



RESPUESTA HIDROLÓGICA DEL SABINO EN BOSQUES DE GALERÍA DEL RÍO SAN PEDRO MEZQUITAL, DURANGO

HYDROLOGICAL RESPONSE OF THE MONTEZUMA CYPRESS IN THE FOREST GALLERY OF THE SAN PEDRO MEZQUITAL RIVER, DURANGO

José Villanueva Díaz¹, David W. Stahle², Julián Cerano Paredes¹, Juan Estrada Ávalos¹ y
Vicenta Constante García¹

RESUMEN

El sabino, *Taxodium*, es el taxon dominante en bosques de galería del río San Pedro-Mezquital (RSPM), RH11. En México, no existe información de la respuesta de esta especie con volúmenes de caudales modificados. En el RSPM, el flujo original ha sido almacenado en represas construidas de 1950 a 1989; por lo tanto, los datos hidrométricos son artificiales. El objetivo del presente estudio fue analizar la asociación entre el crecimiento anual de especímenes colectados en un transecto de 20 km en el RSPM y el flujo artificial registrado. Los resultados indican que para la estación "El Saltillo", los sabinos responden significativamente ($r = 0.72$, $n = 16$, 1967-1986, $p < 0.001$) al flujo acumulado del período marzo-septiembre; una respuesta similar se determinó para la estación hidrométrica "Refugio Salcido" y "El Pueblito". Si *T. mucronatum* es sensible y responde al caudal primavera-verano, se puede argumentar que tiene alta plasticidad, en términos de ajustarse a la disponibilidad de agua, siempre y cuando esta se proporcione durante la estación de crecimiento. Retornar a las condiciones de flujo natural del RSPM es difícil por cuestiones sociales y económicas; no obstante, se requiere garantizar su disponibilidad en el período marzo-septiembre, situación que debe ir acompañada de acciones adicionales de protección y de restauración de los sitios que lo ameriten.

Palabras clave: Bosque de galería, cronología, flujo, río San Pedro-Mezquital, sabino, *Taxodium mucronatum* Ten.

ABSTRACT

Cypress is the dominant species in the San Pedro Mezquital River (SPMR). In Mexico there is a lack of information about the response of cypress to a modified stream volume, as is the case of the SPMR, where dams were built from 1950 to 1989. The gauge stations located in the tributaries of the SPMR are recording artificial flows from dam releases in the growing season. The objective of this study was to analyze the association between annual radial growth and seasonal flow. A ring-width chronology was developed from increment cores collected in a 20 km transect along the SPMR. A significant association was observed between the "El Saltillo" gauge station and the cypress ring-width chronology ($r = 0.72$, $n = 16$, 1967-1986, $p < 0.001$) during the March-September period. A similar response function was obtained for other close gauge stations. If the climatic response of the cypress is to the accumulated March-September flow, then this could suggest a strong capability of the species to adjust its physiology to water availability in that period. Given the availability of hydrological infrastructure for irrigation purposes linked to socio-economical interests, it seems very difficult to return to "natural" flow conditions; however, it should be allowed an ecological stream flow to ensure the functioning of the riparian ecosystem and promote protection and restoration measurements when required.

Key words: Riparian ecosystem, chronology, streamflow, San Pedro-Mezquital river, cedar, *Taxodium mucronatum* Ten.

Fecha de recepción/date of receipt: 1 de junio de 2013; Fecha de aceptación/date of acceptance: 27 de agosto de 2013.

¹ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, INIFAP. Correo-e: villanueva.jose@inifap.gob.mx

² Universidad de Arkansas. Fayetteville, AR.

INTRODUCCIÓN

Taxodium mucronatum Ten. (sabino) es la especie dominante de diversos ecosistemas riparios en México, donde llega a constituir bosques de galería de singular belleza. Por su hábitat ripario, da la impresión de que requiere un suministro constante de agua o un manto freático muy superficial para satisfacer sus requerimientos hídricos; no obstante, muestra tolerancia a la sequía, pues sobrevive a períodos en los cuales los caudales o flujos de los ríos disminuyen o llegan a desaparecer de manera temporal. En el país, no se han realizado estudios específicos en los que se analice con detalle la respuesta hidroclimática del sabino, aunque en algunas cuencas existen estimaciones del caudal ecológico, necesario para que el ecosistema ripario mantenga su funcionalidad en términos de dinámica, de biodiversidad, para proveer estabilidad al cauce; calidad de agua y para favorecer un microclima especial; sin embargo, la respuesta de la especie a un caudal fluctuante no ha sido analizada (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008).

Respecto a las poblaciones de sabino en el río San Pedro Mezquital, el flujo original de sus afluentes ha sido almacenado en las presas Peña de Águila, Guadalupe Victoria y Santiago Bayacora, cuya construcción se remonta a los años de 1950, 1962 y 1989, respectivamente, de tal manera que los registros de volúmenes actuales correspondientes a caudales, o gastos medidos en las estaciones hidrométricas en funcionamiento son el resultado de extracciones para riego, derrames y desfogues de las presas; estos últimos, cuando los escurrimientos rebasan la capacidad de almacenamiento de las presas debido a un exceso de precipitación.

La respuesta en el crecimiento de los sabinos en el río San Pedro Mezquital estará influenciada por los caudales artificiales y, posiblemente, esta respuesta cambiaría si el flujo fuera de carácter "natural", como se determinó en estudios realizados en Guanajuato y cuenca alta del río Nazas (Villanueva *et al.*, 2010a; 2010b).

La importancia ecológica de preservar este sistema riveroño, demanda un conocimiento científico del impacto en el crecimiento de la especie del flujo artificial, de tal manera que se defina el período anual en que debe circular un volumen específico por el cauce del río, para que el sabino mantenga su desarrollo y cumpla con su función en el ecosistema. Así, el objetivo del presente estudio fue definir el período estacional del año en que *T. mucronatum* mejor responde al volumen de caudal en el cauce, información que se pretende fundamente una propuesta técnica de manejo de los recursos hídricos para que, al menos durante el período de mayor crecimiento, se mantenga un volumen de agua circulando por dicho sistema riveroño.



INTRODUCTION

Taxodium mucronatum Ten. (Montezuma cypress) is the dominant taxon of various riparian ecosystems in Mexico, where it forms forest galleries of extraordinary beauty. Because of its riparian habitat, it gives the impression that it requires a constant water supply or a very superficial freatic mantle to satisfy its water requirements. However, it is tolerant to drought, surviving periods during which the volumes or flows of the river diminish or even disappear temporarily. No specific studies have been carried out in the country to analyze in detail the hydroclimatic response of the cypress, although for certain basins, in terms of dynamics, there are estimates of the environmental flow necessary for the riparian ecosystem to maintain its functionality in terms of dynamics, of biodiversity and of the quality of the water, so as to provide stability to the riverbed and favor a special microclimate; however, the response of the species to a fluctuating flow has not yet been analyzed (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008).

As for the cypress populations in the San Pedro Mezquital river, the original flow of its afluentes and tributaries has been stored in the Peña de Águila, Guadalupe Victoria and Santiago Bayacora dams, built in the years 1950, 1962 and 1989, respectively, so that the registers of current volumes corresponding to flows or expenses measured at the working hydrometric gauge stations are the result of extraction for irrigation and spillovers, and of ventings of the dams when the runoffs overflow their storage capacity due to excess precipitations.

The growth response of the cypresses by the San Pedro Mezquital river will be influenced by the artificial flows and, possibly, this response would change if the flow were "natural", as determined in studies performed in Guanajuato and in the upper basin of the Nazas river (Villanueva *et al.*, 2010a; 2010b).

The ecological importance of preserving this riparian system demands scientific knowledge of the impact of the artificial flow on the growth of the species in order to define the yearly period in which a specific volume must circulate along the riverbed, so that the cypress may maintain its development and fulfill its role in the ecosystem. Thus, the objective of this study was to define the seasonal period of the year in which *T. mucronatum* best responds to the flow volume in the riverbed, an information which is intended to be primarily technical -a proposal for the management of the water resources to maintain a volume of water circulating along this riparian system at least during the period of most intense growth.

