

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA



ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO Y
ECONÓMICO DE *Abies vejarii*, *Pinus hartwegii*,
Pinus strobiliformis, y *Pinus teocote* EN LA SIERRA
DE PERA NEVADA, NUEVO LEÓN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
BIOLOGO

Por

GENARO GUTIERREZ GARCÍA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. OCTUBRE DEL 2003

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA



**ANÁLISIS DENDROCRONOLÓGICO Y
ECONÓMICO DE *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*,
Pinus strobiformis, y *Pinus teocote* EN LA SIERRA
DE PEÑA NEVADA, NUEVO LEÓN**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL TÍTULO DE
BIOLOGO

Por

GENARO GUTIERREZ GARCIA

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. OCTUBRE DEL 2003

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



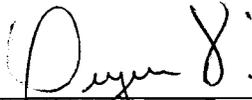
Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*,

***Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis*, y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña**

Nevada, Nuevo León

COMISION DE TESIS

PRESIDENTE:



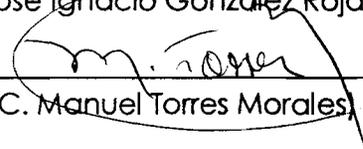
(M.C. Antonio Guzmán Velasco)

SECRETARIO:



(Dr. José Ignacio González Rojas)

VOCAL:



(M.C. Manuel Torres Morales)

San Nicolás de los Garza, Nuevo León

NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA



**Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*,
Pinus hartwegii, *Pinus strobiformis*, y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña
Nevada, Nuevo León**

Tesis de Licenciatura

Presentada como requisito para obtener el título de

Biólogo

Por

Genaro Gutiérrez García

**Análisis dendrocronológico y económico de *Abies vejari*,
Pinus hartwegii, *Pinus strobiformis*, y *Pinus teocote* en la Sierra de Peña
Nevada, Nuevo León**

Tesis de Licenciatura

Presentada como requisito para obtener el título de

Biólogo

Por

Genaro Gutiérrez García

Director Externo

Dr. Martin Ricker

Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas", Instituto de Biología, Universidad Nacional
Autónoma de México

Director Interno

M.C. Antonio Guzmán Velazco

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León

AGRADECIMIENTOS

Muy especialmente al Dr. Martin Ricker por todo el apoyo brindado a lo largo de este trabajo tan lleno de aprendizaje en el plano científico y personal, por la preparación para afrontar los retos por venir y hacerme confiar en mí, pero sobre todo por su valiosa amistad.

A mis padres y a toda mi familia por apoyarme en todo momento en el transcurso de mi formación universitaria que concluye con este trabajo de tesis.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León por la formación brindada a lo largo de 5 años, por brindar sentido a mi vida y hacerme un hombre útil a la sociedad.

Al M. C. Antonio Guzmán Velazco por creer en todo momento en este proyecto y por todo el apoyo brindado.

ÍNDICE.

Índice de tablas	4
Índices de figuras	5
Resumen	6
Introducción	7
Objetivos e hipótesis	9
Métodos	
<i>MUESTREO DE ÁRBOLES</i>	11
<i>MEDICIÓN DE DIÁMETROS Y ALTURA TOTAL</i>	12
<i>TOMA DE VIRUTAS TRONCALES</i>	13
<i>MÉTODOS DENROCONOLÓGICOS</i>	13
<i>AJUSTE Y VALIDACION DE FUNCION DE AHUSAMIENTO</i>	21
<i>DERIVACIÓN DE LA FÓRMULA DEL VOLUMEN</i>	23
<i>RELACIÓN ALOMÉTRICA ENTRE DIÁMETRO Y ALTURA</i>	24
<i>ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE</i>	25
<i>ESTIMACIÓN DEL VALOR COMERCIAL</i>	26
Resultados	
<i>RESULTADOS DEL ESTUDIO DENDROCRONÓLOGICO</i>	29
ANÁLISIS DE <i>VARIANZA</i>	36
<i>AHUSAMIENTO DE LOS TRONCOS Y VOLUMENES</i>	36
<i>VALOR COMERCIAL DEL SISTEMA EXTRACTIVO ACTUAL</i>	47
<i>VALOR COMERCIAL DEL SISTEMA DE PLANTACIÓN</i>	48
Discusión y Conclusión	53
Literatura citada	58
APENDICE 1. Descripción de las especies.....	64
APENDICE 2. Datos de campo de árboles.....	67
APENDICE 3. Valores de incrementos radiales por especie.....	91

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Parámetros estimados en la regresión lineal de la relación alométrica.

Tabla 2. Datos generales sobre las virutas analizadas por especie.

Tabla 3. Datos generales sobre las virutas analizadas por especie en el programa ARSTAN.

Tabla 4. Estadísticas de las cronologías de anillos de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii* y *Pinus strobiformis* de las 3 especies en conjunto producidas por el programa ARSTAN.

Tabla 5. Estadísticas de las cronologías estándar de anillos de diferentes sitios de la República Mexicana.

Tabla 6. Resultados del Análisis de Varianza.

Tabla 7. Parámetros estimados en la regresión no lineal para la función de ahusamiento de quinto grado.

Tabla 8. Estadísticas de ajuste de las cuatro especies para el tronco completo con la función polinomial de quinto grado.

Tabla 9. Índice de Ajuste del cálculo del volumen por especie.

Tabla 10. Tabla de volúmenes por especie.

Tabla 11. Cálculo del valor presente neto esperado por árbol en base al volumen calculado con los incrementos diametrales acumulados y la relación alométrica para escenario hipotético de una plantación.

Tabla 12. Análisis de sensibilidad de las 4 especies en el escenario hipotético de una plantación forestal y un valor en costos y manejos de 0 Mx\$.

INDICE DE FIGURAS.

- Figura 1.** Cálculo de altura total por método indirecto basado en conceptos básicos de trigonometría.
- Figura 2.** Secuencia en que se asignan los años a los anillos de crecimiento en las virutas o tarugos.
- Figura 3.** Representación de un esqueleto.
- Figura 4.** Comparación de esqueletos de dos árboles.
- Figura 5.** Cronologías estándar producidas por ARSTAN para cada una de las tres especies y la compuesta.
- Figura 6.** Comparación de cronologías para cada uno de tres sitios cercanos al ejido la Encantada.
- Figura 7.** Incrementos promedios por especie obtenidos en el análisis de varianza.
- Figura 8.** Perfiles fustales de las cuatro especies calculados con la función polinomial de quinto grado.
- Figura 9.** Tendencia del sesgo (E) a lo largo del tronco a intervalos de altura relativa de 10%.
- Figura 10.** Tendencia de la Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC) a lo largo del tronco para intervalos de altura relativa de un 10%.
- Figura 11.** Índice de ajuste del cálculo de volumen por especie.
- Figura 12.** Curvas de diámetro en función de la edad obtenidas con el diámetro acumulado.
- Figura 13.** Curvas de volumen en función de la edad calculadas con la fórmula de volumen en función del diámetro.

RESÚMEN

En el presente estudio se analizó el crecimiento y se realizó un análisis económico de las especies *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, *Pinus strobiformis* y *Pinus teocote* en un bosque de *Pino-Pseudotsuga-Abies*, en la región de San Antonio Peña Nevada en el sur del estado de Nuevo León. Se llevo a cabo un análisis dendrocronológico tradicional según Cook y Kairiustis (1990). Además se utilizaron los programas COFECHA para el fechado-cruzado y ARSTAN para la construcción de las cronologías. El análisis económico consistió en modelar los siguientes escenarios para producir madera: (1) extracción con regeneración natural y (2) una plantación forestal. Se utilizó el modelo económico de valor presente neto, incorporando información proporcionada por el administrador del aserradero y datos de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Para calcular el crecimiento de la madera fue necesario derivar formulas de volumen en función del diámetro para cada especie. Primero se modelaron los perfiles fustales de cada especie con una función de ahusamiento polinomial de quinto grado. Integrando esta función, se obtuvieron formulas de volumen en función de diámetro y altura para cada especie. Las fórmulas obtenidas para calcular el volumen en función del diámetro y altura son: $V=0.329747 d^2 h$ (*Abies vejari*), $V=0.413975 d^2 h$ (*Pinus hartwegii*), $V= 0.352005 d^2 h$ (*Pinus strobiformis*), y $V=0.372912 d^2 h$ (*Pinus teocote*). Posteriormente se derivó una relación alométrica entre diámetro y altura aplicando la fórmula de una parábola. Sustituyendo ésta en la fórmula de volumen en función de diámetro y altura, se obtuvo la fórmula de volumen solamente en función del diámetro.

En el presente estudio se construye la primera cronología para la especie *Abies vejari* y la segunda para *Pinus hartwegii* para la república mexicana. La especie *Pinus teocote* se descartó del análisis dendrocronológico por no poderse realizar el fechado-cruzado. La cronología compuesta con las tres especies restantes se extiende de 1898 al 2000. Estas tres especies tienen potencial para estudios dendrocronológicos posteriores, ya que mostraron valores aceptables de sensibilidad media (0.24 - 0.30), desviación estándar (0.30 - 0.33), y autocorrelación de primer orden (0.18 - 0.32), además éstas especies se correlacionaron positivamente con cronologías de sitios cercanos del noreste de México (índice de fechado-cruzado según Grissino-Mayer, (2001) = 2). Los rangos de crecimiento radial promedio por especie fueron para *Abies vejari* de 1.3 – 4 mm/año *Pinus hartwegii* de con 1.5 – 3.2 mm/año, *Pinus strobiformis* de 2.4 - 4.3 mm/año para, y para *Pinus teocote* de 1.0 – 1.6 mm/año.

El manejo del bosque en el ejido "La Encantada" aparentemente es sustentable, ya que la crecimiento anual de madera calculado aquí (46,000 m³) excede 2.8 veces la extracción anual autorizada (12,000 m³), aunque no se considera la posible existencia de tala clandestina. El sistema de regeneración natural actualmente empleado, en donde no hay costos de manejo ni reforestación, resulta ser positivo. Por el otro lado, el valor presente neto de una plantación resultó ser negativo para las 4 especies. Un proyecto de inversión en una plantación sería redituable si fuera mayor el crecimiento de los árboles (0.5 a 7 veces), si fuera mayor el precio de la madera (0.9 a 3.6 veces), o si fuera menor los costos de manejo de la plantación (1.5 a 7.3 veces). Con este resultado se entiende que los ejidatarios quieren extraer madera sin dedicarse a reforestar. Sin embargo, en este bosque la regeneración natural parece ser una opción viable, siempre y cuando la tasa de extracción de madera se mantenga suficientemente baja.

INTRODUCCIÓN

México tiene un gran potencial forestal ya que cuenta con grandes extensiones boscosas en sus 195.8 millones de hectáreas que conforman su territorio, de las cuales 56.8 millones de hectáreas (34%) son bosques; siendo 26.4 millones de hectáreas (7.4%) de bosques tropicales y los 30.4 millones restantes bosques templados mixtos dispersos (PROFEPA, 2000; SEMARNAP, 1999). Los bosques templados albergan un conjunto de 7000 especies, que representan el 24% del total estimado de la flora de México, ascendiendo el endemismo de esta zona hasta un 70% (Rzedowsky, 1998). En estos bosques de coníferas habitan 294 especies de animales las cuales 20 están incluidas en la lista oficial de especies en peligro de extinción.

