



ARTÍCULO / ARTICLE

IMPACTO DE LAS REPRESAS EN *Taxodium mucronatum* Ten. EN EL RÍO SAN PEDRO-MEZQUITAL, DURANGO

IMPACT OF DAMS ON *Taxodium mucronatum* Ten. IN THE SAN PEDRO-MEZQUITAL RIVER, DURANGO

José Villanueva Díaz¹, Vicenta Constante García¹, Julián Cerano Paredes¹,
Juan Estrada Ávalos¹ y Miriam M. Tostado Plascencia¹

RESUMEN

El estudio se realizó en un transecto con sabinos muertos en el río San Pedro-Mezquitil, con el objetivo de determinar el impacto de la construcción de presas en el crecimiento radial anual del arbolado, en respuesta al desfasamiento y disminución de los volúmenes de agua. Árboles muertos y vivos de la especie de interés se muestrearon en una extensión de un kilómetro con más de 300 individuos muertos; a partir de árboles en pie se obtuvieron virutas con un barreno. Un muestreo similar se realizó en otro sitio alledaño, pero con individuos vivos. Las muestras se fecharon con técnicas dendrocronológicas estándar, y se generaron dos cronologías con fines comparativos: una de organismos muertos y otra de vivos. Se determinó que la mayoría de los ejemplares murieron en 1991 (el último anillo completo fue 1990) y otros más entre 1992 y 2003. Se detectaron diferencias en crecimiento entre los índices de la cronología con árboles vivos y muertos en fecha posterior al funcionamiento de la presa Guadalupe Victoria, en 1962. Las causas de la mortandad involucran una combinación de factores: la disminución y desfasamiento del caudal, debido al confinamiento del agua en las represas Guadalupe Victoria y Santiago Bayacora, esta última construida en 1989; la ubicación del arbolado lejos del cauce principal; una sequía intensa en 1989 y la desviación del cauce hacia parcelas agrícolas. La información generada permite cuantificar el impacto de las presas en el crecimiento radial del sabino, especie dominante en algunos bosques de galería del norte de México.

Palabras clave: Arbolado muerto, bosque de galería, caudal, dendrocronología, presas, sequía.

ABSTRACT

The study was carried out in a transect with dead cypress trees along the San Pedro-Mezquitil river with the aim to determine the impact of dam building on the annual radial growth of cypress trees due to a decrease and to a diphasic on the streamflow. Dead and alive cypress trees were selected along a transect of one kilometer length with over 300 dead trees and increment cores were obtained at breast height with an increment borer, a similar sampling procedure was implemented in a nearby transect but with alive trees. Increment cores were prepared and dated following standard dendrochronological techniques and two ring width series were developed for comparison purposes. Most of the death trees died in 1991 (last complete ring was formed in 1990) and a few more between 1992 and 2003. Differences in growth between the tree-ring series were observed after the building of the Guadalupe Victoria dam in 1962. A combination of variables could have caused cypress mortality, such as a decrease in the streamflow due to its storage in the Guadalupe Victoria and Santiago Bayacora reservoirs, this last built in 1989, location of cypress trees far away from the main stream, a severe dry year occurred in 1989, and diversion of the streamflow for irrigation purposes. The results allow us to improve our knowledge on the effect of dams on annual radial growth of cypress trees a dominant species in riparian ecosystems of northern Mexico.

Key words: Dead trees, riparian ecosystems, streamflow, dendrochronology, dams, drought.

Fecha de recepción / date of receipt: 13 de febrero de 2012.

Fecha de aceptación / date of acceptance: 4 de junio de 2013.

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

INTRODUCCIÓN

Los bosques de galería con dominancia de *Taxodium mucronatum* Ten. (sabino o ahuehuete) son ecosistemas representativos de gran parte de las áreas riparias del centro y norte de México (Rzedowski, 1986). Estos sistemas de galería, aunque ocupan menos del uno por ciento de la superficie del país, poseen alta biodiversidad y proporcionan múltiples beneficios ecológicos y sociales al constituir corredores biológicos, generar un microclima especial, ser filtros de contaminantes y constituir sitios de esparcimiento familiar (recreación) por su gran belleza escénica. En la actualidad están seriamente amenazados, en términos de su permanencia, debido a cambios en el uso del suelo; problemas de contaminación de agua; almacenamiento y desvío de corrientes; sobrepastoreo y daños directos al arbolado producidos por incendios intencionales; cortaduras de ramas y raíces; entre otros actos vandálicos (Villanueva *et al.*, 2007).

La construcción de presas directamente en los cauces o afluentes principales donde se ubican los bosques constituye una fuente de disturbio para el hábitat de taxa riparios y acuáticos, dado que modifican el paisaje y alteran el microclima, el ciclo hidrológico, por citar algunos de sus efectos negativos (Tyrtania, 1992; WWF, Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008; Villanueva *et al.*, 2011).

La instalación paulatina de represas en la cuenca del río San Pedro Mezquital en el estado de Durango (RSPM) impacta de manera negativa el desarrollo de las especies ribereñas; no obstante, se carece de estudios específicos que lo evalúen de forma cuantitativa.

Una de las especies ribereñas más afectadas por el hombre es el sabino, taxón de gran longevidad que en algunos bosques de galería del territorio nacional supera el milenio de edad (Villanueva *et al.*, 2003a, 2003b, 2007, 2010). *T. mucronatum* desempeña funciones ecológicas vitales para el establecimiento y desarrollo de la flora asociada, a la vez, favorece la estabilidad propia del ecosistema y fomenta la biodiversidad (Rzedowski, 1986; Naiman *et al.*, 1993).

Los anillos de crecimiento de *T. mucronatum* pueden ser fechados con exactitud al año de su formación, y las cronologías o series de tiempo generadas se han utilizado para la elaboración de reconstrucciones paleoclimáticas de precipitación, escurrimiento y niveles de los lagos (Stahle y Cleaveland, 1992; Villanueva *et al.*, 2005); índices de sequía e influencia de patrones circulatorios (Stahle *et al.*, 2012); y para explicar el establecimiento, florecimiento y decadencia de civilizaciones prehispánicas en el valle de México (Stahle *et al.*, 2011); así como para fines de conservación (Villanueva *et al.*, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la confinación de agua en represas y la liberación posterior de un menor caudal en el crecimiento anual y mortandad de árboles de sabino en un paraje del RSPM, con el fin de generar información

INTRODUCTION

Gallery forests with dominance of *Taxodium mucronatum* Ten. ("sabino" or "ahuehuete") are representative ecosystems of much of the riparian areas of central and northern Mexico (Rzedowski, 1986). These gallery systems, occupy less than one percent of the country's area, have high biodiversity and provide multiple environmental and social benefits as they are biological corridors, create a special microclimate, act as pollutant filters and provide family entertainment venues (recreation) from their great beauty. They are seriously threatened nowadays in their conservation, due to changes in land use, water pollution problems, water storing and stream deviation; overgrazing and direct damage to trees caused by provoked fires; branch and roots cutting as well as other acts of vandalism (Villanueva *et al.*, 2007).

The construction of dams directly on the runways or major tributaries where these forests are become a source of disturbance for riparian habitat and aquatic taxa, as they change the landscapes and alter the microclimate, the hydrological cycle, to name some of its negative effects (Tyrtania, 1992; WWF, Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008; Villanueva *et al.*, 2011).

The gradual installation of dams on the San Pedro Mezquital River basin in the state of Durango (RSPM) negatively impacts the development of riparian species, but there are no specific studies that make a quantitative evaluation of it.

One of the riparian species most affected by man is the "sabino" or bald cypress, a long-life taxon that exceeds the thousand years in some forests of the country (Villanueva *et al.*, 2003a, 2003b, 2007, 2010). *T. mucronatum* plays vital ecological functions for the establishment and development of associated flora, in turn, promotes the inherent stability of the ecosystem and biodiversity (Rzedowski, 1986; Naiman *et al.*, 1993).

