



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS

COORDINACION DE POSGRADO

POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE *Pinus patula* (Schl. et Cham.) Y RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA TLAXCALA-PUEBLA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

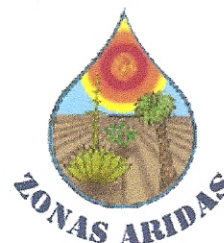
PRESENTA:

DIANA ALICIA QUEZADA RIVERA



COMISION GENERAL ACADEMICA
CENTRO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bermejillo, Durango., Junio de 2013



**POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE *Pinus patula* (Schl. et Cham.) Y
RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA TLAXCALA – PUEBLA**

Tesis realizada por **Diana Alicia Quezada Rivera** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

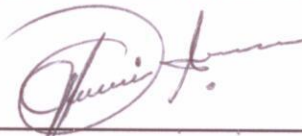
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

CO-DIRECTOR:



Dr. Ricardo David Valdez Cepeda

CO-DIRECTOR:



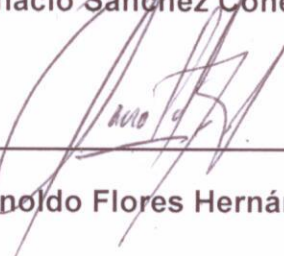
M.C. Julián Cerano Paredes

ASESOR:



Dr. Ignacio Sánchez Cohen

ASESOR:



Dr. Arnoldo Flores Hernández

Esta tesis se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) CENID–RASPA, en el Laboratorio de Dendrocronología en Gómez Palacio, Durango. Este estudio forma parte del proyecto “Estudio de la Relación Clima-Incendios en el Norte-Centro de México” financiado por SEP-CONACYT.

Datos Biográficos.

1. Educación Superior en la Escuela Superior de Biología ahora llamada Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Juárez del Estado de Durango.
2. Participaciones como asistente y/o ponente en las Jornadas Académico-Culturales así como en las Expo-Biología durante el periodo 2002-2006.
3. Participación en la realización de un Plan de Manejo de Residuos en la empresa Barcel S.A. de C.V de la Cd. de Gómez Palacio, Durango., como parte de la materia de Monitoreo e Impacto Ambiental.
4. Servicio Social Universitario en el Centro Acuícola “La Rosa” en el ejido de General Cepeda, Saltillo, Coahuila. Realizando las siguientes actividades: Selección y manejo de reproductores de Carpa, Inducción al Desove e Incubación de huevos de Carpa, selección y muestreos de crías de Bagre, selección y muestreos de crías de Lobina Negra, revisión de reproductores de Bagre y Tilapia, así como alimentación de peces.
5. Estancia de prácticas en el área veterinaria y educativa del Zoológico Sahuatoba en la Cd. de Durango.
6. Estudios de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas los realice en la Universidad Autónoma de Chapingo en la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas en Bermejillo, Durango.
7. Estancia de estudios a la Cd. de San Antonio Texas, asistiendo a un curso intensivo de inglés.

8. Tesis de maestría realizada en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA de Gómez Palacio, en el Laboratorio de Dendrocronología.
9. Actualmente integro parte del equipo de trabajo del laboratorio de Dendrocronología.
10. Instructor en el 7º Curso Nacional de Dendrocronología.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice de Tablas	i
Índice de Figuras	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 General	4
2.2 Específicos	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Definición de dendrocronología	5
3.2 Antecedentes	5
3.3 Potencial Dendrocronológico	6
3.4 Antecedentes de estudios relacionados con la determinación de potencial dendrocronológico	7
3.5 Dendrocronología en México:	9
3.6 <i>Pinus patula</i>	10
3.6.1 Ubicación taxonómica de la especie	10
3.6.2 Descripción de la especie	10
3.6.3 Hábitat	11
3.6.4 Clima	12
3.6.5 Suelos y Topografía	12

3.6.6	Cobertura Forestal Asociada	13
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1	Localización del área de estudio	14
4.2	Métodos de campo	15
4.2.1	Muestreo	15
4.2.2	Diseño de muestreo	15
4.2.3	Características del arbolado	15
4.2.4	Registro de información del sitio	17
4.2.5	Toma de núcleos de crecimiento o virutas	18
4.3	Método de laboratorio	23
4.3.1	Preparación de los núcleos de crecimiento	23
4.3.2	Fechado de muestras.	25
4.3.3	Medición de anillos	25
4.4	Análisis de datos	28
4.4.1	Control de calidad de los datos	28
4.4.2	Desarrollo de series dendrocronológicas	29
4.4.3	Desarrollo del modelo climatológico.	30
4.4.4	Potencial dendrocronológico	30
4.4.5	Análisis dendroclimático	31

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	33
5.1. Potencial dendrocronológico de <i>Pinus patula</i>	33
5.1.1 Análisis dendroclimático regional Tlaxcala-Puebla	37
5.1.2 Análisis dendroclimático.	39
5.1.3 Función de Respuesta	41
5.2 Reconstrucción de la precipitación	44
5.2.1 Calibración y verificación	45
5.2.2 Análisis de variabilidad climática.	48
VI. CONCLUSIONES	53
VII. LITERATURA CITADA.	54

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Estaciones climáticas cuyos registros fueron empleados para correr la función de respuesta con las cronologías regionales	31
Tabla 2. Matriz de correlación entre las diferentes cronologías	35
Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los principal componente del Análisis de Componentes Principales y las cronologías de <i>Pinus patula</i> (* $p < 0.01$).	37
Tabla 4. Matriz de correlación del programa COFECHA, donde se muestra a las correlaciones ($p < 0.01$) entre series. Los valores de correlación seguidos por la letra A y B, indican problemas por anomalía en el crecimiento y no de fechado.	38
Tabla 5. Parámetros estadísticos de la cronología regional de anillo total de <i>Pinus patula</i> .	40
Tabla 6 Parámetros estadísticos de las cronologías de diferentes especies con excelente potencial dendrocronológico.	41
Tabla 7 Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno–primavera.	46
Tabla 8 Análisis de Varianza del modelo de reconstrucción.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplar de <i>Pinus patula</i>	11
Figura 2. Localización geográfica de las áreas de estudio y las estaciones climatológicas involucradas en el análisis dendroclimático	14
Figura 3. Componentes del taladro Pressler (Grissino-Mayer).	19
Figura 4. Ejemplo de la toma de muestras de crecimientos de <i>Pinus patula</i> empleando el taladro tipo Pressler.	20
Figura 5. Obtención de un núcleo de crecimiento o viruta con taladro tipo Pressler.	21
Figura 6. El núcleo de crecimiento inmediatamente después de su extracción se coloca en un popote de plástico, al cual se le anota la clave del sitio, fecha de colecta, diámetro del árbol y otras observaciones. A la derecha se muestra el tubo en el cual se guardan las muestras para su cuidado durante el transporte.	22
Figura 7. Bitácora de datos de identificación de las muestras.	23
Figura 8. Preparación y montado de muestras, etapa fundamental para el análisis dendrocronológico.	24
Figura 9. Sistema de conteo utilizado en el fechado de núcleos de crecimiento. Los puntos paralelos indican la presencia de un microanillo, los puntos alternos un anillo perdido y una diagonal un anillo doble (falso) (Stokes y Smiley, 1996).	26

Figura 10. Muestra colocada bajo la lupa del microscopio y sobre la platina deslizable del sistema de medición para ser medido cada uno de los crecimientos anuales.	27
Figura 11. Medición de muestras empleando el sistema de medición VELMEX con precisión de 0.001 mm.	28
Figura 12. Cronologías generadas para los sitios Matamoros, El Rosario y Las Cruces, en la región sur de Puebla y norte Tlaxcala. Las líneas verticales muestran una variabilidad común entre las series durante el siglo XX y el primer decenio del siglo XXI.	34
Figura 13. Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la agrupación de las tres cronologías en el PC1, indicando una variabilidad afín y la varianza explicada por cada uno de los componentes (PC1 y PC2).	36
Figura 14. Cronología regional para Tlaxcala-Puebla que muestra la variabilidad ambiental de los últimos 107 años.	39
Figura 15. Función de respuesta entre el índice de ancho de anillo de <i>Pinus patula</i> y los registros de temperatura y precipitación. (a) Indica las correlaciones a nivel mensual y (b) las correlaciones con los registros climáticos estacionales. Las líneas punteadas de forma horizontal indican el nivel de significancia ($p < 0.05$).	42
Figura 16. Correlación entre índice de ancho de anillo (línea	44

punteada) y la precipitación estacional enero-junio (línea sólida) para el periodo de datos (1963 al 2005) instrumentales ($r=0.78$, $p<0.001$).

Figura 17. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida (línea roja) invierno – primavera para el período estacional Enero – Junio. 47

Figura 18. Precipitación estacional reconstruida (últimos 107 años) para la parte centro Tlaxcala-Puebla. La línea punteada en el fondo indica la variabilidad anual de la precipitación, la curva flexible de color negro es una línea suavizada de 10 años para observar de mejor manera los eventos secos (precipitación menor a la media) y húmedos (precipitación mayor a la media); la línea recta muestra la precipitación promedio. 49

DEDICATORIAS.

Con todo el respeto, admiración, pero sobre todo amor, a mis padres **María del Carmen** y **Jesús Oscar**, ya que con todo su apoyo, sus consejos, motivación y paciencia que en todo momento me brindaron hicieron de mí una mejor persona y me motivaron para poder seguirme desarrollando en el ámbito profesional y personal.

A mis hermanos **Jesús Josafath** y **César Abraham** por todas sus muestras de cariño, por todo su apoyo incondicional a cada momento y por estar siempre pendiente de mí incondicionalmente.

A mi abuelita **Isabel Juárez** por su inmenso amor y preocupación para conmigo, por todas sus bendiciones y sus consejos.

A la memoria de mis Abuelos **Lucio** y **Antonio**, se que están muy orgullosos de que siga preparándome y de terminar una etapa más de mí vida en el ámbito profesional.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia al **CONACYT**, por todo el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de postgrado, por fortalecer los lazos entre instituciones educativas y de investigación, y por seguir brindando oportunidad a estudiantes a continuar sus estudios profesionales y de esta manera permitir el desarrollo tanto personal como profesional.

A la Universidad Autónoma de Chapingo, en especial a la **Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas** por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado en dicha institución y de esta manera cumplir con una etapa más en mi formación profesional.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias CENID-RASPA, por la autorización y disponibilidad otorgada para realizar en sus instalaciones todo el trabajo correspondiente al área de campo y laboratorio.

A **Dios** por todas sus bendiciones para conmigo, por prestarme vida y sobre todo salud, por darme la fuerza necesaria para seguir adelante y poder culminar esta etapa de mi vida.

Al **M.C. Julián Cerano Paredes** por su excelente asesoría, su orientación para las salidas de campo, su incondicional apoyo y gran paciencia los cuales contribuyeron a una mejor planeación y realización del presente trabajo. Agradezco el haber puesto su confianza en mí y brindarme la oportunidad de desarrollarme en el ámbito laboral y profesional.

Al **Dr. Ricardo D. Valdez Cepeda** por toda su asesoría y gran disponibilidad que mostró en cada momento en el que necesite de sus observaciones y orientación en el desarrollo del presente trabajo.

A aquellas valiosas personas que laboran en el Laboratorio Nacional de Dendrocronología, **Dr. José Villanueva, Omar Duran, Fátima Reyes Camarillo, Vicenta Constante**, pero en especial a mi compañera y amiga **Rosalinda Cervantes** ya que con todo su apoyo, su disponibilidad y su amplia experiencia y grandiosa asesoría me fue más fácil aprender todo lo relacionado con la dendrocronología.

A **Margarita Ávila**, por todo el apoyo brindado durante mi periodo de estudios durante el postgrado, por toda su paciencia y gran ayuda en cualquier cosa que se le necesitaba.

A todos mis compañeros y amigos del postgrado, muy en especial a **Anaí, Oly** y **Cinthia** por su amistad incondicional, por estar conmigo aun en los pésimos momentos de mi vida, por brindarme su apoyo, sus consejos, por todas las risas y los buenos momentos que a su lado pase, espero esta amistad sea para siempre.

POTENCIAL DENDROCRONOLÓGICO DE *Pinus patula* (Schl. et Cham.) Y RECONSTRUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN PARA TLAXCALA-PUEBLA

DENDROCHRONOLOGICAL POTENTIAL OF *Pinus patula* (Schl. et Cham.) AND RECONSTRUCTION OF PRECIPITATION TO TLAXCALA-PUEBLA.

¹Diana Alicia **Quezada-Rivera** y ²Ricardo David **Valdez-Cepeda**

RESUMEN

Muestras de tres diferentes sitios de la región de Tlaxcala–Puebla se tomaron con el objetivo de analizar el potencial dendrocronológico de *Pinus patula*. Esas muestras se prepararon y fecharon mediante técnicas dendrocronológicas estándar. Tres diferentes cronologías fueron generadas y se analizaron mediante un análisis de componentes principales (ACP) para determinar la variabilidad común entre las cronologías. El ACP agrupó a las cronologías en el CP1 lo que indica una fuerte relación entre ellas. Una cronología regional (1905-2011; n=143; r=0.55, p<0.001) se relacionó con datos climáticos de precipitación y temperatura registrados en las estaciones meteorológicas más cercanas. La cronología muestra una relación significativa (r=0.78, p<0.01) con los datos de precipitación estacional Enero–Junio. Ello indica potencial de *Pinus patula* para la reconstrucción de la precipitación invierno– primavera. La precipitación reconstruida, para la región de Tlaxcala-Puebla, indica gran variabilidad interanual (alta frecuencia) y decenal (baja frecuencia) de los patrones de precipitación. Sequías severas fueron reconstruidas para los períodos 1937-1944, 1948-1953, 1960-1965, 1969-1973, 1982-1984, 1994-1996 y 1998-1999. Las sequías más intensas corresponden a los períodos de 1937-1944, 1948-1953, 1969-1973 y 1998-1999.