Distribution of the cypress across the American continent

Several researches indicate that *Taxodium* evolved during the Cenozoic era, more than 65 years ago. During the Miocene it spread from Eurasia, advanced along the Bering Strait into North America, Mexico and Guatemala (Brown y Montz,

Distribución del sabino en el continente Americano

Diversas investigaciones indican que el género *Taxodium* evolucionó durante la era Cenozoica, hace más de 65 millones de años. En el Mioceno se extendió desde Eurasia, se internó por el estrecho de Bering a Norteamérica, México y Guatemala (Brown y Montz, 1986; Thomas y Spicer, 1987). En el Cuaternario se registró un retraimiento de su distribución que lo confinó a corrientes permanentes o semipermanentes de agua, como se observa en el presente en bosques de galería de México y Guatemala (Martínez, 1963).

El sabino es quizás la especie más longeva en México, llega con frecuencia a superar los mil años de vida (Villanueva *et al.*, 2006, 2010a; Stahle *et al.*, 2011), semi-caducifolia o caducifolia, se distribuye desde el sureste de los Estados Unidos de América, gran parte de la república mexicana (excepto las penínsulas de Baja California y de Yucatán), y región occidental de Guatemala (Martínez, 1963).

El término *Taxodium* proviene de las raíces griegas *Taxus* = Tejo y *eidos* = parecido o semejante; es decir, se asemeja al árbol de Tejo. Generalmente, se clasifica con una sola especie y dos variedades, todas nativas de Norteamérica, aunque diversos taxónomos lo separan en tres: *Taxodium distichum* (L.) L. Rich. (baldcypress o ciprés del sur), *Taxodium ascendens* Brongn. (ciprés de los pantanos), distribuido en las costas del sureste desde Virginia a Florida y Louisiana, Estados Unidos de América; y *Taxodium mucronatum* Ten. (ahuehuete o sabino) que crece desde el extremo sur de Texas, en gran parte de México, hasta el extremo occidental de Guatemala (Mattoon, 1915; Martínez, 1963; Little, 1971; Brown y Montz, 1986; Denny y Arnold, 2007).

La palabra ahuehuete procede del Náhuatl, "atl" que significa agua y "huehuetl", viejo o abuelo, por lo que su acepción es "viejo del agua", y se le considera el árbol nacional de México (Luque, 1921). Se desarrolla en casi todo el territorio nacional, siempre y cuando exista una fuente permanente o semipermanente de agua, o en su defecto, un manto freático muy superficial, de ahí que se localice en riveras de ríos, manantiales, y en humedales de diversos ecosistemas de México (Martínez, 1963; Rzedowski, 1986).

En México, *T. mucronatum* se ubica desde 250 msnm, en algunos sitios del estado de Nuevo León y Tamaulipas; aunque que supera los 2 500 msnm, incluso se observan ejemplares hasta 2 800 m de altitud, situación que le hace estar presente en una amplia diversidad de condiciones climáticas y de ecosistemas: desde zonas áridas, templadas, hasta semitropicales, siempre y cuando exista humedad disponible en el suelo, a pesar de su tolerancia a períodos secos (Carranza, 1992; Villanueva *et al.*, 2003). En el río San Pedro Mezquital la especie crece en un intervalo altitudinal aproximado de 1 350 a 1 900 m, pero la población dominante se encuentra entre 1 700 a 1 800 m.

1986; Thomas and Spicer, 1987). During the Quaternary era its distribution receded and it became confined to the permanent or semi-permanent water currents, as may be seen today in the forest galleries of Mexico and Guatemala (Martínez, 1963).

The cypress is perhaps the longest living species in Mexico; it often lives longer than a thousand years (Villanueva *et al.*, 2006, 2010a; Stahle *et al.*, 2011); it is deciduous or semideciduous, its distribution stretches from the southeast of the United States of America to a large portion of the Mexican republic (except in the peninsulas of Baja California and Yucatán) and to western Guatemala (Martínez, 1963).

The term *Taxodium* comes from the Greek roots *Taxus* = yew and *eidos* = similar; that is, similar to the yew tree. It is generally classified with one single species and two varieties, all of them native of North America, although several taxonomists divide them in three: *Taxodium distichum* (L.) L. Rich. (bald cypress or southern cypress), *Taxodium ascendens* Brongn. (swamp cypress), distributed along the southeastern coasts of the United States of America, from Virginia to Florida and Louisiana, and *Taxodium mucronatum* Ten. (Montezuma cypress), which grows in southern Texas, in a large portion of Mexico, down to western Guatemala (Mattoon, 1915; Martínez, 1963; Little, 1971; Brown and Montz, 1986; Denny and Arnold, 2007).

The word used in Mexico for the Montezuma cypress, *ahuehuete*, comes from the Nahuatl, "atl", water, and "huehuetl", old man or grandfather, and therefore it means "old tree of water", and it is considered to be the national tree of Mexico (Luque, 1921). It grows in almost all the national territory, wherever there is a permanent or semi-permanent spring, or a very superficial freatic mantle; for this reason it is found on river banks, at springs, and in wetlands of various ecosystems of Mexico (Martínez, 1963; Rzedowski, 1986).

In Mexico, *T. mucronatum* is found from 250 masl in certain areas of the states of Nuevo León and Tamaulipas, but it may be found above 2 500 masl, and some specimens have been observed even at 2 800 masl; thus, they are present in a wide variety of climatic conditions and ecosystems, ranging from arid zones to temperate and semitropical areas, where humidity is available in the soil, although they have the ability to tolerate dry periods (Carranza, 1992; Villanueva *et al.*, 2003). At the San Pedro Mezquital river, the species grows within an altitude interval of approximately 1 350 to 1 900m, but the dominant population occurs between 1 700 and 1 800 m.

Distribution of the cypress along the San Pedro-Mezquital River

The riparian area of the San Pedro-Mezquital river is located within the Hydrological Region No. 11, Presidio-San Pedro, in the state of Durango, which irrigates along its course much of the Guadiana Valley. Together with its main affluent and

Distribución del sabino en el Río San Pedro-Mezquital

El área riverense del río San Pedro-Mezquital, se sitúa dentro de la Región Hidrológica Núm. 11, Presidio-San Pedro en el estado de Durango, que irriga en su trayectoria gran parte del Valle de Guadiana. Con la unión de sus principales afluentes, bordea a los pueblos de Atotonilco, El Troncón, Mezquital y San Agustín de Buenaventura, con una longitud total de 498 km, de los cuales 346 km pertenecen al estado de Durango y 152 km a Nayarit (Figura 1). El clima en Durango se caracteriza por temperaturas cálidas de 12.5 °C a 26.3 °C. En las partes altas de la sierra, se presentan nevadas en época de invierno; con respecto a las lluvias, son abundantes durante el verano y hay "agua nieve" en parte del periodo invernal.

En el área riparia predomina un sustrato geológico dominado por rocas sedimentarias de tipo conglomerado, así como ígneas extrusivas, entre ellas el basalto, riolita y toba ácida. Edafológicamente los suelos se clasifican como Fluviosoles, Leptosoles y Feozem con una vegetación de tipo pastizal, matorral crasicaule y nopalera (INEGI, 2002).

tributaries, it encompasses the villages of Atotonilco, El Troncón, Mezquital and San Agustín de Buenaventura, along a total length of 498 km, of which 346 km belong to the state of Durango, and 152 km, to Nayarit (Figure 1). The climate of Durango is characterized by warm temperatures ranging between 12.5 °C. In the higher parts of the mountain range, snowfalls occur during the winter. Rains are abundant during the summer, and there is sleet during part of the winter.

