinus udhei*) was analyzed for the Guanajuato River basin. A 160 year long-tree chronology was developed, for the period 1846 to 2005. The COFECHA and ARSTRAN programs were used to analyze the data quality and to produce the standard chronology. The reconstructed precipitation data indicate a potential use of *Fraxinus udhei* for paleoclimatic reconstruction. The estimated precipitation based on the ring width chronology reproduces wet periods and droughts in 160 years from the Río Guanajuato basin.

Key words: Dendrochronology, Guanajuato River, Tropical ash, Guanajuato, *Fraxinus udhei*, climatic change.

Introducción

La reconstrucción de los periodos de recurrencia de sequías y periodos húmedos en una región, constituyen

una base de datos fundamental para el análisis de riesgos naturales meteorológicos. Contar con un registro continuo de precipitaciones por periodos prolongados ayuda a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones referentes a la planificación, manejo de recursos naturales, y evaluación de impactos de efectos hidrológicos a largo plazo, así como en la toma de medidas de precaución de fenómenos atmosféricos extremos.

El estudio de la variación climática basado en datos instrumentales está limitado por la extensión temporal de los registros. En México, el número de estaciones meteorológicas con registros continuos de más de 100 años de extensión es reducido, lo que limita el desarrollo de estudios de variaciones climáticas de largo plazo. Resulta de enorme interés recurrir a indicadores o archivos ambientales que puedan proveer registros climáticos de alta resolución lo suficientemente largos y potentes para poder caracterizar en forma apropiada la variabilidad climática natural de una región. Cuando en investigaciones de variación climática se recurre a datos no instrumentales, se habla de la utilización de datos proxy (proxy data). Los datos proxy se obtienen del estudio de diferentes indicadores, como de los anillos de los árboles los cuales marcan su crecimiento, sedimentos o núcleos de glaciares [1]. Los indicadores proxy permiten inferir variables climáticas tales como temperatura o precipitación.

En México los estudios basados en registros climáticos de alta resolución han sido limitados hasta los años 90's, cuando se incrementó el número de trabajos en el tema. Jáuregui realizó una revisión sobre trabajos realizados en México referentes a la variabilidad climática, concluyendo que es mínima la investigación realizada en las últimas décadas, principalmente por la falta de bases de datos climatológicos [2]. La mayor parte de los estudios en México que han utilizado datos proxy están orientados al estudio de sedimentos laminares lacustres cuaternarios en el Eje Neovolcánico [3], [4], [5], [6]. Entre los indicadores ambientales de utilidad para proveer registros climáticos de alta resolución, los anillos de los árboles ocupan un lugar muy particular ya que proveen series continuas, fechadas con

precisión, con un nivel de resolución anual. Dichas series normalmente se extienden por cientos de años y en algunos casos, por algunos milenios. Las series de ancho de anillos pueden ser utilizadas para reconstruir, con alta precisión las variaciones anuales o estacionales de la precipitación o temperatura [7]. De los escasos trabajos que han utilizado los anillos de árboles en reconstrucciones climáticas en México, destacan los de Therrell et al. [8], Vilanueva-Díaz et al. [9], Ibarra [10], Stahle et al. [11] y Cleaveland et al. [12].

El *Fraxinus udhei* (Fresno) se distribuye homogéneamente en la cuenca del Río Guanajuato. Es un árbol originario de México, de tamaño mediano a grande que alcanza una altura máxima de 37 m y vive de 80 a 150 años. Se distribuye en Sinaloa, Durango, Veracruz y Chiapas, hasta los 2400 m de elevación. Es la única especie del género que se encuentra en estado silvestre formando parte del bosque mixto de pino-encino y bosque mesófilo de montaña. Es un árbol perennifolio o caducifolio. Crece en laderas de cerros, barrancas, cañadas y jardines [13].