Palabras clave: *Pinus patula*, Potencial dendrocronológico, Reconstrucción de precipitación.

ABSTRACT

Samples from three different sites within the central region of Mexico (Tlaxcala– Puebla) were taken with the objective of analyzing the dendrochronological potential of *Pinus patula*. These samples were prepared and dated by using standard dendrochronological techniques. Three different chronologies were developed and analyzed using a principal component analysis (PCA) in order to determine the common variability among the chronologies. The PCA grouped the chronologies within the PC1 structure indicating these series are strongly related. A regional chronology (1905 – 2011; n=143; r=0.55, p<0.001) was related with climate data (precipitation and temperature) registered at the nearest weather stations. The chronology showed a highly significant relationship (r=0.78, p<0.01) with the variable precipitation for the period January-June suggesting a *Pinus patula* potential suitable for the reconstruction of winter-spring precipitation. The reconstructed precipitation for the region Tlaxcala-Puebla indicates large inter-annual variability (high frequency), decadal and multi-decadal (low frequency) of precipitation patterns. Severe droughts were reconstructed for the periods 1937-1944, 1948-1953, 1960-1965, 1969-1973, 1982-1984, 1994-1996 and 1998-1999. The more intense droughts were recorded in the periods 1937-1944, 1948-1953, 1969-1973 and 1998-1999.

Key words: *Pinus patula*, Dendrochronological potential, Reconstruction of precipitation.

¹Tesista

²Director

I. INTRODUCCIÓN

El clima es el tiempo que se espera ocurra en el período de un mes, una estación, un decenio o un siglo; el clima se define como las condiciones de tiempo resultantes de la media del estado sistema atmósfera- océano- tierra, a menudo descritas como “normas climáticas” o condiciones promedio del tiempo. La variabilidad climática es una desviación del tiempo promedio esperado (EEI, 1997).

Los dendrocronólogos se refieren al término sensibilidad como la capacidad que tienen los árboles de una región determinada para reflejar la variabilidad climática a través de las fluctuaciones en el grosor de sus anillos de un año al siguiente. Esta condición puede ser observada en series tomadas de un conjunto de árboles que habitan una misma área y que presentan los mismos patrones de crecimiento en la variación de sus anillos; cuando esto sucede, se dice entonces que los árboles responden al mismo factor climático, es decir, son climáticamente sensibles (Fritts, 1976).

Los registros de los anillos de los árboles de coníferas sensitivas al clima constituyen una fuente de alta resolución y pueden ser empleadas para extender los registros de la precipitación y de otras variables climáticas más allá que los registros históricos a los que se tiene acceso, a través de la generación de series de dendrocronológicas (Fritts, 1976). Las cronologías de anillos de árboles son particularmente importantes en nuestro país debido a que la

mayoría de ellas permiten analizar la variabilidad de la precipitación a través del tiempo y su relación con fenómenos climático como la Oscilación del Sur 'El Niño' (ENSO, por sus siglas en inglés) (Stahle *et al.*, 2000). La influencia climática de ENSO sobre la variabilidad de la lluvia en el norte de México, se ha analizado con base en las cronologías derivadas de coníferas (Villanueva *et al.*, 2004; Cerano *et al.*, 2011a). Las reconstrucciones climáticas pueden ayudar a definir el impacto histórico de este fenómeno y ayudar a estimar la probabilidad de sequías extremas en el futuro (Pohl *et al.*, 2003).

En México existe una gran diversidad biológica de especies sensibles con potencial dendrocronológico. A pesar de ello, se ha realizado poca investigación con relación a los anillos de crecimiento para el norte del país (Cleaveland *et al.* 2003; Villanueva *et al.* 2005, 2007, 2009; Cerano *et al.* 2009, 2011b, 2012;); también son pocos los trabajos desarrollados para el centro de México (Therrell *et al.*, 2004; Cardoza, 2010).

En la actualidad, los estudios dendrocronológicos han tenido un surgimiento en México debido a la importancia científica que reviste el conocimiento del cambio climático global, impacto de patrones de circulación atmosférica y su efecto en el ciclo hidrológico, y en la disponibilidad actual y futura de los recursos hídricos, de alto impacto en actividades productivas y para consumo humano (Villanueva *et al.*, 2007).

Hoy en día, una de las principales metas de la dendrocronología en México es determinar el potencial de nuevas especies que permitan incrementar la red de series paleoclimáticas.

II. OBJETIVOS

2.1 General

- Determinar si *Pinus patula* tiene potencial dendrocronológico con factibilidad para desarrollar reconstrucciones de variables climáticas en el centro del México.

2.2 Específicos

- Determinar el potencial dendrocronológico de *Pinus patula*.
- Generar series dendrocronológicas con base en los anillos de crecimiento de *Pinus patula*.
- Reconstruir una serie de precipitación a nivel regional (Tlaxcala-Puebla).

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Definición de dendrocronología

La palabra dendrocronología proviene de los lexemas *dendros*, *cronos* y *logos* que significan árbol, tiempo y conocimiento, respectivamente. Por lo tanto, la dendrocronología es el conocimiento o estudio de la edad de los árboles (Fritts, 1976). Si se considera a cada árbol como un instrumento capaz de registrar todos los fenómenos que ocurren en el medio que lo rodea, la dendrocronología no es otra cosa más que la ciencia que interpreta o “lee” dicho registro ambiental (Dendrocronología, 2002).

3.2 Antecedentes

En el año 1901, Andrew E. Douglass, conocido como “El Padre de la Dendrocronología”, observó que los anillos expuestos en un tronco cortado de un pino en Flagstaff, Arizona, exhibían variaciones en su anchura. Él se preguntaba si los árboles de Arizona eran influenciados más por la humedad disponible que por la competencia dentro del rodal, y si la humedad disponible tenía un efecto de correspondencia sobre el ancho de los anillos. Con base en que si eso era cierto, él se planteó que los años secos deberían registrarse como anillos delgados y podría usar el grosor de los crecimientos como una prueba para un registro del tiempo y del clima a largo plazo.

En 1911, Douglass se dio cuenta del verdadero significado de sus observaciones. De esta manera, él estableció el fechado-cruzado, un

procedimiento que podía aplicarse en áreas donde el crecimiento de un anillo está limitado de manera frecuente por el clima. Douglass derivó dos importantes implicaciones de su descubrimiento: la primera, el fechado cruzado, el cual al estudiar el modelo de anillos anchos y delgados podría utilizarse como una herramienta cronológica para identificar el año calendario exacto en que se formaron los anillos de crecimiento. Para lograr lo anterior, un requisito es que el año del último anillo sea conocido y que las variaciones relativas de los anillos se observen en muchos árboles. La segunda implicación es que los modelos del ancho de los anillos, por sí mismos, representen un registro de las condiciones ambientales sobre una región. Las diferencias observadas del ancho de algunos anillos se pueden atribuir a las condiciones locales dominantes del hábitat donde se desarrollan los árboles, pero una gran parte de la variación se puede observar en todos los árboles; de esta manera se determina que las variaciones se expresan de manera general en la región (Fritts, 1976).

3.3 Potencial Dendrocronológico

Los anillos de los árboles como archivos útiles para determinar el clima del pasado se han utilizado ampliamente por un sinnúmero de autores, desde inicios del siglo XX por el fundador de la dendrocronología (Andrew E. Douglass; Fritts, 1976) hasta la actualidad (Hughes *et al.*, 2011; Stahle *et al.*, 2011; Villanueva *et al.*, 2012; Cerano *et al.*, 2012).

En México y en los ecosistemas de bosques templados existen coníferas con excelente potencial dendrocronológico, cuyo desarrollo tanto de madera temprana como de madera tardía está influenciado por las condiciones dominantes de precipitación de invierno y verano (Stahle *et al.*, 1998). Asimismo, estas especies permiten analizar la influencia de fenómenos climáticos de circulación general que determinan la variabilidad de la precipitación en ciertas regiones del país (Stahle *et al.*, 1998; Magaña *et al.*, 2003).

La construcción de una red de cronologías y el potencial de especies sensibles al clima pueden ayudar a definir la variabilidad climática para una gran extensión o región y estimar las frecuencias de eventos hidroclimáticos extremos y sus posibles tendencias en el tiempo (Polh *et al.*, 2003; González *et al.*, 2005., Cerano *et al.*, 2011c). El potencial dendrocronológico de una especie se refiere a su capacidad para desarrollar anillos de crecimiento anual, con una fuerte señal climática; esta variabilidad climática, se refleja a través de las fluctuaciones en el grosor de sus crecimientos anuales (Fritts, 1976).

3.4 Antecedentes de estudios relacionados con la determinación de potencial dendrocronológico

Una de las especies más importantes en el Norte de América es el *Pinus aristata*. De hecho, es la especie más longeva encontrada hasta la fecha con un potencial dendrocronológico que permitió generar la cronología conocida

más larga: 7,100 años (Ferguson, 1969). Para América del Sur, se ha determinado el potencial dendrocronológico de especies muy longevas; en Chile se ha trabajado ampliamente con la especie *Fitzroya cupressoides* y se ha logrado desarrollar series de tiempo de 3,600 años, sensibles a los cambios de temperatura y precipitación (Neira y Lara, 2000). Para Bolivia, Argollo *et al.* (2004) reportan el potencial dendrocronológico de la especie *Polylepis tarapacana*. Esta especie presenta anillos claramente definidos, cuya sensibilidad media es muy similar a la de otras especies subtropicales presentes en América del Sur (Villalba *et al.* 1987, 1992) y mayores a la de especies de zonas templadas y frías (Boninsegna, 1992).

En República Dominicana se desarrolló un estudio con la especie *Pinus occidentalis*. En tal caso, la presencia de anillos falsos, anillos perdidos, anillos lastimados y microanillos fue evidenciada. Así, un logro importante fue evidenciar que el estrés hídrico y bajas temperaturas se presentan a mayores elevaciones, propician una mejor definición del anillo anual e incrementan su variabilidad en el tiempo (Speer *et al.*, 2004). En Perú, un logro importante fue determinar el potencial dendrocronológico de *Cedrelinga cateniformis*, especie nativa del bosque tropical sudamericano. Esta especie presenta amplia variabilidad en sus anillos de crecimiento, situación que se refleja mediante una sensibilidad aceptable (Campos, 2009)

3.5 Dendrocronología en México

En México, este tipo de estudios es relativamente reciente. Uno de los primeros trabajos fue el desarrollado por Nylor (1971), quien analizó el potencial dendrocronológico de cuatro pinos Oaxaqueños sin éxito. Suzan y Franco (1982) trabajaron con *Pinus hartwegii* de rodales ubicados en los volcanes del centro de México; ellos desarrollaron una cronología de 200 años (1780-1980) y la consideraron poco sensible a variables climáticas. Gutiérrez (2003) realizó un análisis dendrocronológico en el sur de Nuevo León; para ello integró una cronología compuesta por tres especies de coníferas *Abies vejari*, *Pinus Hartwegii*, *Pinus strobiformis*; así pudo definir el potencial de dichas especies como alto, medio y bajo con relación a lo reportado por Huante *et al.* (1991) en Michoacán y Biondi (1997) en el Nevado de Colima. Algunas especies de pinos piñoneros han aportado excelentes resultados. Constante *et al.* (2009) desarrolló un estudio con *Pinus cembroides* en el Área Natural Protegida “Sierra de Zapalinamé”, Coahuila y determinó un buen potencial de la especie para la reconstrucción de la variabilidad de la lluvia invernal.

Pinus pincena también tiene un buen potencial para desarrollar estudios dendroclimáticos (Santillán *et al.*, 2010). Algunos estudios recientes han permitido determinar el potencial de nuevas especies; e.g. *Pinus cooperi* para el norte de México (Cerano *et al.*, 2012b) *Pinus douglasiana* (Amaro, 2011) y *Abies religiosa* (Cerano *et al.* 2011) para el centro del país. La mayoría de los estudios dendroclimáticos en México se han desarrollado con base en *Pseudotsuga menziesii*, especie que ha permitido reconstruir la variabilidad

climática para los últimos 600 años en el norte del país (Villanueva et al., 2008; Cerano *et al.*, 2011c).