Estimaciones actuales de la deforestación anual en México van desde los 365, 000 a los 1, 500,000 de hectáreas anuales, siendo la tasa promedio de deforestación 1.3%: 1.9% bosques tropicales deciduos, 2.0% en bosques tropicales perennes, 0.64 en bosques templados de coníferas, y 0.67 en bosques templados latifoliados (Cairns *et al*, 1995).

En el estado de Nuevo León se estima en 320,100 hectáreas el área forestal en 1995, con una deforestación anual de 13, 408 hectáreas (Davis, 1996), no reportándose plantaciones forestales (SEMARNAP, 1999). En el ejido "La Encantada" en la región denominada San Antonio Peña Nevada, la principal actividad económica es el aprovechamiento de la madera del bosque de coníferas. En la presente tesis se analiza el valor comercial del sistema actual de extracción y de establecer hipotéticamente plantaciones. Existe solamente un trabajo forestal realizado en el ejido (Lujan, 1979) sobre el potencial forestal en donde determina que el segundo de tres estadios sucesionales es el más productivo económicamente, debido a una producción mayor de madera (1,100 - 1,200 m³/ha), y una alta abundancia de la importante especie maderable *Pinus ayacahuite*.

Una variable biológica importante para llegar a un valor comercial positivo es la tasa de crecimiento de los árboles sembrados (García, 2001; Ricker, 1998). El método no-destructivo más importante para determinar los incrementos anuales pasados en árboles existentes en bosques de coníferas con invierno frío, es la obtención de virutas o tarugos con el Taladro de Incremento de Pressler (Husch *et al.*, 1982). En la disciplina llamada dendrocronología – de la raíz griega *Dendro* que significa árbol y cronología refiriéndose al estudio del tiempo (Webb, 1983) – se miden los incrementos en los anillos de crecimiento, para establecer el año exacto en el cual fue formado cada uno.

En México – hasta la fecha - se han desarrollados pocos trabajos de dendrocronología. Podemos mencionar el trabajo exploratorio hecho por Schulman

(1944) en el Valle de México, y el de estudio preliminar de Naylor en Oaxaca (1971) con *Abies hickeli*, *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus* y *Pinus rudis*, en el que no lograron el fechado cruzado debido a la presencia de series de anillos complacientes. Huante *et al.* (1991) realiza un estudio con *Abies religiosa* en Michoacán, en el cual se produjo la primera cronología de anillos, datada y estandarizada para los trópicos de Norteamérica. Alvarado *et al.* (1993) utiliza la dendrocronología para determinar el impacto de la contaminación atmosférica en *Abies religiosa* reportando una disminución en la amplitud de los anillos en los últimos 30 años. Por su parte, Alarcon (1993) realiza un estudio similar en el suroeste de la cuenca México con la especie *Pinus hartwegii*. Dentro de los estudios dendroclimáticos realizados en el país podemos mencionar el de Villanueva-Diaz (1998) en el que se utilizan cronologías para determinar el efecto de "El Niño" en el norte del país, y el de Díaz *et al.* (2001) para Baja California Sur con *Pinus lagunae*. En el estado de Nuevo León existe solamente un trabajo con la especie *Pseudotsuga menziensis* en el cerro del Potosí (Sthale, *et al.*, 1995b). Desde el punto de vista de manejo forestal la dendrocronología es útil ya que proporciona información necesaria para un mejor entendimiento de los procesos que tienen impacto en la productividad y salud de los bosques a través del fechado y patrones de incendios y brotes de plagas (Biondi, 1999).

En el presente trabajo, se aprovecha los métodos dendrocronológicos para determinar la curva de crecimiento diametral de los troncos de cuatro especies de coníferas. Usando estas curvas, las relaciones derivadas entre diámetro y volumen de madera, y parámetros económicos recopilados en la región, se lleva a cabo un análisis costo-beneficio para el sistema extractivo actualmente empleado y para el establecimiento de una plantación.

Objetivo general

El estudio pretende analizar el crecimiento, y calcular el valor comercial de producir la madera de *Abies vejari* ("hallarín"), *Pinus hartwegii* ("pino blanco"), *Pinus strobiformis* ("anacahuíta"), *Pinus teocote* ("pino rojo"), y en la Sierra de San Antonio Peña Nevada, Nuevo León.

Objetivos específicos.

1. Analizar el crecimiento de cinco árboles de cada especie con herramientas de la dendrocronología.
2. Ajustar y validar una función de ahusamiento y una fórmula del volumen para cada especie, en base de los cinco árboles medidos.
3. Calcular el valor comercial de una plantación hipotética, y compararlo con el valor comercial sistema extractivo actualmente empleado.

HIPOTESIS

Desde el punto de vista comercial y a precios actuales de la madera, reforestar las áreas taladas y esperar a que crezcan a una talla maderable no es rentable en el Ejido "La Encantada".

2. MÉTODOS

El estudio dendrocronológico y económico se llevó a cabo en el Ejido “La Encantada” en el Municipio “General Zaragoza” en la Sierra de Peña Nevada en Nuevo León, México. “La Encantada” se encuentra 18 km al sur de la cabecera municipal, contando con una extensión aproximada de 10,000 hectáreas (véase coordenadas de árboles apéndice 1). Limita al norte con el municipio de Aramberri, Nuevo León; al sur con los municipios de Jaumave y Miquihuana, Tamaulipas; al este con el municipio de Güemes y Ciudad Victoria, Tamaulipas; y al oeste con el Municipio de Dr. Arroyo, Nuevo León.

CLIMA

El clima dominante en el ejido es el templado sub-húmedo con índice de humedad alto, el cual es el más húmedo de los templados con lluvias en verano; tiene el porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2. Impera en una pequeña región al sur del estado en el municipio de General Zaragoza; su régimen pluvial oscila entre 800 y 1200 mm y la temperatura media al año fluctúa entre 12 y 18 °C. La máxima incidencia de lluvias se registra en septiembre con un rango que oscila 280 y 290 mm; en el mes de diciembre se presenta la mínima con un valor de 10 a 15 mm. La temperatura media mensual máxima es de 18 °C y se presenta en los meses de mayo, junio y julio y agosto; a enero y febrero corresponde la mínima que va de 11 a 12 °C (SPP, 1981).

GEOLOGIA

La zona de estudio se encuentra dentro de la provincia de la Sierra Madre Oriental. En esta provincia las rocas más antiguas son esquistos del precámbrico. Hay afloramientos de areniscas y asociaciones de lutitas y areniscas intercaladas pertenecientes al Triásico. el Jurásico superior hay afloramientos masivos de calizas, de yeso y yeso asociado con caliza. Además afloran, lutitas y varias asociaciones de lutitas y areniscas y de calizas con lutitas. El cretácico está representado por afloramientos de calizas-lutitas y lutitas-areniscas. Los cuerpos de rocas ígneas intrusivas (ácidas e intermedias), que afectan a rocas sedimentarias mesozóicas son del Terciario. También pertenecen a ésta edad los conglomerados que se encuentran en los márgenes de la Sierra Madre Oriental. Además, hay depósitos de conglomerados y rellenos aluviales del Cuaternario. Las principales estructuras de la Sierra Madre Oriental están constituidas por pliegues anticlinales y sinclinales, afectados por grandes fallas de tipo normal y numerosas fallas inversas (cabalgaduras) que han trocado las secuencias normales del depósito. Además, hay varios cuerpos de rocas intrusivas que han afectado las secuencias mesozóicas de la

Sierra Madre Oriental en diversos puntos (SPP, 1981).

SUELOS

Los suelos dominantes en la región los litosoles y las rendzinas, estos suelos presentan alternados con abundantes afloramientos rocosos, sobre las calizas que constituyen los macizos serranos, en zonas con pendientes moderadas y fuertes bajo climas semi-sécos y sub-húmedos, son de color oscuro y su estructura es de mijagón arcilloso o más fina; tienen un contenido moderado de materia orgánica y estructura mijagosa o en pequeños bloques. La profundidad del litosol es menor a los 10 cm; las rendzinas, miden en promedio, unos 25 cm desde la superficie a la roca. Los minerales que constituyen estos son fundamentalmente residuos de la disolución de las calizas. Son abundantes los ferromagnesianos y suelen así formarse, en general arcillas tipo 2:1, en ocasiones expandibles. Estos suelos son inapropiados en su mayoría para la agricultura, debido a la poca profundidad y las pendientes pronunciadas en las que se le encuentra. Son altamente susceptibles a la erosión (SPP, 1981).

VEGETACIÓN

La zona de estudio se destaca biológicamente por su vegetación alpina y subalpina, siendo esta una de los 7 relictos del noreste de México. El ejido forma parte de la "Región Terrestre Prioritaria San Antonio Peña Nevada" (Arriaga *et al.*, 2000). Se encuentran 9 especies endémicas estrictas (McDonald, 1998). Los bosques de *Pinus-Abies-Pseudotsuga-Quercus* ocupan solamente el 1% del estado o 65.1 km² (Treviño, 1984), y el 0.16% en el país (Rzedowski, 1981). En el ejido se encuentran reportadas especies arbóreas que se encuentran en la Norma Oficial Mexicana (SEDESOL, 1994), como *Abies vejari* y *Abies mexicana* en la categoría de "endémica amenazada", *Pseudotsuga macrolepis* y *Pseudotsuga flahualli* en "endémica rara", y a *Picea martinezii* en "endémica en peligro de extinción" (Treviño, 1984; Farjon, 1990; Ledig *et al.*, 2000).

2.1. MUESTREO DE ÁRBOLES

En Junio del 2001 se hizo un muestro de 20 árboles de la siguiente forma: 5 árboles de cada especie en un sólo sitio, siendo escogidos los de mayor tamaño en altura y diámetro por ser éstos los dominantes. En cada uno de ellos se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho a 1.3 m), altura total, y diámetros en cada 5 por ciento de la altura total. Se sacaron virutas de la cara exposición Norte y Este. Se obtuvieron coordenadas por

medio de GPS (Altitud, longitud y Latitud), fotografía, y ejemplar de herbario (rama con acículas y cono) para corroborar su identificación.

2.2. MEDICION DE DIAMETRO Y ALTURA

Se midieron en todos los árboles la circunferencia a la altura del pecho (DAP), es decir aproximadamente a 1.3 metros del suelo directamente con una cinta diamétrica, tomando los criterios de Avery y Burkhardt (1983) en casos especiales de árboles inclinados, irregulares o en pendientes. Con la Fórmula 1 se obtiene el diámetro a partir de la circunferencia:

$$d = C / \pi \quad (1)$$

Donde d = diámetro, c = circunferencia, y $\pi = 3.1416$

La altura total se obtuvo con un *hipsómetro de Suunto* el cual se basa en el método indirecto basado en conceptos básicos de trigonometría, explicado con la Figura 1 (Romhan de la Vega *et al.*, 1994; Ricker y Daly, 1998). Como distancia desde el árbol, se midió con la cinta diamétrica 15 o 20 m a partir del tronco, dando preferencia a 20 m si era posible en el sitio.