Growth rings of *T. mucronatum* can be dated exactly one year after its formation, and chronologies generated time series have been used for the development of paleoclimatic reconstructions of precipitation, runoff and lake levels (Stahle and Cleaveland, 1992; Villanueva *et al.*, 2005) drought indexes and influence circulation patterns (Stahle *et al.*, 2012) and to explain the establishment, flowering and decline of pre-Hispanic civilizations in the Valley of Mexico (Stahle *et al.*, 2011) as well as for purposes conservation (Villanueva *et al.*, 2010).

The aim of this study was to determine the effect of confinement of water in dams and the subsequent release of a lower annual growth rate and mortality of bald cypress trees in an area of RSPM, in order to generate technical information critical to the establishment of management plans and conservation of riparian forests in the riparian ecosystem. Thus, the *T. mucronatum* annual increment thickness was used as the dependent variable and the flow rate as the independent variable. The hypothesis is that the

técnica fundamental para el establecimiento de planes de manejo y de conservación de los bosques de galería en ese ecosistema ripario. Para lo anterior, se utilizó el grosor de los incrementos anuales de *T. mucronatum* como variable dependiente y el volumen de flujo como independiente. Se plantea la hipótesis de que la disminución en el volumen de agua afecta el crecimiento radial anual del sabino; lo que se refleja en un menor grosor de sus anillos de crecimiento anual; situación que produce la muerte posterior del arbolado, derivada de una baja disponibilidad hídrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El área ribereña del río San Pedro-Mezquital, se ubica dentro de la Región Hidrológica 11 (Presidio-San Pedro) en el estado de Durango; que irriga en su trayecto gran parte del Valle de Guadiana, zona de producción de alimentos para la ciudad de Durango y de otros asentamientos humanos (Conagua, 2011). En el área riparia predomina un sustrato geológico dominado por rocas sedimentarias de tipo conglomerado, así como ígneas extrusivas entre las que destacan el basalto, riolita y la toba ácida. Los suelos se clasifican como Fluviosoles, Leptosoles y Feozem con pastizal, matorral crasicaule y nopalera (INEGI, 2002).

La vegetación arbórea a lo largo del río está constituida por sabino, sauz (*Salix bonplandiana* Kunth), fresno (*Fraxinus berlandieriana* DC.) y álamo (*Populus fremontii* var. *mesetae* (Eckenw.) Little); además de la tipo desértica con 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.), maguey (*Agave* spp.) (González et al., 2007). En la parte baja de la cuenca desaparece el sabino, posiblemente como respuesta a la disminución en la altitud, pues la especie no prospera por abajo de los 300 msnm; de esta manera, su nicho ecológico es ocupado por sauz, fresno, álamo, aile y nogal, entre otros. El RSPM al llegar a su desembocadura en marismas nacionales del estado de Nayarit es dominado por humedales costeros.

Los bosques de galería del río San Pedro-Mezquital, dentro de la cuenca del mismo nombre, muestran un disturbio antropogénico producido por la eliminación de árboles, corte de ramas, incendios intencionales, extracción de material pétreo, desviación del cauce con fines de riego y compactación de márgenes por pisoteo de ganado, daño que se puede catalogar como de moderado a severo en sus casi 500 km de extensión. Lo anterior es magnificado con la muerte de árboles en un transecto de más de un kilómetro de longitud, el cual se ubica en el río Durango, uno de los afluentes del RSPM. Este tramo se localiza a la altura del poblado "El Arenal", al sureste de la ciudad de Durango, en las coordenadas geográficas 24°01'59.9" latitud norte, 104°23'26.8" longitud oeste, con una altitud de 1 858 m (Figura 1).

decrease in the volume of water affects the annual radial growth of bald cypress, which is reflected in a smaller thickness of their annual growth rings, a situation that provokes the subsequent death of trees, derived from a low water availability.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The riparian area of the San Pedro-Mezquital river is located within the 11 Hydrologic Region (Presidio-San Pedro) in the state of Durango, which irrigates along its route a great part of Guadiana Valley, food production area for the city Durango and other human settlements (Conagua, 2011). The riparian area is dominated by a geological substrate dominated by conglomerate-type sedimentary rocks and extrusive igneous among which basalt, rhyolite and acid tuff outstand. Soils are classified as Fluviosols, Leptosols and Phaeozem, with grassland, crasicaule scrub and *Opuntia* shrubland (INEGI, 2002).

The tree line along the Sabine River consists of sauz (*Salix bonplandiana* Kunth), ash (*Fraxinus berlandieriana* DC.) and poplar (*Populus fremontii* var. *mesetae* (Eckenw.) Little), in addition to the desert-dominant type of mesquite (*Prosopis glandulosa* Torr.), acacia (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.) granjeno (*Celtis pallida* Torr.), mimosa (*Mimosa biuncifera* Benth.), aeosote bush (*Baccharis salicifolia* (Ruiz & Pav.) Pers.) maguey (*Agave* spp.) (González et al., 2007). In the lower basin bald cypress disappears, possibly in response to the decrease in altitude, as the species does not thrive below the 300 m; in this way, their ecological niche is occupied by sauz, ash, poplar, alder and walnut, among others. When RSPM reaches its mouth in the national marshlands of Nayarit state it is dominated by coastal wetlands.

The gallery forests of the San Pedro-Mezquital, in the basin of the same name, show anthropogenic disturbance produced by removing trees, cutting branches, intentional fires, stone material extraction, diversion of the channel for irrigation and compaction of margins by cattle trampling, damage that can be classified as moderate to severe in its nearly 500 km long. This is magnified by the death of trees in a transect over a kilometer in length, which is located in the Durango River, a tributary of RSPM. This section is located at the height of the "El Arenal" town, southeast of the city of Durango, in the geographic coordinate 24°01'59.9" north, 104°23'26.8" west longitude with an altitude of 1 858 m (Figure 1).

Sampling Procedure

In the place with dead trees, 15 trees were selected (13 dead and 2 alive) (Figure 2) and seven living trees, for a total of 22, to which was measured normal diameter (at breast height), and extracted two or three increments or chips with a Pressler drill; it should be noted that due to problems in the main stem rot, not all chips included the tree center. The samples were processed

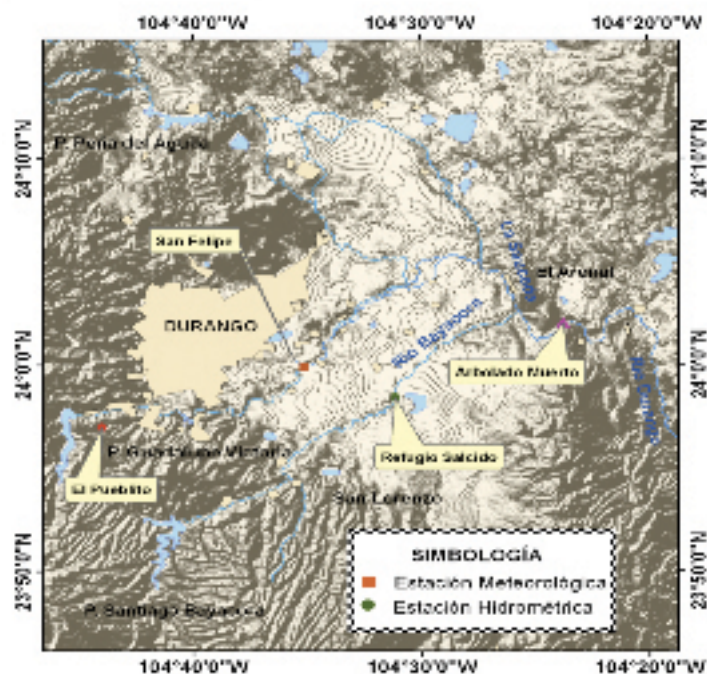


Figura 1. Ubicación geográfica de arbolado muerto en el río Durango, afluente del RSPM.