3.6 *Pinus patula*

3.6.1 Ubicación taxonómica de la especie

Reino: *Plantae*

División: *Pinophyta*

Clase: *Pinopsida*

Orden: *Pinales*

Familia: *Pinaceae*

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus patula*

3.6.2 Descripción de la especie

Pinus patula, conocido como pino pátula, pino china u ocote es uno de los cuatro pinos de conos cerrados (división *Oocarpae*, *sensu* Little & Critchfield) nativos de América Central. Los árboles pueden alcanzar de 20 a 40 m de altura, son notables por su corteza papirácea, escamosa y de color rojizo en la parte superior del tallo, en las ramas y por sus conos seróticos persistentes y de gran tamaño (Figura1). Aunque posee una distribución natural muy restringida, el pino pátula ha tenido éxito en plantaciones industriales a través de los trópicos y subtrópicos, destacándose por su buena forma, crecimiento acelerado y gran tamaño. Existe cierto desacuerdo sobre si una especie

identificada inicialmente como *Pinus tecunumanii* (Schwerdtf.) Eguiluz & Perry es en realidad una subespecie, *Pinus patula* Schiede & Deppe ssp. *tecunumanii* (Eguiluz & Perry).



Figura 1. Ejemplar de *Pinus patula*

3.6.3 Hábitat

El pino pátula se presenta de manera natural en los estados de Querétaro, Hidalgo, México, Puebla y Veracruz. Especímenes de esta especie han sido plantadas extensamente fuera de su área de distribución a través de los trópicos y zonas templadas desde el decenio de 1940, incluyendo el sur de África, el subcontinente de la India, América del Sur y Australia (Ladrach, 1985; Wormald, 1975). El pino pátula ha tenido éxito en estos lugares y muy

probablemente se ha naturalizado en por lo menos algunos de ellos; por ejemplo, en la India y el sur de África.

3.6.4 Clima

En su área de distribución natural, el pino pátula se encuentra por lo general en las regiones de cálidas a frescas, a menudo en valles elevados y húmedos. En esas áreas, la precipitación anual promedio varía entre 500 y 2000 mm por año (Loock, 1977), la mayoría de la lluvia ocurre durante el verano (de junio a septiembre) y una temporada seca de cero a 3 meses de duración se presenta entre diciembre y febrero (Wormald, 1975). Las temperaturas anuales promedio varían entre 12 y 18 °C, con temperaturas máximas y mínimas promedio en los meses más calientes y más fríos de 20 a 29 °C y 6 a 12 °C, respectivamente.

3.6.5 Suelos y Topografía

El pino pátula crece con éxito en una gran variedad de suelos, prefiere los suelos ácidos, profundos y húmedos, generalmente de margas arenosas (Loock, 1977) a arcillas arenosas (Wormald, 1975) a elevaciones de 1,400 a 3,200 m sobre el nivel del mar (Webb *et al.*, 1984). El pino pátula crece mejor en barrancas y en llanuras con suelos húmedos, margosos y profundos; es reemplazado por otras especies de pino en suelos poco profundos y deficientes en nutrientes (Wormald, 1975).

3.6.6 Cobertura Forestal Asociada

El pino pátula se puede encontrar ocasionalmente en rodales densos y puros, pero se registra con mayor frecuencia en asociación con otros pinos, tales como *P. teocote* Schlecht & Cham., *P. greggii* Engelm., *P. montezumae* Lamb., *P. pseudostrobus* Lindl. y *P. lawsonii* Roezl. Además, se asocia con otras especies de coníferas como *Taxus globosa* Schlecht, *Podocarpus reichei* Buchh. & Gray, *Abies religiosa* (H.B.K.) Schelcht & Cham. y *Cupressus* spp., así como con especies de latifoliadas, e.g. *Fagus* spp., *Tilia* spp., *Cercis* spp., *Acer* spp., *Liquidambar* spp., *Quercus* spp. y *Alnus* spp.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización del área de estudio

Las áreas de estudio se localizan en las zonas boscosas de los límites de los estados de Tlaxcala y Puebla. Dentro del estado de Tlaxcala se localizan dos sitios en el municipio de Tlaxco: El Rosario en las coordenadas $98^{\circ} 13' 39''$ W, $19^{\circ} 39' 31.96''$ N con una elevación de 2700 m sobre el nivel del mar; y Mariano Matamoros en las coordenadas $98^{\circ} 16' 37.99''$ W, $19^{\circ} 39' 20.98''$ N a una elevación de 2560 m sobre el nivel del mar. Dentro del estado de Puebla se localiza Las Cruces, Municipio Chignahuapan, en las coordenadas $98^{\circ} 10' 57''$ W y $19^{\circ} 49' 19.99''$ N, a una altitud de 2670 m sobre el nivel del mar.

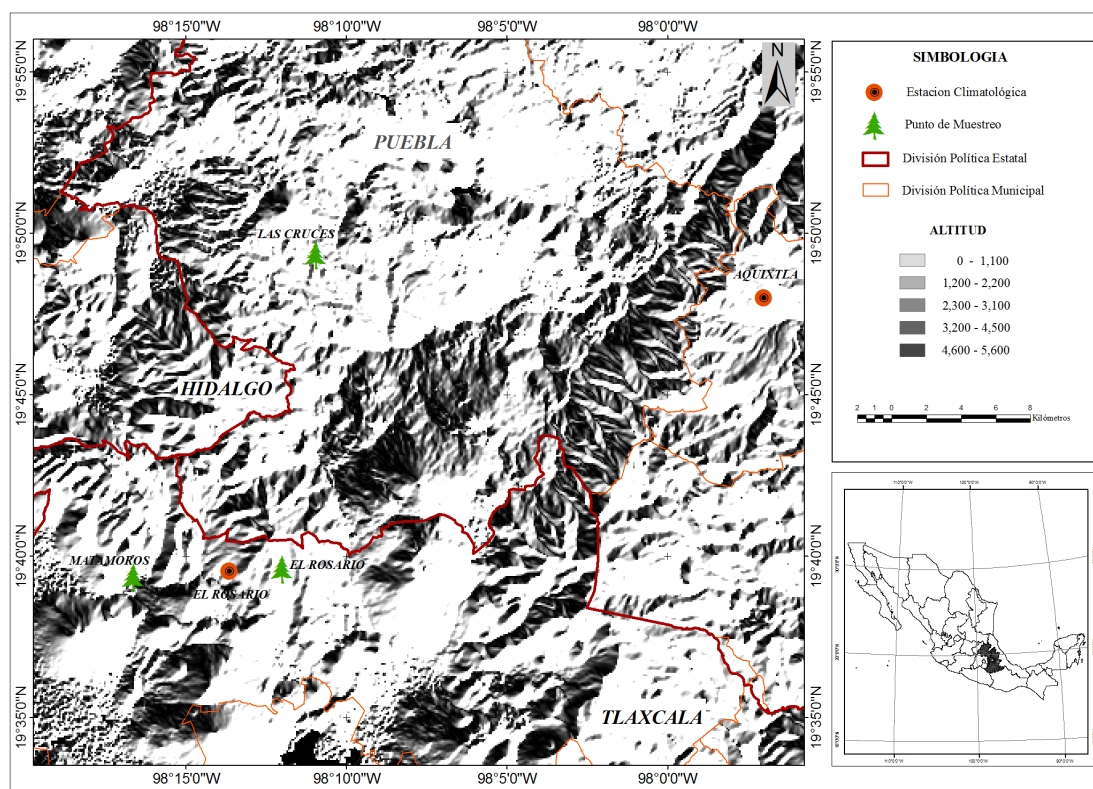


Figura 2. Localización geográfica de las áreas de estudio y las estaciones climatológicas involucradas en el análisis dendroclimático.

El área presenta un bosque coetáneo, es decir, los árboles registran en promedio la misma edad. El estudio sobre potencial y reconstrucción de la variabilidad climática se desarrolló con muestras de las parte media y alta de los sitios de estudio (El Rosario, Mariano Matamoros y Las Cruces) en bosques mixtos de *Pinus patula*, *Pinus rudis* y *Abies bejari*.

4.2 Métodos de campo

4.2.1 Muestreo

Antes de realizar el muestreo, un recorrido preliminar se realizó con el fin de localizar poblaciones de *Pinus patula* con las características apropiadas para estudios dendroclimáticos.

4.2.2 Diseño de muestreo

El presente estudio se llevó a cabo mediante un muestreo selectivo, es decir, los individuos se seleccionaron con base en características fenotípicas específicas, a fin de lograr los objetivos planteados.

4.2.3 Características del arbolado

Un aspecto importante para realizar estudios dendrocronológicos es la selección adecuada de los individuos a muestrear. Aunque el arbolado ideal seleccionado posea la señal climática o biológica buscada, no garantiza el éxito en la generación de cronologías de anillos de árboles. En otras palabras, es preciso realizar una toma de muestras adecuada tanto en cantidad como en

calidad y recabar la información relevante de cada espécimen muestreado en campo y del sitio en general.

Persiste la creencia errónea de que los árboles viejos son aquellos individuos vigorosos, de follaje exuberante y de dimensiones colosales que crecen en suelos fértiles, profundos y con una provisión adecuada de humedad; sin embargo, los individuos viejos son aquellos que crecen en suelos someros con fertilidad limitada, muchas veces situados en sitios con vientos frecuentes e intensos y dependientes del agua que se almacena en el perfil del suelo antes o durante la estación de crecimiento. Tales condiciones implican que no tienen aportación de agua de las áreas aledañas y sobreviven únicamente con el suministro de la lluvia (Cerano, 2008).

En cuanto a sus características fenotípicas, las especies exhiben características muy peculiares, algunas de ellas son tallo y ramas principales torcidas longitudinalmente, la madera en forma de espiral, copa aplanada y de superficie reducida debido a la muerte de los extremos superiores de las ramas terminales, en algunas especies; en las coníferas se observa descortezamiento (Stahle, 1996; Villanueva-Díaz *et al.*, 2006).

En este estudio se seleccionaron individuos de apariencia longeva, que no presentaran daños severos. Además se procuró que los árboles tuvieran un tronco sólido para obtener muestras completas, con el mayor radio posible, evitando aquellos que presentaran pudrimiento en el centro del tronco para no

obtener muestras de mala calidad con secciones perdidas que pudieran convertirse en un problema a la hora de hacer conteo de anillos. También se evitó seleccionar árboles en sitios con mucha competencia intraespecífica e interespecífica para incrementar la posibilidad de obtener muestras con señal climática (Cerano, 2008; Villanueva *et al.*, 2009). Otra consideración, no menos importante que las anteriores ya tomadas en cuenta, fue seleccionar ejemplares en sitios con el menor disturbio (sobrepastoreo, aprovechamiento maderable, ramoneo por ganado, presencia de plagas y enfermedades, daños físicos considerables, entre otros), de tal manera que los factores ajenos al clima (ruido) tuvieran la menor influencia posible sobre el crecimiento anual del árbol y se maximice la posibilidad de la señal climática buscada (Fritts, 1976).

4.2.4 Registro de información del sitio

Para el caso del sitio donde se realizó el muestreo, en un formato específico se registró información geográfica y ecológica, incluyendo coordenadas, altitud, pendiente del terreno, tipo de vegetación, especies dominantes, nombre del paraje, entre otros aspectos. Asimismo, el registro de información de cada uno de los árboles muestreados fue cuidadoso: presencia de plagas, enfermedades, años por incendios, daños físicos y ubicación (cerca o sobre un arroyo, en una fuerte pendiente o cañada.), entre otros atributos.

La asignación de una clave para el sitio de colecta fue importante. La clave consistió en las tres primeras letras del nombre del lugar: ROS (El Rosario), MAM (Mariano Matamoros) y CRU (Las Cruces), el número de árbol (01, 02,

etc.) y la designación de la muestra obtenida con letras (A, B, C, etc.) según la cantidad de muestras colectadas, orientación del árbol, fecha de colecta y observaciones adicionales pertinentes a cada árbol muestreado como el diámetro, coordenadas y tipo de daño, entre otros atributos. Por ejemplo, la primer muestra tomada se denominó ROS 01A, la segunda muestra del mismo árbol ROS 01B, y así sucesivamente.

La información anterior permitió que al momento de analizar cada uno de los núcleos de crecimiento con los programas dendrocronológicos, pues así se facilitó la corroboración e interpretación de los análisis, ya que cualquiera de los daños indicados, aunado a las condiciones del sitio donde se desarrollan los árboles, pudieron alterar el crecimiento anual (Cerano, 2008).

4.2.5 Toma de núcleos de crecimiento o virutas

La obtención de núcleos de crecimiento o virutas de *Pinus patula* con fines dendroclimáticos requiere que de los arboles seleccionados se obtengan de dos a tres incrementos e inclusive cuatro, particularmente cuando se presume que los árboles son muy viejos; no obstante, es importante también incluir de un 15 a 20 % de individuos jóvenes, ya que de esta manera se asegura y facilita fechar el periodo más reciente de la vida de los árboles seleccionados. La explicación es que los arboles jóvenes presentan anillos más grandes y más fáciles de distinguir, mientras que los árboles maduros o viejos producen anillos muy estrechos que se compactan en la parte reciente de su crecimiento debido a restricciones geométricas de superficie del fuste y cuestiones biológicas, lo

cual implica que el crecimiento radial disminuye con la edad al distribuirse su crecimiento en una superficie basal mayor (Fritts 1976; Schweingruber, 1996).



Figura 3. Componentes del taladro Pressler (Grissino-Mayer).