El presente artículo analiza el potencial de uso del fresno (*Fraxinus udhei*) en dendrocronología y asimismo exploramos el potencial de la especie en reconstrucciones paleoclimáticas, verificada con datos históricos de inundaciones y sequías de la ciudad de Guanajuato.

Área de estudio

La cuenca del Río Guanajuato se localiza en la porción suroriental de la Sierra de Guanajuato, en el Distrito Minero del mismo Estado (ver Figura 1). El Río Guanajuato nace en la parte alta del flanco nororiental de la Sierra de Guanajuato; en su curso hacia El Bajío atraviesa la ciudad de Guanajuato. La cuenca del Río Guanajuato colinda al noreste con la del Río Laja, al oeste con la del Río Turbio, al sureste con la del Río Temascalco y al sur con el Río Lerma. El área de La Cuenca del Río Guanajuato es de 3,220 km² y representa el 10.39% de la superficie total del estado. El área de estudio presenta un clima variable que va del semidesértico templado al semihúmedo, con lluvias de junio a septiembre, con una precipitación media anual de 800 mm y una temperatura que oscila de 22°C en los meses más cálidos a 14°C en los más fríos [14].



Figura 1. Localización del área de muestreo.

Materiales y métodos

Selección del sitio y obtención de núcleos de crecimiento

Se seleccionaron árboles *Fraxinus udhei* desarrollados en sitios con pobre calidad de estación, aquellos donde los árboles expresan la mayor señal climática.

Una vez seleccionados los sitios de observación, se procedió a la extracción de las muestras, también denominadas testigos o núcleos de crecimiento [15]. Su extracción se realizó con una barrena tipo Pressler de 45 cm de longitud y 5 mm de diámetro. Se tomaron tres muestras por árbol de forma radial separadas 120°, a una altura de 1.30 m.

Se obtuvieron un total de 28 núcleos de 10 árboles, los cuales fueron montados y sujetados en una moldura de madera; posteriormente se pulieron con lija gruesa, dándoles un pulido final con lija fina. Con la finalidad de diferenciar nítidamente los anillos de crecimiento anual se procedió a preparar una solución de tinción (3.5g de sulfato de cobre, 17.3 g de tartrato de sodio-potasio, 6 g de hidróxido de sodio diluido en 100 ml de agua) [16].

El conteo de anillos de cada uno de los núcleos obtenidos se realizó inicialmente con una lupa estereoscópica donde se identificaron y marcaron con lápiz fino cada uno de los anillos [17].

A continuación se procedió al escaneado de núcleos con escáner de alta resolución (1000 DPI), generando imágenes digitales que se utilizaron para la medición de espesor de anillos con auxilio del programa informático CooRecorder versión 5.3.11 [18]. Los anillos fueron medidos por un sistema de coordenadas que permiten una precisión de 0.01 mm. Una vez generados los archivos de medición de ancho de anillo total, los datos fueron analizados en el programa informático COFECHA [19], donde se realiza el control de calidad del fechado y medición, identificando los segmentos de la serie de anillos que tienen baja correlación con la serie maestra y que podrían representar errores de fechado de la medición. Dicho programa produce la serie maestra y la media de cada uno de los años de todas las series individuales, analiza estadísticamente el fechado de cada serie al correlacionar sucesivamente segmentos traslapados por 50 años de cada serie individual con la serie maestra. COFECHA identifica problemas de correlación en cada serie individual.

Subsiguientemente se llevó a cabo una primera sincronización, también denominada crossdatación o datación cruzada de las series de cada localidad, para posteriormente repetir el proceso con el resto de series procedentes de otras zonas. Mediante este proceso se realizó una comparación de las series por parejas, en su totalidad y anillo por anillo. Este

segundo proceso permite aislar con más claridad las posibles perturbaciones en el proceso de medida, así como la existencia de anillos ausentes (aquéllos que sólo aparecen en alguna porción de la superficie de crecimiento) y los anillos falsos (crecimientos tardíos o tempranos de tal envergadura que pueden ser medidos como anillos verdaderos). De esta manera se eliminan aquellas series cuyas tendencias en el crecimiento no presentan rasgos comunes con el resto.