Figure 1. Geographical location of dead trees in the Durango River, a tributary of RSPM.

Procedimiento de muestreo

En el paraje con arbolado muerto, se eligieron 15 árboles (13 muertos y 2 vivos) (Figura 2) y siete árboles vivos más, para un total de 22, a los cuales se les midió su diámetro normal (a la altura del pecho), y se extrajeron de dos a tres incrementos o virutas con un taladro tipo Pressler; cabe señalar, que debido a problemas de pudrición en el fuste principal, no todas las virutas incluyeron el centro del árbol. Las muestras se procesaron acorde a métodos dendrocronológicos estándar (Stokes y Smiley, 1968), y se generó una cronología de ancho total de anillo, mediante el proceso de estandarización (Fritts, 1976; Cook y Holmes, 1984), eliminación del ruido no atribuido a factores climáticos (Cook, 1987), y fijación de una curva flexible para resaltar eventos de baja frecuencia (Cook y Peters, 1981).

Para cada una de las virutas o incrementos se desarrollaron gráficos de crecimiento, que se compararon contra el gráfico medio de crecimiento (compuesto maestro o cronología maestra) de los árboles vivos. A partir de métodos comparativos de crecimiento (codatado o fechado cruzado) se determinó el último año de crecimiento del arbolado muerto, que para fines prácticos es el año en que murió cada espécimen (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 2001) (Figura 3).

according to standard dendrochronological methods (Stokes and Smiley, 1968), and generated a total width chronology ring through the process of standardization (Fritts, 1976; Cook and Holmes, 1984), elimination of noise not attributed to climatic factors (Cook, 1987), and fixing a flexible curve to highlight low frequency events (Cook and Peters, 1981).

For each of the chips or increments growth graphics were developed, which were compared against the graph growth medium (master composite or master chronology) of live trees. From comparative methods of growth (codated or crossover dated) was determined growth the last growth year of the dead trees, which, for practical purposes is the year that each specimen died (Fritts, 1976; Grissino-Mayer, 2001) (Figure 3).

The comparison of the dates between the annual growths was analyzed with the COFECHA program, which determines the association between the growth series in 50 year subperiods and the 25 year overlaps; the program shows a correlation value for all sub-periods present in a growing series, of which, for its correct dating, should exceed a statistically valid correlation ($p < 0.05$), in this case 0.3281 (Holmes, 1983).

Within the parameters to define the quality of the chronologies, the correlation between series and the average sensitivity was considered; the first indicates the association between growth

La comparación del fechado entre los crecimiento anuales se analizó con el programa COFECHA, el cual determina la asociación entre las series de crecimiento en subperiodos de 50 años y los traslapes de 25 años; el programa muestra un valor de correlación para todos los subperiodos presentes en una serie de crecimiento, los cuales, para que su fechado sea correcto, deben superar un valor de correlación estadísticamente válido ($p < 0.05$), en este caso de 0.3281 (Holmes, 1983).

Dentro de los parámetros para definir la calidad de las cronologías, se consideró a la correlación entre series y la sensibilidad media; el primero de ellos indica la asociación entre las series de crecimiento, y el segundo es una medida del cambio relativo en el crecimiento de un año con respecto al siguiente, en una serie determinada, donde un valor de 0 no implica cambio y un valor de 2, es el máximo de cambio alcanzado (Douglas, 1936). El registro medio para el sabino se ubicó en el intervalo de 0.3 a 0.5 (Villanueva *et al.*, 2007).



Figura 2. Paraje en el río San Pedro-Mezquital con árboles de sabino muertos entremezclados con individuos vivos.

Figure 2. A place in the San Pedro-Mezquital basin with dead bald cypress trees interspersed with living individuals.

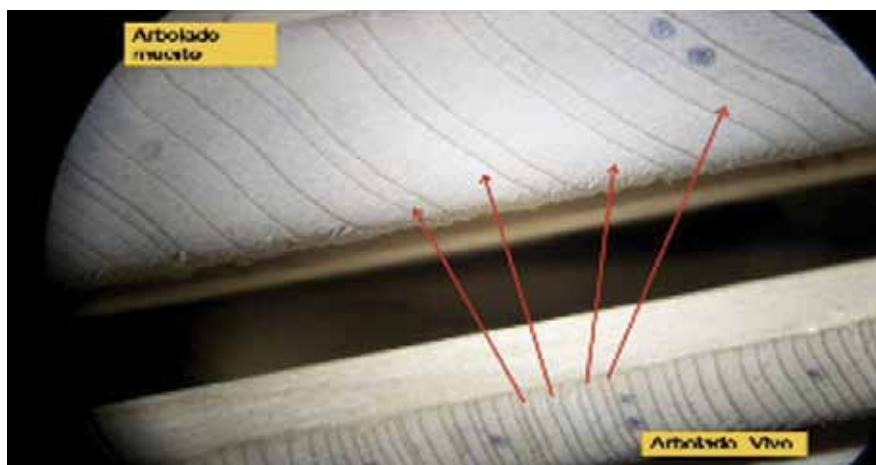


Figura 3. Comparación entre dos núcleos de crecimiento. El superior se extrajo de un árbol muerto y el inferior de uno vivo.

Figure 3. Comparison between two growth cores. The above was extracted from a dead tree and the bottom of a live one.

Con el fin de tener un mayor soporte técnico de comparación, y para verificar el fechado correcto de la cronología desarrollada con árboles muertos, esta se contrastó con una cronología derivada de árboles vivos procedentes tanto del sitio con predominancia de individuos muertos, como de parajes ubicados aguas abajo del sitio "El Arenal", con la presencia solo de arbolado vivo. Dicha cronología se fundamenta en un tamaño de muestra que supera los 100 árboles y estadísticamente es muy confiable (Fritts, 1976).

Los índices normalizados de las cronologías de árboles vivos y muertos se analizaron gráficamente entre sí para definir las tendencias en crecimiento y determinar posibles diferencias en magnitud de los índices, antes y después de iniciar el funcionamiento de las

series, and the second is a measure of the relative change in growth of a year compared to the next in a given series, where a value of 0 implies no change and a value of 2, that the maximum rate is reached (Douglas, 1936). The average record for the bald cypress is in the range of 0.3 to 0.5 (Villanueva *et al.*, 2007).

In order to have greater technical support for comparison and to verify the correct dating of the chronology developed with dead trees, it was compared with a chronology derived from living trees coming from the site where dead individuals prevail, as well as of sites located downstream from the site "El Arenal", only with live trees. This chronology is based on a sample size of over 100 trees and is very reliable statistically (Fritts, 1976).

represas; para ello se hicieron correlaciones simples entre ambas series para diversos subperíodos. Estadísticas descriptivas de los índices dendrocronológicos fueron calculadas para definir su comportamiento antes y después de la construcción de las presas.

Posterior a la definición del año(s) en que murió el arbolado se procedió a identificar las posibles causas que originaron su deceso; para tal efecto se compararon los índices de ancho de anillo con la precipitación acumulada anual de la estación más cercana a "El Arenal": "El Pueblito" (23°57' latitud norte, 104°44' longitud oeste de Greenwich; 1 889 m de altitud); de igual manera, se contrastó la serie de crecimiento con el flujo acumulado mensual de la estación hidrométrica "Refugio Salcido" (23°58'25", 104°31'08") (Base Nacional de Datos de Aguas Superficiales, 2004), y se relacionaron los índices dendrocronológicos con los años de construcción de las presas "Guadalupe Victoria" y "Santiago Bayacora"; en este último reservorio, el inicio de sus operaciones en 1989 está dentro del período de mortandad del arbolado; también se consideró la influencia de una fábrica de celulósicos, que en ese entonces vertía su agua residual, sin tratamiento alguno, al cauce principal del río, justo donde se ubica el arbolado muerto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las series de crecimiento mostraron problemas de fechado por la falta de anillos (1.035%), la presencia de microanillos y anillos falsos; a pesar de lo anterior, se lograron sustentar 111 años (1900-2010) de crecimientos perfectamente fechados y con un tamaño de muestra estadísticamente válido para fines de comparar las cronologías de árboles vivos (SAL) y de los muertos (ARE) (Cuadro 1).