A geological substratum dominated by conglomerate sedimentary rocks and extrusive igneous rocks -including basalt, rhyolite and acid tuff- prevails in the riparian area. Edaphologically, its soils are classified as fluviosols, leptosols and faezioms, with a pasture vegetation, crasicaule scrubs and nopal cacti (INEGI, 2002).

The vegetation along the river is made up of cypresses, willows (*Salix bonplandiana* Kunth), ashes (*Fraxinus berlandieriana* DC.) and poplars (*Populus fremontii* var. *mesetae* Eckenw.), as well as by desertic vegetation, with a dominance of mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), huisache (*Acacia farnesiana* (L.)

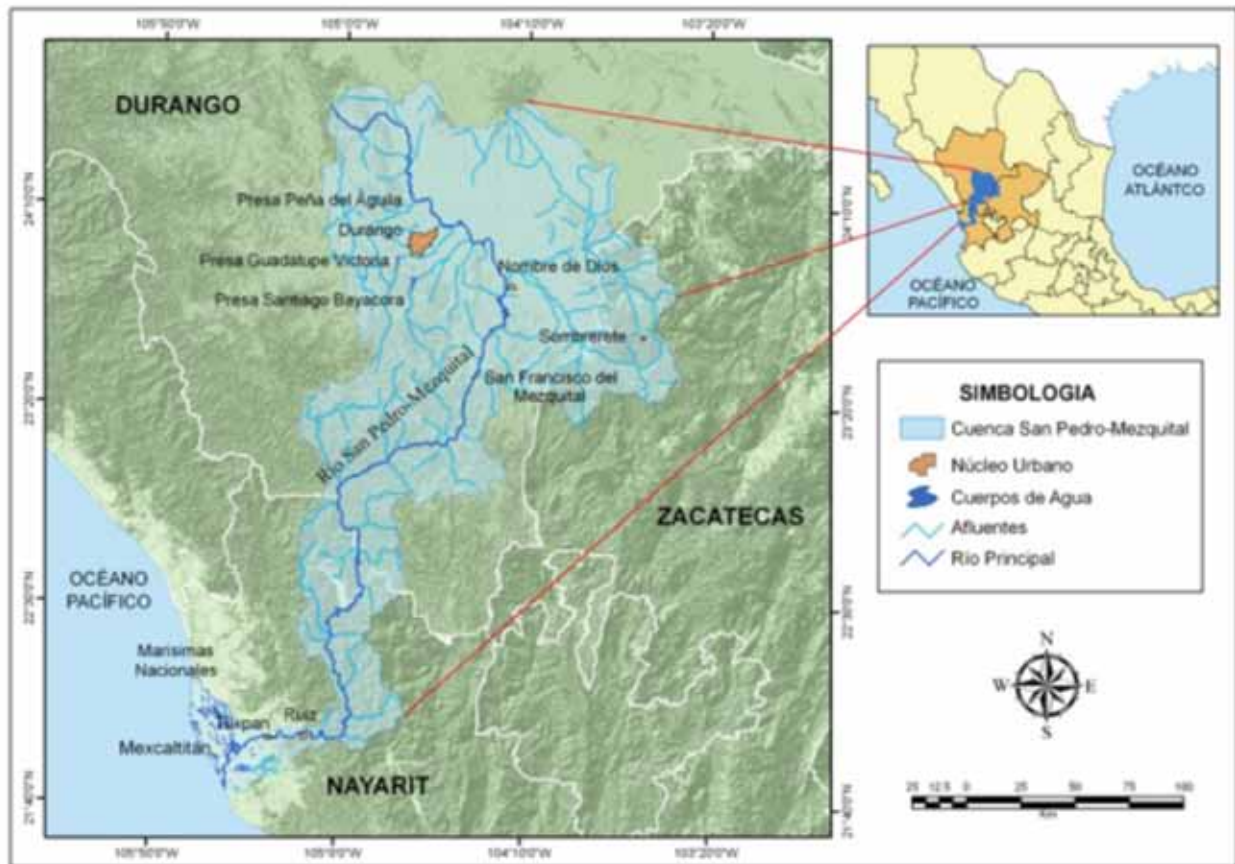


Figura 1. Cuenca del Río San Pedro-Mezquital, con su afluente principal y corrientes tributarias.

Figure 1. Basin of the San Pedro-Mezquital river, with its main affluent and tributary streams.

La vegetación a lo largo del río está constituida por sabino, sauz (*Salix bonplandiana* Kunth), fresno (*Fraxinus berlandieriana* DC.) y álamo (*Populus fremontii* var. *mesetae* Eckenw.), así como por vegetación de tipo desértico con la dominancia de mezquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.), granjeno (*Celtis pallida* Torr.), gatuño (*Mimosa biuncifera* Benth.), jarilla (*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.) y maguey (*Agave* spp.), entre otras (González *et al.*, 2007). La parte baja de la cuenca está ocupada, principalmente, por agricultura y humedales costeros. En el estado de Nayarit se localiza la parte baja de la cuenca del Río San Pedro-Mezquital; la temperatura media anual varía de 14 °C a 26 °C y la precipitación anual fluctúa de 700 mm a 2 000 mm, la época de mayor precipitación corresponde de junio a noviembre.

Los bosques de galería del río San Pedro-Mezquital al igual que otros ecosistemas riparios del país muestran un disturbio que se puede catalogar en el intervalo de moderado a severo, en sus casi 500 km de longitud. La presencia de sabino en ese ecosistema riverero, se observa desde aguas abajo de las presas "Guadalupe Victoria", "Presa del Águila", y "Santiago Bayacora", aunque en este último reservorio su presencia no fue inmediata y se detectaron individuos aislados aproximadamente a 6 km aguas abajo de la cortina. La distribución del sabino en el RSPM se corroboró hasta aproximadamente 8 km aguas abajo del poblado "El Mezquital" y quizás continúe de manera esporádica en el río posterior a este punto, aunque es difícil de constatar su existencia, debido a lo escabroso del terreno y a otros aspectos de seguridad; no obstante, lo anterior, la longitud total explorada con sabino (261 km), constituye aproximadamente 52% de la longitud total estimada del río.

Observaciones satelitales no evidencian al sabino fuera de los sitios analizados, posiblemente debido a cauces con pendientes abruptas, escurrimientos solo estacionales y volúmenes de alta intensidad que arrancan la regeneración que se pudiera establecer en los márgenes del río, limitando de esta manera su presencia en estos sitios.

MATERIALES Y MÉTODOS

En un transecto de casi 20 km de longitud, ubicado entre las coordenadas 23°56'21.9" de latitud N, 104°18'28.2" O y 23°59'01.9" N, 104°19'43.7" O con altitud media de 1 843 m, se realizó un muestreo selectivo de individuos para estudios dendrocronológicos (Figura 2). En cada árbol seleccionado se obtuvieron de dos a tres núcleos de crecimiento o virutas, con un taladro de Pressler. Las muestras se extrajeron, en su gran mayoría, a la altura del pecho, aunque en ocasiones por problemas de pudriciones en el fuste principal se extrajeron de un sitio diferente. El material se procesó con base en técnicas dendrocronológicas estándar (Stokes y Smiley, 1968; Fritts, 1976). Una vez que se tuvo el fechado correcto, medido y verificado con COFECHA

Willd.), spiny hackberry (*Celtis pallida* Torr.), catclaw mimosa (*Mimosa biuncifera* Benth.), seepwillow (*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.), and maguey (*Agave* spp.), among others (González *et al.*, 2007). The lower part of the basin is mainly occupied by agriculture and by coastal wetlands. The lower part of the basin of the San Pedro-Mezquital River is located in the state of Nayarit; the mean annual temperature ranges between 14 °C and 26 °C, and the annual precipitation fluctuates between 700 mm and 2 000 mm; the largest precipitations occur between June and November.