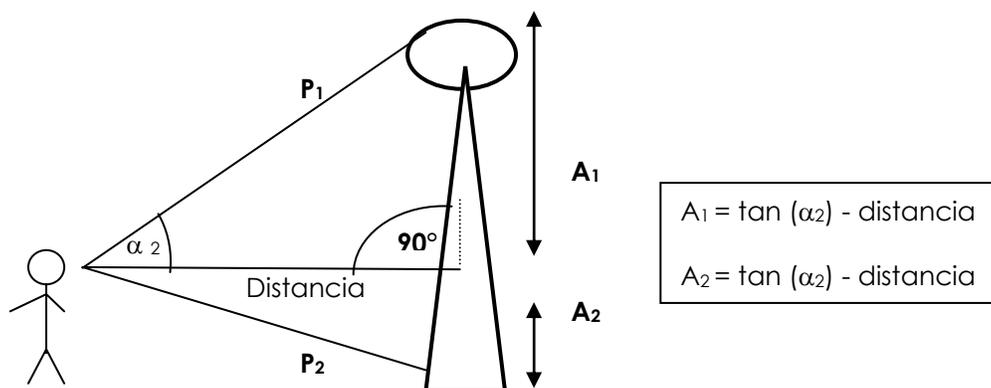


Figura 1. Medición de la altura total desde el suelo.

Para obtener el diámetro cada 5% de la altura total del árbol, primero se tomó la altura, se dividió el resultado entre 20 ($1/20 = 0.05$). Se usaron picos y arnés de seguridad

para poder hacer las mediciones directas de las circunferencias en cada determinada altura. El valor obtenido en cada altura parcial (h_i) es el diámetro parcial (d_i) que se utilizará en la función de ahusamiento para predecir el diámetro a cierta altura y calcular el volumen.

2.3. TOMA DE VIRUTAS TRONCALES.

Se obtuvieron 2 virutas troncales de cada uno de los árboles al hacer el muestreo, utilizando el barreno de Pressler de 36 centímetros de largo. La primera fue extraída en la base (exposición norte del tronco) y la segunda 10 cm arriba de la anterior (exposición oeste del tronco). Antes de utilizar el barreno se agregó aceite lubricante (Bardhal 3) por dentro y fuera, para permitir una entrada suave en el árbol y facilitar la salida de la viruta. Para introducir el barreno se presionó hasta que el filo de la punta entró al árbol, haciendo movimientos circulares en dirección a las manecillas del reloj, llegando hasta el centro de éste. Llegando a ese punto, se sacó el barreno haciendo movimientos en contra de las manecillas del reloj. Una vez retirado del árbol, se extrajo la viruta y se colocó en pequeñas piezas de madera (porta-virutas, hechas previamente) para protegerlas y permitir un mejor manejo. Las virutas fueron secadas a temperatura de ambiente por 1 semana, y pegadas con resistol blanco al porta virutas, alineando verticalmente las traqueidas de xilema. Para poder observar de manera clara los anillos delgados y microanillos, se lijaron manualmente las virutas con lija de papel del grano mayor al menor (medidas 100, 280, y 500).

2.4. METODOS DENDROCRONOLÓGICOS

El fechado cruzado ("cross-dating") evita el riesgo de contar anillos dobles u omitir el conteo de anillos ausentes. Biondi (1999) recomienda utilizar este procedimiento ya que encontró que el 1.2% del número total de anillos medidos al muestrear 58 árboles de *Pinus ponderosa* resultaron faltantes. Para desarrollar el procedimiento de fechado-cruzada en las virutas o tarugos, se utilizaron los métodos descritos por Swetnam *et al* (1985) y Yamaguchi (1991).

Para realizar el fechado-cruzado se necesitan construir el "esqueleto" ("skeleton plot"), el cual es un medio de representación gráfica de las amplitudes de los anillos. El material necesario fue un lápiz y papel milimétrico. El papel utilizado en el presente trabajo fue obtenido del manual de Swetnam *et al*. (1985), disponible en la Pagina WEB del "Tree Ring Laboratory" de la Universidad de Arizona (<http://tree.ltrr.arizona.edu/~tswetnam/pdf.htm>). En el manual se recomienda utilizar papel milimétrico de 5 x 5 cm.

Primero se estableció el año de cada anillo, haciendo el conteo de la corteza a la médula. Se asignó el año 2001 al último anillo (año en que se tomó la viruta), y a los demás los años en orden descendente a partir de éste. Se marcó con un lápiz un punto cada diez años, con dos cada 50 y 3 cada 100. Para identificar en el papel milimétrico los años, se marcó en la parte superior con número cada 10 años de la cronología (Figura 2).

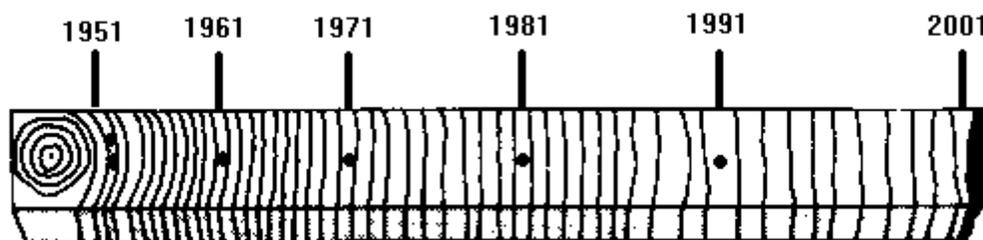


Figura 2. Secuencia en que se asignan los años a los anillos de crecimiento en las virutas o tarugos.

Después se observó cuidadosamente el patrón de crecimiento, comenzando a partir del anillo del año 2001, y para cada anillo conspicuo se trazó una línea en el papel milimétrico como línea vertical. En el "esqueleto" sólo se trazan líneas para los anillos muy chicos y muy grandes, representando variaciones muy evidentes en el patrón de crecimiento. Entre más pequeño sea el anillo, más larga será la línea trazada en el papel. El máximo valor asignado para una línea es de 10 (10 cuadros del papel milimétrico), y 10 representa en anillo extremadamente pequeño. El valor (la longitud de la línea) asignado a un anillo en particular, se decide por la longitud del mismo con referencia a su 3 o 5 anillos contiguos. Esto significa una longitud relativa (no una longitud absoluta). La característica más importante del esqueleto es la secuencia de las amplitudes de los anillos (Véase figura 3).

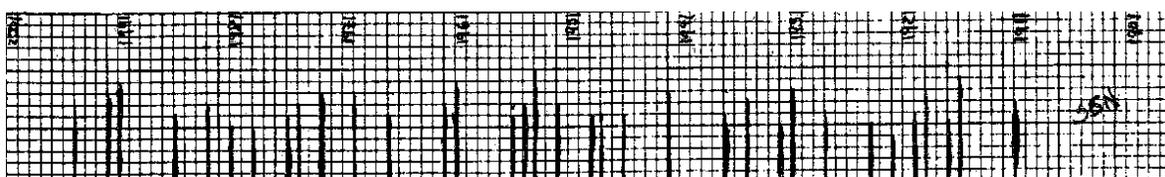


Figura 3. Representación de un esqueleto. En la parte superior tenemos los años de crecimiento del árbol. Las líneas de mayor longitud significan disminución significativa en el año donde se encuentra en relación a los anillos adyacentes.

Se realizaron los primeros esqueletos para algunos ejemplares de las especies *Pinus strobiformis* y *Abies vejari*, por presentar anillos grandes y reconocibles. Una vez realizado

esto para algunos ejemplares, se procedió a encontrar los patrones comunes primero en virutas de un sólo árbol, después en otros árboles de la misma especie, y al final los de las demás especies. Para ésto se colocó un esqueleto sobre otro (Figura 4). Hay que hacer la aclaración que los patrones no deben concordar idénticamente entre especies diferentes, pero sí debe haber años en los que se cumpla el patrón. Cuando se encontró algún desfase en alguna parte del esqueleto, se procedió a observar visualmente ambas virutas y determinar la ausencia de algún anillo o la presencia de uno falso interanual, basándose en el patrón de crecimiento.

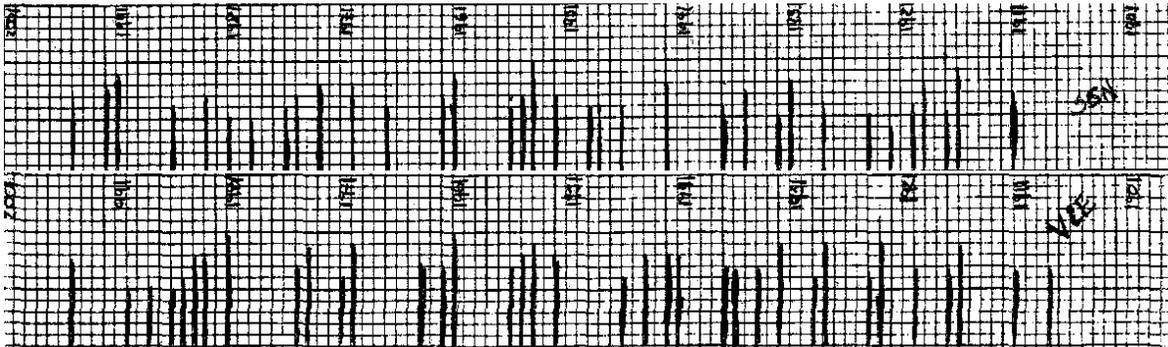


Figura 4. Comparación de esqueletos de dos árboles. En la parte superior tenemos a una árbol *Pinus strobiformis* y en la inferior uno de *Abies vejari*, obsérvese el grado de similitud en la disminución de crecimientos sincrónicos.

MEDICIÓN DEL INCREMENTO ANUAL.

Las virutas fueron medidas en el laboratorio de dinámica de poblaciones e historias de vida del Instituto de Ecología de la UNAM en la Ciudad de México. Se utilizó un micrómetro con platina de fase deslizable, conectado a una computadora (Robinson *et al.*, 1980) en la cual se tiene instalado el programa TRIMS (Tree Ring Incremental Measuring System) de la compañía Madera Software localizada en 2509 North Campell Avenue #386, Tucson Arizona 85719, USA. Las muestras fueron medidas una por una deslizando la platina y observando la muestra en un estereoscopio con ocular en cruz. Se comenzó a medir del centro del árbol (médula) a la corteza, contando como un anillo la porción de madera temprana (clara) y tardía (obscura).

Cada vez que en alguna de las divisiones del ocular en cruz se llegaba al anillo (pasando la porción de madera obscura), se presiona el botón del micrómetro. Todas las medidas se grabaron en la computadora. Se procedió a realizar las mediciones, tomando como referencias los puntos marcados en las virutas y los esqueletos desarrollados en el fechado-cruzado, para tomar en cuenta ausencia de anillos o presencia de alguno falso. Una vez terminada las mediciones se grabaron los archivos en

un disco, para el posterior análisis estadístico del fechado-cruzado con el programa COFECHA.

El programa COFECHA desarrollado por Holmes (1983) disponible en la página del Tree-ring Laboratory de la Universidad de Arizona (<http://tree.ltrr.arizona.edu/software.html>), sirve como herramienta para la identificación de porciones de series de anillos que puedan tener errores de fechado o errores importantes de medición. **Para cada serie el programa determina cual segmento se correlaciona de forma deficiente con el segmento correspondiente de la serie maestra fechada, o en que otra posición correlacionan más algunos de los segmentos con alguno de los segmentos de la serie maestra fechada.** El programa calcula la serie maestra como la media de todas las demás series. El programa puede ser usado también para verificar cronologías de varios sitios dentro de una región.