En la cronología desarrollada se obtuvo una correlación entre series de 0.62 con una sensibilidad media de 0.52, correlaciones estadísticamente válidas y que superan el valor de significancia de 0.3281, lo cual es indicativo de que las series de crecimiento fueron fechadas perfectamente al año de su formación. En otras cronologías para la misma especie, se han obtenido correlaciones que fluctúan alrededor de 0.4 (Villanueva *et al.*, 2007; Constante *et al.*, 2010).

De los 13 árboles muertos, el año en que murió el primero fue 1988, aunque la gran mayoría pereció a principios de la estación de crecimiento en 1991, lo cual se constató con el último año completo de crecimiento que correspondió a 1990. Unos cuantos individuos fenecieron posteriormente, en los años 1992, 1993, 1994 y 2003; y se ha observado, todavía, la presencia aislada de individuos vivos (dos de ellos muestreados en este estudio) en el mismo sitio con arbolado muerto, pero en condiciones de escaso vigor. Estos ejemplares remanentes desafortunadamente están en riesgo de desaparecer, debido a la mínima disponibilidad de agua que se presenta en ese sector del río y al desvío de su cauce hacia las parcelas agrícolas aledañas.

The normalized indexes of the chronologies of trees, alive and dead, were graphically analyzed together to define growth trends and identify possible differences in magnitude of the indexes, before and after starting the operation of dams; therefore, simple correlations between both series for different sub-periods were made. Descriptive statistics of the dendrochronological indexes were calculated to define their behavior before and after the construction of dams.

After defining the year (s) when the trees died, the next thing to do was to identify the possible cause of their death; for this aim, the rates of ring width were compared with the annual accumulated rain fall of the closest station to "The Arenal": "El Pueblito" (23°57' North, 104°44' west of Greenwich, 1 889 masl); in the same way, the growth series was compared with the monthly cumulative flow of the hydrometric "Refugio Salcido" station (23°58'25", 104°31'08") (Base Nacional de Datos de Aguas Superficiales, 2004), and tree-ring indexes were associated with the years of construction of "Guadalupe Victoria" and "Santiago Bayacora" dams; in the latter reservoir, the start of operations in 1989 is within the mortality period of the trees; it was also considered the influence of a cellulose factory, which then poured their wastewater without treatment, to the main channel of the river, just where the dead trees are found.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth series dated showed dating problems from the lack of rings (1.035%), the presence of micro-rings and false rings; in spite of this, it was possible to support 111 years (1900 to 2010) of growth perfectly dated and with a sample size statistically valid for purposes of comparing the chronologies of living trees (SAL) and the dead trees (ARE) (Table 1).

In the developed chronology, a correlation was obtained between series of 0.62 with a mean sensitivity of 0.52, and statistically valid correlations and that exceed the significance value of 0.3281, which indicates that the growth series were dated perfectly well a year from its formation. In other chronologies for the same species, correlations that fluctuate around 0.4 were obtained (Villanueva *et al.*, 2007, Constante *et al.*, 2010).

Of the 13 dead trees, the year in which the first died was 1988, although the vast majority perished early in the growing season in 1991, which was found with the last full year of growth corresponded to 1990. A few individuals perished later, in 1992, 1993, 1994 and 2003, and still it has been observed, the isolated presence of live individuals (two of them sampled in this study) in the same place with dead trees, but in a very weak condition. These remaining trees are, unfortunately, at risk of disappearing due to the very low water availability that is present in that part of the river and the diversion of its course towards the surrounding agricultural plots.

The chronology developed for the last 111 years (1900-2010) showed limited growth during the time of construction of dams

Cuadro 1. Correlación (r) observada para subperíodos de 25 años en núcleos datados para árboles muertos y vivos del El Arenal y El Saltito.
 Table 1. Correlation (r) observed for 25-year sub-periods dated cores for dead and living trees of El Arenal and El Saltito.

Núm. de muestra	Núm. de árbol ¹	Clave de muestra	Período cubierto (años) ²	Subperíodos			
				1900-1949	1925-1974	1950-1999	1975-2024
				r	r	r	r
El Arenal							
1	1	ARE01A	1936- 1993		0.64	0.72	
2	2	ARE03A	1927- 1992		0.68	0.55	
3	3	ARE04A	1931- 1992		0.51	0.54	
4	4*	ARE05A	1930- 1988		0.60	0.51	
5	5	ARE06A	1940- 1992		0.47	0.46	
6	6	ARE07A	1900-1988	0.81	0.82		
7		ARE07B	1900- 1990	0.85	0.83	0.53	
8	7	ARE07C	1900-1988	0.92	0.93	0.84	
9		ARE13A	1900-2010	0.51	0.56	0.55	0.66
10	8	ARE13B	1900-2010	0.74	0.71	0.62	0.65
11		ARE14C	1900-1990	0.40	0.46	0.61	
12	9	ARE14B	1900- 2003	0.60	0.69	0.56	0.49
13		ARE15A	1900- 1990	0.81	0.79	0.61	
14	10*	ARE16A	1900-1976	0.66	0.65	0.61	
15	11	ARE16B	1920- 1988	0.57	0.64	0.51	
16		ARE17A	1900- 1989	0.76	0.66	0.48	
17	12	ARE21A	1900-2010	0.60	0.53	0.47	0.41
18	13	ARE23A	1900- 1990	0.77	0.79	0.68	
19	14	ARE22A	1900- 1994	0.62	0.66	0.60	
20	15	ARE24A	1910- 1990	0.83	0.83	0.60	
El Saltito							
21	16	SAL3201A	1900-2009	0.34	0.48	0.55	0.40
22	17	SAL3203A	1905-2008	0.50	0.68	0.50	0.45
23	18	SAL3233B	1900-2007	0.71	0.70	0.45	0.34
24	19	SAL3504A	1900-2009	0.79	0.79	0.58	0.51
25	20	SAL3503A	1900-2009	0.76	0.80	0.60	0.59
26	21	SAL3601A	1920-2009	0.56	0.59	0.38	0.38
27	22	SAL3603A	1900-2009	0.80	0.78	0.27	0.24

¹El número de árbol resaltado en negrita indica que se trata de un árbol muerto; ²El año en negrita y en cursiva indica el año en que murió el árbol; de esta manera, de algunos árboles se extrajeron hasta tres virutas (árbol 6), aquella con la fecha más reciente se consideró el año de su deceso; *Árbol sin corteza al momento de su muestreo.
 1 = The tree number in bold indicates that it is a dead tree; 2= The year in bold and italics indicates the year the tree died, in this way, from some trees were extracted three up to three cores (tree 6), that with the most recent date is considered the year of its death; * Tree without bark at the time of sampling.

La cronología desarrollada para los últimos 111 años (1900 - 2010) mostró limitado crecimiento durante el tiempo de edificación de las presas Guadalupe Victoria (1962) y la Santiago Bayacora (1989), como se aprecia en el gráfico de crecimiento, tanto para "El Arenal" como para "El Saltito" (Figura 4).

Comparativamente con la cronología de "El Saltito", en la de "El Arenal" se observa una disminución en el valor de sus índices, justo durante la construcción de la Presa Guadalupe Victoria en 1962; reducción que se prolongó hasta su muerte, con

Guadalupe Victoria (1962) and Santiago Bayacora (1989), as shown in the graphic of growth, both for "El Arenal" as for "El Saltito" (Figure 4).

