

FENOLOGÍA Y CRECIMIENTO RADIAL DEL SABINO (*TAXODIUM MUCRONATUM* TEN.) EN EL RÍO SAN PEDRO MEZQUITAL, DURANGO

DR. JOSÉ VILLANUEVA DÍAZ, ING. VICENTA CONSTANTE GARCÍA, M.C. JULIÁN CERANO PAREDES,
ING. ALDO RAFAEL MARTÍNEZ SIFUENTES, DR. DAVID W. STAHL, DR. JUAN ESTRADA AVALOS



SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PECUARIA Y ALIMENTACIÓN



inifap
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera
Gómez Palacio, Durango, Junio 2013
Folleto Técnico Núm. 27 ISBN: 978-607-37-0044-3

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

**SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN**

Lic. Enrique Martínez y Martínez
Secretario

Lic. Jesús Aguilar Padilla
Subsecretario de Agricultura

Prof. Arturo Osornio Sánchez
Subsecretario de Desarrollo Rural

Lic. Ricardo Aguilar Castillo
Subsecretario de Alimentación y Competitividad

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS
Y PECUARIAS**

Dr. Pedro Brajcich Gallegos
Director General

Dr. Salvador Fernández Rivera
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Arturo Cruz Vázquez
Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo
Coordinador de Administración y Sistemas

**CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA EN RELACIÓN
AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA**

Dr. José Antonio Cueto Wong
Director

**FENOLOGÍA Y CRECIMIENTO RADIAL DEL SABINO
(*Taxodium mucronatum* Ten.) EN EL RÍO SAN PEDRO MEZQUITAL, DURANGO**

Dr. José Villanueva Díaz
Ing. Vicenta Constante García
M.C. Julián Cerano Paredes
Ing. Aldo R. Martínez Sifuentes
Dr. David W. Stahle
Dr. Juan Estrada Ávalos

**CENID-RASPA
2013**



"Sabinos sin hojas en un paraje del río San Pedro Mezquital"

Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Progreso No. 5, Barrio de santa Catarina Delegación Coyoacán, C.P. 04010
México, D.F.
Teléfono: (55) 3871-8700

ISBN:

ISBN: 978-607-37-0044-3

Primera Edición 2013

Derechos Reservados ©

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.



"Sabinos en pleno desarrollo en parajes del río San Pedro Mezquital"

Contenido

1. Introducción	9
2. Importancia ecológica y de ecosistemas riparios con sabino	9
3. Descripción general del sabino	10
4. Evolución del género y distribución	11
5. Distribución del sabino en México y Estados Unidos de América	12
6. Distribución del sabino en la cuenca del Río San Pedro Mezquital.....	12
7. Fases fenológicas del sabino	14
8. Relación entre fases fenológicas y lluvia	17
9. Análisis del crecimiento radial en sabino	19
10. Importancia paleoclimática de las bandas de crecimiento anual	23
11. La contaminación del agua y su influencia en el desarrollo del sabino	24
12. Efecto de la construcción de presas en el desarrollo del sabino	26
13. Implementación del gasto ecológico.....	28
14. Conclusiones y recomendaciones.....	29
15. Agradecimientos.....	29
16. Literatura Consultada.....	30

Lista de figuras

Figura 1. Sabino longevo a las orillas del Río San Pedro Mezquital	11
Figura 2. Localización geográfica de la cuenca del Río San Pedro Mezquital.	12
Figura 3. Distribución de sabino en el cauce del Río San Pedro Mezquital	13
Figura 4. Brotación de hojas de sabino.....	14
Figura 5. Conos en proceso de maduración.....	15
Figura 6. Semilla liberada.	16
Figura 7. Plántula de sabino.....	16
Figura 8. Secuencia de fases fenológicas.	17
Figura 9. Secuencia de etapas fenológicas.	18
Figura 10. Árbol fisiológicamente activo	20
Figura 11. Crecimiento del anillo 2010 en los meses de abril, mayo y junio.....	21
Figura 12. Formación de la madera tardía.	22
Figura 13. Crecimiento del anillo.	22
Figura 14. Red dendrocronológica de sabino en México.	24
Figura 15. Paraje en el RSPM con árboles de sabino muertos.	25
Figura 16. Comparación entre dos núcleos de crecimiento.	26
Figura 17. Influencia de la construcción de las presas Guadalupe Victoria y Santiago Bayacora en el crecimiento radial anual del sabino.	27
Figura 18. Comparación entre el flujo natural.	28

1. Introducción

La importancia del estudio de la fenología, que es la ciencia que estudia la relación entre los factores climáticos y los ciclos de los seres vivos, radica no solo en la comprensión de la dinámica de las comunidades vegetales, involucra también el entendimiento de la respuesta de estos organismos a las condiciones ecológicas de un área en general. El método utilizado para estudios fenológicos, se fundamenta en definir para una especie en particular, los estados fenológicos continuos por los que transita durante su vida. El lapso de tiempo en que se presentan las etapas fenológicas, permite dar un seguimiento descriptivo y puntual a su desarrollo, con fundamento en una metodología estandarizada. A su vez, la observación cronológica y sistemática de las distintas fases fenológicas, entendidas como sucesos reproductivos de la planta, contribuye a determinar la respuesta de la especie al medio ecológico en el que esta se desenvuelve (Arena *et al.*, 1997; Novoa *et al.*, 2005).

A diferencia de las ciencias forestales, la agronomía en general ha tomado ventaja de la ocurrencia de estas etapas, para establecer una planeación en el manejo de las especies cultivadas; desafortunadamente, pocos estudios se han avocado a determinar las etapas fenológicas y la dinámica en el crecimiento radial de especies silvestres, que puede conducir a información relevante en términos de conocer el impacto del cambio climático en la fisiología de la planta; en este sentido, el objetivo de este trabajo es describir la dinámica del incremento radial y el seguimiento en el tiempo de la formación de anillos de crecimiento; así como las etapas fenológicas que se presentan a lo largo del año en el sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) presente en bosques de galería del Río San Pedro Mezquital, Durango (RSPM). Un segundo objetivo es describir el impacto que origina la presencia de estructuras hidráulicas y contaminantes en el desarrollo de las capas de crecimiento anual; de tal manera, que al utilizar la información generada, aunada a experiencias previas documentadas en este aspecto, permitan establecer propuestas de protección y de restauración de este ecosistema, presente en uno de los pocos ríos, que todavía logra desembocar libremente en el Océano Pacífico.

2. Importancia ecológica y de ecosistemas riparios con sabino

Los bosques de galería ocupan una superficie en México de 2.6 millones de hectáreas, las cuales representan el 1.31% de la superficie total del país, estimada en 196.4 millones de hectáreas (Rzedowski, 1986). Esta cifra puede resultar insignificante, si se compara contra la superficie ocupada por otros tipos de vegetación dominantes en México; sin embargo, su valor ecológico es por demás significativo, si consideramos su función como corredores biológicos, al constituir ecosistemas de transición entre los sistemas acuáticos y los terrestres. Además, éstos corredores a lo largo del río, permiten restaurar la calidad del agua, a la vez que favorecen la formación de un mosaico de alta biodiversidad. Por otra parte, este tipo de vegetación ofrece un hábitat temporal para aves migratorias, que año con año visitan el territorio nacional, además de recargar el acuífero, función vital desde punto de vista social y económico para la prosperidad de una región (Naiman *et al.*, 1993).