Una vez determinada la calidad del fechado y la medición con el programa COFECHA, se desarrollan cronologías de índices de ancho de anillos con el programa informático [20]. Estos programas permiten un análisis de los patrones de crecimiento de las secuencias temporales del ancho de anillos y, en su caso, de las perturbaciones que pueden modificar la tendencia aproximada a una exponencial decreciente debido a la edad. El programa ARSTAN maximiza la varianza debida a factores ambientales que afectan la población en su conjunto, además de usarse para el ajuste de diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o curvas flexibles de diferente rigidez), las cuales tratan de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento. Entre más rígida sea la curva de ajuste, se preserva un mayor porcentaje de la varianza de baja frecuencia (ondas largas). La función que se utilizó en ARSTAN fue la estandarización con suavizado cúbico flexible a 40 años.

Finalmente, las series resultantes (anillos estandarizados) se pueden comparar con la media y la varianza de la parte interna y externa de cada serie, es decir son valores normalizados. Una vez eliminada la varianza debida al crecimiento diferente entre árboles jóvenes y viejos, se promedia cada uno de los índices anuales de las series individuales y se obtiene la cronología maestra para el sitio [21]. A la cronología maestra también se le llama cronología estandarizada [7]. El programa ARSTAN genera tres cronologías: cronología estándar, cronología residual, que contiene solamente las variaciones de frecuencia altas, y la cronología ARSTAN, compuesta de una cronología residual [20].

Se considera que una cronología tiene alto potencial dendroclimático si presenta baja sensibilidad media, desviación estándar alta, baja autocorrelación de primer orden y alta correlación entre series [7]. Con el objeto de determinar la correlación entre la cronología de ancho de anillos y la precipitación, se correlacionó la precipitación mensual de datos instrumentales del periodo 1978-2005 en la cuenca del Río Guanajuato, con la cronología estandarizada. Una vez determinados los meses con mayor correlación, se generó un modelo de regresión lineal que fue utilizado para estimar la precipitación durante el periodo de precipitación instrumental conocido y para los años precedentes.

La curva reconstruida de precipitación para los 160 años de la cronología fue comparada con datos históricos de inundaciones y sequías conocidas en la ciudad de Guanajuato.

Datos de precipitación

Los datos instrumentales de precipitación mensual se obtuvieron de tres estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca del Río Guanajuato y próximas a los lugares de muestreo (Tabla 1). El registro de precipitación en las estaciones Guanajuato-Guanajuato y Guanajuato-Calderones presenta datos faltantes en algunos meses, por lo que se decidió utilizar los datos de precipitación de la estación Guanajuato-UGTO para el cálculo de los coeficientes de correlación.

Nombre de la estación	Elevación	Latitud	Longitud	Periodo de registro
Guanajuato-Guanajuato	1999	21°00'43"	101°15'54"	1968-2007
Guanajuato-Calderones	2372	20°59'22"	101°13'39"	1949-1981
Guanajuato-UGTO	2089	21°01'19"	101°15'12"	1980-2007

Tabla 1. Estaciones meteorológicas localizadas en la cuenca del Río Guanajuato y próximas a los lugares de muestreo.

Resultados y discusión

El conteo y análisis de espesor de anillos de crecimiento de 10 árboles de *Fraxinus uhdei*, permitió desarrollar una cronología de 160 años (periodo 1846 – 2005) (Figura 2).