Compared to the chronology of "El Saltito" in "El Arenal" a decline in the value of their indexes can be observed, just during the construction of the Guadalupe Victoria Dam in 1962; this reduction continued until its death, with values very low in both 1962 and 1989. The information is corroborated by the descriptive statistics of the indexes of both chronologies, where the average growth

valores muy bajos, tanto en 1962 como en 1989. La información se corrobora con las estadísticas descriptivas de los índices de ambas cronologías, donde el valor promedio del índice de crecimiento fue similar entre ellas antes de 1962, pero difirió después de ese año en respuesta a la construcción de las presas, con índices superiores para “El Saltito” (Cuadro 2).

Se atribuye dicho comportamiento al impacto de las presas, situación lógica, si se considera que una vez captada y almacenada el agua en estos reservorios, su liberación al cauce principal está sujeta al desfogue de excedentes en años lluviosos y a la provisión de agua, de acuerdo a su disponibilidad, para el desarrollo de cultivos agrícolas; no obstante, la liberación se enmarca solo dentro de la estación de crecimiento de los cultivos.

rate was similar between them before 1962, but after that year differed in response to the construction of the dams, being higher for “El Saltito” (Table 2).

This behavior is attributed to the impact of dams, a logical situation considering that once water is captured and stored in these reservoirs, their release into the mainstream is subject to dump surpluses in rainy years and the provision of water, according to its availability, for the development of agricultural crops, however, releasing only falls within the growing season for crops.

From the comparison of annual accumulated precipitation and the chronology of dead trees (Figure 5), it was determined that during 1989 rainfall was below average, a fact that could have

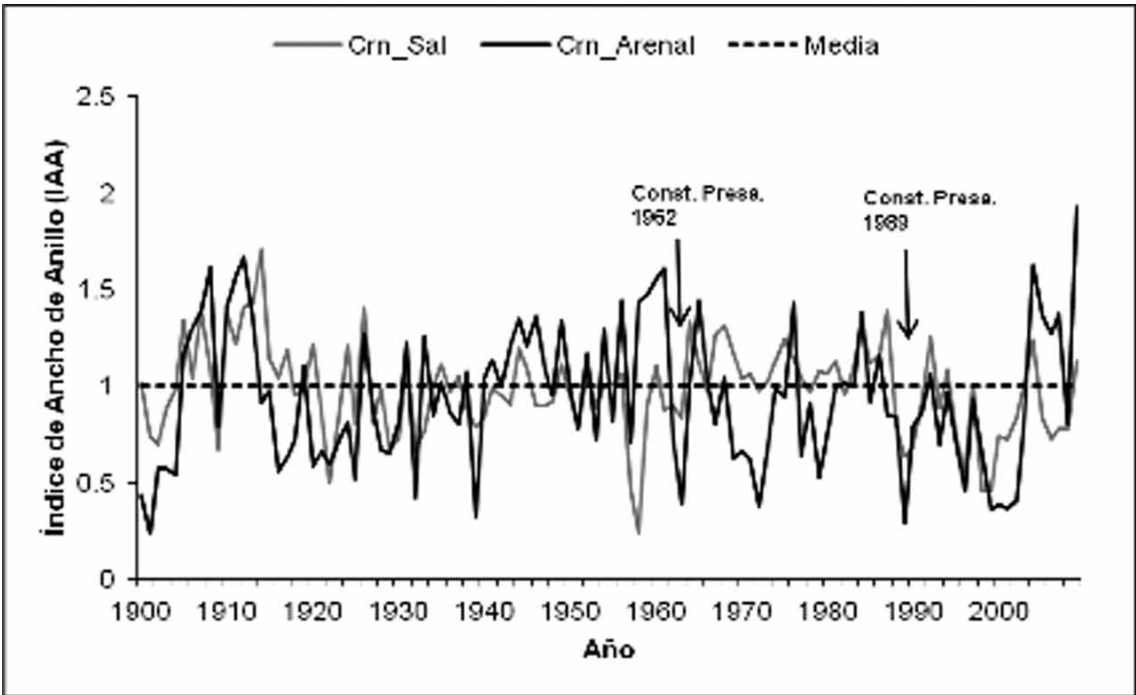


Figura 4. Comparación entre los índices dendrocronológicos de árboles vivos (SAL) y muertos (ARE) para los últimos 111 años (1900 a 2010).

Figura 4. Comparación entre los índices dendrocronológicos de árboles vivos (SAL) y muertos (ARE) para los últimos 111 años (1900 a 2010).

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos de los índices dendrocronológicos de los sitios El Saltito y El Arenal, previo y posterior a la construcción de las presas.

Table 2. Descriptive statistics of the dendrochronological indexes El Saltito and El Arenal, before and after the construction of dams.

Periodo	Estadísticos descriptivos											
	Media		Error típico		Desviación estándar		Varianza		Valor mínimo		Valor máximo	
	SAL	ARE	SAL	ARE	SAL	ARE	SAL	ARE	SAL	ARE	SAL	ARE
1900-1961 ¹	0.98	0.98	0.03	0.05	0.25	0.36	0.06	0.13	0.24	0.23	1.7	1.7
1962-2009 ²	0.98	0.87	0.03	0.05	0.03	0.36	0.05	0.13	0.24	0.23	1.9	1.4

¹Período previo a la construcción de la presa; ²Período posterior a la construcción de la presa; SAL: índices dendrocronológicos del Saltito; ARE: índices dendrocronológicos del Arenal.

1= Period prior to the construction of the dam; 2= Period after the construction of the dam; SAL= dendrochronological indexes of El Saltito; ARE= dendrochronological indexes of El Arenal.

De la comparación entre la precipitación acumulada anual y la cronología del arbolado muerto (Figura 5), se determinó que durante 1989 la precipitación fue inferior a la media, hecho que pudo haber obligado a los usuarios del agua a dirigir la corriente del río hacia sus cultivos, lo que se infiere por la presencia de bordes artificiales para el desvío a las parcelas aledañas a la rivera del río, lo que se constató mediante entrevistas aplicadas a los habitantes establecidos en los poblados El Arenal y Héroe de Nacozari, asentamientos cercanos al sitio. La acción descrita dejó al arbolado prácticamente sin agua, al menos un par de años, ya que la precipitación registrada en 1990 apenas estuvo por encima de la media. Por otra parte, este ambiente negativo para el desarrollo del sabino pudo haberse exacerbado por la concentración de contaminantes vertidos al cauce del río por la industria de celulósicos, que inició su operación en 1970. A pesar de que hay indicios de muertes previas: dos árboles en 1988 (árboles 4 y 10), la causa de su deceso sería difícil de corroborar, ya que pudo haber ocurrido en 1991, y por cuestiones de descomposición de la materia orgánica, los últimos dos años se perdieron, ya que les faltaba la corteza al momento del muestreo.

forced users to direct water stream river to direct it towards their crops, which is inferred by the presence of artificial edges to the diversion of water to plots bordering the banks of the river, and it was confirmed through interviews with the people established in the towns of El Arenal and Héroe de Nacozari, settlements close to the site. The described action left trees virtually with no water, at least a couple of years, since precipitation was registered in 1990 just above the average. Moreover, this negative environment for the development of the bald cypress could have exacerbated by the concentration of pollutants discharged to the river by the cellulose industry, which began operation in 1970. Although there is evidence of previous deaths: two trees in 1988 (and, 10 trees), although the cause of their death would be difficult to substantiate, as it could have happened in 1991 and for reasons of organic matter decomposition, the last two years were lost because they lacked the crust at the time of sampling.

