

# RECONSTRUCCIÓN DEL ESCURRIMIENTO HISTÓRICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO NAZAS, DURANGO

## RECONSTRUCTION OF HISTORICAL RUNOFF IN THE UPPER NAZAS RIVER WATERSHED, DURANGO

José Villanueva Díaz<sup>1</sup>; Julián Cerano Paredes<sup>1</sup>; Juan Estrada Ávalos<sup>1</sup>; Vicenta Constante García<sup>1</sup>; D.W. Stahle<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INIFAP CENID RASPA, km 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, Durango, MÉXICO.

Correo-e: Villanueva.jose@inifap.gob.mx (\*Autor para correspondencia).

<sup>2</sup>Departamento de Geociencias, Universidad de Arkansas, Fayetteville, AR.

### RESUMEN

La sequía de los últimos años que ha afectado al norte-centro de México pone de manifiesto la necesidad de contar con datos hidroclimáticos extensos que permitan conocer las fluctuaciones y tendencias en el tiempo, con el fin de establecer acciones de planeación y mitigación de los recursos hídricos. En este trabajo con técnicas dendrocronológicas, se generó una reconstrucción de escurrimientos de 800 años para la parte alta de la cuenca del río Nazas. La reconstrucción mostró alta variación interanual y multianual; sequías prolongadas se presentaron en las décadas de 1250, 1320-1340, 1370-1380, 1440-1450, 1460-1470, 1650-1660, 1710-1730, 1790-1810, 1920-1940, 1970-1980, 1990. La duración e intensidad de algunas sequías superó a la que se vive actualmente en la región. Flujos reconstruidos con gasto extraordinario como en los años de 1212, 1229, 1242, 1245, 1271, 1313, 1404, 1427, 1451, 1504, 1520, 1563, 1566, 1620, 1671, 1681, 1735, 1816, 1833, 1869, 1920, 1956, 1959 y 1992 estuvieron ligados con la presencia del fenómeno de El Niño en su fase cálida. Esta información puede ser usada al tomar decisiones en la Comarca Lagunera, para establecer la frecuencia de sequías y de avenidas extraordinarias con fines de manejo del recurso hídrico en la región.

PALABRAS CLAVE: Caudal, dendrocronología, ENSO, sequías, frecuencia

### ABSTRACT

The drought of the past few years in north-central Mexico underscores the need for extensive hydroclimatic data that can reveal fluctuations and trends over time, in order to establish water resource planning and mitigation measures. Using dendrochronological techniques, an 800-year streamflow reconstruction was developed for the upper Nazas River watershed in Durango. The reconstruction showed high inter-annual and multiannual hydroclimatic variability and decadal droughts were detected in the 1250s, 1320-1340s, 1370-1380s, 1440-1450s, 1460-1470s, 1650-1660s, 1710-1730s, 1790-1810s, 1920-1940s, 1970-1980s, and 1990s. Some of the droughts were longer and of higher intensity than ones observed in climate records. Extreme flow events were detected in the years 1212, 1229, 1242, 1245, 1271, 1313, 1404, 1427, 1451, 1504, 1520, 1563, 1566, 1620, 1671, 1681, 1735, 1816, 1833, 1869, 1920, 1956, 1959, and 1992, and they were linked with the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) warm phase. Water decision-makers in the Comarca Lagunera region could use this information to establish probabilities of droughts and occurrence of extreme runoff events for management purposes.

KEYWORDS: Streamflow, dendrochronology, ENSO, droughts, frequency



Recibido: 25 de junio, 2012

Aceptado: 23 de agosto, 2013

doi: 10.5154/r.rchsza.2012.06.036

[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

## INTRODUCCIÓN

La región del norte y centro de México caracterizada por la dominancia de condiciones semiáridas está siendo afectada por una sequía extraordinaria, la más severa, en los registros climáticos instrumentales de los últimos 70 años; no obstante, reconstrucciones paleoclimáticas para la misma región indican que en el último milenio han ocurrido sequías más prolongadas y de mayor severidad que la sequía actual (Villanueva *et al.*, 2009). La variabilidad hidroclimática en esta región es una de las más elevadas en el país, condición que da lugar a la ocurrencia de sequías frecuentes. La modelación de escenarios climáticos debido al calentamiento global, sugiere un incremento en la aridez para las siguientes décadas, situación que puede agudizar aún más la limitada disponibilidad de agua en el norte de México (Seager *et al.*, 2009); esta condición, demanda un mejor entendimiento de la variabilidad hidroclimática histórica, así como de sus tendencias, de tal manera que la información generada, pueda ser utilizada en modelos climáticos para mejorar su capacidad predictiva.