The forest galleries of the San Pedro-Mezquital river, like other riparian ecosystems in the country, show a disturbance that may be classified as a moderate to severe interval, along its almost 500 Km of length. Cypress trees may be observed in this riparian ecosystem from downstream of the "Guadalupe Victoria", "Presa del Águila" and "Santiago Bayacora" dams, but none were found in the immediate vicinity of the latter reservoir, while isolated specimens were detected at 6 km downstream of the curtain. The distribution of the cypress along the SPMR was corroborated until approximately 8 km downstream of the El Mezquital village, and it may continue sporadically along the river after this point; however, it is difficult to confirm its presence due to the roughness of the land and to other safety aspects. Despite this, the total explored length (261 km) along which cypress trees are found constitutes approximately 52% of the esteemed total length of the river.

Satellite observations do not show evidence of the presence of cypress trees outside the analyzed sites, possibly because the riverbeds have steep slopes, exclusively seasonal runoffs, and high intensity volumes that uproot any regrowth that might establish itself on the river banks, thereby limiting its presence in these locations.

MATERIALS AND METHODS

A selective sampling of specimens for dendrochronological studies was carried out along an almost 20 km long transect between the coordinates 23°56'21.9" N, 104°18'28.2" W, and 23°59'01.9" N and 104°19'43.7" W with a mean altitude of 1 843 m (Figure 2). Two to three growth nuclei or shavings were obtained from each tree using a Pressler borer. Most of the samples were drawn at breast height. However, in certain cases, due to rotting of the main stem, they were drawn from a different place. The material was processed according to standard dendrochronological techniques (Stokes and Smiley, 1968; Fritts, 1976). Once the correct dates were measured and verified using COFECHA (Holmes, 1983), the ARSTAN software was run to generate dendrochronological indexes without a biological trend, with a 1 mean and a homogeneous variance (Cook, 1987).

(Holmes, 1983), se corrió el programa ARSTAN para generar índices dendrocronológicos sin tendencia biológica, con una media de uno y varianza homogénea (Cook, 1987).

De la extensión total de la cronología, solo se consideró el período en el cual los índices dendrocronológicos fueron comparables con los datos hidrométricos de las diversas estaciones distribuidas en la cuenca RSPM.

Las estaciones hidrológicas consideradas se ubican en los diferentes afluentes que integran la cuenca del RSPM (Figura 3). Con los datos de cada una de ellas se realizó un análisis de correlación para los meses del año actual de crecimiento, así como para los previos. Si varios meses consecutivos tuvieron significancia, entonces se hizo la sumatoria del volumen acumulado en dicho período, y se generó un nuevo análisis de correlación. Este llevó a cabo análisis se realizó con los datos hidrométricos directos, pero como en general no mostraron normalidad, se les aplicó una serie de transformaciones: como cuadrática (X^2), raíz cuadrada ($X^{1/2}$), logaritmo en base 10, logaritmo natural y el recíproco ($1/X$). Con los datos transformados se determinó la asociación más alta entre las variables consideradas.

Of the entire span of the chronology, only the period during which the dendrochronological indices were comparable to the hydrometric data of the various gauge stations distributed along the SPMR basin was considered.

A correlation analysis was carried out with the data from each of the hydrological gauge stations considered in the various tributaries that make up the SPMR basin (Figure 3) for growth in the months of the current and past years. In those cases in which several consecutive months were found to be significant, the summation of the volume accumulated during that period was estimated, and a new correlation analysis was generated. This analysis was carried out with the direct hydrometric data; however, as generally these did not appear to be normal, a series of transformations -including squared chi (X^2), square root ($X^{1/2}$), logarithm base 10, natural logarithm and reciprocal logarithm ($1/X$)- was applied to them. The highest association between the considered values was determined using the transformed data.

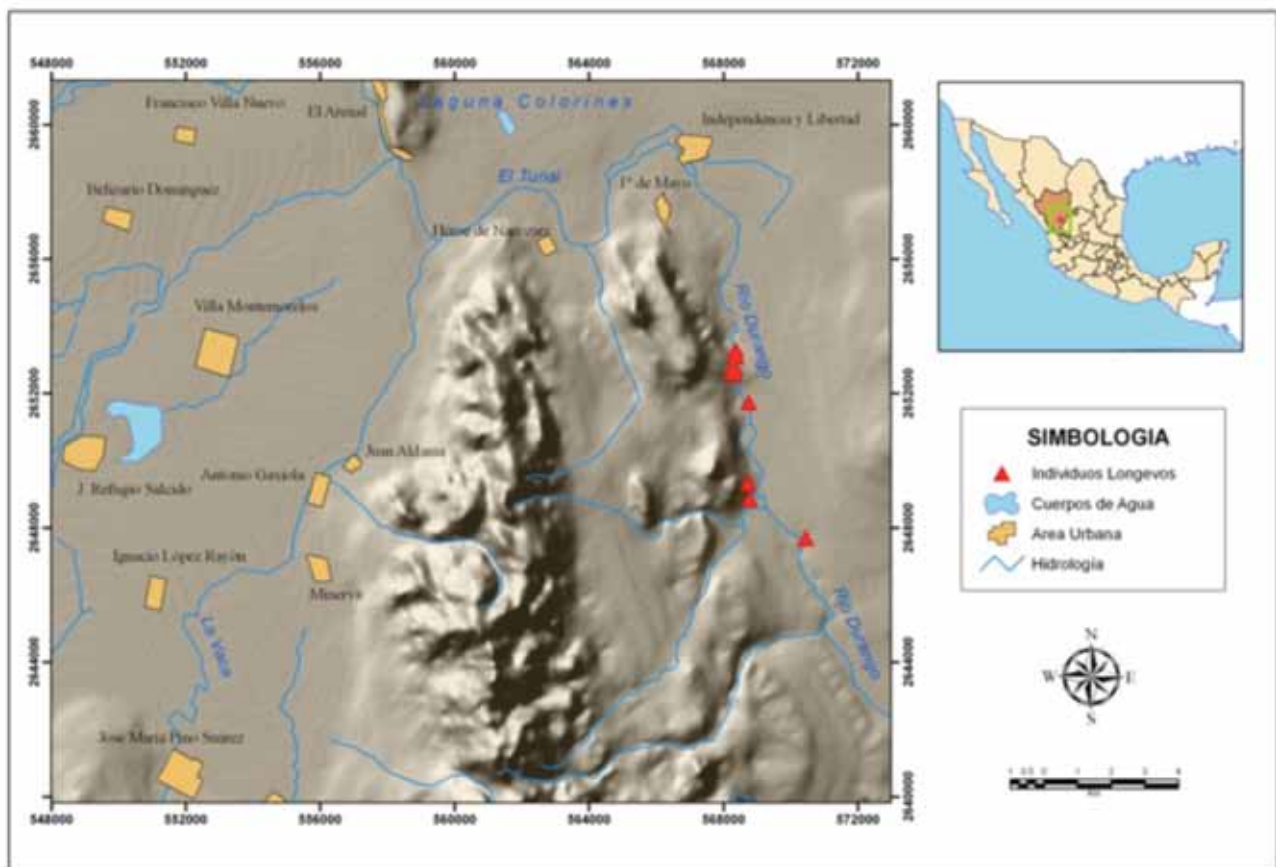


Figura 2. Sitios de muestreo de árboles de sabino en el RSPM. La mayoría de los individuos seleccionados se ubicaron entre los parajes "El Saltito" y "Saltillos".

Figure 2. Cypress trees' sampling sites along the SPMR. Most selected specimens were located between "El Saltito" and "Saltillos".

Las relaciones significativas se graficaron para ilustrar visualmente el grado de correlación y los años en los que la asociación fue más estrecha, para deducir qué factores pudieron haber contribuido a maximizarla o minimizarla.