Primero se introdujeron todos los valores de cada viruta por especie en archivos tipo ASCII llamándolos MEASURE2.DTA (Mediciones con precisión de 0.01 mm) de la Dendrochronology Program Library (2002). Para esto se utilizó el programa "Bloc de Notas" de Windows 98 y EXCEL. Posteriormente se corrió el programa COFECHA con cada uno de los archivos (un archivo con todos los valores de incrementos para cada especie) para determinar la correlación (ajuste) entre virutas de diferentes árboles en una especie. El análisis de los datos salientes del programa permitió tener la certeza de que cada año de los anillos fue asignado correctamente.

Antes de entrar a la parte de la construcción de las cronologías, menciono algunos aspectos importantes de las series de anillos. En términos estadísticos una serie de anillos de crecimiento de árboles es una serie discreta de tiempo de observaciones tomadas en intervalos de tiempo iguales. Como en el crecimiento anual de los árboles influyen múltiples factores de manera compleja, hay que considerarlo como un proceso estocástico, es decir en el que caben las leyes de la probabilidad (Cook y Kairiukstis, 1990).

Los incrementos en las series de anillos no son independientes en la escala temporal. El ancho del anillo en el año t depende del ancho del anillo en el año $t-1$, debido a que el valor del ancho del anillo en un año particular no sólo depende de los factores en ese año, si no también de las reservas que acumuló el árbol en los años previos y de la edad del árbol en cuando se formó el anillo. Del anillo de crecimiento se puede extraer la información del incremento anual (producción total de madera), y de la

densidad (máxima, mínima, total, y de madera tardía o temprana). En el presente estudio solamente se midió el incremento total, pero lo anterior nos muestra la información que proporcionan los anillos de crecimiento.

Entre los parámetros estadísticos que permiten caracterizar una serie de tiempo, tenemos:

- 1) La "sensibilidad media" es qué tanto cambio hubo entre los valores sucesivos de una serie de anillos de crecimiento, e indican qué tanto responden los árboles a factores ambientales:

$$sm = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=m-1} \left| \frac{2(X_{t+1} - X_t)}{X_{t+1} + X_t} \right| \quad (2)$$

sm = Sensibilidad media.

X_t = Anchura de anillos en el año t.

X_{t+1} = Anchura de anillos en el año posterior a t (anillo adyacente).

n = Número de muestra.

- 2) La "desviación estándar" es una medida de la variación de los datos de alrededor de la media y es considerada el resultado de dos grandes influencias: factores operando en todo el bosque y factores a escala pequeña que actúan en árboles individuales a alguna parte del árbol.

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (x_t - m_x)^2} \quad (3)$$

S_x = Desviación estándar.

X_t = Anchura de anillos en el año t.

m_x = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

n = Número de muestra.

- 3) La “correlación promedio” de árboles muestra que tan similar es un grupo de árboles en una muestra tomada.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^{t=m-1} (x_t - m_x) (y_t - m_y)}{(n-1) s_x s_y} \quad (4)$$

r_{xy} = Correlación promedio.

x_t = Anchura de anillos en el año t .

m_x y m_y = Media del conjunto de mediciones de anchura de anillos.

s_x y s_y = Desviación estándar de las mediciones de anchura de anillos.

n = Número de datos comparados (muestra).

Existe otro parámetro estadístico importante: la “autocorrelación de primer orden” la cual indica qué tanto está influenciado el crecimiento del año siguiente por el actual.

Si llamamos “señal” a la información de los anillos relevante para el estudio particular de algún problema, consideramos ruido la parte de información presente en la serie de anillos que es irrelevante para el problema en discusión. Concebido de esta forma, una serie de anillos de árboles es una agregación de varias señales, que pueden ser señal o ruido según el contexto determinado por la aplicación.

Por ejemplo si se pretende estudiar mediante técnicas dendrocronológicas algún tipo de disturbio como la incidencia de plagas, nuestra señal será aquella dejada por el disturbio, y la variación del crecimiento debida al clima será considerada ruido. Un paso clave en el análisis de un disturbio mediante los anillos de árboles consistirá en realizar una buena decodificación de las señales contenidas en los anillos, resaltando aquella que se está estudiando, y minimizando las restantes.

Para descomponer las señales presentes en una serie de anillos, Cook y Kairiukstis (1990) presentan el siguiente modelo lineal.

$$R_t = A_t + C_t + \delta D_{1t} + \delta D_{2t} + \epsilon_t \quad (5)$$

donde:

R = ancho del anillo observado en el año tiempo (t),

- A** = tendencia por edad (tamaño),
C = señal climática,
 δD_{1t} = pulsos generados por disturbios endógenos,
 δD_{2t} = pulsos generados por disturbios exógenos,
 δ = indicador binario de presencia o ausencia (1 o 0),
 ϵ_t = variación no explicada por las otras señales.

Este modelo es útil para identificar y separar los diferentes tipos de influencias sobre el crecimiento de un árbol, dependiendo del interés que tengamos. Si llamamos Q_t al conjunto de todos los ruidos, siguiendo el modelo lineal (5) propuesto queda en función de $(A_t, \delta D_{1t} + \delta D_{2t})$, si D_1 y D_2 no son importantes (en cuyo caso habrá que filtrarlos), queda sólo por cuantificar la tendencia por la edad. El procedimiento para eliminar el efecto de la edad se le llama estandarización. El objetivo de la estandarización poder comparar árboles de distinta edad en cuanto a su variabilidad interanual (Fritts, 1976). A cada serie individual se le ajusta una función no-lineal (exponencial, polinomial o spline). La división entre el crecimiento medido y el valor ajustado dado por la función produce un índice adimensional, siendo su media igual a 1 y su varianza estacionaria (Kitzerberger *et al.*, 2000).

En el presente estudio, la estandarización y la construcción de la cronología para el ejido “La Encantada” se realizó con el programa ARSTAN, utilizando los mismos archivos de entrada que se usaron en el programa COFECHA. El concepto y la metodología de ARSTAN fueron desarrollados por el Dr. Edward R. Cook (1985) en el Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory, de la Universidad de Columbia en Palisades, Nueva York. El programa está disponible en la página del Tree-ring Laboratory de la Universidad de Arizona mencionada apartados anteriores.

La función utilizada por ARSTAN para la estandarización es la exponencial negativa mencionada por Fritts (1976) y Cook y Kairiuskstis (1990).

$$Y_t = a \exp^{-bt} + k \quad (6)$$

donde:

Y_t = Valor promedio proyectado (amplitud de anillo proyectada al tiempo t),

a, b y k = Coeficientes de regresión estimados para cada especie,

T = Tiempo

Exp = e = base de los logaritmos naturales

ARSTAN hace el ajuste de la regresión no-línea. Posteriormente, divide cada uno de los datos de amplitud de los anillos de cada muestra entre el crecimiento esperado por el modelo exponencial negativo (6) como sigue:

$$I = W/Y \quad (7)$$

donde:

I = Índice de anchura de anillo o índice de crecimiento estandarizado,

W = Anchura medida (incremento anual),

Y = Anchura proyectada

En las series resultantes de amplitud de anillos estandarizadas, se pueden comparar la media y la varianza de la parte interna de cada serie con la parte externa. Una vez eliminada la varianza debida al crecimiento diferente entre árboles jóvenes con crecimiento rápido y árboles viejos con crecimientos lentos, se promedian cada una de las series de amplitudes en la cronología para cada año, de esta manera se produce la cronología maestra para el sitio (Swetnam, 1985). La cronología maestra para el sitio también se le llama cronología estandarizada (Fritts, 1976).

Además del índice de crecimiento ARSTAN calcula, los parámetros estadísticos básicos mencionados anteriormente (2, 3, y 4) para el índice de anchura de anillo. Se puede esperar que las cronologías con una alta sensibilidad, alta desviación estándar, alta correlación promedio entre árboles, alta relación señal-ruido, y una baja autocorrelación contengan contener una alta proporción de varianza explicable por factores climáticos o ambientales (Stahle *et al.*, 1995).

Para asignar un índice de fechad-cruzado según Grissino-Mayer (1993) a las especies *Abies vejari*, *Pinus hartwegii*, y *Pinus strobiformis* se corrió una correlación simple con el programa EXCEL del intervalo común de la cronología compuesta desarrollada en el presente trabajo, con cada una de las cronologías obtenidas con ARSTAN de tres sitios cercanos al ejido "La Encantada": "El cerro del Potosí" en Nuevo León, "Rancho el Cielo" y "Río sabinas" en Tamaulipas. Los archivos de mediciones de los 3 sitios mencionados se obtuvieron del servidor de la International Tree-Ring Data Bank (ITRDB, <<http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/treering.html>>).

2.5. AJUSTE Y VALIDACION DE FUNCION DE AHUSAMIENTO

Para poder calcular el crecimiento del volumen del tronco, se necesita derivar una relación entre diámetro ó radio (analizado con los métodos dendrocronológicos) y el volumen correspondiente del árbol. Para derivar una fórmula del volumen en función del diámetro para cada especie, primero fue ajustada una función de ahusamiento polinomial de quinto grado sugerido por (Figueiredo-Filho, 1996):

$$d_i = d [b_0 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + b_4X^4 + b_5X^5] \quad (8)$$

donde:

d_i : diámetro fuera de la corteza a la altura h_i en centímetros.

d : diámetro a la altura del pecho por fuera de la corteza en centímetros,

X : h_i / h ,

h : altura total en metros,

h_i : altura en tallo en metros,

b : coeficientes de regresión.

Sin embargo en la fórmula (8), surge el problema que los últimos valores de d_i no llegaron necesariamente a cero, sino a valores negativos al alcanzar los últimos valores de h_i . Por lo tanto se decidió modificar la función original (8):

Cuando $h_i = h$, entonces $X = 1$, y queremos que $d_i = 0$

$$0 = d (b_0 + b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5) \quad (9)$$

Despejando para b_0 :

$$b_0 = - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5) \quad (10)$$

Poniendo (10) en (9) y despejando:

$$d_i = d [-(b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5) + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + b_4X^4 + b_5X^5]$$

$$d_i = d [-b_1 - b_2 - b_3 - b_4 - b_5 + b_1X + b_2X^2 + b_3X^3 + b_4X^4 + b_5X^5]$$

$$d_i = d [-b_1 + b_1X + -b_2 + b_2X^2 + -b_3 + b_3X^3 + -b_4 + b_4X^4 + -b_5 + b_5X^5]$$

$$d_i = d [b_1 (-1+X) + b_2 (-1+X^2) + b_3 (-1+X^3) + b_4 (-1+X^4) + b_5 (-1+X^5)]$$

Resultando:

$$d_i = d [b_1 (X-1) + b_2(X^2-1) + b_3+(X^3-1) + b_4(X^4-1) + b_5(X^5-1)] \quad (11)$$

Los coeficientes de regresión de la fórmula 11 se calcularon con regresión no-lineal en el programa estadístico SYSTAT 10 (véase los datos de entrada en el Apéndice 3). La comparación de las estimaciones del modelo en las especies se basó en el análisis gráfico de los residuos (Figueiredo-Fihlo *et al.*, 1996; Castedo y Álvarez, 2000; Kozak y Smith, 1993) y en el estudio de cuatro estadísticos obtenidos a partir de ellos (fórmulas 12 - 15), comparando la función resultante con los diámetros medidos a cada 5% de la altura total:

$$\text{El sesgo} \quad \bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (12)$$

$$\text{La media de los valores absolutos de los residuos} \quad |\bar{E}| = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{E}_i|}{n} \quad (13)$$

$$\text{La desviación estándar de los residuos} \quad S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}} \quad (14)$$

$$\text{Raíz cuadrada del error medio cuadrático} \quad \text{REMC} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n E_i^2}{n}} \quad (15)$$

Donde:

n = número de datos usados en el ajuste del modelo

E_i = $Y_i - \hat{Y}_i$

Y_i = Valor observado

Ŷ_i = Valor predicho

Con el fin de determinar el comportamiento de cada modelo a lo largo del tronco del árbol, se calcularon los valores de sesgo y raíz cuadrada del error medio cuadrático en intervalos de altura relativa de un 10 por ciento de la altura total.