Los núcleos de crecimiento o virutas se obtuvieron con taladros tipo Pressler de diversas dimensiones, usando barrenas con diversas longitudes para obtener virutas de cerca del centro del árbol. El taladro Pressler es la herramienta básica en el trabajo dendrocronológico (Figura 3). Ese instrumento se utiliza para la extracción de núcleos de incrementos en árboles vivos. La barrena es una herramienta de precisión diseñada para extraer un núcleo pequeño de un árbol vivo sin provocar daños considerables (Stokes y Smiley, 1968; Villanueva *et al.*, 2004).



Figura 4. Ejemplo de la toma de muestras de crecimientos de *Pinus patula* empleando el taladro tipo Pressler.

El proceso para obtener un núcleo de crecimiento o viruta de un árbol consiste en seleccionar una parte sana y sólida en una sección del tronco, generalmente a la altura del pecho (1.30 m), conocido también como diámetro normal. Con fines dendrocronológicos, lo principal es extraer la mejor muestra a tres metros, treinta centímetros o en la base del árbol. Si el árbol es muy longevo y el tallo está muy dañado, conviene tomar muestras de las ramas y obtener más de dos núcleos de crecimiento distribuidos de manera uniforme en la periferia del fuste (Figura 4).

Para extraer la muestra, la barrena se ubica en lo que se cree que puede ser la médula (centro del árbol). Para iniciar la extracción de la viruta, la punta de la barrena se presiona firmemente contra la corteza, colocada en ángulo recto (90°) de manera perpendicular al tronco y el mango se gira en el sentido de las manecillas del reloj. Cuando se estima que la barrena ha llegado al centro, se

inserta la cuchara o bayoneta, después se gira la barrena pero en sentido inverso para romper la muestra de la parte interna del árbol y finalmente se extrae la bayoneta o cuchara con la muestra (Jozsa, 1988) (Figura 5).



Figura 5. Obtención de un núcleo de crecimiento o viruta con taladro tipo Pressler.

En este estudio se obtuvieron tres muestras por individuo (A, B y C), siempre y cuando el árbol estuviera sano y permitiera la obtención de muestras de calidad. Cada muestra se tomó en sentido opuesto a la pendiente del terreno y se evitó perforar en puntos del fuste con madera de tensión y compresión. Para los árboles localizados en sitios planos, solo se consideró la extracción de núcleos de crecimiento en secciones del fuste sin daño aparente.

Las virutas extraídas con la barrena son frágiles y deben manejarse con extremo cuidado (Figura 6); por tal razón, al ser extraídas se almacenaron en popotes de plástico con pequeñas perforaciones previamente realizadas para

permitir aireación de la muestra y evitar problemas de pudrición por efecto de hongos.

Posteriormente se registraron: la clave del sitio (ROS, MAM y CRU, según fuera el sitio), número de muestra, (e.g. 01A, C o D), fecha de la toma de muestra, diámetro normal y como observaciones relacionadas con daños físicos, orientación de la muestra, daño de incendio, plaga, entre otras (Figura 6). Después, las muestras se guardaron en un tubo de plástico para facilitar su traslado al Laboratorio de Dendrocronología en el INIFAP, CENID-RASPA, en Gómez Palacio, Durango.



Figura 6. El núcleo de crecimiento inmediatamente después de su extracción se coloca en un popote de plástico, al cual se le anota la clave del sitio, fecha de colecta, diámetro del árbol y otras observaciones. A la derecha se muestra el tubo en el cual se guardan las muestras para su cuidado durante el transporte.

4.3.1 Preparación de los núcleos de crecimiento

DENDROCRONOLOGIA
CENID-RASPA

[illegible]

Los núcleos de crecimiento o virutas se expusieron a temperatura ambiente para provocar su deshidratación. Una vez perdida la suficiente humedad, se

monta en una moldura de madera que presenta una ranura en la que la viruta se ajusta perfectamente. El núcleo de crecimiento se unió a la moldura con pegamento y se ajustó herméticamente con cinta adhesiva hasta que el pegamento se secó. (Figura 8).



Figura 8. Preparación y montado de muestras, etapa fundamental para el análisis dendrocronológico.

La orientación de la muestra al momento del montado es de gran importancia, ya que de esto depende el poder observar con mayor claridad las bandas de crecimiento anual. Las células de la madera (traqueidas) deben quedar perpendiculares a los incrementos anuales. Una vez con las muestras montadas y fijas con el pegamento, procedió su pulido para resaltar sus estructuras de crecimiento anual. El procedimiento consiste en el pulido con lijas de diferente textura. Para ello se usaron granos de 120 a 1200. Dicho

procedimiento se inicia con lija de grano grueso y progresivamente hasta la lija de grano más fino.

4.3.2 Fechado de muestras

Las virutas lijadas se analizaron con la ayuda de un microscopio estereoscópico. El conteo de anillos se realizó mediante el procedimiento siguiente: cada decenio (un punto), cada cincuenta años (dos puntos) y cien años (tres puntos) (Figura 9). Asimismo, se ubicaron anillos con reducción en anchura (anillos pequeños) y aquellos donde sólo se observó una parte de la banda de crecimiento (microanillo), en cuyo caso se utilizaron dos puntos paralelos. Para el caso de anillos perdidos se utilizaron dos puntos alternos y una línea diagonal y así indicar un anillo falso. Después del conteo y con la identificación de patrones comunes de crecimiento entre las series, las fechas tentativas de formación de los anillos de crecimiento fueron asignadas.

4.3.3 Medición de anillos

Además del conteo y prefchado de cada una de las muestras, la medición de los anillos de crecimiento constituye uno de los pasos más importantes para poder utilizar programas subsecuentes relacionados con la calidad del fechado y el desarrollo de índices dendrocronológicos. El proceso de medición debe ser realizado de manera correcta, de tal manera que conlleve a una determinación confiable del crecimiento anual.

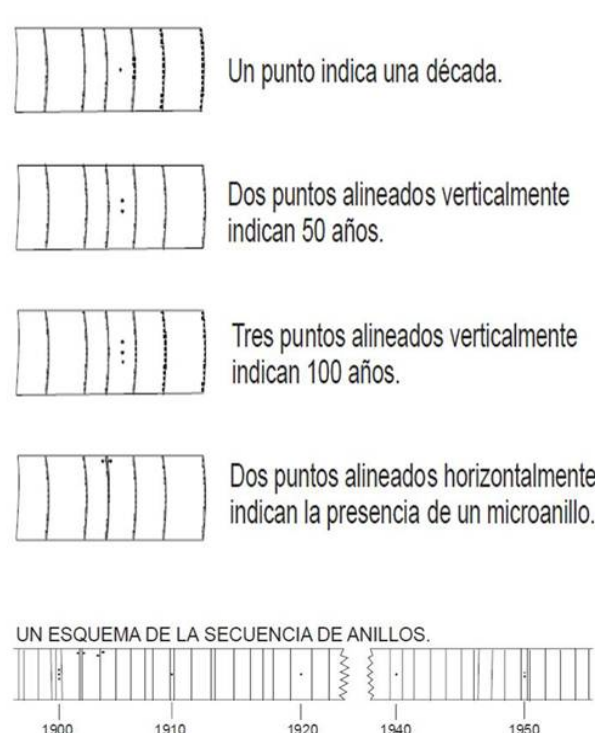


Figura 9. Sistema de conteo utilizado en el fechado de núcleos de crecimiento.

Los puntos paralelos indican la presencia de un microanillo, los puntos alternos un anillo perdido y una diagonal un anillo doble (falso) (Stokes y Smiley, 1996).

La medición individual de los anillos se realizó con un equipo de medición que se compone de un estereoscopio trilocular o lupa de alta resolución 10X, un sistema de medición VELMEX con una precisión de 0.001 mm que se conecta a una platina deslizable y que, a su vez, se acopla a una computadora personal, en la cual está cargado un software de medición, comúnmente denominado MeasureJ2X para Windows y MeasurePJK5 para Mac (Figura 10) (Robinson y Evans, 1980).

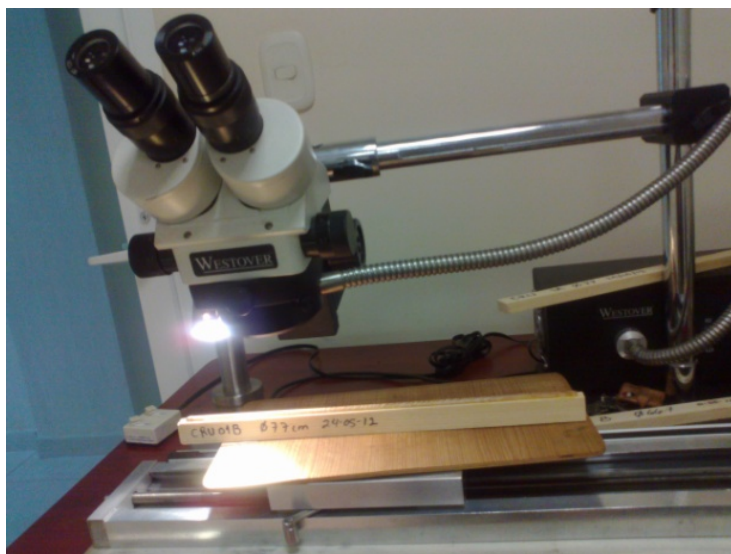


Figura 1. Muestra colocada bajo la lupa del microscopio y sobre la platina deslizable del sistema de medición para ser medido cada uno de los crecimientos anuales.

Las muestras se midieron una a una, deslizando la platina y observando la muestra a través de un estereoscopio con un ocular reticulado (Figura 11). La medición se inició con el anillo más interno y culminó con el anillo exterior (corteza). La medición de cada anillo se registra con la fecha asignada en el prefichado. En cada anillo de crecimiento se realizaron tres mediciones, madera temprana (clara), madera tardía (obscura) y ancho total (anillo total). La base de datos de las mediciones generadas con todas las muestras quedó registrada en el software de medición de la computadora.



Figura 2. Medición de muestras empleando el sistema de medición VELMEX con precisión de 0.001 mm.

4.4 Análisis de datos

4.4.1 Control de calidad de los datos

Una vez generados los archivos de medición de anillo total, madera temprana y tardía, los datos se ingresaron para su análisis al programa COFECHA, el cual es un software que realiza el control de calidad del fechado y medición (Holmes, 1983); además, permite identificar segmentos de la serie de anillos que tienen poca correlación con la serie maestra y que podrían representar posibles errores de fechado o de medición. Este programa genera una serie maestra que es el resultado del promedio de cada uno de los años de todas las series individuales, analiza estadísticamente el fechado de cada serie al correlacionar sucesivamente segmentos de 50 años con traslapes de 25 años de cada serie

individual con la serie maestra y, además, produce un resumen final con las estadística descriptivas para el conjunto total de los datos.

Las series en las que COFECHA identificó problemas se corrigieron mediante la comparación de los gráficos de las series individuales de crecimiento con la serie promedio para el sitio y el análisis cuidadoso en microscopio de las muestras para determinar y corregir los problemas que pudieron haberse generado por anillos perdidos u omitidos o un error en el momento de la medición.

4.4.2 Desarrollo de series dendrocronológicas

El termino cronología de anillos de crecimiento o series de tiempo dendrocronológica se refiere a la serie de valores que representan los promedios de los índices de crecimiento anual estandarizados y debidamente fechados (Fritts, 1976). Estas series de tiempo se generaron una vez que se tuvo la certeza de que los anillos de crecimiento estuvieron bien fechados y validados por el programa COFECHA. Una vez determinada la calidad del fechado y la medición por el programa COFECHA, el archivo de medición con las muestras exactamente fechadas al año de su formación, se corrió con el programa ARSTAN con el cual se desarrollaron tres cronologías de índices de ancho de anillo (estándar, residual y arstan) (Cook y Holmes, 1984). Este programa realiza la estandarización de las series individuales de cada núcleo de crecimiento al remover la varianza debida a factores biológicos como edad, crecimiento radial, diferente productividad entre micrositios y cambios en el

ambiente de los árboles no relacionados con el clima (Fritts, 1976, y Cook y Kairiustkis, 1990). El programa ARSTAN maximiza la varianza asociada a factores ambientales que afectan a la población en su conjunto.

El programa tiene la opción de ajustar diferentes curvas teóricas (recta, exponencial negativa, horizontal o spline de diferente rigidez), las cuales tratan de emular o reproducir las tendencias biológicas del crecimiento. Para este trabajo, todos los análisis se realizaron con la versión de la cronología residual.

4.4.3 Desarrollo del modelo climatológico

Una vez generados los índices de crecimiento para el sitio (cronologías) se desarrollaron correlaciones con los datos de las estaciones climatológicas de El Rosario y Aquixtla; estas estaciones poseen el registro regional de datos climáticos más completo para el período 1963-2005 (IMTA, 2009).

4.4.4 Potencial dendrocronológico

Los estudios enfocados a evaluar el potencial dendrocronológico se basaron principalmente en cuatro criterios básicos: (1) sensibilidad media, (2) desviación estándar, (3) autocorrelación de primer orden y (4) proporción señal/ruido. Sin embargo, también se consideraron otros parámetros estadísticos importantes como son: la cantidad de problemas que presentan las muestras al momento del fechado y la intercorrelación entre series. La respuesta climática o potencial de la especie para reconstruir variables climáticas se determinó al correlacionar las variables observadas (temperatura y precipitación) de las estaciones

climáticas más cercanas al área de estudio, Aquixtla y El Rosario (Tabla 1) con los índices de la cronología residual.