Los periodos estacionales que resultaron significativos se discuten en términos de la posibilidad de suministrar el volumen estimado para satisfacer los requerimientos ecológicos de la especie y proponer acciones de manejo de los recursos hídricos que aseguren la permanencia y dinámica del ecosistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se generó una cronología de anillo total de 900 años, aunque para fines comparativos solo se presentan los últimos 100 años, en los que la modificación en los caudales pudo afectar el crecimiento radial anual (Figura 4).

Los resultados indican que para la estación hidrométrica “El Saltito”, los sabinos responden a la precipitación acumulada de marzo-septiembre, prácticamente durante la estación de

The significant relationships were graphed to visually illustrate the degree of correlation and the years when the association was closest, so as to deduct which factors may have contributed to maximize or minimize it.

The seasonal periods that turned out to be significant are discussed in terms of their possibility of supplying the estimated volume in order to meet the ecological requirements of the species and propose water resources management actions that may insure the permanence and the dynamics of the ecosystem.

RESULTS AND DISCUSSION

A total ring chronology of 900 years was generated; however, for comparative purposes only the last 100 years are shown, during which the modification of the flows may have affected the annual radial growth (Figure 4).

The results indicate that, for the “El Saltito” hydrometric gauge station, the cypress trees respond to the precipitation

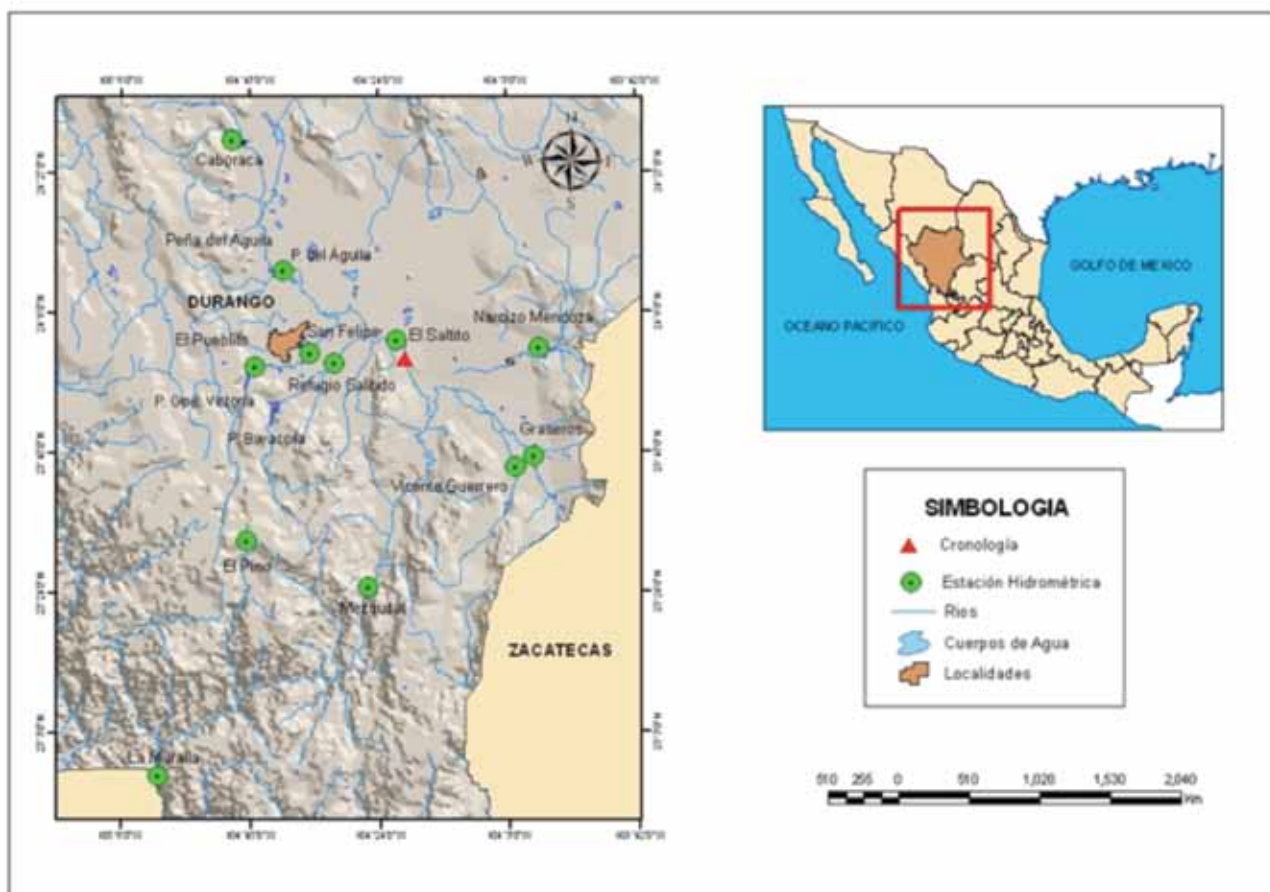
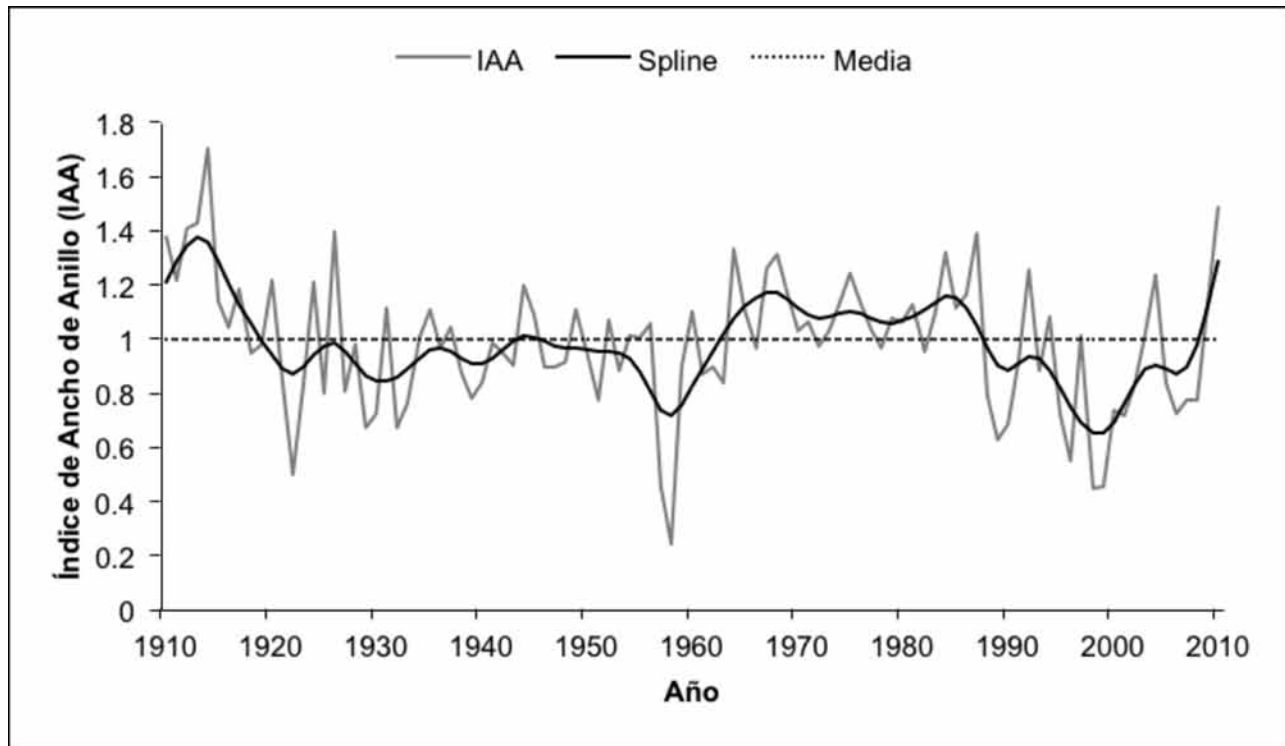


Figura 3. Ubicación de presas, estaciones hidrométricas y sitio de muestreo del arbolado en la cuenca San Pedro Mezquital, Durango.