En adición a la importancia ecológica, los bosques de galería con sabino, constituyen una fuente incomparable de información paleoclimática (Villanueva *et al.*, 2007; Stahle *et al.*, 2011), ya que el sabino, por su longevidad, alcanza edades milenarias con las cuales es factible determinar las variaciones hidroclimáticas de alta (interanual) y baja frecuencia (décadas) registradas en sus anillos de crecimiento anual; información relevante en análisis históricos de frecuencias de sequías, calentamiento global y tendencias e impacto de fenómenos de circulación general (Stahle *et al.*, 2011). En términos culturales los ecosistemas riparios con sabino son de gran aprecio, ya que la especie se cataloga como el árbol nacional de México por estar íntimamente ligado a la historia y cultura mexicana (Luque, 1921). Gracias a su amplia distribución en el país, se le conoce con diferentes sinonimias, siendo el más común el de ahuehuete, que procede del "*Nahuatl*" y que alude a su gusto por el agua "*atl*" y por su longevidad "*huehuetl*"; es decir, el viejo del agua. El uso indiscriminado de los recursos hídricos, desviación del flujo en corrientes perennes, abatimiento de mantos acuíferos y problemas de contaminación, han provocado la desaparición de diversas poblaciones de esta especie, en diversos sitios del territorio nacional, por lo que resulta prioritario generar conocimiento, que contribuya a establecer estrategias de manejo para su restauración.

3. Descripción general del sabino

El sabino es un árbol de apariencia majestuosa que alcanza hasta 40 m de altura; de tallo grueso y diámetros que en muchos ejemplares sobrepasan los 200 cm, corteza de color café claro, ramillas colgantes; hojas dísticas, sésiles, lineares, casi rectas de 8 a 20 mm de largo por 1 mm o menos de ancho; ápice agudo, cristalino, base abrazando la ramilla, la vena central sobresaliente en el envés y grabada en forma de surco en el haz; inflorescencia masculina de 15 a 30 cm de largo; conos globosos a ovals subsésiles, de 1.3 a 2.5 cm de largo por 1 a 2 cm de ancho, de color verde, con escamas arrugadas y dotadas de bolsas resiníferas; (Martínez, 1963).

La edad que alcanza la especie puede fluctuar dependiendo de las condiciones ecológicas donde se encuentren sus poblaciones, con edades dominantes inferiores a 300 años, pero en algunos sitios se han detectado individuos milenarios (Villanueva *et al.*, 2007; Stahle *et al.*, 2011). Estos árboles aunque de gran importancia en el ecosistema, generalmente sufren de pudriciones en la parte central del tronco, debido a golpes de rocas durante las grandes avenidas, daños por incendios intencionales, corte de ramas y daños a las raíces por pisoteo de ganado, paseantes y problemas de oxigenación interna, disturbios que conllevan a un proceso anaeróbico, fermentación de la celulosa y pudrición; lo anterior, limita determinar con mayor precisión la edad de estos organismos longevos, ya que difícilmente se puede obtener un núcleo de crecimiento que contenga el centro del árbol (Villanueva *et al.*, 2010).

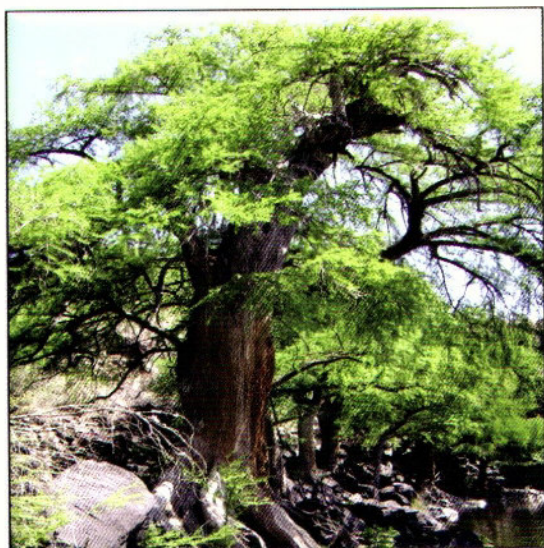


Figura 1. Especimen longevo de sabino a las orillas del Rio San Pedro Mezquital

4. Evolución del género y distribución

Dado que el sabino es una conífera, su origen se remonta a la era *Mesozoica*, específicamente durante el periodo *Triásico*, hace 245 millones de años, cuando la vegetación predominante la constituían las Gimnospermas (plantas con semillas, pero sin flores) en especial los ginkgos y las coníferas. El predominio de las coníferas termina hasta el periodo *Cretácico* (hace 145 millones de años) cuando surgen las Angiospermas (plantas con flor) desplazando a las Gimnospermas, de tal manera que hoy en día, sólo queda una mínima representación de la diversidad ancestral de aquellas plantas. El sabino forma parte de este grupo de coníferas, donde el género *Taxodium* se desarrolló en la era *Cenozoica* (hace 65 millones de años), pero no fue hasta el *Mioceno* (hace 23.3 millones de años), que el género se extendió desde Eurasia logrando pasar por el estrecho de Bering a Norteamérica, México y Guatemala (Brown y Montz, 1986; Thomas y Spicer, 1987).

El sabino pertenece a la familia *Taxodiaceae* forma parte de un total de 15 especies y nueve géneros *Anthrotaxis*, *Cryptomeria*, *Cumminghamia*, *Glyptostrobus*, *Metasequoia*, *Sequoia*, *Sequoiadendron*, *Taiwanül*, y *Taxodium*. La mayoría de los géneros, incluyendo a *Taxodium* se presentan en regiones templadas del hemisferio norte, con excepción de *Anthrotaxis* endémica de Tasmania, Australia, en el hemisferio sur (Zanoni y Moscoso, 1982).

5. Distribución del sabino en México y Estados Unidos de América

En Norteamérica se ha identificado una especie con dos variedades, nativas de las regiones pantanosas del sureste de Estados Unidos. No obstante, algunos otros estudios taxonómicos las separan en tres especies distintas, es decir, *Taxodium distichum* (ciprés del sur), *Taxodium ascendens* Brongn (ciprés de los pantanos), distribuido en las costas del sureste desde Virginia hasta Florida y Louisiana, y *Taxodium mucronatum* Ten., que se distribuye desde el extremo sur de Texas, Estados Unidos de América, gran parte de México y región occidental de Guatemala (Matton, 1915; Martínez, 1963; Little, 1971; Brown y Montz, 1986).

En la república mexicana, *Taxodium mucronatum* se distribuye en gran parte del territorio, excepto en las penínsulas de Yucatán y de Baja California; su rango altitudinal preferido fluctúa de 300 a 2,300 m, aunque algunos individuos prosperan en mayores elevaciones. El sabino se adapta a diversas condiciones ambientales y tipos de suelo, pero su principal limitante es la disponibilidad de agua superficial o la presencia de un manto freático muy somero (Carranza, 1992; Villanueva *et al.*, 2003).

6. Distribución del sabino en la cuenca del Río San Pedro Mezquital

La zona en la cual se obtuvo la información relacionada con la dinámica fenológica del sabino fue en parajes del RSPM, el cual forma parte de la Región Hidrológica 11 (RH 11, Presidio San Pedro). El área riparia del RSPM tiene una longitud total de 498 km, de los cuales, 346 km se localizan en el estado de Durango y 152 km en el estado de Nayarit (Figura 2).

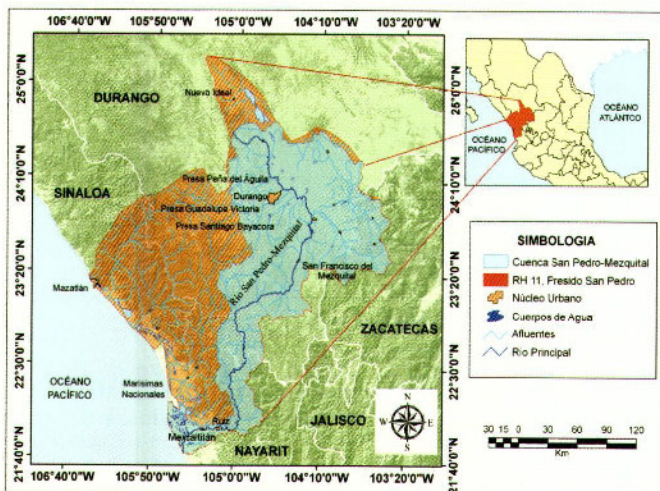


Figura 2. Localización geográfica de la cuenca del Río San Pedro Mezquital.