The low association between the chronology and cumulative annual precipitation ($r = 0.36$, $p > 0.05$, $n = 38$) is an indication of high impact modification woodland water availability, effect that

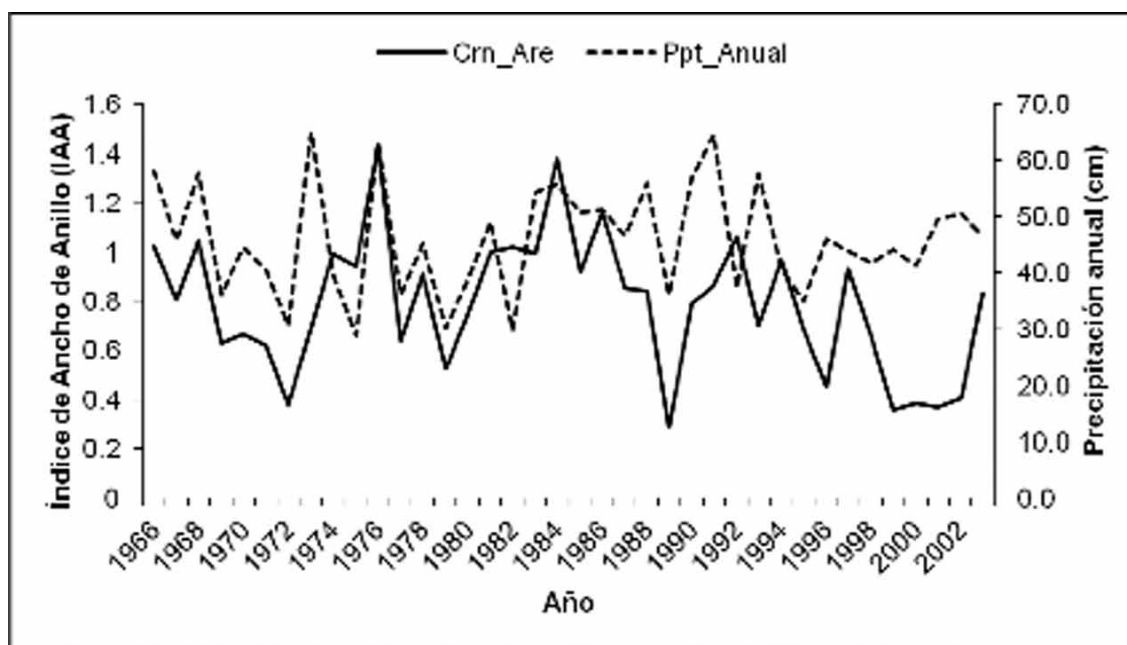


Figura 5. Comparación entre el Índice de ancho de anillo (IAA) de la cronología "El Arenal" y la precipitación anual acumulada (cm) de la estación climática "El Pueblito" (1966 a 2003).

Figure 5. Comparison between ring width index (IAA) of "El Arenal" chronology and the cumulative annual precipitation (cm) of the "El Pueblito" climate station (1966-2003).

La escasa asociación entre la cronología y la precipitación anual acumulada ($r = 0.36$, $p > 0.05$, $n = 38$) es un indicio del alto impacto en el arbolado de la modificación de la disponibilidad de agua, efecto que se presenta aun en años con buena precipitación (1973, 1991, 1993, 1996, 2001, 2002), y que se refleja en una disminución en el grosor de los anillos de crecimiento del arbolado presente en este sector del río.

occurs even in years of good rainfall (1973, 1991, 1993, 1996, 2001, 2002), and that is reflected in a decrease in the thickness of tree growth rings present in this part of the river.

A similar behavior between the dendrochronological indexes and the flow rates recorded in the hydro-station "Refugio Salcido", located upstream of the study site, showed a significant

Un comportamiento similar entre los índices dendrocronológicos y el caudal registrado en la estación hidrológica "Refugio Salcido", que se ubica aguas arriba del sitio en estudio, evidenció una asociación significativa entre la cronología del arbolado muerto y el flujo anual registrado en dicha estación, pero solo para el período 1968-1989 (previo a la construcción de la presa), con una correlación $r = 0.53$, $p < 0.01$; sin embargo, después del establecimiento de la presa, la asociación se tornó insignificante, al modificarse de manera sustantiva el flujo y el tiempo de liberación del agua designada para la producción de cultivos agrícolas, y no tanto para el mantenimiento del ecosistema riverero (Figura 6).

association between the chronology of the dead trees and the annual flow registered at this station, but only for the 1968-1989 period (prior to the construction of the dam), with a correlation $r = 0.53$, $p < 0.01$; however, after the establishment of the dam, the association became insignificant, to substantively change the flow and water release time designated for the production of agricultural crops, and not as much for the maintenance of the riverine ecosystem (Figure 6).

When comparing the average monthly flow hydrographs before and after the construction of the "Refugio Salcido" dam,

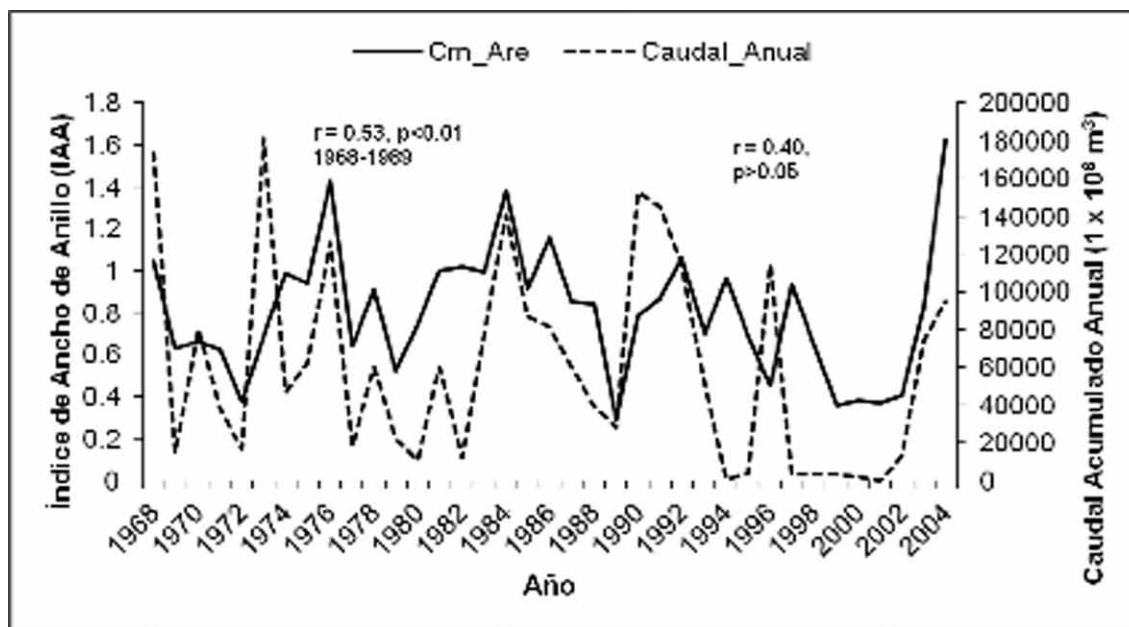


Figura 6. Comparación entre el comportamiento de la cronología procedente de árboles muertos y el flujo acumulado anual de la estación hidrométrica "Refugio Salcido" (1968-2004).

Figure 6. Comparison between the behavior of the chronology from dead trees and the annual cumulative flow from the "Refugio Salcido" hydrometric station (1968-2004)

Al comparar los hidrogramas del flujo medio mensual antes y después de la construcción de la presa "Refugio Salcido", se determinó que aun posterior a dicho suceso, el período con mayor escurrimiento (julio-noviembre) ocurrió en el mismo lapso de tiempo; es decir, no se detectó un desfaseamiento, pero sí en el volumen, el cual fue menor; no obstante, los meses de octubre, noviembre, enero y febrero tuvieron un flujo similar en ambos casos (Figura 7). Un comportamiento hidrométrico parecido se ha detectado para estaciones como "El Saltito" (24°01'43" de latitud norte, 104°20'58" oeste de Greenwich), ubicada justo aguas abajo del sector con árboles muertos, y en otras cuyos datos se han utilizado para la estimación del caudal ecológico en la cuenca del RSPM (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008).

it was determined that even after such an event, the more runoff period (July to November) occurred in the same period; that is, no lag was detected, but it did in the volume, which was lower, however, October, November, January and February had a similar flow in both cases (Figure 7). A similar behavior has been detected for hydrometric stations as "El Saltito" (24°01'43" N, 104°20'58" west of Greenwich), located just in the downstream sector with dead trees, and others whose data has been used to estimate the ecological flow in the basin of RSPM (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008).