2.6. DERIVACIÓN DE LA FÓRMULA DE VOLUMEN

Se derivó una fórmula de volumen a partir de la fórmula de ahusamiento (11), tomando la integral de $(0.5)d_i^2\pi$ con d_i dado por (11) y h_i entre 0 y h , empleando el siguiente comando en el programa *Mathematica*:

$$\text{Integral [Pi*(0.5*d*(b}_1*((h_i/h)-1)+b_2*((h_i/h)^2-1)+b_3*((h_i/h)^3-1)+b_4*((h_i/h)^4-1)+b_5*((h_i/h)^5-1))]^2,\{h_i,0,h\}]$$

La solución proporcionado por *Mathematica* es:

$$0.0833333 b_1 d h \text{ Pi} + 0.2083333 b_1 b_2 d h \text{ Pi} + 0.1333333 b_2^2 d^2 h \text{ Pi} + 0.225 b_1 b_3 d^2 h \text{ Pi} + 0.291667 b_2 b_3 d^2 h \text{ Pi} + 0.160714 b_3^2 d^2 h \text{ Pi} + 0.2333333 b_1 b_4 d^2 h \text{ Pi} + 0.304762 b_2 b_4 d^2 h \text{ Pi} + 0.3375 b_3 b_4 d^2 h \text{ Pi} + 0.177778 b_4^2 d^2 h \text{ Pi} + 0.238095 b_1 b_5 d^2 h \text{ Pi} + 0.3125 b_2 b_5 d^2 h \text{ Pi} + 0.347222 b_3 b_5 d^2 h \text{ Pi} + 0.366667 b_4 b_5 d^2 h \text{ Pi} + 0.189394 b_5^2 d^2 h \text{ Pi}$$

Sustituyendo b_1 a b_5 con los coeficientes de regresión, obtenidos con (11) la fórmula de ahusamiento para cada especie, se obtienen las siguientes formulas de volumen para cada especie en función del diámetro a la altura del pecho (1.3 m) y la altura total:

$$\textit{Pinus strobiformis} \quad V = 0.352005 d^2 h \quad (16)$$

$$\textit{Pinus hartwegii} \quad V = 0.413975 d^2 h \quad (17)$$

$$\textit{Pinus teocote} \quad V = 0.372912 d^2 h \quad (18)$$

$$\textit{Abies vejari} \quad V = 0.329747 d^2 h \quad (19)$$

Donde V es en metros cúbicos, d en metros y h en metros.

Con éstas fórmulas se calcularon los volúmenes modelados de cada árbol de todas las especies. Por otro lado, el volumen de cada árbol se puede calcular de manera más exacta al sumar los volúmenes de los segmentos medidos a cada 5% de la altura total. Para probar la exactitud de la predicción de las fórmulas de volumen de cada especie, se utilizó un "Índice de Ajuste" desarrollado por Schlaegel (1982) y utilizado por Tiarks y Clark (1999), expresado como:

$$|A| = 1 - \frac{\sum (V_m - V_p)^2}{\sum (V_m - V_x)^2} \quad (20)$$

donde:

IA: Índice de Ajuste (de 0 a 1, donde 1 indica un ajuste perfecto);

Vm: Volumen medido de la sumatoria de los volúmenes de cada segmento calculado a partir de los diámetros parciales;

Vp = Volumen predicho por el modelo para el árbol P;

V_x = Promedio de los volúmenes de todos los árboles de una especie.

2.8. RELACIÓN ALOMÉTRICA ENTRE DIÁMETRO Y ALTURA

En el apartado anterior se derivaron las formulas (16) a (19) del volumen en función del diámetro y de la altura total. Sin embargo, para el modelaje del crecimiento del volumen en función de la edad es necesario simplificar estas fórmulas en fórmulas del volumen en función únicamente del diámetro. Por lo tanto, se derivaron relaciones alométricas entre el diámetro y altura total para cada especie. Por medio de regresión lineal se aplicó la función de una parábola ($\text{altura}^2 = c \text{ diámetro}$), debido a que fue la que en una gráfica parecía mejor ajustarse a la nube de datos (Tabla 1). No fueron incluidos el árbol #2 de *Pinus hartwegii* y #4 de *Abies vejari*, por tener valores atípicos ("outliers") en la relación alométrica.

Especie	Número de árboles	Coefficiente (c)	Error estándar	R²
<i>Abies vejari</i>	4	1247.27	50.00	0.91
<i>Pinus hartwegii</i>	4	869.40	41.41	0.92
<i>Pinus strobiformis</i>	5	713.69	13.60	0.98
<i>Pinus teocote</i>	5	833.68	30.72	0.95

Sustituyendo la variable de altura "h" en las fórmulas 16 a 19 con las relaciones alométricas de la Tabla 1, obtenemos las fórmulas buscadas de altura en función de diámetro, para cada una de las especies. Por ejemplo para la especie *Abies vejari*:

$$\begin{aligned}
 V &= 0.329747 d^2 \sqrt{1247.27 d} \\
 &= (0.329747 \sqrt{1247.27}) d^2 d^{1/2} \\
 &= 11.6456 * d^{2.5}
 \end{aligned}$$

Siguiendo este procedimiento, se obtienen las formulas para cada especie:

$$Pinus\ strobiformis \quad V= 9.4038\ d^{2.5} \quad (21)$$

$$Pinus\ hartwegii \quad V= 12.2062\ d^{2.5} \quad (22)$$

$$Pinus\ teocote \quad V= 10.7673\ d^{2.5} \quad (23)$$

$$Abies\ vejari \quad V= 11.6456\ d^{2.5} \quad (24)$$

Donde V es en metros cúbicos y d en metros (y el coeficiente tiene la dimensión $m^{0.5}$).

Para probar la exactitud de la predicción de las fórmulas de volumen en función del diámetro de cada especie, se utilizó nuevamente el Índice de Ajuste de la fórmula 20.

2.9 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL BOSQUE

En el presente trabajo se realizó una estimación aproximada de la productividad del bosque por hectárea para el ejido "La encantada" tomaron los valores promedio de los incrementos medios anuales de volumen de los árboles de menor crecimiento de cada especie (según el análisis de varianza), los cuales simulan el crecimiento del bosque natural en donde encontramos a los árboles con competencia

2.10 ESTIMACION DEL VALOR COMERCIAL

Los datos económicos para el modelaje de valor comercial fueron obtenidos por medio de información proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), y de una entrevista aplicada en Junio del 2001 al administrador del aserradero tomando como base un cuestionario el cual consistió de las siguientes preguntas: 1) ¿Donde se vende la madera que se extrae del aserradero?, 2) ¿Cuál es el precio que se paga por la madera? (especifique de que manera se vende), 3) ¿Cuál es el costo del permiso de aprovechamiento forestal?, 4) ¿Cuál es el costo de transporte de madera al aserradero?, 5) ¿Cuál es el costo de transporte del aserradero al sitio de venta?, 6) ¿Cual es el costo del manejo y mantenimiento de equipo del aserradero?, 7) ¿Cuál es el costo del personal que labora en el aserradero?, 8) ¿Cual son los costo por manejo del vivero y reforestación?, 9) ¿Tienen algún costo adicional, no preguntado en esta encuesta? (Si lo tiene de ¿cuanto es?).

El valor comercial de una plántula sembrada de las 4 especies fue calculado como su valor presente neto (VPN), un concepto estándar en administración de empresas

y economía (véase Ricker 2000 para *Cedrela odorata*, y García 2001 para cuatro especies de *Pinus*):

$$VPN = (Vol_{opt}) (P * (CR) - C) (e^{-r(edad\ optima)}) - K \quad (25)$$

donde:

VPN: Es el valor presente neto esperado promedio de un árbol en un sistema de aclaréo en que hay un exceso de plántulas por lo que la supervivencia no juega un papel en el cálculo (el número de plántulas tiene que ser mayor al número de arboles que se quiere cosechar, dependiendo del esquema de aclaréo).

VOL_{opt}: Es el volumen total en metros cúbicos a la edad óptima para cosechar;

CR: Coeficiente de recuperación; no toda la madera es aprovechable en las trozas y solamente un parte de estas es vendida como madera aserrada. Aguirre (1993) menciona un coeficiente de recuperacion ded 0.57 para aserraderos con sierras de banda en sur del estado de Nuevo León, el que se toma en el presente estudio;

P: Es el precio por metro cúbico de madera en rollo;

C: Son los costos de la cosecha, aserrar, transporte y comercialización por metro cúbico de madera en rollo;

r : Es la tasa de descuento anual continua, generalmente del 5% (véase Ricker y Daly 1998),

Edad_{opt}: Es la edad óptima de cosecha que alcanza el máximo valor presente neto.

Para realizar los cálculos, se introdujo la fórmula (25) y todas las variables en un programa computacional (EXCEL). Las variables P y C se estimaron en base a la encuesta aplicada al administrador del aserradero, la variable K en base a la encuesta y datos de la CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). Todos los valores son para el año 2001.

El cálculo del valor comercial se llevó a cabo para dos escenarios:

- 1) Extracción de madera sin reforestación, el actualmente empleado;
- 2) Establecer una plantación forestal en la que se dedicaría una hectárea de monocultivo para cada especie.

Para el modelaje del primer escenario se utilizaron los árboles con menor crecimiento por simular el crecimiento de árboles de rodales naturales. Para el modelaje de la plantación se tomaron los valores de los árboles de mayor crecimiento sin competencia.

Cuando un valor presente neto resulta negativo, es de interés calcular los “valores umbrales” para las variables involucradas. Éstos revelan los cambios necesarios en los parámetros para alcanzar un valor presente neto de por lo menos cero, y permiten discutir si son posibles realizar. Técnicamente, se despeja la fórmula $(Vol_{opt})(P^*(CR)-C)(e^{-r}(Edad_{opt})) - K > 0$ para las diferentes variables:

$$Vol_{opt} > K / [(P * CR - C)(e^{-r}(Edad_{opt}))] \quad [26.1]$$

$$P * CR - C > K / [Vol_{opt}(e^{-r}(Edad_{opt}))] \quad [26.2]$$

$$r < -\ln\{K / [Vol_{opt}(P * CR - C)]\} / Edad_{opt} \quad [26.3]$$

$$Edad_{opt} < -\ln\{K / [Vol_{opt}(P * CR - C)]\} / r \quad [26.4]$$

$$K < (Vol_{opt})(P * CR - C)(e^{-r}(Edad_{opt})) \quad [26.5]$$

$$CR > ((K / [Vol_{opt}(e^{-r}(Edad_{opt}))]) + C) / P \quad [26.6]$$

Además de los valores umbrales se calcularon las relaciones umbrales $(Vol_{umbral}/Vol_{calculado})$, $(P_{umbral}/P_{calculado})$, y $(K_{calculado}/K_{umbral})$. Las relaciones umbrales nos indican cuantas veces tiene que cambiar el parámetro analizado para que comience a ser redituable la actividad comercial.