El bosque de galería con sabino en RSPM, Durango, se distribuye en cerca de 350 km de longitud, donde presenta una composición diversa y en ciertos sitios, se encuentra disperso y mezclado, mientras que en otros, forma un "continuum" de vegetación con dominancia de un bosque casi puro de sabino. Los sitios con individuos dispersos de sabino, se caracterizan por alta influencia humana y normalmente se ubican cerca de núcleos de población urbana, donde de manera artificial, se han introducido especies como pirul (*Schinus molle*), eucalipto (*Eucaliptus* sp.), trueno (*Ligustrum vulgare*), casuarina (*Casuarina* sp.), entre otras especies; pero cuando no se realiza reforestación, otras especies nativas con menores requerimientos hídricos tienden a ocupar los espacios dejados por el sabino, entre estas especies se encuentra el sauz (*Salix* sp.), álamo (*Populus fremontii*), mezquite (*Prosopis* sp.), huizache (*Acacia farnesiana*), fresno (*Fraxinus* sp.), nopal (*Opuntia* sp.) y otras leguminosas (González *et al.*, 2007). Parajes con esta problemática fueron detectados en varios tramos ubicados aguas abajo de las presas "Guadalupe Victoria" y "Peña del Águila". Los parajes con dominancia de sabino, se localizan en partes del Río con baja afluencia humana y esto ocurrió desde el poblado "Héroe de Nacozari" hasta 8 km corriente abajo del poblado "El Mezquital", rumbo hacia su desembocadura del RSPM en Marismas Nacionales (Figura 3).

Los disturbios a los que ha sido objeto el ecosistema ripario en esta cuenca son múltiples, destacando la construcción de presas, desviación de corrientes de agua con fines agropecuarios, descargas de aguas residuales de poblaciones aledañas a la corriente principal, extracción de material para la construcción (grava, arena), pastoreo intensivo en los márgenes del río, quema intencional o por descuido de árboles de sabino, aprovechamiento de ramas principales para cercos ganaderos, delimitación de parcelas agrícolas, leña y desecho de basura por paseantes.



Figura 3. Distribución de sabino en el cauce del Río San Pedro Mezquital, donde está presente en una longitud cercana a 350 km.

7. Fases fenológicas del sabino

Para determinar la fenología del sabino, la metodología utilizada se fundamentó en la instalación de transectos de muestreo en parcelas rectangulares de 20 m x 10 m (200 m²), ubicados sistemáticamente en ambos márgenes del Río a cada dos km en una longitud total de 260 km. Las observaciones fenológicas se realizaron quincenalmente, y se consideró, toda la variación fenotípica presente a lo largo del año para cada una de las etapas fenológicas representativas de la especie. Después del período de inactividad fisiológica que se presenta en la estación invernal, la emergencia de hojas se inicia a principios de febrero para muchos especímenes de sabino y ya para finales del mismo mes, la gran mayoría del arbolado se encuentra en pleno proceso de regeneración del follaje (Figura 4).



Figura 4. Brotación de hojas de sabino a finales de febrero en parajes del Río San Pedro Mezquital, Durango

La floración masculina ocurre de julio hasta abril; mientras que la formación de conos femeninos se produce de finales de marzo a principios de abril, período en que se realiza el proceso de fertilización. La maduración de los estróbilos femeninos se prolonga hasta agosto, pero ya maduros, pueden permanecer unidos a las ramillas hasta noviembre o diciembre (Figura 5). El cono abre de manera natural liberando las semillas, que se encuentran en una cantidad de 20 a 60 por cono (Enrique-peña y Suzan-Azpiri, 2011). Un kilogramo de semillas puede contener entre 8,900 y 9,600 unidades (Niembro, 1986; Von *et al.*, 1991). La colecta de semillas se puede realizar directamente en el árbol antes de que abra completamente (finales de septiembre y octubre) o bien del suelo cuando esta ha caído (noviembre y diciembre) y antes de que sea consumida por la fauna silvestre.



Figura 5. Conos en proceso de maduración en árboles de sabino presentes en un paraje del RSPM, Durango.

Las semillas son de forma angular con 5 a 9 mm de largo por 3 a 4 mm de ancho, de color café-amarillento (Figura 6). Para prolongar la viabilidad de la semilla, esta se almacena en recipientes secos a una temperatura de 4 a 5°C, no obstante, a pesar de todos los cuidados y después de un año, se acelera la pérdida de su viabilidad. Las semillas al caer directamente en la corriente de agua, flotan y de esta manera son trasladadas a grandes distancias, donde llegan a establecerse en sitios adecuados en términos de humedad y de nutrientes (Zanoni y Moscoso, 1982).

El tipo de germinación es epigea, es decir no toleran ser enterradas, por lo que germina a ras del suelo aproximadamente de 15 a 28 días, posterior a que hayan sido depositadas de manera natural en un micro sitio fértil. El porcentaje de germinación de la semilla recién cosechada fluctúa de 35 a 60%, aunque otros estudios indican que este porcentaje es mayor (75 a 80 %). Los factores que pueden afectar la capacidad germinativa y viabilidad de la semilla son la disponibilidad de agua y calidad de la misma (Enriquez, 2004).

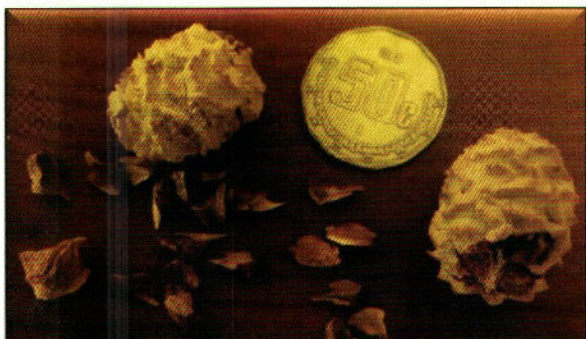


Figura 6. Semilla liberada de conos que maduraron en el período agosto-noviembre de árboles presentes en el Río San Pedro Mezquital, Durango.

La germinación de la semilla se produce de manera natural en los meses de diciembre a finales de febrero, siendo común observar cientos de plántulas establecidas en micrositios saturados (húmedos), pero no inundados. Casi el total de esta plántula muere por desecamiento de suelo al cortarse el flujo de agua, o bien es pisoteada por el ganado o consumida directamente por el mismo (Figura 7).

Para fines de establecer una reforestación, una forma rápida de obtener plántula son estos sitios de propagación, por lo que esta se puede removerse con los cuidados necesarios antes de que perezca, e inmediatamente trasplantarla en contenedores con un sustrato rico en materia orgánica, donde continuará su desarrollo para su trasplante en terreno definitivo.



Figura 7. Plántula de sabino, germinada entre los meses de diciembre a febrero. La mayoría de las

plántulas mueren por desecamiento del suelo y otras causas, antes de continuar su desarrollo.

8. Relación entre fases fenológicas y lluvia

La secuencia de fases fenológicas y crecimiento radial están influenciada por las condiciones climáticas previas y actuales durante el desarrollo de cada una de ellas, así como por las condiciones fisiológicas del árbol. Para ilustrar las diferentes fases y su relación con el volumen de lluvia, se consideró la precipitación promedio de la estación climática "El Saltito" con registros del período 1977 a 2003 (Figura 8). En el gráfico se observa que la formación de la madera temprana (madera de primavera) ocurre durante los meses de abril, mayo y junio, período estacional en que se incrementa la precipitación y temperatura; mientras que la formación de la madera tardía (madera de verano), se presenta de julio a agosto, cuando cesa el crecimiento radial; no obstante, que septiembre es el mes más húmedo y aun se tiene condiciones deseables para el crecimiento del árbol, esto no ocurre, quizás debido a que otros factores limitantes lo inhiban.

La producción de conos, maduración de la semilla, liberación y dispersión ocurren simultáneamente en el periodo de mayor precipitación, situación que también se asocia a un incremento en los volúmenes de agua disponibles, lo que es deseable para una mayor absorción de nutrientes e incremento de la actividad fisiológica en general.