Figure 3. Location of dams, hydrometric gauge stations and tree sampling sites along the San Pedro-Mezquital basin in Durango.



IAA = Índice del ancho del anillo; Spline= Curva suavizada; Media

Índice de Ancho de Anillo (IAA) = Ring-Width Index (RWI); IAA = RWI; Spline = Spline; Media = Mean; Año = Year

Figura 4. Cronología de anillo total del RSPM para los últimos 100 años.

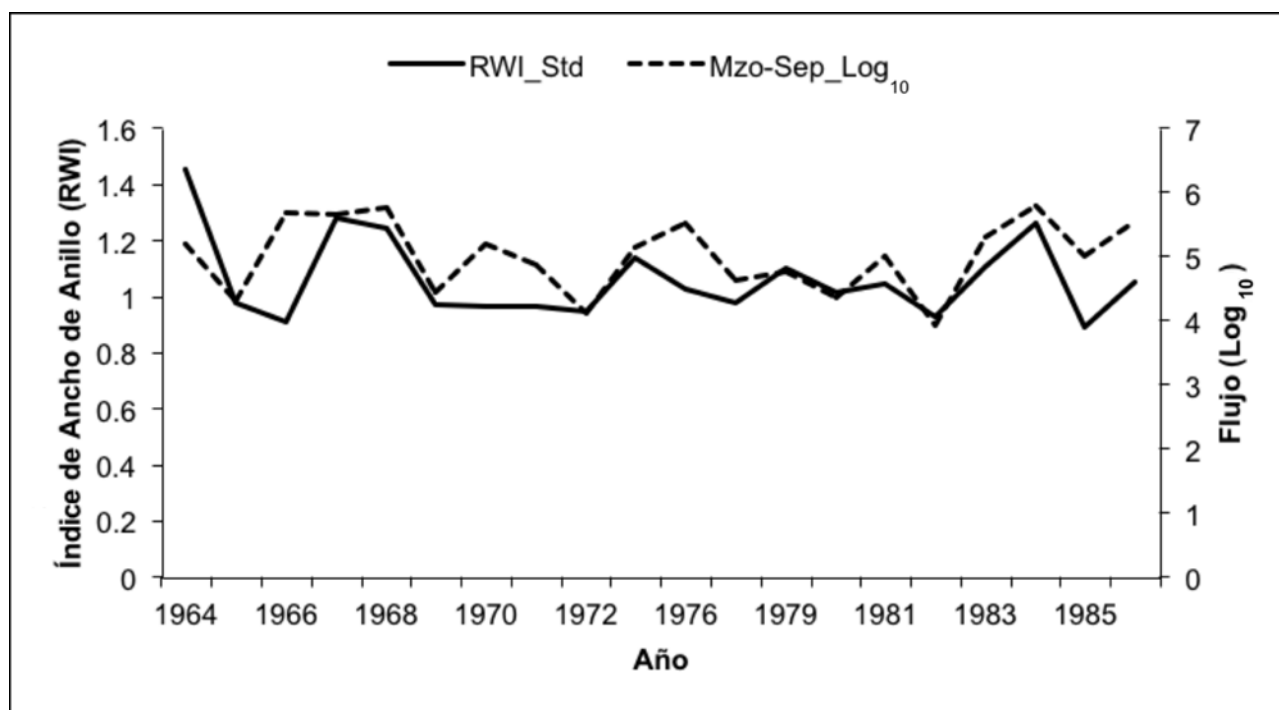
Figure 4. Total ring chronology along the San Pedro-Mezquital River for the last 100 years.

crecimiento (determinada mediante muestreos consecutivos cada dos semanas, desde el inicio hasta la formación completa del anillo anual); la relación fue positiva y significativa en el período analizado, 1967-1986 ($r = 0.72$, $n = 16$, $p < 0.001$) (Figura 5).

En el lapso 1944-1986, se registró un comportamiento similar para la estación hidrométrica "Refugio Salcido" ($r = 0.4$, $n = 43$, $p < 0.007$); para la estación "El Pueblito" (1961-1984), con un flujo acumulado de marzo a julio ($r = 0.67$, $n = 24$, $p < 0.0004$). La estación hidrométrica de referencia (El Tunal_S1) presentó una asociación significativa con la cronología de agosto del año previo de crecimiento hasta abril del año actual (Figura 6), que se asemeja más a la observada para otras reconstrucciones de caudales en México; como es el caso del río Nazas en Durango, en el que un análisis similar determinó que el crecimiento del sabino depende de manera significativa del caudal que circula por dicho río, en el período que comprende de agosto del año previo hasta febrero del año actual de crecimiento (Villanueva *et al.*, 2010b). En otro estudio, para la región de Manuel Doblado, Guanajuato, se consigna que el crecimiento de la especie se relaciona con el caudal acumulado de julio del año previo al crecimiento a marzo del año actual, prácticamente, el mismo período (Cortés *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2010c); sin embargo, lo anterior no es indicativo de que en el resto del año la especie no requiera de un suministro constante de agua.

accumulated between March and September, fundamentally during the growing season (as determined by consecutive samples taken every two weeks from the start until the time when the annual ring is completed); the relationship proved to be positive and significant during the analyzed period, 1967-1986 ($r = 0.72$, $n = 16$, $p < 0.001$) (Figure 5).

In the 1944-1986 period, a similar behavior was recorded for the "Refugio Salcido" hydrometric gauge station ($r = 0.4$, $n = 43$, $p < 0.007$), and for the "El Pueblito" gauge station (1961-1984), with an accumulated flow of ($r = 0.67$, $n = 24$, $p < 0.0004$) between March and July. The reference hydrometric gauge station -"El Tunal_S1"- showed a significant association with the chronology of August of the previous growth year until April of this year (Figure 6), with a greater similarity to that observed for other flow reconstructions in Mexico; such is the case of the Nazas river in Durango, where a similar analysis determined that the growth of the cypress depends significantly on the flow circulating along the said river during the period between August of the previous year and February of the current growth year (Villanueva *et al.*, 2010b). According to another study for the Manuel Doblado region in Guanajuato, the growth of the species is related to the flow accumulated from July of the year previous to the growth to March of the current year, i.e. basically during the same period



RWI_Std = Cronología del ancho del anillo; Mzo-Sep_Log₁₀ = logaritmo en base 10 durante de marzo-a diciembre.

Índice de Ancho de Anillo (RWI) = Ring-Width Index (RWI); Mzo-Sep_Log₁₀ = March-Sept_Log₁₀; Flujo_Log₁₀ = Flow_Log₁₀; Año = Year.

Figura 5. Relación entre los índices de crecimiento anual del sabino y el flujo acumulado del período marzo-septiembre para la estación hidrométrica "El Saltito", ubicada en el río Durango.

Figure 5. Relationship between the annual growth indices of the cypress and the flow accumulated during the March-September period for the "El Saltito" hydrometric gauge station, at the Durango river.