Para despejar el precio por metro cúbico “P”, tuvo que ser despejada la diferencia $(P - C)$, considerando que el costo de cosecha, transporte y comercialización “C” permanezca constaste. En este caso se calcula primero la relación umbral x para $P * CR - C$, por que el precio se da después de aserrar.

$$\frac{P_{umbral} * CR - C}{P_{calc} * CR - C} = X$$

$$(P_{umbral} * CR - C) = (P_{calc} * CR - C) X$$

$$P_{umbral} = (((P_{calc} * CR - C) * X) + C) / CR \quad (27)$$

3. RESULTADOS

Se inventariaron un total de 20 árboles, 5 árboles de cada una de las 4 especies. Además se analizaron virutas de 4 árboles adicionales de *Pinus hartwegii*, dado que en esta especie resultó difícil el fechado-cruzado (posiblemente por la ausencia de anillos o la presencia de anillos falsos de crecimiento). Para los 20 árboles, además de sacar y analizar virutas del tronco, se tomaron mediciones de los troncos, y se anotaron observaciones acerca del sitio. Los datos tomados en campo se presentan en el Apéndice 1.

3.1. RESULTADOS DEL ESTUDIO DENDROCRONOLÓGICO

En las series de anillos de las especies *Pinus strobiformis* y *Abies vejari*, la amplitud de madera tardía es muy pequeña, en comparación con la de madera temprana. En contraste, en las especies *Pinus hartwegii* y *Pinus teocote* las amplitud es de la madera temprana y tardía son evidentes. Después de descartar virutas con anillos no-conspicuos, se analizaron un total de 33 virutas de 19 árboles de 4 especies, provenientes de un sitio de aproximadamente 10 hectáreas, en un rango de edad entre 41 y 116 años (Tabla 2).

Tabla 2. Datos generales sobre las virutas analizadas por especie.

Especie	Número de virutas	Rango en años de virutas
<i>Abies vejari</i>	10 virutas de 5 árboles	41 – 116 años
<i>Pinus hartwegii</i>	8 virutas de 5 árboles	61- 103 años
<i>Pinus strobiformis</i>	8 virutas de 5 árboles	76 -100 años
<i>Pinus teocote</i>	7 virutas de 4 árboles	89 – 106 años

Nota: Se eliminaron la viruta "este" de *Pinus strobiformis* #3, viruta "norte" de *Pinus strobiformis* #5, la viruta "este" de *Pinus hartwegii* #20, la viruta "este" de *Pinus hartwegii* #8, y la viruta "norte" de *Pinus teocote* #4, por no poderse fechar por ausencia de anillos o presencia de falsos anillos. Las dos virutas de *Pinus teocote* #2 fueron descartadas por no presentar anillos distinguibles.

COFECHA detecto algunas virutas con problemas de intercorrelación en las especies *Pinus strobiformis*, *Pinus hartwegii* y *Abies vejari*. Las virutas con problemas fueron eliminadas debido a que no se tuvo acceso al equipo de cómputo para volver hacer las mediciones correspondientes. Una vez eliminadas dichas virutas los coeficientes de intercorrelación proporcionados por COFECHA resultaron ser altos para tres de las cuatro especies: en el caso de *Pinus strobiformis* fue de 0.741, en el caso de *Pinus hartwegii* 0.543, y en el caso de *Abies vejari* 0.613. Estos valores nos aseguran que el fechado-cruzado

está correcto. *Pinus teocote* fue descartada del estudio dendrocronológico por tener una intercorrelación baja entre series (0.222), además de tener 23 segmentos (25 anillos) de series con problemas de fechado entre los 4 árboles.

Generalmente es deseable tener un valor de intercorrelación promedio superior a 0.50 para un buen fechado; pero el valor depende de la especie y de la localización geográfica con su clima regional. Por ejemplo, un coeficiente de intercorrelación entre series de 0.5 se considerarían alto para árboles del Sureste de EUA, pero moderado para árboles de *Pseudotsuga menziensis* en el Suroeste de EUA (Grissino-Mayer, 2001). Adicionalmente podemos asegurar el fechado con los valores proporcionados por ARSTAN (Tabla 4) ya que al irse incrementando el mal fechado de los anillos en el tiempo hacia atrás la varianza disminuye y la autocorrelación de primer orden se incrementa (Fritts y Swetnam, 1989).

De esta manera, quedaron 14 árboles para el análisis dendrocronológico posterior con el programa ARSTAN para la estandarización de las anchuras (Tabla 3). También se corrió COFECHA una vez más para obtener una serie compuesta entre los 14 árboles de las tres especies: en este caso hubo un total de 1985 anillos para 103 años (1898-2000), la intercorrelación resultó ser alta (0.627), y no se reportó ningún segmento con error. ARSTAN utiliza para la construcción de cronologías los mismos archivos MEASURE2.DTA, que el programa COFECHA.

Tabla 3. Datos generales sobre las virutas analizadas por especie en el programa ARSTAN.

Especie	Número de virutas	Rango en años de virutas
<i>Abies vejari</i>	8 de 4 árboles	41 – 98
<i>Pinus hartwegii</i>	8 de 5 árboles	61- 103
<i>Pinus strobiformis</i>	8 de 5 árboles	76 -100

Para el presente estudio resulta interesante saber la sensibilidad del crecimiento a la variación climática. Como fue explicado en los métodos, el programa ARSTAN estandariza las series de amplitud de anillos a series de índices de crecimiento, eliminando variación por diferencias de edad de los árboles, por irregularidad en la forma del tronco, y por diferencia de la tasa de crecimiento por factores de sitio y/o genético. El objetivo es analizar exclusivamente el efecto de variación climática.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos por ARSTAN. En lo siguiente se explican cada variable y su interpretación:

- 1) **Longitud.** Se refiere al periodo de tiempo en años que comprende la cronología. En dendrocronología es recomendable tener un periodo mínimo de 100 años.
- 2) **Intervalo común.** Se refiere al periodo de tiempo que concuerdan las cronologías de un número dado de árboles. ARSTAN calcula el intervalo común óptimo, conteniendo el valor máximo de datos en una matriz (Longitud del intervalo común por el número de series de anillos). Esto logra que se tenga el máximo número de años y el mayor número de virutas para tener la mayor representatividad al calcular la cronología.
- 3) **Sensibilidad.** Como se mencionó en el apartado de métodos es qué tanto responden los árboles a factores ambientales. Grissino-Mayer (2001) menciona como valores promedio de sensibilidad bajos en el rango de 0.10 – 0.19, valores intermedios entre 0.20 – 0.29, y como series sensitivas las de valores superiores a 0.30.
- 4) **Desviación estándar.** Al igual que la sensibilidad media es un indicador de qué tan sensibles son los árboles a los cambios ambientales. Son deseables valores altos en la desviación estándar, ya que indican series con índices altamente variables.
- 5) **Correlación entre árboles.** Este valor refleja el grado de asociación en dos series de tiempo, como las cronologías de diferentes árboles o diferentes sitios o entre una cronología y una secuencia climática. Los valores pueden ir desde un valor máximo de 1, significando una concordancia directa perfecta, y un valor mínimo de -1, significando una concordancia inversa perfecta. Si dos conjuntos de datos son completamente independientes o al azar con respecto uno del otro, la correlación toma un valor de 0.
- 6) **Autocorrelación.** La técnica de correlación estadística no sólo se utiliza para medir la asociación entre dos series de tiempo, sino también para medir la asociación entre dos conjuntos de datos desplazados en tiempo. Por ejemplo, la anchura de un anillo del año (t) puede ser correlacionada con el año anterior o siguiente ($t - 1$ o $t + 1$). La correlación nos dice qué tanto está influenciado el crecimiento del año posterior por el anterior. Después de la estandarización, los valores de autocorrelación deben ser cercanos a cero, ya que toda la persistencia dentro de cada serie ha sido removida por ARSTAN (ajuste de spline, modelaje auto regresivo).

- 7) **Proporción señal-ruido.** En la sección de métodos se mencionó que dependiendo del contexto del estudio, en una serie de anillos se llama señal a la información de interés y ruido a la irrelevante. Una vez llevada a cabo la estandarización, la varianza de los valores anuales de una cronología se considera resultado de dos tipos de influencias: La primera son los factores a gran escala (varianza común en todo el bosque o el sitio) que afectan al bosque en conjunto. La segunda son efectos a pequeña escala que actúan en árboles individuales o parte del árbol (error de la varianza), y que pueden deberse a diferencias de crecimiento de un lado del árbol o a diferencias de árbol a árbol dentro del mismo sitio (Fritts, 1976; Cook, 1987). Este "error" se considera como ruido (r), el cual diluye o perturba la expresión de la "señal" en una cronología de un sitio dado. Por ejemplo, coníferas en sitios semi-áridos comúnmente tienen cerca de 60% o más de varianza común entre árboles. Esto deja el 40% de la varianza como ruido, por lo que un árbol individual puede tener una proporción señal-ruido de 60/40, es decir, de 1.5.

En la tabla 4 podemos observar los valores arrojados por ARSTAN: la sensibilidad media es alta (.304 - .246) así como los de desviación estándar a pesar de que el sitio muestreado es méxico (cañada exposición norte con suelos profundos) en relación con todo el área de estudio. Estos valores son moderadamente complacientes si los comparamos con los obtenidos para cronologías del suroeste de los estados unidos que pueden llegar a valores de sensibilidad media de 0.6 - 0.8 (Rolland, 1993); los valores de autocorrelación (.32 - .18) muestran una pequeña influencia del crecimiento del año siguiente por el presente. La proporción señal ruido fue baja (1.6 - 7) debido a que se muestreó en un sitio no influenciado por factores ambientales limitantes (méxico) además de haber si reducido el número de árboles muestreados. Además ARSTAN calcula la proporción señal ruido del intervalo común, lo cual reduce más el número de muestras para la construcción de la cronología. Fritts y Swetnam (1989) mencionan que dependerá del propósito de la investigación dendrocronológica a realizar si es aceptable o no un valor de proporción señal ruido, y recomiendan para incrementar la proporción un aumento en el número de árboles a muestrear, fechar correctamente las muestras, y utilizar un método apropiado de estandarización al construir la cronología, esto reduce el error resultante de características no climáticas. En este trabajo las virutas fueron correctamente fechadas y el proceso de estandarización fue el adecuado, por lo que en sucesivos estudios dendrocronológicos para esta zona es recomendable buscar sitios con exposición hacia el sur (xéricos) con suelos delgados, además de incrementar el número

de la muestra (15 a 20 árboles). Hay que resaltar que los valores estadísticos básicos mostrados en la tabla 4 son los resultados de cronología estándar, siendo ligeramente mayores los valores para la cronología de residuales.

Tabla 4. Estadísticas de las cronologías de anillos de *Abies vejari*, *Pinus hartwegii* y *Pinus strobiformis* de las 3 especies en conjunto producidas por el programa ARSTAN.