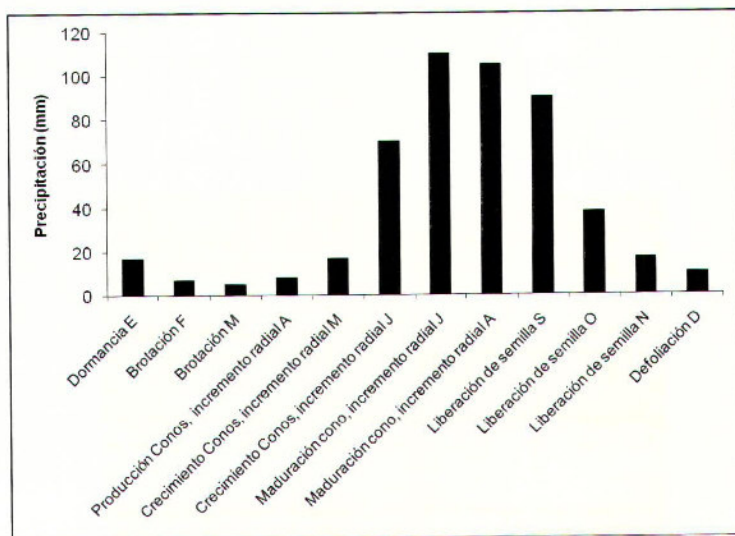


Figura 8. Secuencia de fases fenológicas y su relación con la precipitación acumulada media mensual para la estación climática "El Saltito", Durango.

Para una mejor ilustración de las diversas etapas fenológicas, estas se representan de manera secuencial, desde la brotación hasta la germinación de plántulas a principio y fin de año, respectivamente (Figura 9).



Figura 9. Secuencia de etapas fenológicas observadas en el bosque de galería con sabino presente en el Río San Pedro Mezquital, Durango.

9. Análisis del crecimiento radial en sabino

El incremento radial depende del grosor o anchura que alcance el anillo de crecimiento anual, que se caracteriza por presentar dos bandas de crecimiento, bien marcadas en unas especies, pero difusas en otras; la primera, denominada madera temprana y la segunda, madera tardía; que entre ambas, constituyen el anillo anual de crecimiento (Panshin y de Zeeuw, 1970). Estas bandas en las Gimnospermas, se componen de células conocidas como "traqueidas". En la etapa de formación de madera temprana o de primavera, éstas poseen grandes cavidades internas, razón por la cual, su coloración muestra una tonalidad clara, mientras que para la madera tardía o de verano, se caracterizan por producir paredes celulares de mayor grosor, con cavidades más pequeñas, lo que les confiere una coloración más oscura (Fritts, 1976). La proporción de estas bandas en un anillo de crecimiento anual, pueden variar dependiendo de la especie, mientras que en algunas, tanto la madera temprana como la tardía tienen una proporción similar y en otras, la madera temprana supera a la tardía, como ocurre en gran parte de las coníferas (Grissino-Mayer, 2001).

En este estudio, el crecimiento radial se analizó mediante la obtención de núcleos de crecimiento de árboles seleccionados en diversos parajes a lo largo del RSPM. Los núcleos de crecimiento se obtuvieron con un taladro Pressler, se prepararon y dataron mediante métodos dendrocronológicos convencionales (Stokes y Smiley, 1968). No obstante, que muchas de las muestras analizadas superaban los 100 años, el análisis se limitó sólo a diez años, ya que el objetivo era analizar el crecimiento anual de la última década y en particular el último crecimiento generado durante 2010, cuya formación se siguió en detalle. Las muestras se tomaron a nivel mensual, seleccionando sólo aquellos núcleos que mostraban un crecimiento nítido acorde a su fase de desarrollo. Se tomó una fotografía a cada etapa, para ilustrar la dinámica en su evolución. De esta manera, se pudo constatar la fecha de inicio para la formación de la madera temprana, su desarrollo e inicio y terminación de la madera tardía.

De acuerdo a lo anterior, en los siguientes gráficos se observa la dinámica en el desarrollo del anillo anual y para ilustrar este proceso, se consideraron tres árboles independientes, enfatizando los últimos diez anillos con fecha de inicio 2000 y terminación 2009. Dentro de cada imagen, se puede observar una simbología de tres puntos arreglados horizontalmente, estos indican la capa anual formada en el año 2000, a partir del cual, se muestra un patrón de crecimiento hasta 2009. El crecimiento radial observado durante los tres primeros meses del año (enero, febrero y marzo), no es apreciable para ninguna de los núcleos considerados en el análisis, debido a que el sabino en estos meses está saliendo del periodo de dormancia (periodo en el ciclo biológico de un organismo en el que el crecimiento y desarrollo quedan latentes o a su mínima expresión) e iniciando la formación de yemas para el proceso fotosintético y que detonará el crecimiento radial y la formación de semilla para la perpetuidad de la especie (Figura 10).



Figura 10. Árbol fisiológicamente activo, sin la formación de células traqueidales, por lo que el crecimiento radial del fuste es nulo en esta etapa del año (enero, febrero y marzo de 2010).

A finales de marzo se activa el cambium (tejido meristemático de las plantas leñosas, que se localiza entre la corteza y el leño compuesto por células embrionarias) y se inicia la formación de traqueidas. La formación de madera temprana continúa durante los meses de abril, mayo y junio. La variación observada en el incremento radial o grosor de la madera temprana será función de las condiciones tanto fisiológicas como climáticas para cada ejemplar considerado (Figura 11).

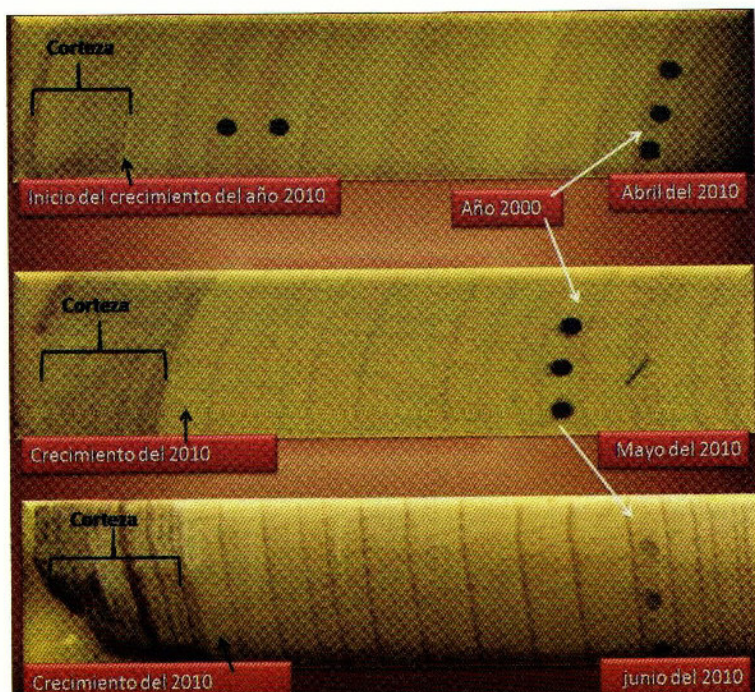


Figura 11. Crecimiento del anillo 2010 en los meses de abril, mayo y junio, periodo en el cual se logra el máximo incremento en la formación de madera temprana.

La madera tardía (de tonalidad oscura) inicia su desarrollo en el mes de julio y continúa en agosto y septiembre (Figura 12). La banda de madera tardía constituye la finalización del incremento radial del árbol, no importando si existen todavía condiciones climáticas satisfactorias para su desarrollo durante los meses subsecuentes, donde el incremento en crecimiento permaneció estático durante septiembre a diciembre (Figura 13). El anillo de crecimiento anual se integra tanto de las bandas de madera temprana como de la tardía y su grosor estará en función a la variación existente en las condiciones climáticas dominantes de un año a otro, así como a la expresión biológica de la especie en términos de potencial genético y aspectos biológicos. En el sabino, el crecimiento adecuado en una año específico impactará el grosor de los anillos durante los siguientes dos años, término conocido como autocorrelación (Fritts, 1976). Este impacto en la variación del crecimiento radial debe minimizarse mediante un buen manejo y disponibilidad de un flujo constante de agua, que atenúe estas fluctuaciones en crecimiento.