El objetivo de este estudio fue analizar la variabilidad hidroclimática histórica de la cuenca alta del río Nazas, mediante la reconstrucción de flujo estacional fundamentado en una serie dendrocronológica de sabino, presente en los márgenes de este río.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La parte alta de la cuenca del río Nazas está integrada por las subcuencas “Salomé Acosta” y “Sardinas” y entre ambas aportan alrededor de  $900 \times 10^6 \text{ m}^3$ , que constituye el 75 % de los  $1,169 \times 10^6 \text{ m}^3$  de escurrimiento, que se utiliza en la Comarca Lagunera. (Figura 1).

Núcleos de crecimiento de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.), se extrajeron con un taladro tipo Pressler en más de 200 especímenes seleccionados a lo largo del río Nazas.

La obtención de los núcleos se realizó a la altura del pecho y ocasionalmente de las ramas superiores. El número de núcleos de crecimiento o virutas colectados por árbol fue al menos de tres. Los anillos de crecimiento se prepararon, contaron y fecharon mediante técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968). Cada crecimiento (anillo anual) se midió individualmente con un sistema de medición VELMEX. El fechado cruzado, calidad de la respuesta climática y exactitud de la medición de cada anillo se verificó con el programa COFECHA (Holmes, 1983).

Las tendencias biológicas no relacionadas con clima, se removieron con el programa ARSTAN, al insertar una curva exponencial negativa o línea recta a la serie de medición y luego al dividir cada valor anual de medición entre el valor obtenido de la curva (Cook, 1987).

Para cuantificar la influencia del clima en el crecimiento de la cronología de anillo total, ésta se comparó con registros

## INTRODUCTION

The north-central region of Mexico, characterized by the dominance of semiarid conditions, is being affected by an extreme drought, the most severe in the instrumental climate records for the past 70 years; however, paleoclimatic reconstructions for the same region indicate that longer and more severe droughts than the current one have occurred in the last millennium (Villanueva *et al.*, 2009). The hydroclimatic variability in this region is one of the highest in the country, a condition that results in the frequent occurrence of droughts. The modeling of climate scenarios based on global warming suggests an increase in aridity for the next several decades, a situation that may further exacerbate the limited availability of water in northern Mexico (Seager *et al.*, 2009.). This situation demands a better understanding of historical hydroclimatic variability and its trends, so that the information generated can be used in climate models to improve their predictive ability.

The aim of this study was to analyze the historical hydroclimatic variability of the upper Nazas River watershed, by reconstructing seasonal flow based on a dendrochronological series of bald cypress trees present on the margins of this river.

## MATERIALS AND METHODS

The upper Nazas River watershed is composed of the “Salomé Acosta” and “Sardinas” sub-basins, which together provide about  $900 \times 10^6 \text{ m}^3$  of runoff, which constitutes 75 % of the  $1,169 \times 10^6 \text{ m}^3$  of runoff used in the Comarca Lagunera. (Figure 1).

Bald cypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) increment cores were extracted with a Pressler drill from over 200 specimens selected along the Nazas River.

The cores were obtained at breast height and occasionally from the upper branches. At least three increment cores or shavings were collected per tree. The growth rings were prepared, counted and dated using standard dendrochronological techniques (Stokes and Smiley, 1968). Each growth ring (annual ring) was measured individually with the VELMEX measuring system. The cross dating, quality of the climate response and accuracy of the measurement of each ring were verified with the COFECHA program (Holmes, 1983).

Biological trends unrelated to climate were removed with the ARSTAN program, by inserting a negative exponential curve or straight line into the measurement series and then dividing each annual measurement value by the value obtained from the curve (Cook, 1987).

To quantify climate influence on the growth of the ring width chronology, it was compared with standardized runoff records from the Sardinas and Salomé Acosta hydro-metric stations located in the upper Nazas River watershed.