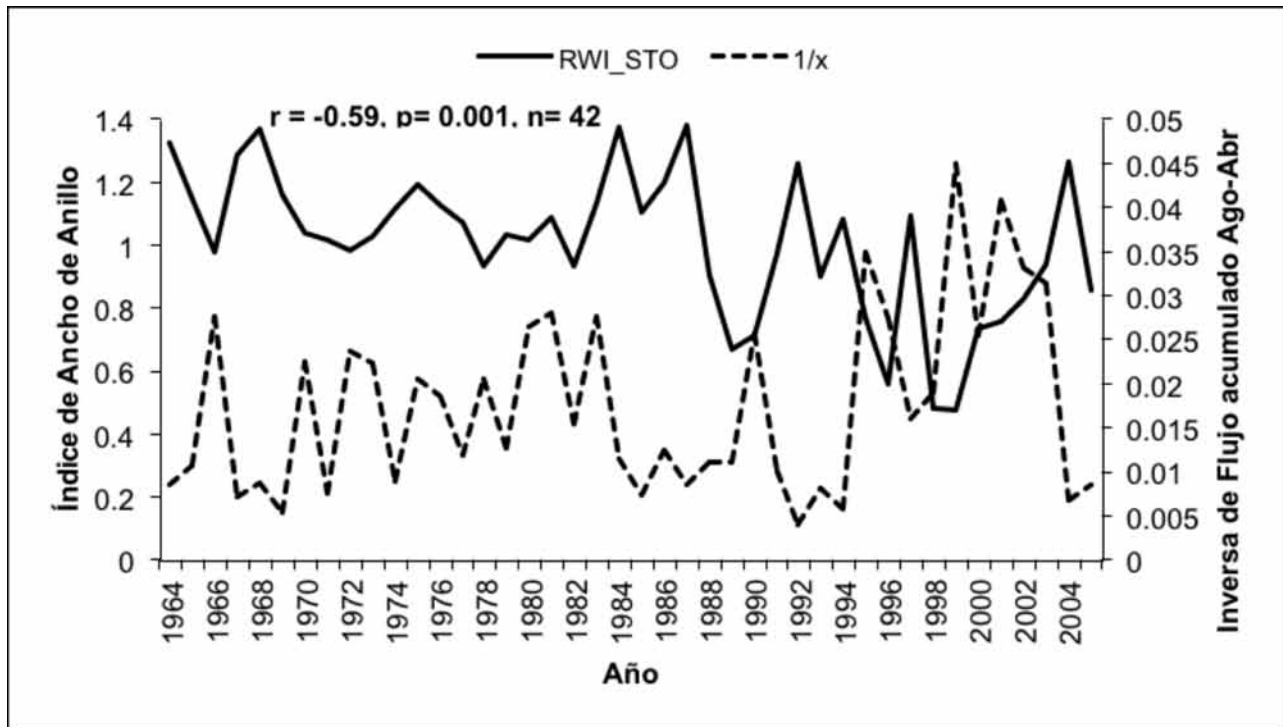
La relación entre las cronología y otras estaciones hidrométricas no fue siempre significativa; por lo que, no se detectó ninguna asociación para la estación hidrométrica "Presa del Águila", y para "San Felipe" los mejores resultados se obtuvieron para enero-junio, período 1943-1993, $r = 0.24$ ($p < 0.09$) y en el caso de Poanas, la respuesta fue en agosto-diciembre, período 1959-1993, $r = 0.35$, $p < 0.04$; no obstante, la representatividad de estas últimas estaciones es mínima, por su lejanía con relación al transecto donde se ubican los árboles utilizados para la generación de la serie dendrocronológica.

Si la respuesta natural de la especie es al flujo estacional del período verano-invierno y el presente estudio se encontró que la especie responde al caudal primavera-verano, particularmente para la estación hidrométrica "El Saltito", localizada muy cerca del transecto donde se colectaron los árboles para el desarrollo de la cronología, entonces se podría argumentar, que *T. mucronatum* posee alta plasticidad, en términos de responder a la disponibilidad de agua, siempre y cuando se le proporcione durante la estación de crecimiento; situación que le permite continuar su desarrollo aun en condiciones de flujo modificado, lo que en apariencia no afecta su permanencia y desarrollo, aunque su efecto en la longevidad o en la dinámica misma de la especie y de los taxa asociados se desconoce.

(Cortés *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2010c); however, this does not mean that the species does not require a constant water supply during the rest of the year.

The relationship between these chronologies and those of other hydrometric gauge stations was not always significant; for this reason, no association was detected for the "Presa del Águila" hydrometric gauge station, and for "San Felipe", the best results were obtained between the months of January and June during the 1943-1993 period, $r = 0.24$ ($p < 0.09$); in the case of Poanas, the response took place between August and December during the 1959-1993 period, $r = 0.35$, $p < 0.04$. However, the representativity of the latter gauge stations is minimal because they are far from the transect in which the trees utilized for the generation of the dendrochronological series are located.

If the natural response of the species is to the seasonal flow of the summer-winter period, and if the present study found the species to respond to the spring-summer flow, particularly for the "El Saltito" hydrometric gauge station, which is located very close to the transect where the trees were collected for the development of the chronology, it may be argued that *T. mucronatum* has a high plasticity in terms of responding to the availability of water, provided that this is supplied during the growing



RWI _ STO = Índice de ancho de anillo de la cronología del saltito, $1/x$ = Inversa del valor.

RWI _ STO = RWI _ STD; Índice de Ancho de Anillo = Ring-Width Index; Inversa de Flujo Acumulado Ago-Abr = Inverse of the Aug-Apr Accumulated Flow; Año = Year.

Figura 6. Relación significativa entre los índices de crecimiento anual del sabino y el flujo acumulado del período agosto del año previo al crecimiento a abril de año actual para la estación hidrométrica "El Tunal _ SI", ubicada en la cuenca del río Durango.

Figure 6. Significant relationship between the annual growth indices of the cypress and the flow accumulated during the period between August of the year previous to the growth and April of this year for the "El Tunal _ SI" hydrometric gauge station, located in the basin of the Durango river.

De acuerdo a los registros hidrométricos de la estación "El Saltito", en los últimos 30 años (1957-1986) el promedio de volumen registrado para el período marzo-septiembre ha sido de 185 471 m³, que corresponde a un promedio mensual de 26 500 m³ y un valor más frecuente de 20 000 m³. Con base en esta información y, si se asume que el crecimiento del arbolado es adecuado, se podría sugerir que el volumen mensual en circulación en esa sección del río Durango, debería ser en promedio, 26 500 m³. Este gasto tendría que cotejarse con otros estándares de calidad de agua y de requerimiento de especies asociadas y volúmenes comprometidos con los usuarios, para que el valor estimado sirviera para definir el gasto ecológico del ecosistema, el cual se ha estimado en 36 hm³ (millones de m³), que representa 8% de los escurrimientos naturales (451 hm³) en esta parte de la cuenca (WWF-Fundación Gonzálo Río Arronte, 2008).

La disponibilidad de agua corriente entre marzo y septiembre resulta esencial para el crecimiento del sabino; y por lo tanto dicho flujo se tiene que garantizar para la perpetuidad del sistema ripario, situación que debe acompañarse con acciones adicionales de protección y de restauración de los sitios que así lo ameriten. Asimismo es necesario evitar

season. A circumstance that enables it to continue situation does not appear to affect its permanence and development, but its effect on the longevity or on the dynamics of the species and of the associated taxa is unknown.

According to the hydrometric records of the "El Saltito" gauge station, in the last 30 years (1957-1986), the average volume registered for the March-September period has been 185 471 m³, corresponding to a monthly average of 26 500 m³ and a more frequent value of 20 000 m³. Based on this information, and if we assume that the growth of the trees is appropriate, we may suggest that the average monthly volume circulating in this section of the Durango river is 26 500 m³. This expenditure would have to be checked against other standards of water quality and requirements of associated species and volumes assigned to the users, so that the estimated value may serve to define the ecosystem's ecological expenditure, which has been estimated in 36 hm³ (millions of m³), representing 8% of the natural runoffs (451 hm³) in this part of the basin (WWF-Fundación Gonzálo Río Arronte, 2008).

The availability of running water between March and September is essential for the growth of the cypress tree; this flow must

el desvío de agua con fines agrícolas o pecuarios y la extracción directa con equipo de bombeo para garantizar el crecimiento de la especie, ya que aun cuando tolera condiciones de sequía, una falta de agua se refleja en un menor crecimiento radial, a su vez también impacta su dinámica, pues limita el su reclutamiento y sobrevivencia de los individuos ya establecidos y del propio ecosistema (Stahle y Cleaveland, 1992).