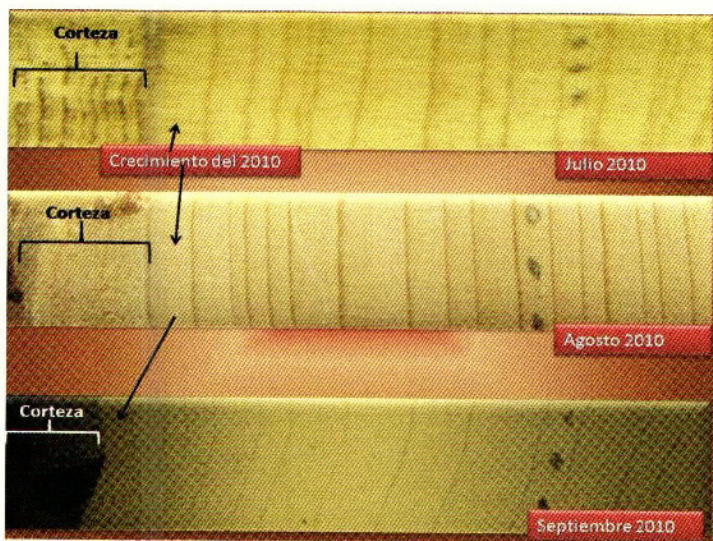


Figura 12. Formación de la madera tardía durante los meses de julio, agosto y septiembre. La madera tardía constituye el final de la etapa de crecimiento del anillo anual.

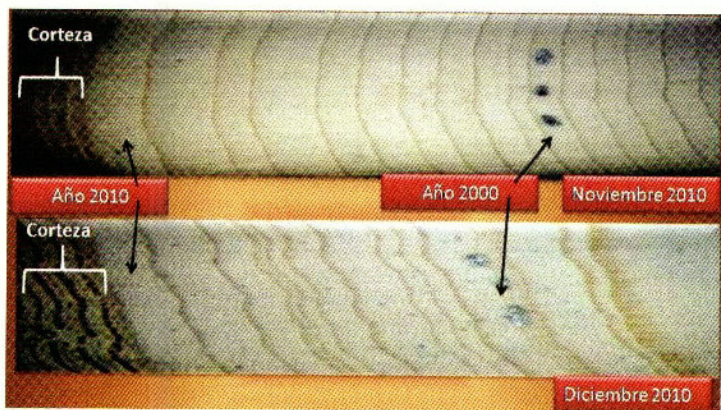


Figura 13. En los meses de noviembre y diciembre, el crecimiento del anillo es nulo, debido a que el árbol entra en inactividad fisiológica (dormancia).

El análisis de la dinámica en la formación del crecimiento anual (anillo de crecimiento), tiene gran significado práctico en términos de conservación de esta especie en los ecosistemas riparios de México y en particular en el RSPM (Villanueva *et al.*, 2011). Situación que implica, que para un adecuado desarrollo, debe existir un suministro de agua previo y durante la formación de la madera temprana, la cual constituye más del 80% del anillo total.

La disponibilidad de agua durante julio, agosto y septiembre es también importante, particularmente si consideramos que este volumen hídrico es esencial para que el árbol complete su desarrollo en diámetro, además de satisfacer la capacidad de almacenamiento del suelo y proveer de humedad a las raíces que exploran los horizontes del mismo, que se ubican fuera del cauce principal. La idea de un buen manejo es que la especie mantenga su dinámica en el ecosistema, situación que garantiza la biodiversidad y funcionamiento del bosque de galería. Desde este punto de vista, es deseable la aplicación de un gasto ecológico que asegure un suministro constante de humedad aún durante la estación de inactividad fisiológica del árbol, pero que de alguna manera, garantice la existencia de condiciones adecuadas de humedad en la época en que el árbol reactiva su desarrollo (WWF-Fundación "Gonzalo Río Arronte", 2008).

10. Importancia paleoclimática de las bandas de crecimiento anual del sabino

La utilización del grosor de los anillos de los árboles como indicadores de la variabilidad climática del pasado es una disciplina relativamente moderna, e inicia con la necesidad de comprender los procesos y fenómenos asociados a cambios ambientales; ésta disciplina, requiere de bioindicadores sensibles a las fluctuaciones del clima, como son los anillos de crecimiento anual de especies arbóreas; de tal manera que, al ser datados con exactitud al año de su formación, constituyen una fuente de información climática y ecológica que puede ser reconstruida. Estas series son entonces de gran importancia, ya que complementan los registros o datos instrumentales de estaciones climáticas, que normalmente poseen registros muy cortos (menos de 70 años), y se pueden extender hacia el pasado por cientos de años e indicar las fluctuaciones anuales e interanuales y las tendencias de la variabilidad climática en el tiempo. (Bradley, 1999). Existen diversas fuentes indirectas para reconstruir el clima y entre ellas se encuentran los anillos de los árboles, que poseen resolución anual, por lo que se le conoce como de alta resolución (Fritts, 1976); otras fuentes con menor resolución son el polen de plantas encontrado en sedimentos lacustres y marinos (Castañeda, 1998); la sedimentación de corales en los océanos (Andrews, 1996), capas de hielo en los glaciares (Bradley, 1999) y registros históricos como la producción de alimentos (Florescano, 1980), entre otros.

El uso de los anillos de crecimiento de sabino con fines paleoclimáticos se ha venido desarrollando desde hace ya varias décadas. En Estados Unidos de América, este tipo de estudios se inició en la década de 1990 y continúa en la actualidad (Stahle *et al.*, 1985, 1992, 2011, 2012) y en México, la aplicación dendrocimática de series de crecimiento de sabino se remonta a sólo una década; no obstante, el avance logrado en la generación de una red dendrocronológica con esta especie ha sido substancial y actualmente se tiene más de 30 cronología distribuidas en gran parte del territorio nacional (Villanueva *et al.*, 2003, 2005, 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012) (Figura 14).

Estas series han sido de gran utilidad para determinar el impacto de la variabilidad climática en el establecimiento, desarrollo, florecimiento y decadencia de civilizaciones prehispánicas (Stahle *et al.*, 2011), frecuencia de fenómenos circulatorios y en determinar las fluctuaciones históricas de caudales de ríos importantes en el norte y centro de México (Cortés *et al.*, 2010; Villanueva *et al.*, 2010; así como de fluctuaciones en los niveles de lagos (Villanueva *et al.*, 2012) y para propuestas de conservación de sitios con árboles milenarios (Villanueva *et al.*, 2003). Series dendrocronológicas de sabino, algunas en proceso de desarrollo están siendo analizadas para determinar las fluctuaciones hidroclimáticas y el posible impacto de fenómenos circulatorios; así como de fuente de procedencia de agua para su desarrollo; es decir, la dinámica de como explora el árbol los diferentes sustratos del suelo para satisfacer su demanda hídrica.

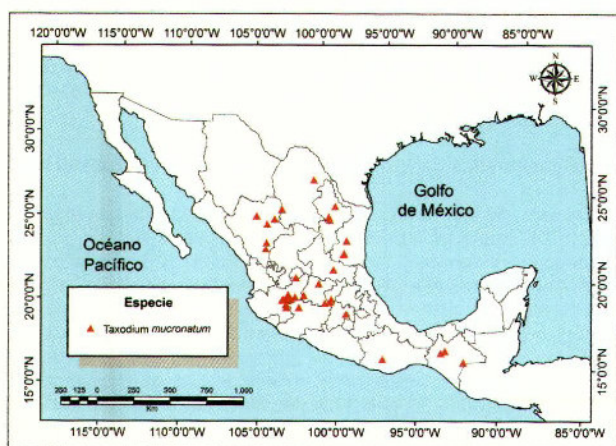


Figura 14. Red dendrocronológica de sabino en México, desarrollada en la última década y que integra a más de 30 series de tiempo de anillo total.