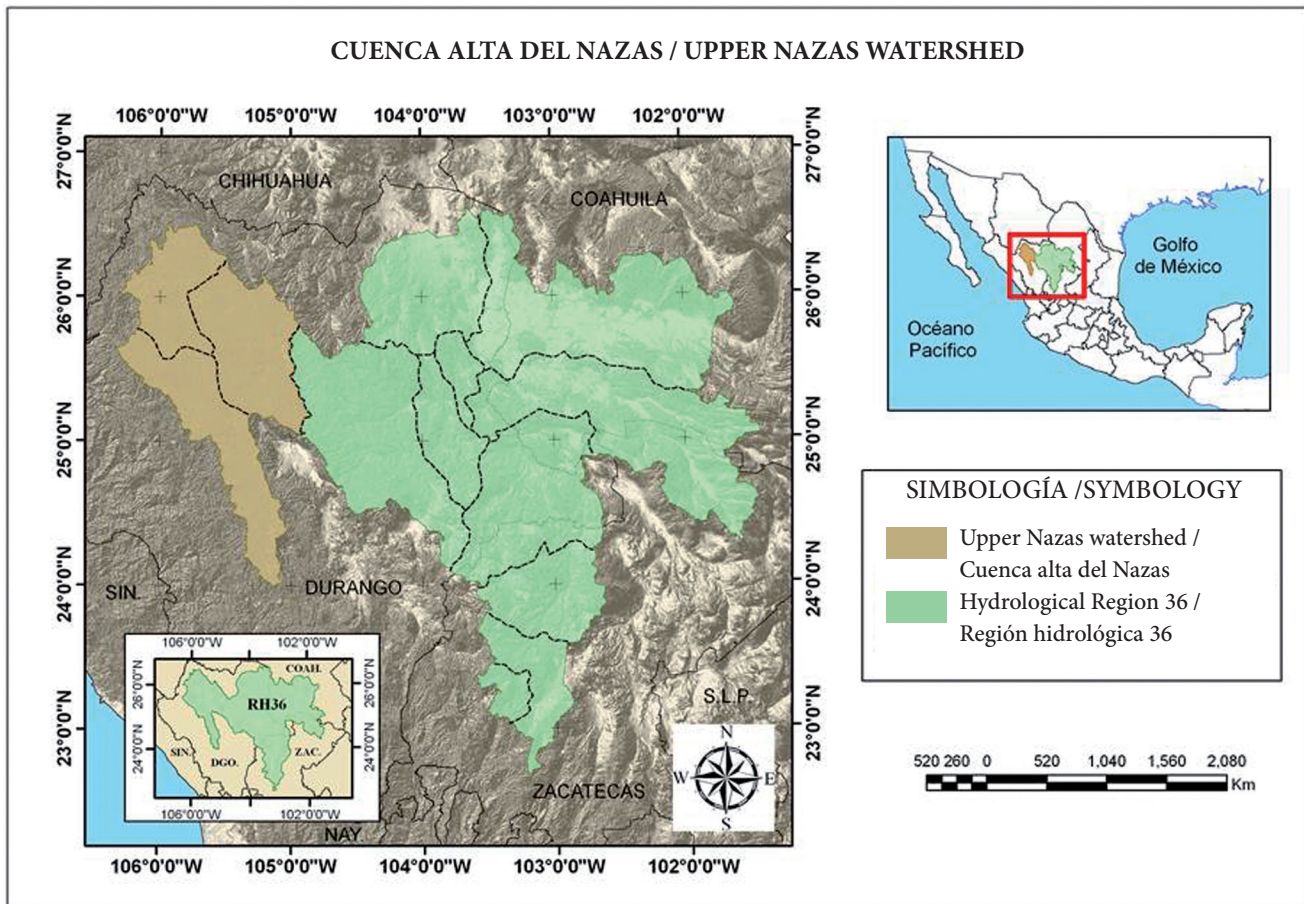


FIGURA 1. Localización geográfica de la cuenca alta del río Nazas  
 FIGURE 1. Geographic location of the upper Nazas River watershed

de escurrimiento normalizados de las estaciones hidrométricas Sardinas y Salomé Acosta ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Nazas. La respuesta climática entre flujo (gastos hidrométricos) y los índices dendrocronológicos, se investigó con la subrutina RESPO y mediante análisis de correlación (Fritts, 1976). Finalmente, se obtuvo una ecuación de transferencia para el periodo total de datos de flujo disponibles, modelo que fue utilizado para desarrollar la reconstrucción de escurrimientos de la cuenca alta del Nazas en la longitud total de la cronología. Se corrió un análisis espectral en la reconstrucción para detectar la presencia de picos y definir la influencia de patrones circulatorios.