CONCLUSIONES

Taxodium mucronatum es dominante del bosque de galería que integra el ecosistema rivero del RSPM. Por cientos de años, el sabino se adaptó a la disponibilidad de un flujo natural con variabilidad interanual y multianual; sin embargo, a partir de la década de 1950, la construcción de presas ubicadas en sitios estratégicos a lo largo de los afluentes principales del río afectó los volúmenes de agua disponibles para la especie en tiempo y cantidad, situación que ha tenido un impacto en su respuesta fisiológica.

Se determinó que el crecimiento de *T. mucronatum* al compararse con datos hidrométricos de varias estaciones obedece al volumen acumulado de flujo del período marzo-septiembre; es decir, durante la estación de crecimiento de los cultivos, y solo una comparación con una estación hidrométrica indicó que su respuesta es al flujo acumulado del período que se extiende de agosto del año previo a abril del año actual de crecimiento. Estos resultados señalan que la especie tiene alta plasticidad, en términos del impacto de los volúmenes de flujo, por lo que se sugiere que el ecosistema ripario debe mantener un gasto ecológico, al menos durante la estación de crecimiento, además de implementar acciones adicionales de conservación y de restauración. 🌿

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue apoyado por el Instituto Interamericano para la Investigación de Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047, a su vez financiado por el US/National Science Foundation (Grant GEO-0452325); así como con fondos de la World Wildlife Fund, Inc (WWF), número de acuerdo OK59, proyecto "Dinámica poblacional de sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la cuenca del río San Pedro-Mezquital".

REFERENCIAS

- Brown, C. A. and G. N. Montz. 1986. Baldcypress: the tree unique, the wood eternal. Claitor's Publishing Division. Baton Rouge, LA. USA. 139 p.
- Carranza, E. 1992. Taxodiaceae. In: J. Rezedowski y G. Calderón de Rezedowski. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Mich. México. Fascículo 4. pp. 1 - 7.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bulletin 47: 37-59.
- Cortés B., E. N., J. Villanueva D., J. Estrada A., C. Nieto de Pascual P., V. Guerra de la C. y O. Vázquez C. 2010. Utilización de *Taxodium mucronatum* Ten. para determinar la variación estacional de la precipitación en Guanajuato. Rev. Mex. Cien. For. 1(1): 159-170

therefore be guaranteed for the perpetuity of the riparian system –a situation that must be accompanied by additional actions for the protection and restoration of the sites that require it. Also, it is necessary to avoid the diversion of water for agricultural or stockbreeding purposes, as well as direct extraction with pumping equipment, in order to guarantee the growth of the species. For although the latter is tolerant to drought, lack of water is reflected in a lesser radial growth and also has an impact on its dynamics, limiting the restoration and the survival of already established individuals, as well as of the ecosystem itself (Stahle and Cleaveland, 1992).

CONCLUSIONS

Taxodium mucronatum is dominant in the forest gallery that makes up the riparian ecosystem of the SPMR. For hundreds of years, the cypress tree has adapted itself to the availability of a natural flow with interannual and multiannual variability. However, from the decade of 1950, the construction of dams in strategic locations along the main tributaries of the river has affected the volumes of water available for the species in time and amount –a situation that has had an impact on its physiological response.

It was determined, through comparison with the hydrometric data of various stations, that the growth of *T. mucronatum* depends on the volume of the accumulated flow during the March-September period; i.e., during the agricultural growing season; only one comparison with a hydrometric gauge station showed it to be a response to the flow accumulated during the period between August of the year previous to the growth and April of this year. These results indicate that the species has a high plasticity in terms of the impact of the flow volumes; this in turn suggests that the riparian ecosystem must maintain an ecological expenditure, at least during the growing season, and that additional actions must be implemented for its preservation and restoration. 🌿

ACKNOWLEDGMENTS

The present study was sponsored by the Interamerican Institute for Research on Climate Change (Instituto Interamericano de Investigación del Cambio Climático, IAI), Project CRN # 2047, which in turn was financed by the US National Science Foundation (Grant GEO-0452325), and by funds from the World Wildlife Fund, Inc (WWF), agreement No. OK59, project "Populational dynamics of the Montezuma cypress or ahuehuete tree (*Taxodium mucronatum* Ten.) in the basin of the San Pedro-Mezquital River".

End of the English version



- Denny, G. C. and M. A. Arnold. 2007. Taxonomy and nomenclature of baldcypress, pondcypress, and Montezuma cypress: one, two, or three species? *Hort. Technology* 17(1): 125-127.
- Fritts, H. C. 1976. *Tree-rings and climate*. Academic Press, Ltd. London, UK. 567 p.
- González E., M., S. M. González E., y M. A. Márquez L. 2007. *Vegetación y ecorregiones de Durango*. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Durango, Dgo. México. 219 p.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2002. *Carta de uso del suelo y vegetación serie II del estado de Durango*. 1:250,000.
- Little, E. L. Jr. 1971. *Atlas of the trees of the United States, Vol. 1, conifers and important hardwoods*. Miscellaneous publications. USDA Forest Service, No. 1146, Washington, DC. USA. 400 p.
- Luque, E. 1921. Voto razonado para elegir el árbol nacional. *Sociedad Forestal Mexicana. Revista México Forestal* 1 (9 - 10): 3.
- Martínez, M. 1963. *Las pináceas mexicanas*. 3ª. Ed. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México, D. F. México. 345 p.
- Mattoon, W. R. 1915. The southern cypress. *Bulletin* No. 272. United States Department of Agriculture. Contributions from the Forest Service. Washington, DC. USA. 73 p.
- Rzedowski, J. 1986. *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA. México, D.F. México. 432 p.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1992. Reconstruction and analysis of spring rainfall over the southwestern U.S. for the past 1000 years. *B. Am. Meteorol. Soc.* 73: 1947-1961.
- Stahle, D. W., J. Villanueva-Díaz, D. J. Burnette, J. Cerano-Paredes, R. R. Heim Jr., F. K. Fye, R. Acuña-Soto, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland and D. K. Stahle. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophys. Res. Lett.* 8, L05703.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. *An introduction to tree-ring dating*. The University of Chicago Press. Chicago, IL. USA. 73 p.
- Thomas, B. A., and R. A. Spicer. 1987. *The evolution and paleobiology of land plants*. Dioscorides Press Inc., Portland, OR. USA. 309 p.
- Villanueva D., J., A. Hernández R., F. García S., E. Cornejo O., D. W. Stahle, M. D. Therrell y M. K. Cleaveland. 2003. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en Los Peroles, San Luis Potosí, México. *Rev. Cien. For. en Méx.* 28 (94): 57 - 79.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, M. D. Therrell, L. Vázquez S., R. Morán M. y B. H. Luckman. 2006. Árboles viejos del centro-norte de México: Importancia ecológica y paleoclimática. *Folleto Científico* No. 20. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. 46 p.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, V. Constante G., L. Vázquez S., J. Estrada A. y J. de Dios Benavides S. 2010a. Árboles longevos de México. *Rev. Mex. Cien. For.* 1(2): 1-23.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., J. Estrada A., R. Morán M. y V. Constante G. 2010b. Precipitación y gasto reconstruido en la cuenca baja del Río Nazas. *Rev. Mex. Cien. For.* 1(1): 37-53.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., J. Estrada A., E. N. Cortés B. y V. Constante G. 2010c. Reconstrucción histórica de precipitación. In: Estrada Á., J., R. Trucios C., J. Villanueva D., J. L. González B. y L. F. Flores Lui (eds.). *Manejo sustentable de los recursos naturales en Sierra de Lobos*, León, Guanajuato. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. pp. 1-21.
- World Wildlife Fund-Fundación "Gonzalo Río Arronte" I.A.P. (FGRA). 2008. *Propuestas de caudal ecológico en México*. Propuestas de caudal ecológico en México. Durango Dgo. México. 20 p.