11. La contaminación del agua y su influencia en el desarrollo del sabino

Diversos factores medioambientales afectan el desarrollo en crecimiento de especies leñosas, entre los que se encuentran la intensidad de luz, temperatura, disponibilidad de agua, fertilidad del suelo, salinidad y contaminación, además de que se ha comprobado que las inundaciones prolongadas del sustrato disminuyen la floración, producción de semillas y calidad del fruto (Kozłowski y Pallardy, 1997). Un estudio de la calidad del agua en el RSPM, con base en la presencia de fauna acuática, no detectó ninguna especie nativa, lo que es indicio de problemas de contaminación, en particular, la producida por la descarga de aguas residuales, sin tratamiento alguno; particularmente, aquella que deriva de los grandes núcleos de población urbana (WWF-Fundación Gonzalo Río Arrente, 2008).

A pesar de su efecto que va en detrimento de la fauna acuática y en diversas especies riparias, estudios recientes sugieren un efecto positivo de las aguas residuales en términos de producción de biomasa, al incrementar el diámetro y área basal de poblaciones de sabino (Schlesinger, 1978), situación probablemente provocada por un incremento en la fertilidad, que revierte el efecto negativo de la presencia de concentraciones reducidas de oxígeno y de elevadas concentraciones de dióxido de carbono y de otros gases como metano; este incremento, sin embargo, se desconoce si es temporal o se prolonga por varios años, ya que a largo plazo se ha observado muerte masiva de árboles adultos de sabino en tramos de hasta más de 50 m de longitud, particularmente en los sitios donde la descarga de agua contaminada es directa (Figura 15) . Esta respuesta, sin embargo, está supeditada también al tipo de contaminante y los volúmenes de agua disponibles, ya que entre mayores son estos, la dilución del contaminante se incrementa y su efecto pernicioso es menor.

Un efecto similar se obtuvo en situaciones prolongadas de inundación y descarga de aguas residuales (Enriquez *et al.*, 2004). De estos resultados, se podría argumentar que la contaminación derivada de la descarga de aguas residuales, no siempre produce un efecto negativo en el desarrollo del sabino; sin embargo, este problema tiene consecuencias drásticas en la vida acuática, afectando la biodiversidad y sus relaciones con otros organismos.



Figura 15. Paraje en el Río San Pedro Mezquital con mortalidad de árboles de sabino.

El sabino parece tener alta tolerancia a condiciones de elevada contaminación y su muerte no ocurre inmediatamente, excepto en casos donde el suministro de agua corriente cesa por completo, como en el caso de desvío de corrientes de agua en años de sequía extrema o acciones de retención en presas de confinamiento. Esta capacidad del sabino para sobrevivir a condiciones de elevada contaminación, en ocasiones permite establecer acciones de remediación, para una posterior restauración y recuperación de sus poblaciones *in situ*.

Para el caso del RSPM, el datado de los crecimientos anuales de árboles vivos y muertos, permitió definir el período de mortandad del arbolado y la reducción en crecimiento observada hasta su muerte (Figura 16). Esta información ha permitido definir el impacto de la retención de agua en las presas y su efecto acumulativo en los crecimientos del sabino, con tendencias a generar una disminución en su crecimiento radial y por ende en área basal a través del tiempo.

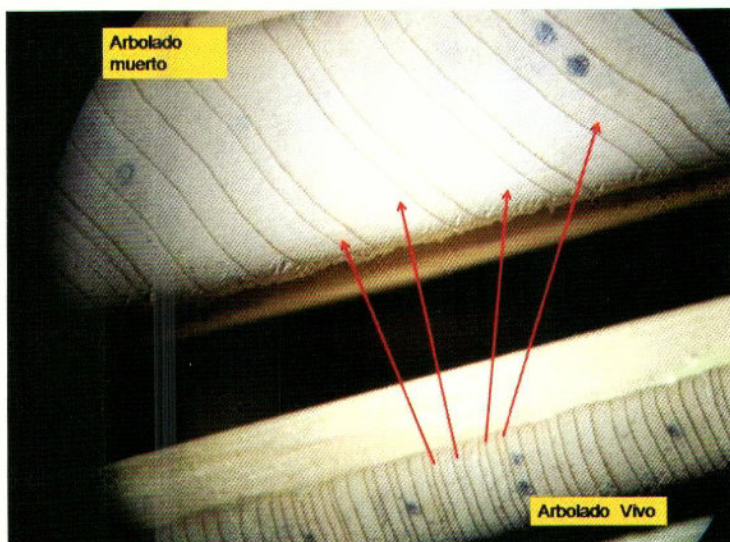


Figura 16. Comparación entre dos núcleos de crecimiento. El superior se extrajo de un árbol muerto y el inferior de uno vivo. La similitud entre patrones de crecimiento, es decir, secuencia de anillos anchos y estrechos en ambos núcleos, permitió determinar el año en que murió el árbol.

12. Efecto de la construcción de presas en el desarrollo del sabino

Los problemas de contaminación del agua y cambios de usos del suelo no son los únicos factores que afectan la dinámica poblacional del sabino, sino que el mayor impacto se origina a causa de una limitada disponibilidad de agua en volumen y en su distribución en tiempo y espacio (Figura 17). Este impacto ha sido mayor, debido a la retención de agua en grandes represas construidas en los últimos 50 años y que se ubicaron en las partes medias de la cuenca RSPM, que sustentan o abastecen este bosque de galería (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008). Dentro de estas estructuras se encuentra la presa "Santiago Bayacora", con una captación total de 100.304 Mm^3 (millones de metros cúbicos) construida en 1989; otra es la presa "Peña del Águila" con 31.734 Mm^3 , construida en 1950 y la "Guadalupe Victoria" con 90.218 Mm^3 , construida en 1962.

La influencia de las presas, indica una disminución significativa en volúmenes disponibles para el desarrollo del ecosistema ripario (Figura 18). Esta disminución en volúmenes se ejemplifica para la presa “Santiago Bayacora”, mediante un hidrograma con datos de los periodos 1977-1987 (antes del funcionamiento de la presa) y 1992-2002 (posterior a su construcción en 1989). El análisis se realizó con el flujo medio mensual de la estación hidrométrica “El Saltito”, localizada aguas abajo de la influencia de las tres presas (Guadalupe Victoria, Peña del Águila y Santiago Bayacora). Del análisis de los datos hidrométricos, se deduce, que el flujo de febrero a junio es prácticamente similar antes y después del funcionamiento de las presas, pero este decae bruscamente hasta un 60% entre julio y octubre, cuando se presenta la mayor precipitación. Estos gastos vuelven a ser similares en noviembre y diciembre, aunque es inferior al gasto natural de enero. Esta disminución de volúmenes tiene efectos importantes en la calidad de agua, así como para satisfacer los requerimientos hídricos del ecosistema ripario, con repercusiones en sus tasas de crecimiento y vigor del arbolado.

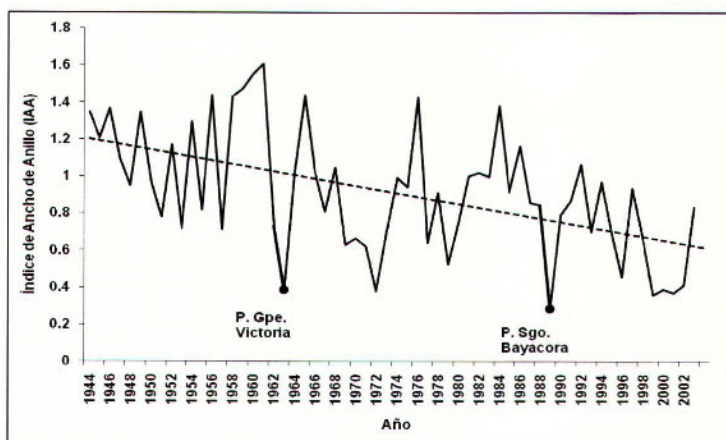


Figura 17. Influencia de la construcción de las presas Guadalupe Victoria y Santiago Bayacora en el crecimiento radial anual del sabino (índice de ancho de anillo) en el RSPM. Observe como después de la construcción de las presas, el crecimiento del sabino decae significativamente y la tendencia con el tiempo es a mostrar un menor desarrollo.