The decrease in flow in the active growth stage must have an impact on the annual growth rate, particularly when the volume level is comparatively lower to the level between years. *Taxodium mucronatum* tolerates drought conditions in certain periods, especially during the phase of physiological inactivity, but its lack in the growing season may not last for several consecutive years,



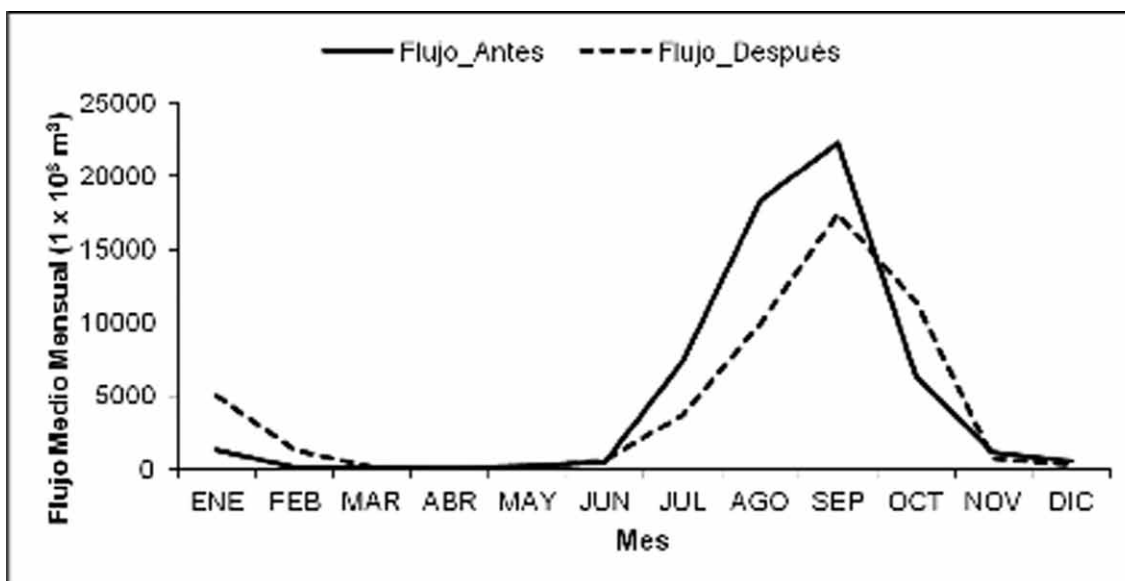


Figura 7. Hidrogramas del flujo medio mensual antes (1944-1989) y después (1990-2004) de la construcción de la presa "Refugio Salcido".

Figure 7. Average monthly flow hydrographs before (1944-1989) and after (1990-2004) the construction of the "Refugio Salcido" dam.

La disminución de flujo en la etapa de crecimiento activo debe de tener un impacto en la tasa de crecimiento anual, particularmente, cuando ese volumen es comparativamente menor al nivel interanual. *Taxodium mucronatum* tolera condiciones de sequía en ciertos períodos, en especial, durante la fase de inactividad fisiológica, pero su carencia en la estación de crecimiento no puede prolongarse por varios años consecutivos, situación que provocaría su muerte en menos de tres años de falta total de agua. Aunque pudiese sobrevivir por la lluvia, la humedad residual en el lecho del río, porque algunas de sus raíces alcanzan sitios con disponibilidad de humedad (Stahle *et al.*, 1985; Villanueva *et al.*, 2007; Stahle *et al.*, 2012).

Ciertos estudios han demostrado que el crecimiento de *T. mucronatum*, en otras áreas del país, depende en alto grado de la cantidad de agua disponible durante su estación de crecimiento e incluso en el año previo (Enríquez-Peña y Suzán-Aspiri, 2011); es decir, esta determinará el incremento radial en el siguiente año (Villanueva *et al.*, 2005; Cortés *et al.*, 2009; Stahle *et al.*, 2011). Si la especie muestra un comportamiento semejante al indicado, entonces, la construcción de la presa "Refugio Salcido", seguramente tuvo un gran impacto en las poblaciones del sabino al favorecer la mortandad del arbolado.

El efecto de un flujo controlado, además de, reducir el crecimiento radial del árbol, parece que lo debilita y en años con humedad crítica origina su muerte; hecho que quizás se presentó de 1989 a 2001.



a situation that would cause death in less than three years of total failure of water. Although it could survive by rain, residual moisture in the bed of the river, because some of its roots reach moisture availability sites (Stahle *et al.*, 1985; Villanueva *et al.*, 2007; Stahle *et al.*, 2012).

Several studies have shown that the growth of *T. mucronatum* in other areas of the country, is highly dependent on the amount of available water during the growing season and even in the previous year (Enríquez-Peña and Suzán-Aspiri, 2011), *ie.*, this will determine the radial increment the following year (Villanueva *et al.*, 2005; Cortés *et al.*, 2009; Stahle *et al.*, 2011). If the species shows a behavior similar to the above, then, the construction of the "Refugio Salcido" dam certainly had a big impact on the populations of bald cypress as it favored the mortality of the trees.

The effect of a controlled flow, in addition to reduce the radial growth of the tree, it seems to weaken it, and years with critical moisture cause their death, a fact that might have happened from 1989 to 2001.

CONCLUSIONS

Taxodium mucronatum is one of the most important riparian organisms in ecological RSPM, but various anthropogenic activities have altered its dynamics and its annual growth rate. The construction of dams located directly on the river or in some of its main tributaries have high impact on the hydrological cycle. The release of water volumes throughout the year is planned according to its availability and the requirements of agricultural crops, a period that does not necessarily coincide with the

CONCLUSIONES

Taxodium mucronatum es uno de los organismos riparios de mayor importancia ecológica en el RSPM, pero diversas acciones antropogénicas han alterado su dinámica y su tasa de crecimiento anual. La construcción de presas ubicadas directamente en el cauce del río o en algunos de sus tributarios principales tiene alto impacto en el ciclo hidrológico. La liberación de volúmenes de agua a lo largo del año se planea en función a su disponibilidad y a los requerimientos de los cultivos agrícolas, período que no necesariamente coincide con el máximo requerimiento hídrico para el desarrollo de la especie en cuestión. La construcción de las presas "Guadalupe Victoria" en 1962 y la de "Santiago Bayacora" en 1989, aparentemente afectaron el crecimiento radial del sabino, como lo indica la comparación entre las cronologías de arbolado vivo y muerto, lo que se agravó con la operación de la última presa que redujo de manera drástica el crecimiento del arbolado, pues dos años más tarde del inicio de su funcionamiento, se produjo la muerte masiva del sabino, en un sector de más de un kilómetro de extensión del área riverañá; ese año, sin embargo, fue excepcionalmente seco y tal vez el escaso volumen de agua en circulación sobre el lecho del río fue desviado de manera artificial hacia los cultivos agrícolas, localizados en parcelas aledañas al cauce, y con ello se dejó al arbolado sin fuente de agua en un lapso que quizá se prolongó desde antes de la construcción de la presa, hasta un año después, lo que hace suponer que la especie estuvo sujeta a un debilitamiento previo y; de tal manera que en menos de tres años sin flujo de agua, se originó su muerte masiva en este tramo del RSPM.