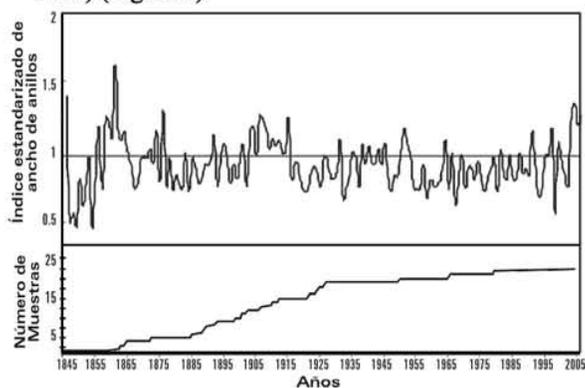


Figura 2. Cronología de ancho de anillos para *Fraxinus Uhdei* en la cuenca del Río Guanajuato. El número de muestras incluidas en la cronología se indican en la parte inferior de la figura.

La cronología estandarizada se obtuvo de 23 series debido a que fue necesario eliminar cinco series con problemas de correlación. La estadística descriptiva generada por ARSTAN para el periodo 1846-2005 (Tabla 2) muestra una correlación entre series de $r=0.44$,

con sensibilidad media $r = 0.40$. La correlación entre los registros instrumentales y el índice de crecimiento estandarizado durante el periodo de 1978-2005 mostró coeficientes de correlación de precipitación de verano de $r = 0,4$ ($P < 0,05$) y con la temperatura máxima de primavera de $r = 0,5$ ($P < 0,05$), respectivamente (Tabla 3). La precipitación en los meses de septiembre $r = 0.6$ ($P < 0,05$) y agosto $r = 0.2$ ($P < 0,05$) sustenta cierta relación entre el crecimiento de anillo anual y la precipitación. La mayor correlación de la temperatura mínima se observó en julio $r = 0.4$ ($P < 0,05$).

ID Árbol	No. Núcleos	Intervalo	No. Años	Correlación entre series	Sensibilidad Media
1	3	1846-2005	160	0.28	0.36
2	2	1859-2005	147	0.33	0.39
3	3	1886-2005	120	0.52	0.41
4	2	1927-2005	79	0.42	0.49
5	2	1863-2005	143	0.46	0.38
7	3	1873-2005	133	0.35	0.44
8	3	1902-2005	104	0.50	0.43
9	3	1890-2005	116	0.69	0.33
10	2	1902-2005	104	0.35	0.39

Tabla 2. Estadística descriptiva de la cronología estandarizada de ancho de anillos de crecimiento. La cronología se desarrolló para 23 núcleos de *Fraxinus Uhdei*, colectados en la cuenca del Río Guanajuato.

Al considerar que la correlación más elevada entre el índice de crecimiento estandarizado y la precipitación se presentó para agosto y septiembre, se desarrolló el modelo de regresión lineal divariado del cual se obtuvo la ecuación de la recta:

$$Y_i = -122.32 + 250.42x_i$$

Donde Y_i es la precipitación estimada en el año i , y x_i es el índice estandarizado en el año i . La correlación entre la precipitación estimada y la real para el periodo 1978-2005 fue de $r = 0.63$ ($P < 0,05$). Con la ecuación de la recta estimamos la precipitación durante el periodo de precipitación instrumental conocido y para los años precedentes (Figura 3).

Mes	Tmax	Tpr	Tmin	Precipitación
Enero	0.5	0.1	0.0	0.0
Febrero	0.3	0.4	0.1	0.0
Marzo	0.2	0.3	0.2	0.0
Abril	0.4	0.2	0.1	-0.4
Mayo	0.4	0.3	0.2	-0.1
Junio	0.2	0.3	0.3	0.0
Julio	0.2	0.4	0.4	0.1
Agosto	0.4	0.2	0.1	0.2
Septiembre	0.1	0.3	-0.1	0.6
Octubre	0.2	0.4	0.2	-0.1
Noviembre	0.4	0.3	-0.1	0.1
Diciembre	0.4	0.3	0.1	-0.3
<hr/>				
Verano/Otoño	0.4	-0.1	-0.1	0.4
Invierno/Primavera	0.5	0.0	0.1	0.0
<hr/>				
Otoño	0.4	0.3	0.0	-0.1
Invierno	0.4	0.3	0.0	0.0
Primavera	0.5	0.3	0.2	-0.1
Verano	0.3	0.3	-0.1	0.4

Tabla 3. Coeficientes de correlación Pearson ($P < 0,05$) entre registros instrumentales y el índice de crecimiento estandarizado durante el periodo 1978-2005. Tmax es la temperatura diaria máxima promedio, Tpr es la temperatura diaria promedio, Tmin es la temperatura mínima diaria promedio y la precipitación es la total mensual.