Otro aspecto con impacto negativo es la dispersión de la semilla, proceso que se realiza principalmente mediante el arrastre por el flujo y posteriormente su deposición en sitios adecuados para germinar, requiere de un suelo con alto contenido de humedad (Martínez, 1963; Carranza, 1992). Esta situación, que aunado a otros problemas colaterales, potencialmente ha provocado una disminución en el reclutamiento de la especie, que en muchos parajes del río se observa nulo o se concentra en sitios muy específicos, cuando debería estar presente en todo el corredor ribereño.

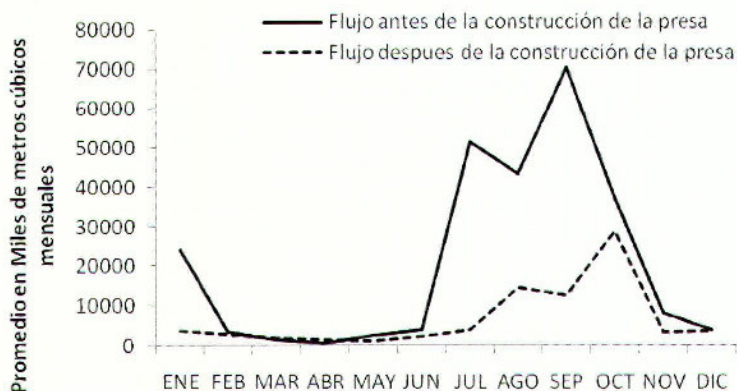


Figura 18. Comparación entre el flujo natural promedio mensual (antes de la construcción de presas) y modificado (después de la construcción de presas) con datos de la estación hidrométrica "El Saltito".

13. Implementación de un gasto ecológico

Acorde a los registros hidrométricos de la estación el Saltito, en los últimos 30 años (1957–1986), el promedio de volumen registrado para el periodo marzo-septiembre ha sido de $185,471 \text{ m}^3$, que corresponde a un promedio mensual de $26,500 \text{ m}^3$ y un valor más frecuente de $20,000 \text{ m}^3$. 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 volumen estimado sirviera para definir el gasto ecológico del ecosistema, que para esta parte del río se ha estimado en 36 hm^3 (hectómetros o millones de m^3), que representa el 8% de los escurrimientos naturales (451 hm^3) en esta parte de la cuenca (WWF-Fundación Gonzalo Río Arronte, 2008). La disponibilidad de agua corriente en el periodo marzo-septiembre resulta esencial para el crecimiento del sabino y este flujo se debe garantizar para la perpetuidad de este sistema ripario, situación que debe ir aparejada con acciones adicionales de protección y de restauración de los sitios que así lo ameriten. El desvío de agua con fines agrícolas o pecuarios y la extracción directa con equipo de bombeo del flujo remanente en el cauce, son acciones que deben evitarse y sancionarse en su caso, para garantizar el crecimiento de la especie, no obstante, que aunque tolera condiciones de sequía, una falta de agua se refleja en un menor crecimiento radial, situación que también impacta la dinámica poblacional de la especie, al limitar su reclutamiento y sobrevivencia de los individuos ya establecidos y de la salud del propio ecosistema al hacerlos más susceptibles al ataque de patógenos (Stahle y Cleaveland, 1992).

14. Conclusiones y recomendaciones

El sabino constituye la especie dominante de los bosques de galería del RSPM. Por sus dimensiones colosales y la extensión de sus raíces, que exploran enormes volúmenes de suelo, ejerce una gran influencia en los procesos ecológicos e hidrológicos que se suscitan en las riberas de los ríos, donde tiene su nicho ecológico, con lo cual favorece el adecuado funcionamiento de la diversidad de especies acuáticas y terrestres, al crear un microclima especial, ser fuente de alimento y estabilizar los bancales (márgenes) de los Ríos; situación que tiene un efecto positivo en la calidad del agua, entre muchos otros efectos colaterales. Para tomar ventaja de todos estos beneficios es importante conocer a detalle la fenología de la especie, así como el incremento radial que depende de la formación de anillos de crecimiento y de sus componentes celulares; así como del impacto en su dinámica de disturbios de origen antropogénico, que afectan la cantidad, distribución y calidad del recurso hídrico y que es fundamental para su estabilidad ecológica.

El bosque de galería del RSPM constituye un claro ejemplo, para analizar el efecto que ejercen diversas acciones humanas en el funcionamiento de este ecosistema, el cual a través de los siglos ha dado vida y ha sido el motor de desarrollo de poblaciones asentadas dentro y fuera de la cuenca. La información que se generó en tres años de investigación realizada en más de 260 km de longitud del río, derivó en información técnica que aunada a factores sociales y económicos puede coadyuvar en la *“implementación de futuros proyectos comunitarios desarrollados mediante planeación estratégica participativa con los actores involucrados, teniendo como meta promover la conservación y restauración de este importante ecosistema ribereño”*, no sólo de Durango, sino del centro y norte de México.

Finalmente, la implementación de nuevos estudios con el uso de tecnología de punta, como es el uso de isótopos, puede brindar información clave sobre los procesos fisiológicos, procedencia del agua, donde de forma más amplia podemos observar el comportamiento, anomalías y fluctuaciones de fenómenos circulatorios en los siglos pasados, así como aportar elementos clave al gradual patrón de cambio en el clima, otros aspectos a investigar pudiera ser la influencia de la fuente de precipitación o el flujo hídrico y en qué forma impacta en la proporción de biomasa acumulada en el tiempo (a nivel de siglos), además de poder indagar un posible efecto de fertilización por CO₂ en este sistema natural tan importante y representativo de los ecosistemas riparios de México.

15. Agradecimientos

El presente estudio se financió con fondos concurrentes del 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”; Instituto Interamericano para Investigación de Cambio Climático (IAI), proyecto CRN # 2047, con fondos del US/National Science Foundation (Grant GEO-0452325) y fondos fiscales INIFAP del proyecto “Cambio climático y su impacto sobre el potencial productivo, agrícola, forrajero y forestal en México”.

16. Literatura Consultada

- Andrews, T.G. 1996. Coral Paleoclimatology Natural recorders of interannual climatic variability in the tropical oceans and seas. World Data Center-A for Paleoclimatology. Educational slide project. 15 Pp.
- Arena, M., G. Vater, P. Peri. 1998. Propagación y producción de Berberis en la Patagonia Austral. Informe Técnico. EEA Santa Cruz. 73 p.
- Bradley, R.S. 1999. Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary. Second Edition. Academic Press. USA. 613 Pp.
- Brown, C.A., G.N. Montz. 1986. Baldcypress: the tree unique, the wood eternal. Claitor's Publishing Division, Baton Rouge, LA. 139 p.
- Carranza, E. 1992. Taxodiaceae. En: J. Rezedowski, G. Calderón de Rezedowski. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A.C. Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán, México. Fascículo 4. pp. 1 – 7.
- Castañeda, B.R. y G.M.S. Lozano. 1998. Palynological análisis refer to finding of *Mammoth columbi* in the upper Lerma basin, México. American Quaternary Association Program and Abstracts of the 15th Biennial Meeting. Puerto Vallarta Mexico. 95.
- Cortés Barrera, E.N., J. Villanueva D., J. Estrada A., C. Nieto de Pascual P., V. Guerra de la Cruz, O. Vázquez C. 2010. Utilización de *Taxodium mucronatum* Ten. Para determinar la variación estacional de la precipitación en Guanajuato. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 1(1): 159-170
- Demaree, D. 1932. Submerging experiments with *Taxodium*. Ecology 13: 258-262.
- Enríquez Peña, E.G., H. Suzan A., G. Maldonado B. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *Taxodium mucronatum* (Ten.) en el estado de Querétaro, México. Agrociencia 38(3): 375-381.
- Enriquez-Peña, E.G. y H. Suzan-Aspiri. 2011. Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de Querétaro, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(1): 153-167.
- Florescano E., M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D.F. México. 158 p.
- Fritts, H.C. 1976. Tree rings and climate. Academic Press. London. 567 Pp.