Tabla 1. Estaciones climáticas cuyos registros fueron empleados para correr la función de respuesta con las cronologías regionales.

Estados	Estación	Longitud (O)	Latitud (N)	Periodo
Puebla	Aquixtla	97.95	19.8	1961 - 2009
Tlaxcala	El Rosario	98.2	19.66	1982- 2002

4.4.5 Análisis dendroclimático

Para el análisis dendroclimático o reconstrucción de la variabilidad de la precipitación primeramente se seleccionaron estaciones meteorológicas considerando aspectos como la cercanía con el sitio de estudio y el registro de datos climáticos más completo (al usar el programa ERIC III (IMTA, 2009)). Finalmente, las mejores estaciones resultantes fueron Aquixtla y El Rosario.

Series de promedios regionales para temperatura y precipitación fueron estimadas y se usaron en análisis de correlación con la cronología residual o índice de crecimiento. Los resultados indican los meses o periodos de temperatura y lluvia que influyen de manera significativa sobre el crecimiento de la especie. Con base en lo anterior, solo aquellos meses o periodos en los que el crecimiento de los árboles se correlacionó significativamente ($p < 0.05$) con ambas variables fueron seleccionados. Definido que la variable precipitación es la que más influye sobre el crecimiento de la especie, un modelo lineal de

regresión fue generado al usar el programa STATISTICA, Kernel release 5.5 (Stat Soft Inc., 2000).

El modelo se aplicó para reconstruir la precipitación de este mismo período de datos observados. Para lo anterior con la mitad de los datos se realizó una calibración entre la precipitación observada y la generada, y con la otra mitad se realizó una prueba de verificación (Fritts, 1991). Finalmente, la ecuación de transferencia del periodo total de datos de precipitación disponible se aplicó para desarrollar la reconstrucción de precipitación con la longitud total de la cronología. A la serie de alta frecuencia (resolución anual) se le ajustó una curva decenal flexible (baja frecuencia) para resaltar eventos secos o húmedos (Cook y Peters, 1981).

La serie de precipitación generada se comparó con otras series reconstruidas con información de otros sitios del norte y centro de México. Los periodos de sequía presentes en la serie reconstruida se compararon con periodos similares de otras series de precipitación también reconstruidas. En la medida de lo posible, se analizaron archivos históricos que nos permitieron verificar la calidad de la reconstrucción realizada; asimismo, se identificaron frecuencias significativas en la serie de precipitación reconstruida.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Potencial dendrocronológico de *Pinus patula*

El total de número de núcleos de crecimiento, provenientes de los tres sitios de estudio, se logró fechar: 97 de El Rosario, 30 de Mariano Matamoros y 25 de Las Cruces.

El programa de control de calidad de fechado y medición COFECHA, que establece como mínima correlación significativa entre muestras $r = 0.3281$ ($p < 0.01$); determinó para El Rosario una intercorrelación entre series de $r = 0.613$ ($p < 0.01$); para Mariano Matamoros, $r = 0.508$ ($p < 0.01$); y para Las Cruces, $r = .455$ ($p < 0.01$). Esto indica que la especie de *Pinus patula* posee una alta sensibilidad climática y potencial para fines de reconstrucción paleoclimática.

Con base en el programa ARSTAN se desarrollaron tres cronologías de anillo total: 104 años para El Rosario (1908 2011); 107 años para Mariano Matamoros (1905 2011); y 94 años para Las Cruces (1918 2011) (Figura 12).

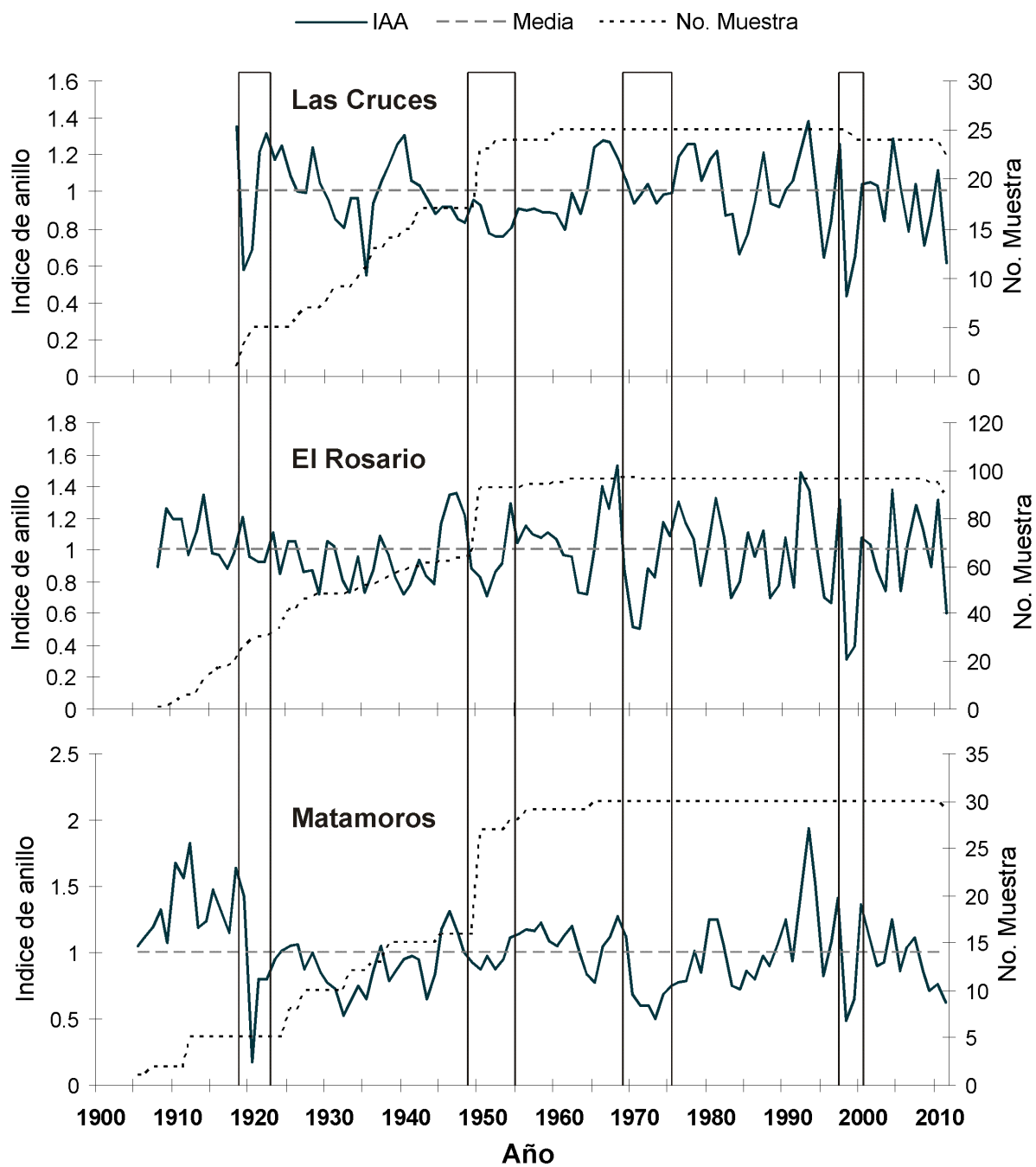


Figura 3. Cronologías generadas para los sitios Matamoras, El Rosario y Las Cruces, en la región sur de Puebla y norte Tlaxcala. Las líneas verticales muestran una variabilidad común entre las series durante el siglo XX y el primer decenio del siglo XXI.

Dado que las tres diferentes cronologías muestran una variabilidad común (Figura 12) y presentan correlaciones significativas entre las cronologías (Tabla 2), se optó por la integración de las tres cronologías en una serie regional.

Tabla 2. Matriz de correlación entre las diferentes cronologías

	MATAMOROS	ROSARIO	CRUCES
MATAMOROS	1.000	0.568 (p<0.0001)	0.375 (p<0.0001)
ROSARIO	0.568 (p<0.0001)	1.000	0.411(p<0.0001)
CRUCES	0.375(p<0.0001)	0.411(p<0.0001)	1.000

Para validar la variabilidad común entre las series dendrocronológicas se corrió un análisis de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés), el cual permitió observar que ambas cronologías se agrupan en el PC1 (Figura 13 y Tabla 3), indicando una variabilidad afín y la factibilidad para desarrollar una cronología que permitirá analizar la variabilidad ambiental de la región Tlaxcala-Puebla.

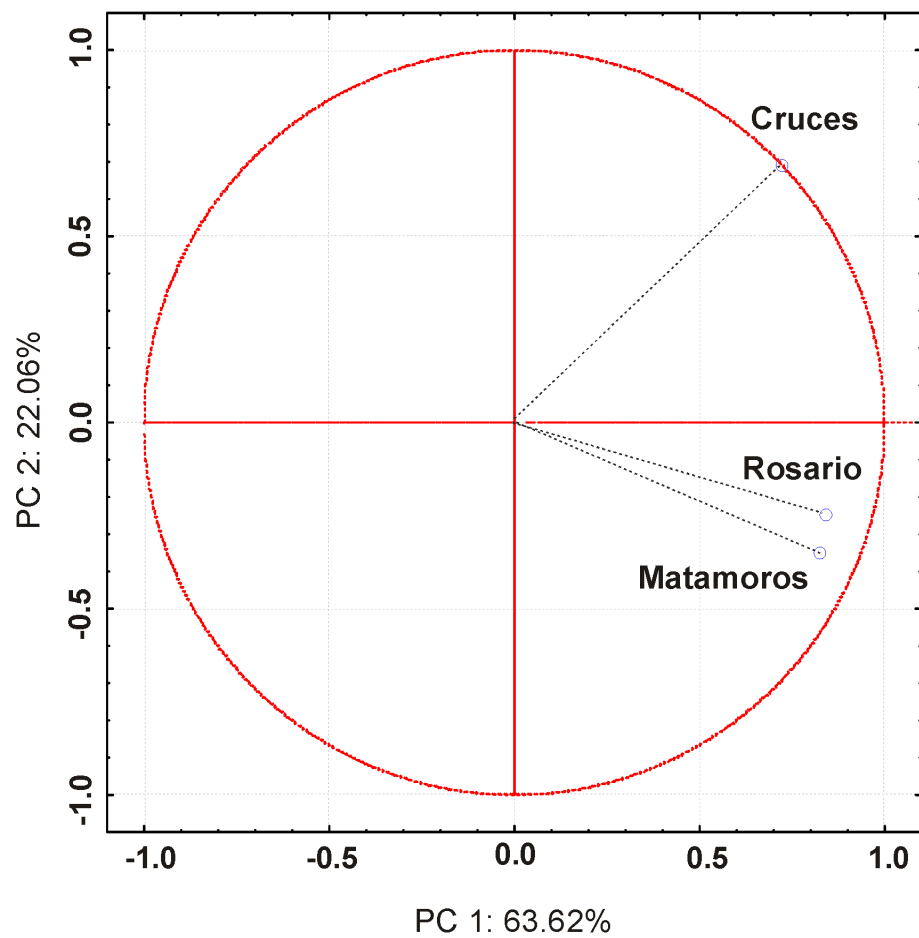


Figura 13. Análisis de Componentes Principales (PCA) que muestra la agrupación de las tres cronologías en el PC1, indicando una variabilidad afín y la varianza explicada por cada uno de los componentes (PC1 y PC2).

Tabla 3. Coeficientes de correlación entre los principal componente del Análisis de Componentes Principales y las cronologías de *Pinus patula* (*p<0.01).

CRONOLOGÍA	PC 1	PC 2
MATAMOROS	0.824533*	-0.352340
ROSARIO	0.841747*	-0.246552
CRUCES	0.721213*	0.690573

5.1.1 Análisis dendroclimático regional Tlaxcala-Puebla

Al combinar en una misma base de datos las series de los tres diferentes sitios de estudio (El Rosario con 97 muestras, Mariano Matamoros con 30 y Las Cruces con 25), el programa COFECHA mostró que la intercorrelación entre series de estos sitios es muy significativa ($r = 0.55$; $p < 0.01$), lo que indica una misma variabilidad ambiental o influencia climática (Tabla 4).

Tabla 4. Matriz de correlación del programa COFECHA, donde se muestra a las correlaciones ($p < 0.01$) entre series. Los valores de correlación seguidos por la letra A y B, indican problemas por anomalía en el crecimiento y no de fechado.