Los periodos de sequía detectados en las reconstrucciones, se validaron con documentos históricos y registros del Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés); así mismo, se comparó con reconstrucciones dendroclimáticas desarrolladas previamente para el estado de Durango y otras partes del norte de México y suroeste de los Estados Unidos de América (Stahle *et al.*, 2011).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La cronología desarrollada de anillo total se extendió para el periodo 1210–2011 (802 años de longitud). La serie de tiempo generada se correlacionó con los datos de escurrimiento de las estaciones hidrométricas Salomé Acosta y Sar-

The climate response between flow gage data (hydrometric expenditures) and dendrochronological indices was investigated with the RESPO subroutine and through correlation analysis (Fritts, 1976). Finally, a transfer equation was obtained for the total period of available flow data, a model that was used to develop the runoff reconstruction of the upper Nazas watershed in the total length of the chronology. Spectral analysis was run in the reconstruction to detect the presence of significant frequencies (peaks) and define the influence of circulatory patterns.

Drought periods detected in the reconstructions were validated with historical documents and records of the El Niño Southern Oscillation (ENSO); likewise, they were compared with dendroclimatic reconstructions previously developed for the state of Durango and elsewhere in northern Mexico and the southwestern United States (Stahle *et al.*, 2011).

**RESULTS AND DISCUSSION**

The total ring-width chronology developed was extended for the period 1210–2011 (802 years long). The time series generated was correlated with the runoff data from the Salomé Acosta and Sardinas hydrometric stations, which characterize the hydrological behavior of the upper Nazas River watershed. Correlation analysis for a 31-year period (1974–2004) between the ring width index and the accumu-

notas

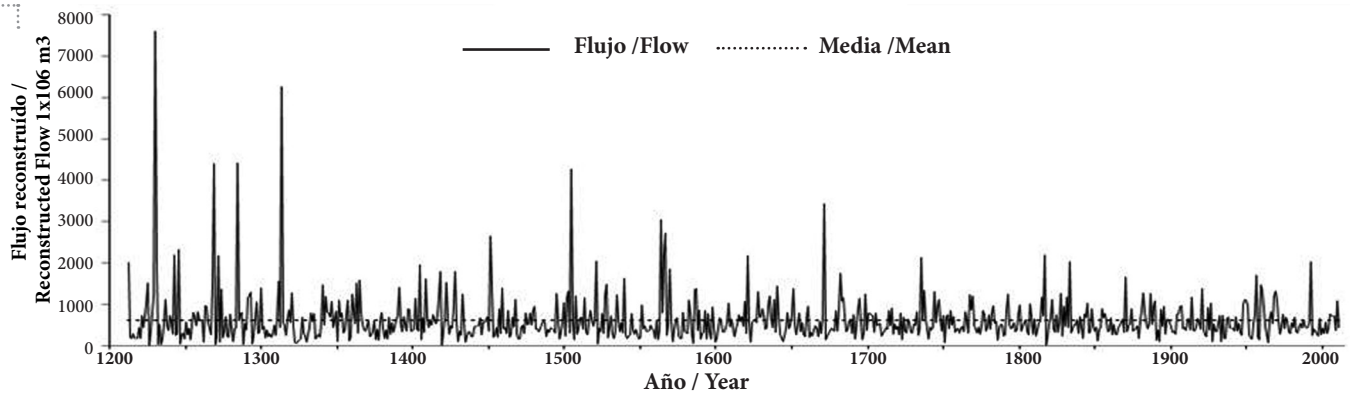


FIGURA 2. Volúmenes de escurrimiento reconstruidos de la parte alta de la cuenca del Nazas de agosto del año previo a febrero del año actual de crecimiento.

FIGURE 2. Reconstructed runoff volumes of the upper Nazas River watershed from August of the previous year to February of the current growth year.

24

dinas, que caracterizan el comportamiento hidrológico de la cuenca alta del río Nazas. El análisis de correlación para un periodo de 31 años (1974 – 2004) entre el índice de ancho de anillo y el flujo acumulado del periodo estacional agosto del año previo a febrero del año actual de crecimiento, produjo una respuesta significativa entre ambas variables ( $r = 0.78$ ,  $P < 0.0001$ ). El análisis de varianza de la correlación lineal, indicó que tanto el valor de la intercepción como el de la variable dependiente fueron significativos, al menos a una probabilidad de 0.01, por lo que la ecuación lineal generada fue estadísticamente aceptable con fines de reconstrucción (Figura 2).

La reconstrucción mostró alta variación interanual y multianual; sequías prolongadas se presentaron en las décadas de 1250, 1320-1340, 1370-1380, 1440-1450, 1460-1470, 1650-1660, 1710-1730, 1790-1810, 1920-1940, 1970-1980, 1990. La duración e intensidad de algunas sequías superó a la que se vive actualmente en la región. Escurrimientos extraordinarios como los ocurridos en los años 1212, 1229, 1242, 1245, 1271, 1313, 1404, 1427, 1451, 1504, 1520, 1563, 1566, 1620, 1671, 1681, 1735, 1816, 1833, 1869, 1920, 1956, 1959 y 1992, parecen estar ligados a la presencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), ya que un análisis espectral de la reconstrucción detectó picos significativos en frecuencias de 8 y 100 años, que corresponden a la marca de ENSO (Stahle *et al.*, 2011), no obstante, el análisis mostró otras frecuencias (20 a 30 años) que pudieran deberse a la señal de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, siglas en inglés) (Mantua *et al.*, 1997).