Especie	<i>Abies vejari</i>	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus strobiformis</i>	Compuesta
Longitud total de Cronología	1903-2000	1898-2000	1901-2000	1898-2000
Intervalo común	1944-2000	1922-2000	1927-2000	1926-2000
Número de árboles	3	5	5	12
Número de virutas	6	7	8	19
Sensibilidad media	0.3044 (alta)	0.2496 (media)	0.2913 (media)	0.2499 (media)
Desviación estándar	0.3350 (alta)	0.3208 (alta)	0.3063 (alta)	0.3054 (alta)
Correlación entre radios	0.425 (alta)	0.301 (media)	0.613 (alta)	0.363 (media)
Autocorrelación de 1er orden	0.2651 (baja)	0.2502 (baja)	0.3237 (baja)	0.1855 (baja)
Proporción señal-ruido	1.634 (baja)	1.752 (baja)	7.060 (media)	6.310 (media)

Nota: La interpretación de los resultados se presenta del lado derecho de cada valor.

Las cronologías de las 3 especies y la compuesta en la Figura 5 muestran algunas depresiones sincrónicas en los índices de crecimiento, por ejemplo para los años 1909, 1929, 1933, 1955, 1971, y 1982. Así mismo se encontraron incrementos sincrónicos para las 3 especies en los años 1913, 1919, 1926, 1939, 1966, 1981, y 1997, esto nos demuestra la presencia de una señal macro-climática deseada en todo estudio dendrocronológico exploratorio.

En la Tabla 5 podemos ver los resultados arrojados por ARSTAN para los sitios de "El cerro del Potosí", "Rancho el Cielo" y "Río sabinas". Además, se muestran datos publicados por Huante (1991) para el estado de Michoacán y de Biondi (2001) para el Nevado de Colima. En la Figura 6 se muestra la correlación asignificativa entre la cronología compuesta con las cronologías del Cerro del Potosí ($0.693 - P \leq 0.01$), del Rancho el Cielo ($0.458 - P \leq 0.01$) y del Río Sabinas ($0.285 - P \leq 0.05$), todas ellas cercanas al ejido la "Encantada". Además es evidente la concordancia en las depresiones sincrónicas para los años 1929, 1933, 1955, 1971, y 1982. Tomando en consideración los anteriores resultados, podemos asignar un índice de fechado cruzado de 2 a las especies *Pinus strobiformis*, *Pinus hartwegii*, y *Abies vejari*. El índice de fechado cruzado es una forma simple de conocer el potencial dendrocronológico de cualquier especie, el valor de 2, significa una especie dendrocronológicamente importante por ser fechada, y correlacionarse positivamente con otros sitios.

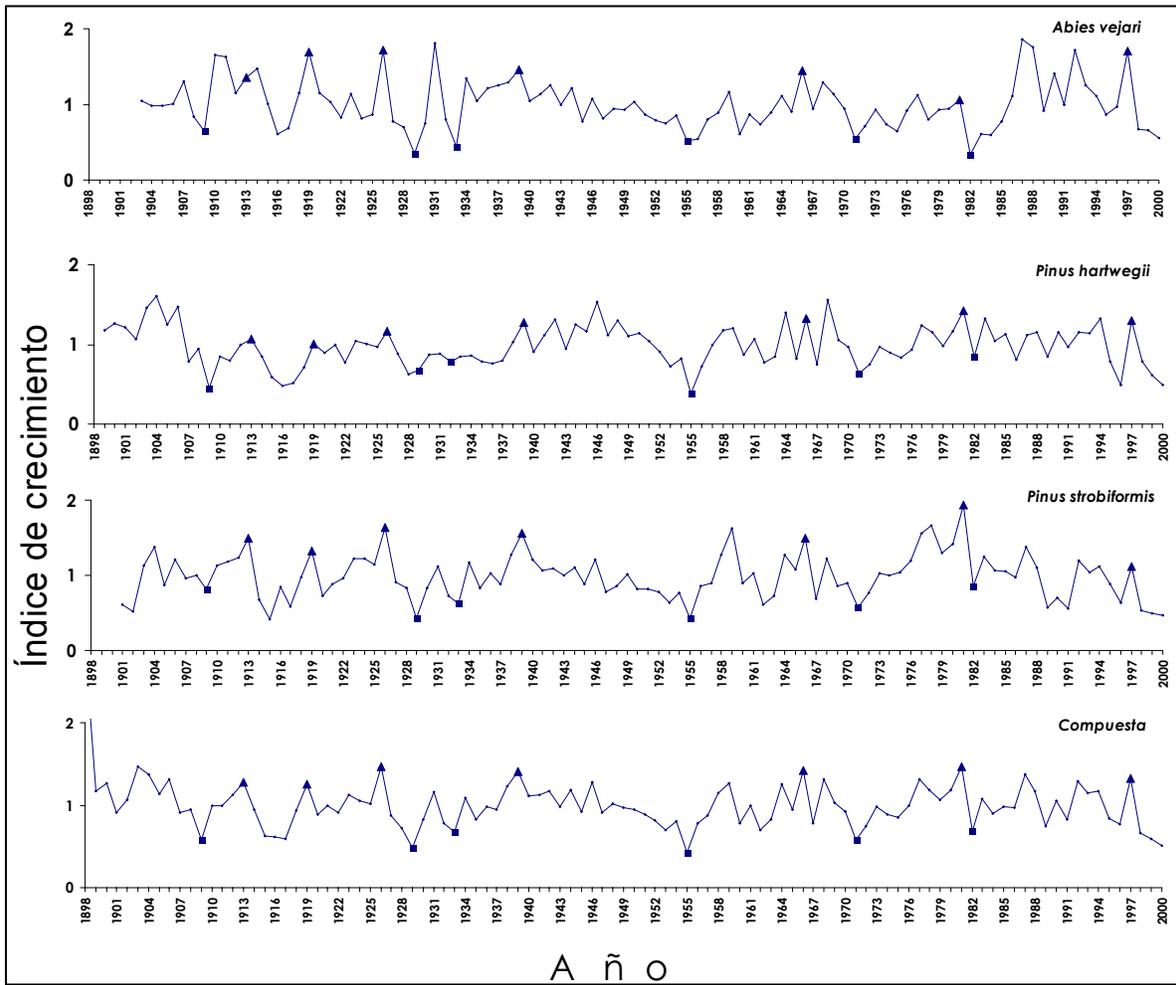


Figura 5. Cronologías estándar producidas por ARSTAN para cada una de las tres especies y la compuesta. Los cuadros en cada una significan años de disminución sincrónica y los triángulos de incrementos sincrónicos.

Tabla 5. Estadísticas de las cronologías estándar de anillos de diferentes sitios de la República Mexicana.

Localidad	Cerro del Potosí (Nuevo León) ¹	Reserva el Cielo (Tamaulipas) ²	Michoacán ³	Río Sabinas ⁴ (Tamaulipas)	Nevado de Colima ⁵
Especie	<i>Pseudotsuga menziensis</i>	<i>Pinus montezumae</i>	<i>Abies religiosa</i>	<i>Taxodium mucronatum</i>	<i>Pinus hartwegii</i>
Sensibilidad Media	0.38*	0.30*	0.15	0.27*	0.14*
Desviación Estándar	0.36*	0.29*	0.25	0.28*	0.20*
Correlación entre radios	0.45*	0.32*	0.55	0.19*	0.35*
Autocorrelación de 1er orden	0.22*	0.32*	0.62	0.25*	0.65*
Proporción señal-ruido	11.93*	4.30*	18.84	2.70*	12.71*

* Valores calculados con ARSTAN a partir de los datos de mediciones fechadas disponibles en el Internacional Tree-Ring Data Bank. ¹Stahle et al., 1995a. ²Stahle et al., 1995b. ³Huante et al., 1991 ⁴Stahle et al., 1995d ⁵Biondi, 1997; Biondi, 2001.

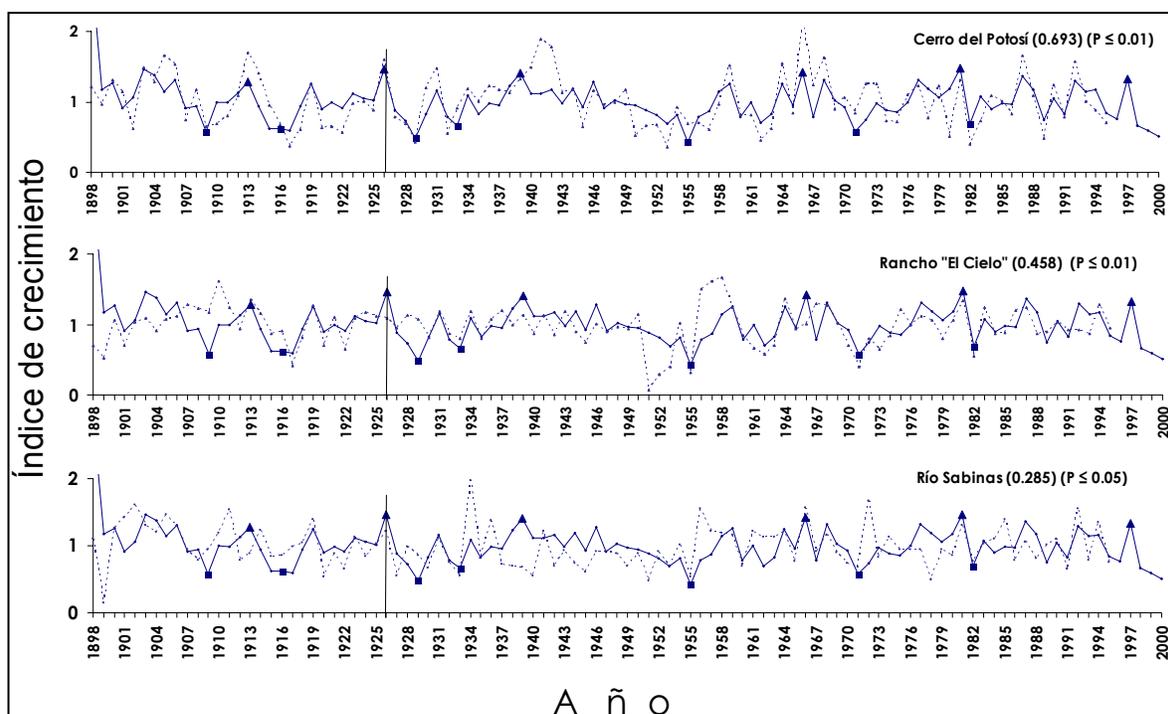


Figura 6. Comparación de cronologías para cada uno de tres sitios cercanos al ejido "La Encantada". La línea en 1926 significa el comienzo del intervalo común del análisis de correlación. Se toma el intervalo común por tener el mayor número de árboles (en este caso 12). En la parte superior derecha de cada cronología tenemos el nombre y el valor de la correlación para cada sitio. Con línea continua se muestra la cronología compuesta y con línea punteada el sitio con la que se compara.

Análisis de varianza

Para el estudio comparativo del crecimiento fueron utilizados solamente 15 árboles (ambas virutas), eliminando los que contaban con una sola viruta. De esta manera resultó un total de 10 virutas de *Abies vejari*, 8 de *Pinus hartwegii*, 6 de *Pinus strobiformis*, y 6 de *Pinus teocote*. La comparación del crecimiento entre los 15 árboles, se realizó con un análisis de varianza en el programa SYSTAT 10. La variable dependiente (a explicar) fue el "incremento anual promedio" del radio del tronco, y las variables independientes "árbol" y "año del anillo". El periodo a analizar fue un intervalo común entre todas las virutas del año 1960 al 2000. La Tabla 6 muestra los resultados del análisis, en donde encontramos que existe una diferencia altamente significativa entre árboles, entre años, y en la interacción entre árboles y años.