La curva de precipitación reconstruida en el presente trabajo fue comparada con datos históricos de inundaciones y sequías, los cuales corroboran la estimación de la precipitación en base a la cronología de ancho de anillos para *Fraxinus uhdei* en la cuenca del Río Guanajuato (Figura 3).

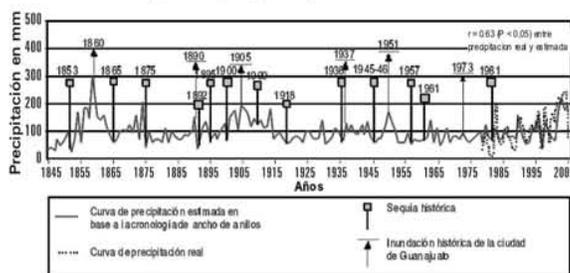


Figura 3. Comparación entre la cronología de ancho de anillos (este trabajo), la precipitación real y la estimada. La información de inundaciones y sequías históricas fue compilada de Marmolejo (1969); García-Acosta (1993) y Miranda-Avilés et al. (2008).

Los resultados de este estudio indican que el *Fraxinus uhdei* posee anillos de crecimiento anual y que las variaciones en el grosor de los mismos están controladas principalmente por la precipitación de los meses de agosto y septiembre. La cronología estandarizada presenta valores de correlación entre series de (0.44), con sensibilidad media baja (0.40). Aunque la correlación entre series fue relativamente baja, realizamos un ejercicio a manera de referencia donde la variable precipitación tiene mayor influencia en el crecimiento de anillos anual. Lo anterior obedece a que resultó ser la variable mejor correlacionada con el índice de crecimiento, particularmente durante el mes de agosto y septiembre. La temperatura máxima presentó una correlación en primavera de $r = 0,5$ ($P < 0,05$), relacionada con la época donde inicia el crecimiento del *Fraxinus uhdei*. La temperatura máxima también presentó correlaciones positivas la mayor parte del año, sobresaliendo el mes de enero con $r = 0.5$ ($P < 0,05$), pudiendo explicarse como una relación entre el crecimiento de anillos anual con inviernos más cálidos. La correlación entre la precipitación estimada a partir de la cronología de ancho de anillos y la precipitación real para el periodo 1978-2005 fue de $r = 0.63$ ($P < 0,05$). La curva reconstruida de precipitación para los

160 años de la cronología fue comparada con datos históricos de inundaciones y sequías conocidas en la ciudad de Guanajuato (Figura 3).

Los datos históricos de inundaciones y sequías aportan información valiosa, sin embargo debido a la subjetividad y diversidad de fuentes históricas utilizadas es necesario detallar y correlacionar dichos estudios con datos de alta resolución Proxy, como la curva reconstruida (Figura 3). En lo que se refiere a desastres naturales en México, en particular las inundaciones en la cuenca del Río Guanajuato y mesa central, sobresalen los trabajos de Marmolejo [23]; García-Acosta [24] y Miranda-Avilés y col. [25]. La inundación de la ciudad de Guanajuato ocurrida en 1905 ha sido documentada [23]; [25] y es corroborada en la curva de precipitación reconstruida donde se aprecia que coincide con un periodo húmedo, al igual que otras inundaciones documentadas, las cuales se indican con flechas en la Figura 3. Por otra parte, entre las sequías históricas más recientes en la ciudad de Guanajuato sobresale la ocurrida en 1957, que incluso es considerada como sequía nacional al igual que la registrada en 1981. Existen otros eventos de sequías de la porción central de México y compiladas por García-Acosta [24] y por Aboites-Aguilar y col. [26], que son corroboradas en la curva de precipitación reconstruida (Figura 3).