- González Elizondo, M. Socorro, 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. 219 p.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57(2): 205 – 221.
- INIFAP. 2012. Informe final del proyecto “Dinámica poblacional de sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en la cuenca del Río San Pedro Mezquital”. Proyecto OK59. Financiado por la WWF Fundación Gonzalo Río Arronte”. INIFAP-CENID RASPA. Gómez Palacio, Durango.
- Kzolowski, T.T. and S.G. Pallardi. 2002. Acclimatation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review* 68(2): 234-270.
- Little, E.L. Jr. 1971. Atlas of the United States trees, Volume 1, conifers and important hardwoods. Miscellaneous publications. 1146, Washington, D.C., Department of Agriculture, Forest Service. 400 p.
- Luque, E. 1921. Voto razonado para elegir árbol nacional. *Sociedad Forestal Mexicana. Revista México Forestal.* 1(9-10): 3.
- Martínez, M. 1963. Las pináceas mexicanas. 3ª. Edición. Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México. México, D. F. 345 p.
- Mattoon, W. R. 1915. The southern cipress. Bulletin No. 272. United States Department of Agriculture. Contributions from the Forest Service. Washington, D.C. USA. 73 p.
- Naiman, R. J., H. Décamps, and M. Pollock. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3: 209-212.
- Niembro, A. 1986. Árboles y Arbustos Útiles de México. Editorial Limusa. México D.F. 206 p.
- Novoa, S., A. Ceroni, C. Arellano. 2005. Contribución al conocimiento de la fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseiflora* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae) en el Valle del Río Chillón. Lima-Perú. *Ecología. Aplicada* 1-2: 35- 40.
- Panshin, A.J., and C. de Zeeuw. 1970. Textbook of woodtechnology. Vol I, Third Edition. McGraw-Hill. New York, USA.
- Rzedowski, J. 1986. Vegetación de México. Editorial LIMUSA, México, D.F. 432 p.
- Schlesinger, W.H. 1978. Community structure dynamics and nutrient cycling in the okfeenokee cypress swamp-forests. *Ecological Monographs* 48: 43-65.

- Stahle, D.W., E.R. Cook, and J.W.C. White. 1985. Tree-ring dating of baldcypress and the potential for millennia-long chronologies in the Southeast. *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-Diaz, D.J. Burnette, J. Cerano-Paredes, R.R. Heim Jr., F.K. Fye, R. Acuna-Soto, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland, D.K. Stahle. 2011. Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letters* 38, L05703
- 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, K.P. Wolff. 2012. Tree-ring analysis of ancient baldcypress trees and subfossil Wood. *Quaternary Science Review* xxx: 1-15.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. An introduction to tree-ring dating. The University of Chicago. 73 p.
- Thomas, B.A. and R.A. Spicer. 1987. The evolution and paleobiology of land plants. Dioscorides Press Inc., Portland, Oregon. 309 p.
- Villanueva D.J., D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland, F. Camacho Morfín, P. Nuñez Díaz de la Fuente, S. Gómez Chávez, J. Sánchez Sesma y J.A. Ramírez García. 2003. 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., A. Hernández R. F. García F., E. Cornejo O., D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleaveland. 2003. Análisis estructural de un rodal de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) y vegetación circunvecina en los Peroles, San Luis Potosí, México. *Ciencia Forestal* 28(94): 57 – 79.
- Villanueva, D. J., B. H. Luckman, D. W. Stahle, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland, J. Cerano P., G. Gutiérrez G., J. Estrada A., R. Jasso I. 2005. Hydroclimatic variability of the upper Nazas basin: Water management implications for the irrigated area of the Comarca Lagunera, México. *Dendrochronologia* 22 215-223.
- Villanueva D., J., J., Cerano P., B. H. Lukman, J., Estrada A., D.W. Stahle, I. Sánchez C., M. D. Therrell y R. Morán M. 2006. Precipitación y Flujo histórico de la cuenca Nazas-Aguanaval e Impacto en la Agricultura. Folleto Científico 19. INIFAP CENID-RASPA. Margen Derecha del Canal el Sacramento km 6.5 Gómez Palacio Dgo.
- Villanueva D. J., D.W. Stahle, B.H. Luckman, J. Cerano P., M.D. Therrell, R. Morán, M., M. K. Cleaveland. 2007. Potencial dendrocronológico de *Taxodium mucronatum* Ten. y acciones para su conservación en México. *Ciencia Forestal* 32 (101): 9-37.

- Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., V. Constante G., J. Estrada A. 2009. Bosques de galería con ahuehuete (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el Río Nazas: tasas de crecimiento y respuesta climática. *Agrofaz* 9(3): 134-143.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., J. Estrada A., R. Morán M., V. Constante G. 2010. Precipitación y gasto reconstruido en la cuenca baja del Río Nazas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 37-53.
- Villanueva Díaz, J., V. Constante G., J. Cerano P., M.M. Tostado P., J. Estrada A., D.W. Stahle. 2011. Árboles longevos de sabino (*Taxodium mucronatum* Ten.) en el Río San Pedro Mezquital. INIFAP CENID-RASPA. Folleto Técnico No. 23. Gómez Palacio, Durango. 23 p.
- Villanueva Díaz, J., J. Cerano P., J. De Dios Benavides S., D.W. Stahle, J. Estrada A., V. Constante G., M. Tostado P. 2012. Reconstrucción de los niveles del Lago de Chapala con series dendrocronológicas de ahuehuete. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. En impresión.
- Von Carlowitz, P.G., G. V., Wolf y R. E. M., Kemperman. 1991. The Multipurpose and Shrub Database. An Information and Decision-Support System. Manual, Versión 1.0. ICRAF. Nairobi Kenia.
- Zanoni, T.A y R.M. Moscoso. 1982. Flora de Veracruz. *Taxodiaceae*. Instituto Nacional de Investigaciones Sobre Recursos Bióticos. Fascículo 25. 1-9 p.
- WWF-Fundación "González Río Arronte". 2008. Propuestas de caudal ecológico en México. Documento interno en formato pdf. 20 p.

Comité Editorial del CENID-RASPA

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Dr. Miguel A. Velásquez Valle

Vocales: Dr. Juan Estrada Ávalos

M.C. Miguel Rivera González

Revisores Técnicos

M.C. Luis Ubaldo Castruita Esparza

M.C. Omar Durán Guerra

Edición y diseño:

Ing. Aldo Rafael Martínez Sifuentes

La presente publicación se terminó de imprimir en Julio de 2013 en

CARMONA IMPRESORES S.A. DE C.V.

Calzada Lázaro Cárdenas No. 850

Col. Eduardo Guerra C.P. 27280

Torreón, Coah. Mex.

Su tiraje consta de 600 ejemplares.

WWW.INIFAP.GOB.MX

El sabino o ahuehuete es una especie arbórea presente en el ecosistema rivero del río San Pedro Mezquital, con origen en el estado de Durango, dentro de la Sierra Madre Occidental y que aun dreña libremente hacia "Marismas Nacionales" en el estado de Nayarit. De los casi 500 km de longitud de este río, el sabino se encuentra presente en más de 350 km. La presencia de árboles centenarios y milenarios en diversos parajes del ecosistema rivero, constituye un paliativo más para fomentar su conservación y restauración. La importancia de analizar la fenología de la especie se justifica plenamente, dada la necesidad de promover su propagación masiva con fines de restauración en este y otros sistemas riparios del país; así como, analizar la influencia en el crecimiento de estructuras hidrológicas presentes en muchas corrientes principales, que limitan la disponibilidad de un gasto ecológico para una adecuada crecimiento del sabino. En este folleto técnico, se integra una serie de conocimientos de la fenología de la especie y de su incremento radial anual, los cuales se espera permitan a los tomadores de decisiones y manejadores de recursos naturales, apoyar acciones que permitan el adecuado funcionamiento ecológico de estos bosques de galería, de significativa importancia ecológica y económica para la región.