Número	Series	Periodo de Tiempo	Correlaciones por intervalos de tiempo			
			1900 1949	1925 1974	1950 1999	1975 2024
1	MAM 01B	1950-2011			.65	.56
2	MAM 05A	1907-2011	.31A	.25A	.39	.34
3	MAM 06A	1912 2011	.40	.21B	.53	.41
4	MAM 08A	1954 2011			.40	.56
5	MAM 09B	1950 2011			.54	.65
6	MAM 09C	1950 2011			.54	.62
7	MAM 11A	1913 2011	.45	.34	.45	.41
8	MAM 14B	1933 2011		.71	.63	.62
9	MAM 15B	1945 2011		.65	.78	.83
10	MAM 20A	1925 2010		.64	.73	.57
11	ROS 22C	1925 2011		.42	.73	.80
12	ROS 24C	1917 2010	.49	.48	.60	.66
13	ROS 28C	1911 2010	.47	.62	.73	.81
14	ROS 30C	1914 2011	.71	.66	.59	.68
15	ROS 32C	1920 2011	.63	.68	.55	.61
16	ROS 34A	1928 2011		.69	.82	.82
17	ROS 42C	1945 2011		.64	.62	.61
18	ROS 43A	1923 2010	.30A	.32A	.64	.76
19	ROS 45B	1919 2011	.48	.54	.77	.82
20	ROS 47A	1924 2011	.57	.56	.74	.77
21	ROS 52C	1924 2011	.66	.74	.79	.80
22	ROS 54A	1919 2011	.77	.79	.64	.68
23	ROS 55C	1914 2011	.64	.70	.78	.78
24	ROS 55D	1950 2011			.81	.82
25	ROS 64A	1918 2011	.60	.73	.81	.80
26	ROS 65B	1908 2011	.37	.47	.60	.73
27	ROS 66A	1919 2011	.36	.52	.79	.77
28	ROS 69B	1950 2011			.73	.78
29	ROS 70B	1911 2010	.28B	.38	.61	.66
30	ROS 71B	1925 2011		.34	.54	.44
31	ROS 72A	1940 2011		.72	.66	.68
32	ROS 73B	1950 2011			.72	.74
33	CRU 01A	1918 2011	.25A	.22A	.21A	.27A
34	CRU 02B	1950 2011			.47	.45
35	CRU 04A	1950 2011			.41	.53
36	CRU 06A	1950 2011			.63	.65
37	CRU 08B	1934 2011		.21B	.53	.51
38	CRU 10B	1930 2011		.36B	.46	.53
39	CRU 11C	1942 2011		.39	.56	.66
Correlación por segmentos			.44	.49	.59	.63

Finalmente, con base en el programa ARSTAN se generó una cronología regional para los últimos 107 años que comprende el período de 1905 al 2011, con un total de 143 series de crecimiento ($r = 0.55$; $p < 0.01$) (Figura 14).

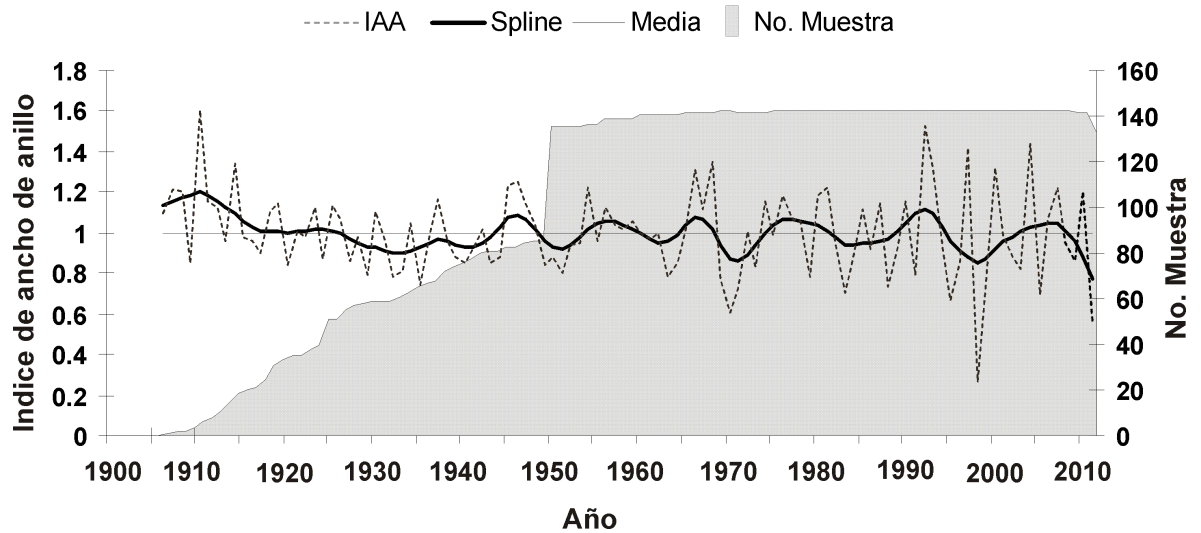


Figura 4. Cronología regional para Tlaxcala-Puebla que muestra la variabilidad ambiental de los últimos 107 años.

5.1.2 Análisis dendroclimático

El análisis de las series de crecimiento permitió determinar el potencial dendrocronológico de *Pinus patula*. Los estadísticos derivados del análisis de ARSTAN que definen la calidad de la cronología en términos de sensibilidad climática son: Correlación entre series, Sensibilidad media, Desviación estándar, Relación señal-ruido y Autocorrelación de primer orden (Holmes, 1983; Cook, 1987). Los valores obtenidos con el programa ARSTAN muestran valores de sensibilidad climática de 0.374 (que se considera grande); una desviación estándar de 0.216, indicativo de que existe variación interanual entre anillos de crecimiento; así como un valor de autocorrelación de primer orden de 0.319 ($p > 0.05$), lo cual indica que las condiciones climáticas del año anterior no tienen una influencia significativa sobre el crecimiento del siguiente año; y un valor señal-ruido de 4.48353 (pequeño), sin embargo, este valor se

atribuye a la irregularidad en los crecimientos que caracterizan a esta especie al mostrar problemas de liberación y compresión. Los estadísticos generados soportan la aseveración de que la especie tiene potencial para ser considerada como variable Proxy para desarrollar reconstrucciones paleoclimáticas (Fritts, 1976) (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros estadísticos de la cronología regional de anillo total de *Pinus patula*.

Parámetros	<i>Pinus patula</i>
Total de muestras fechadas	143
Longitud de las series	107 años
Correlación entre series ¹	0.555
Sensibilidad media ²	0.374
Desviación estándar ³	0.2162
Autocorrelación de primer orden ⁴	0.3193
Relación señal-ruido ⁵	4.4853

1 Correlación mide la asociación entre crecimientos entre las series involucradas en el estudio.

2 Sensibilidad media determina la diferencia relativa en el ancho de los anillos de un año al siguiente.

3 Desviación estándar es una medida de la variación de los datos alrededor de la media.

4 Autocorrelación de primer orden se refiere a la relación que existe entre el anillo de crecimiento de un año particular t con la del siguiente $t+1$.

5 Relación señal-ruido es una medida de la varianza producida exclusivamente por condiciones climáticas, la tendencia de los patrones de crecimiento controlado principalmente por condiciones climáticas puede tener una relación señal-ruido alta. La relación señal-ruido puede ser pequeña si la tendencia en crecimiento está influenciada por factores no climáticos que afectan individualmente a los árboles como es la competencia o disturbios (fuego, tala, insectos, plagas).

La información de la cronología de *Pinus patula* presenta un comportamiento similar al de otras coníferas del norte de México (Tabla 6) que actualmente son empleadas para el desarrollo de series paleoclimáticas, tal como lo muestran

los resultados de los estimadores estadísticos para *Pinus cembroides*, *P. pinceana*, *Pseudotsuga menziesii* y *P. douglasiana* (Constante *et al.*, 2009; Santillán *et al.*, 2010; Cerano *et al.*, 2010; Amaro, 2012).

Tabla 6. Parámetros estadísticos de las cronologías de diferentes especies con excelente potencial dendrocronológico.

Estimador	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	<i>Pinus douglasiana</i>	<i>Pinus pinceana</i>	<i>Pinus cembroides</i>	<i>Pinus patula</i>
Correlación entre series	0.73	0.474	0.74	0.72	0.555
Sensibilidad media	0.284	0.2324	0.49	0.309	0.374
Desviación estándar	0.341	0.2351	0.36	0.3009	0.2162
Autocorrelación de primer orden	0.592	0.1332	0.27	0.2646	0.3193
Valor señal-ruido	34.19	9.188	33.64	22.937	4.4835

5.1.3 Función de Respuesta

La cronología regional (Tlaxcala-Puebla) se correlacionó con las series de datos climáticos regionales (Temperatura y Precipitación) de las estaciones Aquixtla y El Rosario (Tabla 1). La variable temperatura permitió identificar que los meses que influyeron de manera positiva pero no de manera significativa ($p > 0.05$) sobre el crecimiento son: marzo, septiembre y octubre (Temperatura. Máxima), agosto y noviembre (Temperatura Media) y febrero, marzo, junio y diciembre (Temperatura Mínima). Con respecto a la variable precipitación se observó que los meses que influyen de manera positiva sobre el crecimiento de la especie son los que comprenden el período enero-junio; los meses enero, febrero,

marzo y abril presentaron una correlación estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

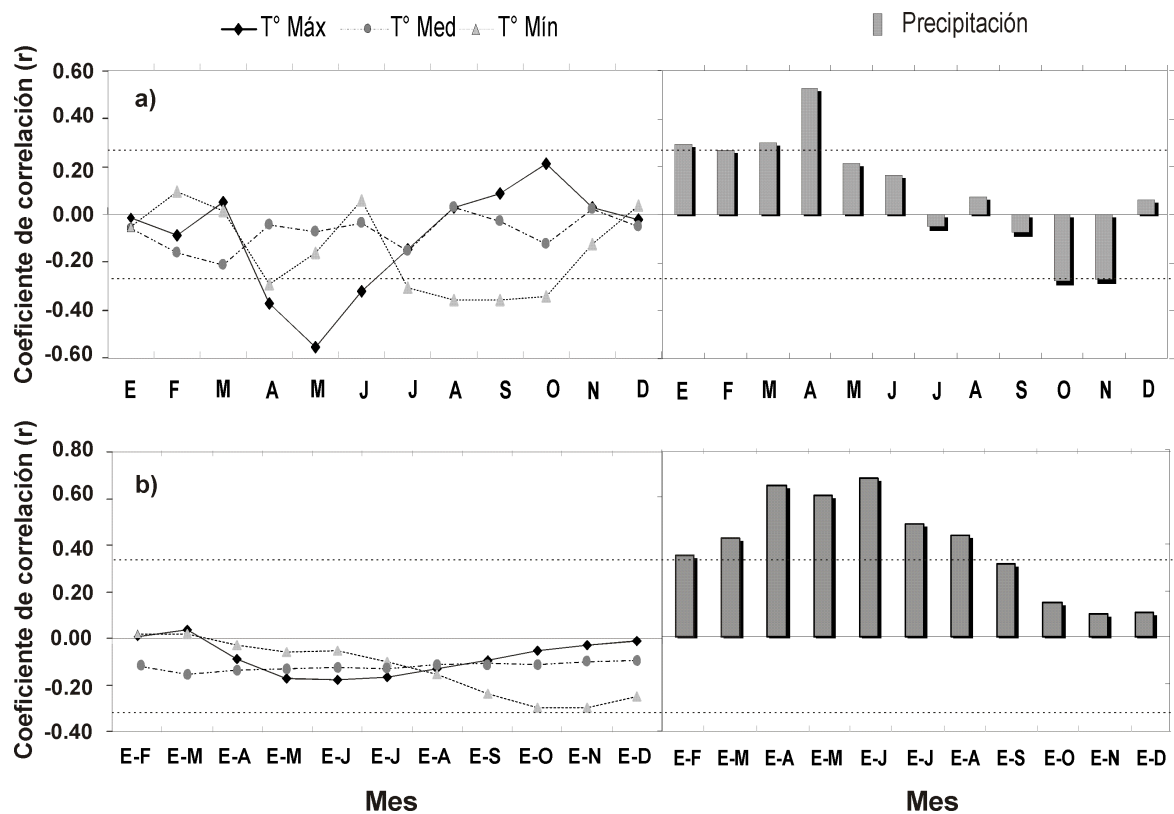


Figura 5. Función de respuesta entre el índice de ancho de anillo de *Pinus patula* y los registros de temperatura y precipitación. (a) Indica las correlaciones a nivel mensual y (b) las correlaciones con los registros climáticos estacionales. Las líneas punteadas de forma horizontal indican el nivel de significancia ($p < 0.05$).

Un análisis con la temperatura promedio estacional mostró que la temperatura del período invernal (enero-marzo), tanto de la Temperatura Máxima como de la

Temperatura Mínima son las que influyen de manera positiva sobre el crecimiento, aunque no de manera significativa ($p > 0.05$).

Al involucrar a los índices dendrocronológicos y la variable precipitación estacional, las correlaciones fueron significativas para los períodos enero-abril ($r = 0.69$, $p < 0.01$) y enero-junio ($r = 0.78$, $p < 0.001$). Con fines de reconstrucción climática se considera apropiado al período enero–junio (invierno-primavera), ya que permitirá analizar la variabilidad de la precipitación de un mayor intervalo de tiempo y explicar una mayor variabilidad de la lluvia (Figura 15).

En este contexto, la respuesta del crecimiento de diferentes especies de coníferas a la precipitación invierno-primavera (enero-junio) en la región norte de México y suroeste de Estados Unidos de América ha sido discutida ampliamente en diversos estudios paleoclimáticos (Stahle y Cleaveland, 1993; Stahle *et al.*, 1999; Díaz-Castro *et al.*, 2002; Cleaveland *et al.*, 2003; Villanueva *et al.*, 2007, 2009; Constante *et al.* 2009; Cerano *et al.*, 2009, 2011, 2012).