Las curvas de precipitación reconstruidas en México se han realizado para *Pinus hartwegii* y *Pinus ponderosa* por medio de dendrocronología [8], [9], [10] [22], [11], las cuales son comparables con los periodos húmedos y de sequías identificadas en este trabajo con *Fraxinus uhdei*.

Conclusiones

Se analizó por primera vez el potencial del uso del fresno (*Fraxinus uhdei*) en dendrocronología. Se construyó una cronología de ancho total de anillos de 10 árboles (28 núcleos) en la cuenca del Río Guanajuato para un periodo de 160 años, que corresponde al periodo 1846 a 2005. La comparación de los datos históricos de inundaciones y sequías de la ciudad de Guanajuato con la curva de precipitación reconstruida a partir de la cronología de anillo total indican que el *Fraxinus uhdei* presenta potencial para ser empleado en paleoclimatología. La curva de precipitación estimada con la cronología de ancho de anillos permitió reconstruir y comparar las sequías y periodos húmedos de 160 años en la cuenca del Río Guanajuato.

Según los resultados obtenidos, es factible que el *Fraxinus uhdei* pueda utilizarse en dendrocronología y presenta potencial para ser usado como herramienta de análisis de sequías e inundaciones históricas para otras localidades en México.

Agradecimientos

El presente estudio recibió apoyo de CONCYTEG, proyecto 06-16-K117-34. Se agradece la asistencia en el trabajo de campo de Martha Daniela Martínez Alfaro, Alejandro Vallejo Alvarado y Arturo Yépez López. Los autores agradecen también la colaboración de la Ing. Minerva Chagoyán Parada y al Meteorólogo Jacinto Jaramillo Rocha por facilitar los datos de precipitación del observatorio meteorológico-UGTO.

Referencias

- [1] Kemp, D., (1998), *The environment dictionary*. Routledge. London. p.466.
- [2] Jauregui, E., (1997), Climate changes in Mexico during the historical and instrumented periods. *Quaternary Int.* Pergamon Elsevier Science, Ing, volumen # 43, p. 7-17.
- [3] Lozano-García, S.B., Ortega-Guerrero B., Caballero-Miranda M., y Urrutia Fucugauchi J., (1993), Late Pleistocene and Holocene Palaeoenvironments of Chalco Lake, Central Mexico. *Quaternary Research*, volumen # 40, p. 332-342.
- [4] Caballero-Miranda, M., (1996), The diatom flora of two acid lakes in Central Mexico. *Diatom Research*, volumen # 11, p. 227-240.
- [5] Caballero-Miranda, M., y Ortega-Guerrero B., (1998), Lake levels since about 40,000 years ago at lake Chalco, near Mexico City. *Quaternary Research*, volumen # 50, p.69-79.
- [6] Caballero-Miranda, M., Lozano S., Ortega-Guerrero B., Urrutia-Fucugauchi J., y Macías J.L., (1999), Environmental characteristics of lake Tecocomulco, northern basin of Mexico, for the last ca. 50,000 years. *Journal of Paleolimnology*, volumen # 22, p. 399-411.
- [7] Fritts, H.C., (1976), *Tree rings and climate*. Academic Press, London, UK, p.567.
- [8] Therrell, M.D., Stahle D.W., y Acuña-Soto R., (2004), Aztec drought and the 'Curse of One Rabbit.' *Bulletin of the American Meteorological Society*, volumen # 85, p. 1263-1272.
- [9] Villanueva-Díaz, J., Luckman B., Stahle D.W., Therrell M.D., Cleaveland M.K., Cerano-Paredes D.W., Paredes J., Gutierrez-García G., Estrada-Avalos J., y Jasso-Ibarra R., (2005), Reconstruction of hydroclimatic variability of the upper Nazas river basin and its implications for the irrigated land area of the Comarca Lagunera, Mexico. *Dendrochronologia*, volumen # 22, p. 215-223.
- [10] Díaz, S.C., Touchan R., y Swetnam T.W., (2001), A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, México. *International*