La comparación entre las dos cronologías de anillo total de sabino, una procedente del arbolado muerto y otra de árboles vivos, indicó un crecimiento similar entre cronologías hasta antes de 1965, pero después de este período el crecimiento anual de los individuos muertos menor prácticamente hasta el año en que se presentó el mayor porcentaje de mortandad (1991); hecho que corrobora el debilitamiento progresivo del sabino, hasta que acciones muy estresantes como la mínima precipitación, el flujo limitado y problemas de contaminación originaron su deceso.

Este estudio es el primero en mostrar el impacto negativo que tiene la construcción de presas y otros cambios en el uso del suelo en la reducción del crecimiento radial y la consecuente muerte de un grupo de individuos de sabino. Ese conocimiento es importante para fundamentar acciones que permitan determinar el volumen y distribución de un gasto ecológico, el cual debe garantizarse aun con la presencia de las presas, para que el ecosistema ripario y en particular el sabino, mantengan su dinámica y funcionalidad ecológica y a la vez, proporcionan los servicios ambientales que los caracterizan: belleza escénica, biodiversidad, calidad de agua, entre otros; de lo contrario, el bosque de galería estará condenado a su desaparición. 🌳

maximum water requirement for the development of the species in question. The construction of "Guadalupe Victoria" dam in 1962 and the "Santiago Bayacora" dam in 1989, apparently affected the bald cypress radial growth, as indicated by the comparison between the chronologies of living and dead trees, which was aggravated by the operation of the last dam, which drastically reduced tree growth, as two years after the beginning of its operation, there was massive death of the bald cypress, in an area of over one kilometer long in the riverine area; that year, however, was exceptionally dry and maybe the low volume of circulating water on the river bed was artificially diverted to agricultural crops in plots located adjacent to the channel, and thus left the trees no water source, for a period which perhaps lasted since before the construction of the dam, until a year later, which suggests that the species was subject to a prior weakening, so that in less than three years without water flow, its massive death was caused in this stretch of RSPM.

The comparison between the two chronologies of total rings of the bald cypress, one from the dead trees and the other from the living trees, indicated similar growth between chronologies up to before 1965, but after this period of the annual growth of the dead individuals less practically until the year in which the highest percentage of mortality occurred (1991), a fact that confirms the progressive weakening of the bald cypress, until very stressful actions as the minimum precipitation limited flow and pollution problems led to its demise.

This study is the first to show the negative impact of dam construction and other changes in land use in the reduction of radial growth and the consequent death of a group of bald cypress individuals. This knowledge is important to support actions to determine the volume and distribution of environmental expenditure, which must be guaranteed even in the presence of dams, for the riparian ecosystem and in particular Sabine, maintain their ecological functionality dynamic and turn, provide environmental services that characterize: scenic beauty, biodiversity, water quality, among others, otherwise, the gallery forest is doomed to disappear. 🌳

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was funded by the World Wildlife Fund, Inc (WWF), OK59 agreement number, project "Population dynamics of sabino or bald cypress (*Taxodium mucronatum* Ten.) in the San Pedro-Mezquital River Basin, and with funding provided through the American Institute for Climate Change Research (IAI) CRN # 2047 project, in turn funded by the U.S. / National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

End of the English version

AGRADECIMIENTOS

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



REFERENCIAS

- Base Nacional de Datos de Aguas Superficiales. 2004. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. s/p.
- Constante G., V., J. Villanueva D., J. Cerano P. y J. Estrada A. 2010. Parámetros para definir el potencial dendrocronológico. Folleto Técnico No. 19. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. México. 40 p.
- Cook, E. R. and K. Peters. 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bulletin* 41: 45-53.
- Cook, E. R. and R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and users manual. Laboratory of Tree-Ring Research. University of Arizona. Tucson, AZ USA. 15 p.
- Cook, E. R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin* 47: 37-59.
- Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2011. Estadísticas del agua en México. Edición 2011. México, D.F. México. 182 p.
- Douglas, A. E. 1936. Climate cycles and tree growth: a study of cycles. Publication No. 289, Vol. III. Carnegie Institution of Washington. Waverly Press Inc. Baltimore, MD. USA. 166 p.
- Enríquez-Peña, E. G. y H. Suzán-Aspiri. 2011. Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de Querétaro, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 153-167.
- Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205 - 221.
- Fritts, H. C. 1976. Tree-rings and climate. Academic Press. London, UK. 567 p.
- González E., M. S., M. González E., y M. A. Márquez L. 2007. Vegetación y ecoregiones de Durango. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango. Durango, Dgo. México. 219 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2002. Carta de uso del suelo y vegetación serie II del estado de Durango. Escala 1:50,000. Durango, Dgo. México s/p.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Naiman, R. J., H. Décamps and M. Pollock. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3: 209-212.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F. 432 p.
- Stahle, D. W., E. R. Cook and J. W. C. White. 1985. Tree-ring dating of baldcypress and the potential for millennium long chronologies in the Southwest. *American Antiquity* 50: 796-802.
- Stahle, D. W. and M. K. Cleaveland. 1992. Reconstruction and analysis of spring rainfall over the Southeastern U.S. for the past 1000 years. *Bulletin of the American Meteorological Society* 73: 1947-1961.
- Stahle, D. W., J. Villanueva-Díaz, D. J. Burnette, J. Cerano-Paredes, R. R. Heim Jr., F. K. Fye, R. Auna-Soto, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland and D. W. Stahle. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research* 38(5). DOI: 10.1029/2010GL046472.
- Stahle, D. W., D. J. Burnette, J. Villanueva, J. Cerano, F. F. Fye, R. D. Griffin, M. K. Cleaveland, D. K. Stahle, J. S. Edmondson and K. P. Wolff. 2012. Tree-ring analysis of ancient baldcypress trees and subfossil Wood. *Quaternary Science Review* 30: 1-15.
- Stokes, M. A. and T. L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago Press. Chicago, IL USA. 73 p.
- Tyrantia, L. 1992. La evolución de los lagos artificiales: el impacto ecológico de la presa Miguel Alemán. *Alteridades* 2(4): 103-108.
- Villanueva D., J., A. Hernández R., F. García S., E. Cornejo O., D. W. Stahle, M. D. Therrell y M. K. Cleaveland. 2003a. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en Los Peroles, San Luis Potosí, México. *Revista Ciencia Forestal en México* 28 (94): 57-79.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, F. Camacho M., P. Nuñez Díaz de la Fuente, S. Gómez C., J. Sánchez S. y J. A. Ramírez G. 2003b. Registros climáticos de los ahuehuetes de Chapultepec en los últimos 450 años. *Boletín del Archivo Histórico del Agua* 8(23): 34-42.
- Villanueva D., J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano-Paredes, G. Gutiérrez-García, J. Estrada-Avalos and R. Jasso-Ibarra. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera. *Dendrocronología* 22(3): 215-223.
- Villanueva D., J., D. W. Stahle, B. H. Luckman, J. Cerano P., M. D. Therrell, R. Morán M. and M. K. Cleaveland. 2007. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. *Ciencia Forestal* 32 (101): 9-37.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., V. Constante G. y J. Estrada A. 2009. Bosques de galería con ahuehuate (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el Río Nazas: tasas de crecimiento y respuesta climática. *Agrofaz* 9(3): 134-143.
- Villanueva D., J., J. Cerano P., D. W. Stahle, V. Constante G., L. Vázquez S., J. Estrada A., y J. de Dios Benavides S. 2010. Árboles longevos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(2): 1-23.
- Villanueva D., J., R. Trucios C., J. C. Ríos S., J. Cerano P., M. Rivera G., J. Estrada A., V. Constante G. y M. M. Tostado P. 2011. Respuesta hidrológica del sabino en bosques de galería del Río San Pedro Mezquitil, Durango. *Agrofaz* 11(4): 77-86.
- WWF-Fundación "Gonzalo Río Arronte" I.A.P. (FGRA). 2008. Propuestas de caudal ecológico en México. Documento interno en formato pdf. Durango, Dgo., México. 20 p.