5.2 Reconstrucción de la precipitación

Al asociar los índices de ancho de anillo total con los datos de precipitación estacional enero-junio, para el periodo 1963-2005, se encontró una correlación de 0.78 ($p < 0.001$), lo que sugiere un potencial de *Pinus patula* adecuado para la reconstrucción de la precipitación (Figura 16).

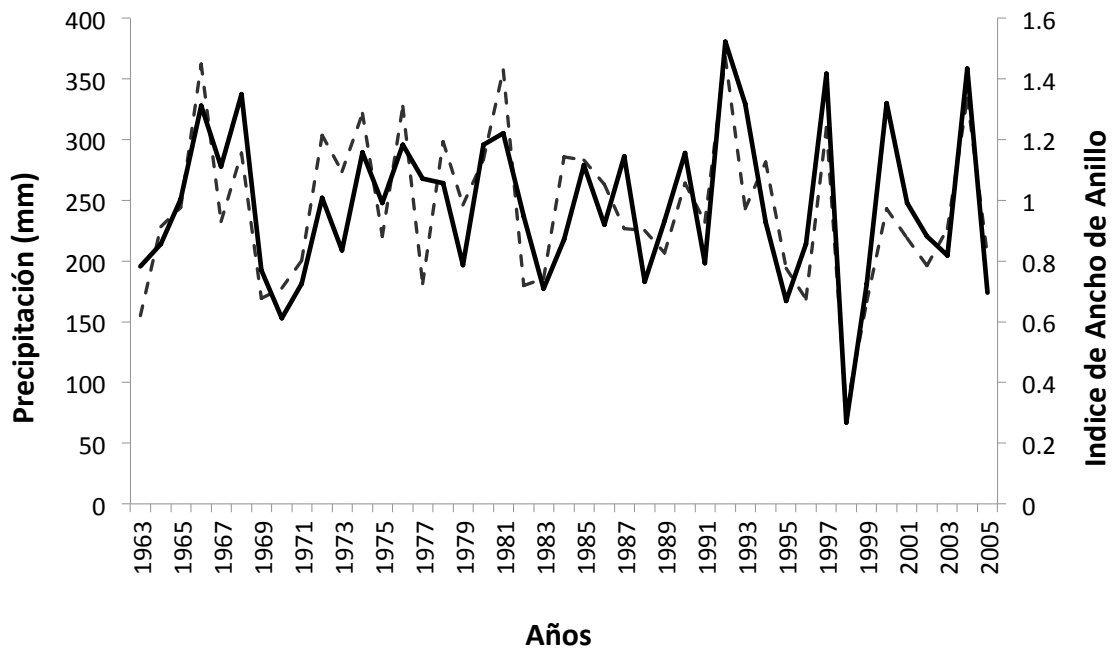


Figura 6. Correlación entre índice de ancho de anillo (línea punteada) y la precipitación estacional enero-junio (línea sólida) para el periodo de datos (1963 al 2005) instrumentales ($r=0.78$, $p < 0.001$).

5.2.1 Calibración y verificación

Para que un modelo de reconstrucción sea estadísticamente válido, es preciso desarrollar dos procesos: uno de calibración, realizado con la mitad de los datos climáticos disponibles y uno de verificación, con la mitad restante. La calibración es la asociación entre dos variables. En este caso el índice de la cronología de ancho de anillo es una variable y los datos promedio mensuales de precipitación representan los valores de la otra variable climática con los cuales el índice se calibrará. El éxito de la calibración se mide con el porcentaje de la variación que la variable independiente (Índice de anillo total) explica de la variable dependiente reconstruida (precipitación). Por otra parte, la verificación tiene como objetivo validar la reconstrucción, mientras que la calibración únicamente examina la relación entre ambas variables. En este estudio el modelo se calibró con datos del subperíodo 1963-1983 y se verificó con el subperíodo 1985-2005. El modelo utilizado para la reconstrucción incluyó el periodo total de datos disponibles (1963-2005).

Los resultados del modelo indican una correlación de $r = 0.75$ ($r^2 = 0.57$, $p < 0.001$) entre la cronología y los datos de precipitación; se explica el 57% de la variabilidad de la precipitación para el periodo de verificación. La calibración presentó una correlación de $r = 0.82$, explicando 67% ($r^2 = 0.67$, $p < 0.001$) de la varianza (Tablas 7 y 8, Figura 17).

Dado que los subperiodos con los cuales se realizaron tanto la calibración como la verificación del modelo mostraron una relación significativa. El lapso total de

datos climáticos disponibles (1963-2005) se usó para generar la ecuación de reconstrucción, que tuvo una $r = 0.78$ ($r^2 = 0.61$, $p < 0.0001$).

Tabla 7. Modelo lineal generado para la reconstrucción estacional de precipitación invierno–primavera.

Periodo	R ²	Coeficiente	Error estándar	Valor de "t"	Probabilidad
1963 - 2005	0.606	a 57.7638	24.11818	2.395032	<0.0213
		b189.0803	23.79474	7.946305	<0.0001

Tabla 8. Análisis de Varianza del modelo de reconstrucción.

Período	Suma de cuadrados	df	Cuadrados medios	F	p
Regresión	100149.9	1	100149.9	63.14377	<0.001
Residual	65028.6	41	1586.1		
Total	165178.5				

El modelo bivariado utilizado fue el siguiente:

$$Y_t = 57.7638 + 189.0803 * X_t$$

Donde:

Y_t = Valor de la precipitación (mm) enero-junio para un año específico.

X_t = Índice de anillo total.

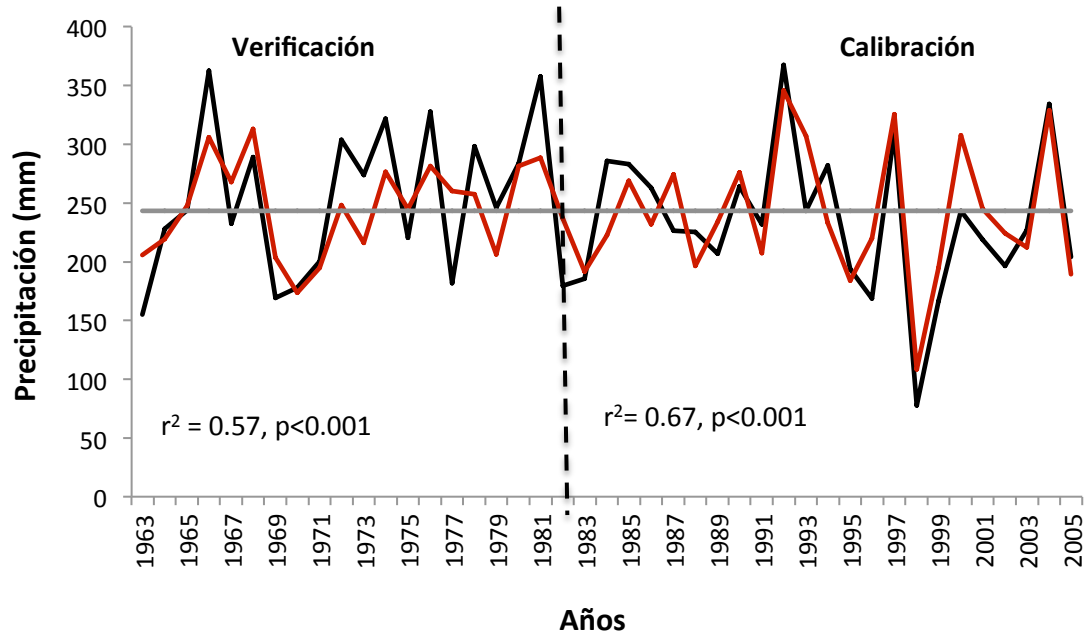


Figura 7. Calibración entre precipitación actual (línea negra) y precipitación reconstruida (línea roja) invierno – primavera para el período estacional Enero – Junio.

La subrutina VERIFY5 del DPL indicó que la calibración y la verificación pasaron la prueba de significancia ($p < 0.05$) para la correlación, reducción de error, valor de “t” y primera diferencia significativa. El modelo de regresión para los años de 1963 a 2005 se consideró válido en términos estadísticos a fin de reconstruir la precipitación en el tiempo total de la serie dendrocronológica (1905- 2011).

5.2.2 Análisis de variabilidad climática

La reconstrucción de precipitación invierno-primavera para la parte centro del país Tlaxcala-Puebla, indica gran variabilidad interanual (alta frecuencia) y decenal (baja frecuencia) de los patrones de precipitación para la región (Figura 18). Sequías severas fueron reconstruidas para los períodos 1937-1944, 1948-1953, 1960-1965, 1969-1973, 1982-1984, 1994-1996 y 1998-1999. Las sequías más intensas se evidenciaron para los períodos de 1937-1944, 1948-1953, 1969-1973 y 1998-1999 (Figura 18). Asimismo, se reconstruyeron períodos con precipitaciones mayores al promedio de los últimos 107 años, tales como 1944-1948, 1965-1968, 1980-1982 y 1992-1994 (Figura 18).

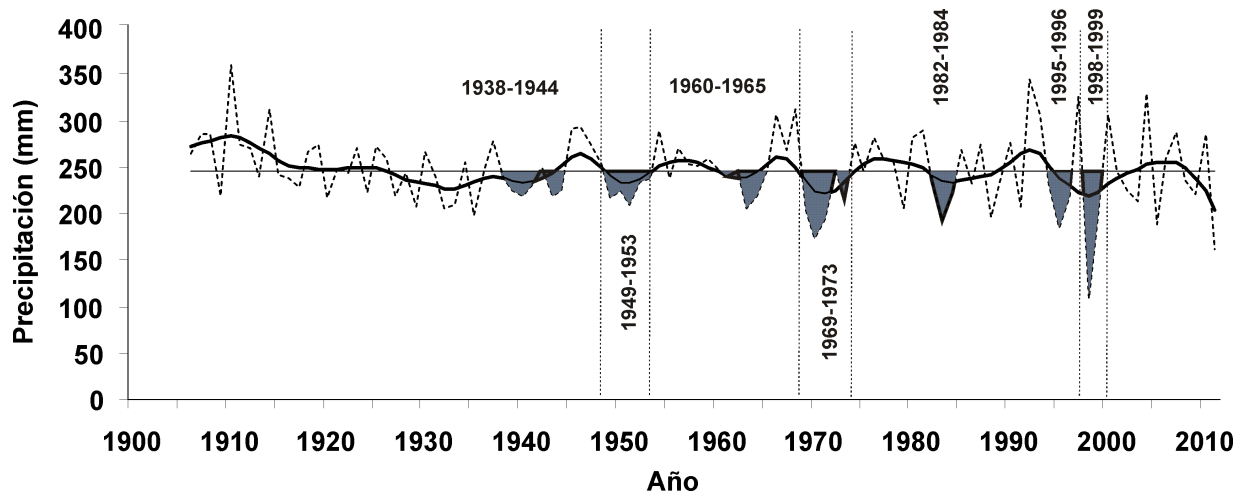


Figura 8. Precipitación estacional reconstruida (últimos 107 años) para la parte centro Tlaxcala-Puebla. La línea punteada en el fondo indica la variabilidad anual de la precipitación, la curva flexible de color negro es una línea suavizada de 10 años para resaltar los eventos secos y húmedos; la línea recta muestra la precipitación promedio.

Los periodos de sequia más severos, identificados en la serie reconstruida, tuvieron posiblemente varios efectos sobre las actividades de la población de la época. Estos efectos están bien documentados en archivos históricos y otros trabajos dendrocronológicos para el centro y norte de México.

Periodo 1938-1965

Las intensas sequías del decenio de 1950 y mediados de 1960 (1950-1965), fueron eventos secos que impactaron severamente a la región Norte del país. El decenio de 1950 se considera como sequía extrema que impactó a México y gran parte del suroeste de los Estados Unidos de América (Florescano y Swam, 1995).

Sequías severas ocurrieron durante periodos de mediados del siglo XX (1950-1959) en Texas, al igual que en México (Stahle y Cleaveland, 1988). Las sequías que se presentaron, durante el período 1950-1965, en el estado de Durango han sido las más largas (Stahle *et al.*, 1999; Cleaveland *et al.*, 2003) y algo similar se registró en Sonora y Nuevo México durante 1950-1960; en este último estado se considera a ese período de sequía el más extremo durante los últimos 1000 años (D'Arrigo y Jacoby., 1992; Betancourt *et al.*, 1993; Grissino-Mayer, 1995). Díaz *et al.* (2002) reportaron un evento seco de 1948-1964 en Chihuahua, uno de los periodos secos más largos en los últimos 346 años.

Para el decenio de 1950, 1950, 1951 y 1953 fueron años con sequía severa. En el decenio de 1960, 1960, 1962 y 1969 fueron años con sequías extremadamente severas. Dichas sequías han impactado no únicamente a

México, sino a toda América. En el segundo decenio (1960's), las sequías de 1960 y 1969 afectaron fuertemente a todo el continente Americano (Florescano, 1980). Las sequías severas del decenio de 1950 ocasionaron desempleo y migración, así como movilizaciones campesinas, recrudeciendo el 'bracerismo', y migración.