- Journal of Climatology*, volumen # 21, No.8, p.1009-1021.
- [11] Stahle, D.W., Cleaveland M.K., Therrell M.D., y Villanueva-Díaz J., (1999), Tree-Ring reconstruction of winter and summer precipitation in Durango, Mexico, for the past 600 years. In *10th Symposium on Global Change Studies*, 10–15 January 1999, Dallas, TX, Kart TR (Program Chairman). American Meteorological Society: Boston, MA; p. 317–318.
- [12] Cleaveland, M.K., Cook E.R., y Stahle D.W., (1992), *Secular variability of the Southern Oscillation detected in tree-ring data from Mexico and southern United States*. In *El Niño : The Historical and Paleoclimatic Record of the Southern Oscillation*, Díaz H, Markgraf V (eds). Cambridge University Press: Cambridge; p. 271–291.
- [13] Vázquez-Yanes, C.A.I., Batis-Muñoz M.I., Alcocer-Silva M., Gual-Díaz C., y Sánchez-Dirzo., (1999), Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. *Reporte técnico del proyecto J084*. CONABIO - Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. Páginas sin número.
- [14] Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Guanajuato (CEASG), (1994), Realización del diagnóstico de la problemática, el establecimiento de los postulados básicos, la realización de los programas de manejo de cuencas, uso eficiente del agua y la integración del plan hidráulico de Guanajuato.
- [15] Kaennel, M., y Schweingruber F.H., (1995), *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*. Paul Haupt Publishers, Bern, p. 467.
- [16] Kutscha, N.P., y Sachs I.B., (1962), Color tests for differentiating heartwood and sapwood in certain softwood tree species. *forest products laboratory, Report*, volumen # 2246, p.1-13.
- [17] Stokes, M.A., y Smiley T.I., (1968), *An introduction to tree-ring dating*. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, p. 73.
- [18] Larsson, L.A., (2006), CooRecorder: image co-ordinate recording program. Cybis Elektronik & Data.
- [19] Holmes, R.L., (1983), Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, volumen # 43, p.69-78.
- [20] Cook, E.R., y Holmes R.H., (1984), Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ, p. 15.
- [21] Cook, E.R., (1987), The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-ring Bulletin*, volumen # 47, p. 37-59.
- [22] Díaz, S. C., Therrell, M. D., Stahle, D. W. y Cleaveland, M. K., (2002), Chihuahua winter-spring rainfall reconstructed from tree-rings: 1647–1992. *Climate Research*, 22, 237–244.
- [23] Marmolejo, L., (1969), Efemérides guanajuatenses o datos para formar la historia de la ciudad de Guanajuato, Volumen I, II, III y IV. Universidad de Guanajuato.
- [24] García-Acosta, V., (1993), Las sequías históricas de México. *Revista semestral de la red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*, volumen 1, p.83-97.
- [25] Miranda-Avilés, R., Puy-Alquiza M.J., y Zavala-Esquivel A., (2008), Registro histórico de Inundaciones en la ciudad de Guanajuato: Influencia de la actividad minera. *Revista Nuestra Tierra*, IG-UNAM. No.9.
- [26] Aboites-Aguilar, L., y Camacho-Pichardo G., (1996), Aproximación al estudio de una sequía en México el caso de Chapala - Guadalajara (1949-1958). En: García-Acosta V (ed) *Historia y desastres en América Latina*. Volumen I. ITDG-CIESAS-La Red, p. 259-291.

Artículo recibido: 1 de junio de 2009

Aceptado para publicación: 2 de diciembre de 2009