## CONCLUSIONES

El escurrimiento generado en la parte alta de la cuenca del río Nazas mostró alta variación interanual y multianual en más de 800 años analizados; esta variación se expresó en sequías frecuentes algunas de las cuales fueron de mayor intensidad y duración a la registrada en los dos últimos años. La presencia de picos significativos en un análisis espectral es indicativo de que patrones atmosféricos circulatorios (ENSO, PDO) influyen en el comportamiento de la variabi-

lidad del flujo de la temporada, desde agosto del año anterior hasta febrero del año actual de crecimiento, produjo una respuesta significativa entre las dos variables ( $r = 0.78$ ,  $P < 0.0001$ ). El análisis de varianza de la correlación lineal indicó que el valor de ambos el intercepto y la variable dependiente fueron significativos, al menos a una probabilidad de 0.01, por lo que la ecuación lineal generada fue estadísticamente aceptable para fines de reconstrucción (Figura 2).

La reconstrucción mostró alta variación interanual y multianual; sequías prolongadas se presentaron en las décadas de 1250, 1320-1340, 1370-1380, 1440-1450, 1460-1470, 1650-1660, 1710-1730, 1790-1810, 1920-1940, 1970-1980, 1990. La duración e intensidad de algunas sequías superó a la que se vive actualmente en la región. Escurrimientos extraordinarios como los ocurridos en los años 1212, 1229, 1242, 1245, 1271, 1313, 1404, 1427, 1451, 1504, 1520, 1563, 1566, 1620, 1671, 1681, 1735, 1816, 1833, 1869, 1920, 1956, 1959 y 1992, parecen estar ligados a la presencia del fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), ya que un análisis espectral de la reconstrucción detectó picos significativos en frecuencias de 8 y 100 años, que corresponden a la marca de ENSO (Stahle *et al.*, 2011); sin embargo, el análisis mostró otras frecuencias (20 a 30 años) que pudieran deberse a la señal de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) (Mantua *et al.*, 1997).

## CONCLUSIONES

El escurrimiento generado en la parte alta de la cuenca del río Nazas mostró alta variación interanual y multianual en más de 800 años analizados. Esta variación se expresó en frecuentes sequías, algunas de las cuales fueron de mayor intensidad y duración que la registrada en los últimos dos años. La presencia de picos significativos en un análisis espectral es indicativo de que patrones atmosféricos circulatorios (ENSO, PDO) influyen en el comportamiento de la variabilidad del flujo de la temporada, desde agosto del año anterior hasta febrero del año actual de crecimiento, produjo una respuesta significativa entre las dos variables ( $r = 0.78$ ,  $P < 0.0001$ ). El análisis de varianza de la correlación lineal indicó que el valor de ambos el intercepto y la variable dependiente fueron significativos, al menos a una probabilidad de 0.01, por lo que la ecuación lineal generada fue estadísticamente aceptable para fines de reconstrucción (Figura 2).

notas

lidad de baja frecuencia detectada en la reconstrucción, por lo que un análisis más detallado de estos fenómenos es de gran valía con fines predictivos y de manejo de los recursos hidrológicos en esta región.

#### LITERATURA CITADA

- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37-59.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press. New York, USA. 567 p
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78
- Mantua, N. J.; Hare, S. R.; Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Francis, R. C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American meteorological Society*.78: 1069-1079.
- Seager, R., M.; Ting, M.; Davis, M.; Cane, N.; Nike, J.; Nakumara, C.; Lie, E. Cook; Stahle, D.W. 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera* 22(1): 1-31.
- Stahle, D. W.; Villanueva-Diaz, J.; Burnette, D. J.; Cerano-Paredes, J.; Heim Jr, R. R.; Fye, F. K.; Acuna-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*. The University of Chicago. Chicago, USA. 73 p.
- Villanueva Diaz, J.; Fulé, P. Z.; Cerano P, J.; Estrada A., J.; Sánchez C., I. 2009. Reconstrucción de la precipitación estacional para el barlovento de la Sierra Madre Occidental. *Ciencia Forestal en México* 34 (105): 37-69.