Periodo 1969-1980

El decenio de 1970 se conoció como de sequía extrema en el norte de México, en especial los años 1971, 1972, 1974, 1975, 1976 y 1977. Dichos años secos también se presentaron en el centro de México (Florescano, 1980; CENAPRED, 2001; González, 2003; Cerano, 2004; Villanueva *et al.*, 2007). En el centro de México y, en especial en el estado de Tlaxcala, este periodo de sequía extrema causó grandes pérdidas de cosechas, sobre todo de maíz; además, ocasionó que parte del agua que se dedicaba a la agricultura se destinara a otras demandas de primera necesidad. Lo anterior se reflejó en desempleo, migración, desmantelamiento de las familias campesinas, miseria y hambre continuas en el campo (Florescano, 1980; Castorena *et al.*, 1983; Therrell, *et al.*, 2002)

Existe una alta relación entre las fuertes sequías reconstruidas en diferentes trabajos paleoclimáticos para el norte de México, sur oeste de los Estados Unidos de América y lo reportado en los archivos históricos. Esto permite verificar la calidad de la reconstrucción generada y conocer que en periodos

específicos la variabilidad climática es modulada por fenómenos climáticos que ocurren a gran escala.

VI. CONCLUSIONES

La especie *Pinus patula* mostró potencial para ser usada en estudios dendrocronológicos y empleada en futuros estudios dendroclimáticos. Este potencial se fundamenta en valores grandes de correlación, sensibilidad media, y desviación estándar, aceptable relación señal-ruido, así como una reducida autocorrelación de primer orden.

El crecimiento de *Pinus patula*, al igual que otras coníferas del norte de México, está influenciada por factores climáticos, dentro de los que sobresalen la temperatura y precipitación. Este último el factor es limitante y explica, a niveles aceptables, la variabilidad del crecimiento anual. El crecimiento de *Pinus patula* responde de manera significativa al periodo de precipitación estacional invierno-primavera. La serie de crecimiento de *Pinus patula* puede ser considerada como variable proxy para reconstruir series de la lluvia de invierno-primavera (enero-junio) para el centro de México.

Los crecimientos anuales de *Pinus patula* permitieron reconstruir la variabilidad de la precipitación de los últimos 107 años para el caso de la región de Tlaxcala-Puebla, lo cual indican una gran variabilidad de la precipitación durante el año. Las sequías más importantes identificadas en la serie reconstruida de precipitación, para el caso de la región Tlaxcala-Puebla en el siglo XX y los primeros años del siglo XXI, fueron 1937-1944, 1948-1953, 1969-1973 y 1998-1999.

VII. LITERATURA CITADA

- Argollo, J., C. Soliz, R. Villalba. 2004. Potencialidad dendrocronológica de *Polylepis tarapacana* en los Andes Centrales de Bolivia. *Ecología en Bolivia* 39: 5-24
- Bradley, S.C. 1999. Paleoclimatology reconstruction climates of the Quaternary. Second Edition. Academic Press. USA. 613 p.
- Biondi, F. 1997. Mediciones de *Pinus hartwegii* del Nevado de Colima. International Tree.Ring Data Bank, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, Colorado, USA. <http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html> (Diciembre del 2012)
- Boninsegna, J. A. 1992. South American Dendroclimatological Record. pp. 446-462. En R. S. Bradley y P.D. Jones (eds.). *Climate Science A.D. 1500*. Routledge, London.
- Campos, Z. L. E 2009. Dendrocronología de árboles de tornillo, *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Fabaceae), del centro de investigaciones Jenaro Herrera en el noreste de la Amazonia, Region Loreto-Perú.
- Castorena, G., E. Sánchez, E. Florescano, G. Padillo y L. Rodríguez. 1983. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección de Formación y Divulgación. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. México, D.F. 158 p.

- CENAPRED. 2001. Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgo de la República Mexicana. México, D.F.
- Cerano, P.J. 2004. Reconstrucción de 350 años de precipitación invierno-primavera para Saltillo, Coahuila. Tesis Profesional. Departamento Forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 152 p.
- Cerano, J. 2008. Variabilidad climática, régimen de incendios e influencia de patrones circulatorios para el este de Chihuahua. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Durango, México. 188 p.
- Cerano, J., J. Villanueva, P.Z. Fulé, J.G. Arreola, I. Sánchez y R.D. Valdez. 2009. Reconstrucción de 350 años de precipitación para el suroeste de Chihuahua, México. Madera y Bosques 15 (2): 27-44.
- Cerano P. J., Villanueva D., R Trucios C., M Rivera G. y V. Constante G. 2010. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziesii* para la reconstrucción de precipitación invierno primavera en el Sureste de Coahuila, México.
- Cleaveland, M.K. D.W. Stahle, M.D. Therrell, J. Villanueva-Díaz, B.T. Burns. 2003. Tree-ring reconstructed winter precipitation in Durango, México. Climatic Change 59: 369-388.
- Constante, G. V., J. Villanueva D., J. Cerano P., E. H. Cornejo O., S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* y reconstrucción de la

- precipitación estacional para el sureste del estado de Coahuila. *Ciencia Forestal* 34(16):17-41.
- Cook, E. R. and R. H. Holmes. 1984. Program ARSTAN and user's manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Tucson, AZ. USA. 15 p.
- Cook, E.R. 1995. Temperature histories from tree rings and corals. *Climate dynamics* 11:211-222.
- CONABIO. 2002. Regiones naturales y *biogeografía* de México. www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/.../InfDQ006_4a_parte.p...
- Díaz, S.C., Touchan and T.W. Swetnam. 2002. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California Sur, Mexico, *International Journal of Climatology* 21: 1007-1019.
- Douglass, M., Madsen, R.A., Howard, K., Reyes, S. 1993. The Mexican monsoon. *J. Climate* 6: 1665-1677.
- Eguiluz-Piedra, T., Jesse. P., Jr. 1983. *Pinus tecunumanii*: una especie nueva de Guatemala. *Ciencia Forestal* 8(41): 3-22.
- ERIC II. 2000. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica.
- ERIC II. 2006. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Extractor Rápido de Información Climatológica.
- Ferguson, C. W. 1969. A 7104-year annual tree-ring chronology for bristlecone pine, *Pinus aristata*, from the White Mountains, California. *Tree-Ring Bulletin* 29: 1-29.

- Florescano, E.M. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.
- Fritts, H. C. 1976. Tree rings and Climate. Academic Press, London – New York – San Francisco.
- Fritts, H.C. 1990. Statistical reconstruction of spatial variations in climate. In: Cook E., Kairiukstis L. (eds.). Methods of dendrochronology: applications in the environmental science. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 193–210
- González-Elizondo, M., E. Jurado, J. Návar, M. S. González-Elizondo, J. Villanueva. D., O. Aguirre y J. Jimenez. 2005. Tree-ring and climate relationships for Douglas-fir chronologies from the la Sierra Madre Occidental, Mexico: A 1681-2001 rain reconstruction. Forest Ecology and Management 213: 39-53.
- Grissino-Mayer, H.D. 1995. Tree-ring reconstruction of climate and fire history at El Malpais National Monument, New Mexico. Ph.D. dissertation, The University of Arizona, Tucson. 407 p.
- Grissino-Mayer, H.D. 2001. Evaluating cross dating, accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree-Ring Research 57(2): 205-221.
- Gutiérrez, G. G. 2003. Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus Strobiformis* y *Pinus Teocote* en la Sierra de Peña Nevada, Nuevo León. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

- Houghton, J. T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. 365 pp.
- Holmes, R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78
- <http://mexico.pueblosamerica.com/i/el-rosario-174/>
- <http://www.nuestro-mexico.com/Tlaxcala/Tlaxco/El-Rosario/>
- <http://www.nuestro-mexico.com/Tlaxcala/Tlaxco/Mariano-Matamoros/>
- <http://www.nuestro-mexico.com/Puebla/Chignahuapan/Areas-de-menos-de-10-habitantes/Las-Cruces/>
- <http://www.monografias.com/trabajos2/camcliglobal/camcliglobal.shtml>
- Huante, P., E. Rincon, T. H. Swetnam. 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan Mexico. *Tree- Ring Bulletin* 51: 15-28
- Hughes, M. K., T.W. Swetnam and H.F. Diaz. 2011. Dendroclimatology, Developments in Paleoenvironmental Research. Springer. 365 p.
- Jozsa, L. 1988. Increment core sampling techniques for high quality cores. Wood Science Department, Forintek, Canda Corp. Special Publication No. SP-30. 27 p.
- Ladrach, W. E. 1985. Comparisons between provenances and sources of fourteen conifers in the Colombian Andes after five years. Res. Rep. 102. Cali, Colombia: Cartón de Colombia S.A. 13 p.
- Ladrach, W. E. 1985. Stimulation of flowering in the *Pinus patula* seed orchard by the use of fertilization, subsoiling, and ringing of lower branches. Res. Rep. 103. Cali, Colombia: Cartón de Colombia S.A. 4 p.

- Little, E. L., Jr.; Critchfield, W.B. 1969. Subdivisions of the genus *Pinus* (pines). Misc. Pub. 1144. Washington, D.C. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 51 p.
- Loock, E.E.M. 1977. The pines of Mexico and British Honduras: a report on a reconnaissance of Mexico and British Honduras during 1947. 2a ed. Bull. 35 (rev). Pretoria, Republic of South Africa: Department of Forestry. 244 p.
- Magaña, V., J. L. Vázquez, J. L. Pérez y J. B. Pérez. 2003. Impacto de El Niño en la precipitación en México. Geofísica internacional 42: 313-XXX
- Neira, E. y A. Lara. 2000. Desarrollo de cronologías de ancho de anillos para alerce (*Fitzroya cupressoides*) en Contao y Mirador, Chile. Revista Chilena de Historia Natural 73: 693-703
- Nylor, T. H. 1971. Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study. Tree Ring Bulletin 31:25-29
- Pohl, K., M. D. Therrell, J. S. Blay, N. Ayotte, J. G. Cabrera H., S. Díaz, E. Cornejo O., J. A. Elvir, M. González E., D. Opland, J. Park, G. Pederson, S. Bernal S., Vázquez S., J. Villanueva-Díaz and D. W. Stahle. 2003. A cool season precipitation reconstruction for Saltillo, Mexico. Tree-ring Research 59(1): 11–19.
- Robinson, W. J. and R. Evans. 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. Tree-ring bulletin. 40: 59–64.
- Ropelewski, C.F. and Harper, M. 1989. North American precipitation and temperature patterns associated with El Niño/Southern Oscillation (ENSO). Monthly Weather Review 114: 2352–2363.

- Speer, J. H., K. H. Orvis, H. D. Grissino-Mayer, L. M. Kennedy and S.P Horton. 2004. Assessing the dendrochronological potential of *Pinus occidentalis* Swartz in the Cordillera Central of the Dominican Republic. *The Holocene* 14(4): 563-569.
- Stokes, M.A. and T.L. Smiley. 1968. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 73 p.
- Stahle, D.W., J. Villanueva, M.K. Cleaveland, M.D. Therrell, G.J. Paull, B.T. Burns, W. Salinas, H. Suzan, and P.Z. Fulé. 2000. Recent tree-ring research in Mexico. En F.A. Roin (comp.). *Dendrocronología en América Latina*. EDIUNIC. Capítulo de libro. Pp. 285-306.
- Suzan, H. y M Franco. 1982. Estudios dendrocronológicos en México en poblaciones de *Pinus Hartwegii*. En: *Memorias del VII Congreso Mexicano de Botánica*. pp. 227-278
- Swetnam, T.W., M.A. Thomson and E.K. Sutherland. 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of foliate trees. USDA-Forestry Service. *Agriculture Handbook*. No. 639.
- Villanueva-Diaz, J., J. Cerano-Paredes., D.W. Stahle, M.D. Therrell, M. K. Cleaveland, B. H. Luckman. 2005. Estudios paleoclimáticos en México utilizando anillos de crecimiento de especies arbóreas. Capítulo I. Libro Técnico Núm 1. Contribución al estudio de los servicios ambientales. SAGARPA, INIFAP. pp. 7-32
- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, J. Estrada y V. Constante. 2008. Potencial dendrocronológico de *Pseudotsuga menziessi* (Mirb.) Franco y

- reconstrucciones de precipitación y flujo en México. Folleto científico No. 23. INIFAP, CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 49 p.
- Villalba, R., J. A. Boninsegna and A. Ripalta. 1987. Climate site conditions and tree growth in subtropical northwestern Argentina. *Canadian Journal of Forest Research* 17(12): 1527-1544.
- Villalba, R. R. L. Holmes and J. A. Boninsegna. 1992. Spatial Patterns of climate and tree growth anomalies in subtropical Northwestern Argentina. *Journal of Biogeography* 19: 631-649.
- Villanueva, J., J. Cerano, D.W. Stahle, M.D. Therrell, M.K. Cleveland y I. Sánchez. 2004. Elementos básicos de la dendrocronología y sus aplicaciones en México. *Folleto técnico No. 2*. INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo. 37p.
- 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 en México* 32(101): 9-37.
- Webb, Derek. B.; Wood, Peter J.; Smith, Julie P.; Henmen, G. Sian. 1984. A guide to species selection for tropical and sub-tropical plantations. 2a ed. Tropical Forestry Pap. 15 (rev.). Oxford, UK: Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. 342 p.
- Wormald, T.J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry 7. Oxford, UK: Department of Forestry, Commonwealth Forestry Institute. 212 p.