Tabla 6. Resultados del Análisis de Varianza.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Valor de F	Probabilidad	Significancia estadística
Árbol	1070.7	14	119.69	< 0.001	Alta
Año del anillo	359.0	40	14.05	< 0.001	Alta
Árbol x Año del anillo	931.0	560	2.60	< 0.001	Alta
Error	393.0	615			

Como se puede apreciar en la Figura 7, los tres primeros árboles de la especie *Pinus strobiformis* tienen una tendencia de crecimiento mayor que el resto de las especies, siendo él árbol 1 el de mayor crecimiento dentro de la especie con un incremento anual promedio de 4.3 mm. Así mismo podemos observar un segundo grupo, de crecimiento menor, en las especies *Pinus hartwegii* y *Pinus teocote*, encontrando en el árbol 6 de esta última especie el menor incremento medio anual de todas las especies (1.0 mm). En la especie *Abies vejari* encontramos una variación muy amplia con un rango que va desde valores mínimos de 1.3 hasta 4.0 mm.

AHUSAMIENTO DE LOS TRONCOS Y CÁLCULO DE LOS VOLUMENES

Primero se llevó a cabo la regresión no-lineal para determinar los coeficientes de la ecuación 11. Los cinco coeficientes de regresión para cada una de las especies se presentan en la Tabla 7, y en la Figura 8 podemos apreciar los perfiles fustales distinguibles para cada una de las especies. En la Tabla 8 se muestran los resultados de las medidas de sesgo y exactitud de la función polinomial de quinto grado para el tronco completo de las 4 especies estudiadas. Todo los coeficientes de determinación (R^2) son altos (por lo

menos 0.90).

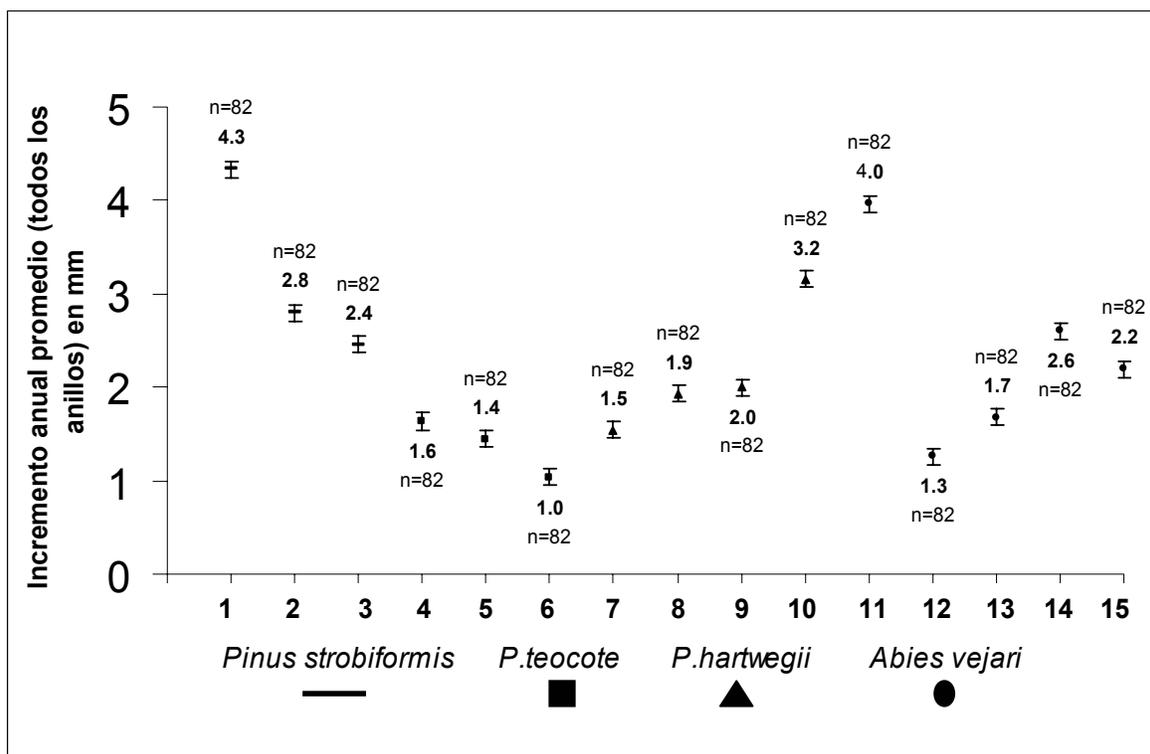


Figura 7. Incrementos promedio y error estándar por árbol obtenidos en el análisis de varianza para las 4 especies (n = número de anillos medidos por árbol).

Tabla 7. Coeficientes de la regresión no-lineal para la función de ahusamiento de quinto grado (Ecuación 11).

	B1	B2	B3	B4	B5
<i>Abies vejari</i>	-5.023	20.878	-42.573	38.820	-13.344
<i>Pinus hartwegii</i>	-2.829	6.590	-3.298	-6.752	5.080
<i>Pinus strobiformis</i>	-3.609	15.068	-35.506	36.569	-13.753
<i>Pinus teocote</i>	-4.120	14.335	-23.482	15.877	-3.855

Las especies *Pinus teocote* y *Pinus hartwegii* fueron las que mostraron mayores valores en el coeficiente de determinación (R^2), y los menores en los estadísticos de residuales (E , $|\bar{E}|$, S_D y REMC). *Pinus strobiformis* y *Abies vejari* tuvieron valores aceptables ligeramente menores en ajuste (R^2) y mayores en sesgo (E , $|\bar{E}|$, S_D y REMC). En las Figuras 9 y 10 podemos observar el desempeño de la función ajustada por especie a lo largo del tronco, a intervalos de 10%. Los valores llegan hasta el 80%, debido a que las mediciones se realizaron en árboles en pie, donde no se llega hasta la punta.

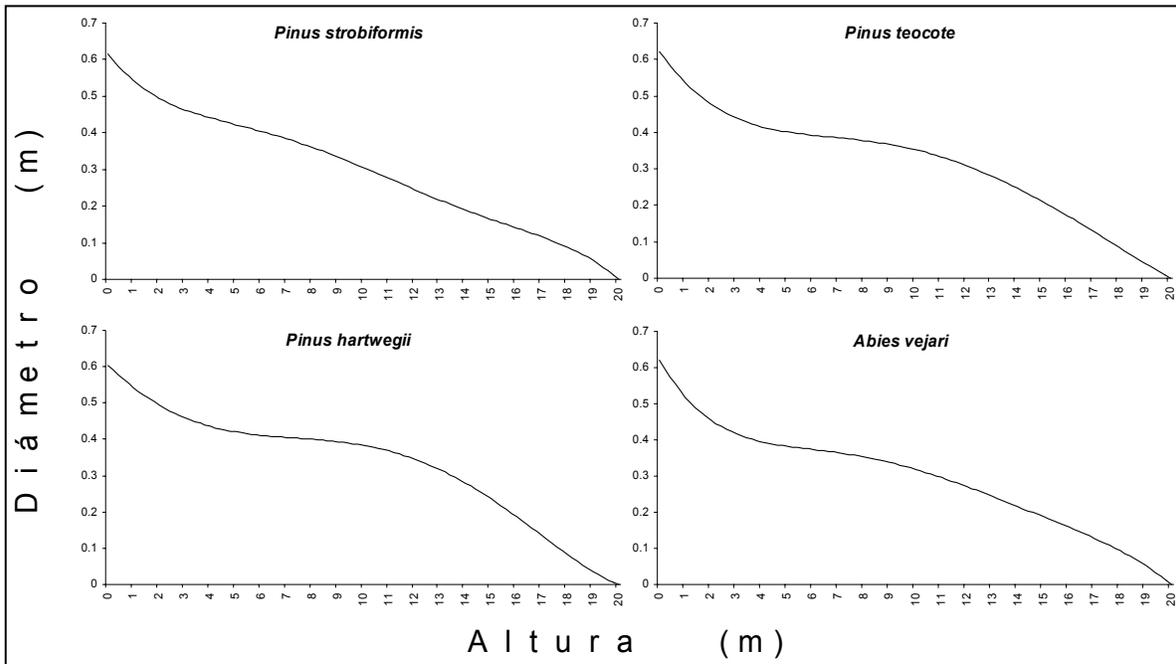


Figura 8. Perfiles fustales de las cuatro especies calculados con la función polinomial de quinto grado (Ecuación 12).

Tabla 8. Estadísticas de ajuste de las cuatro especies para el tronco completo con la función polinomial de quinto grado.

	<i>Abies vejari</i>	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus strobiformis</i>	<i>Pinus teocote</i>
Coefficiente de determinación (R^2)	0.95 (alto)	0.97 (alto)	0.92 (alto)	0.96 (alto)
Sesgo (E)	0.0057 (bajo)	0.0003 (bajo)	0.0039 (bajo)	0.0002 (bajo)
Media de los valores absolutos de los residuos (\bar{E})	0.0219 (bajo)	0.0201 (bajo)	0.0308 (bajo)	0.0150 (bajo)
Desviación estándar de los residuos (S_D)	0.0249 (bajo)	0.0256 (bajo)	0.0406 (bajo)	0.0195 (bajo)
Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC)	0.0254 (bajo)	0.0545 (bajo)	0.040 (bajo)	0.0194 (bajo)

Nota: La interpretación de los resultados se presenta del lado derecho de cada valor.

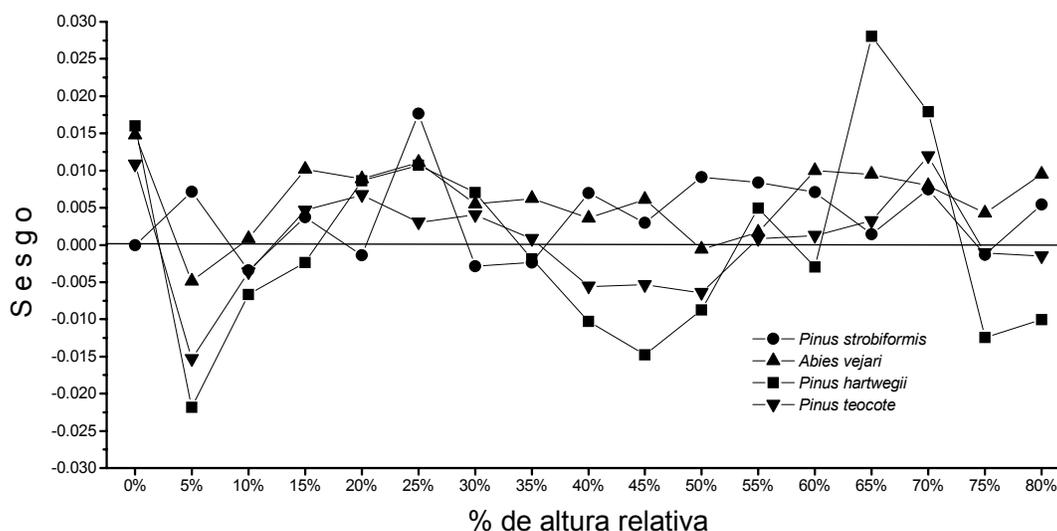


Figura 9. Tendencia del sesgo (E) a lo largo del tronco a intervalos de altura relativa de 10%, comparando los resultados de la ecuación 11 con los valores medidos del diámetro. Los signos negativos significan sobreestimaciones y los positivos subestimaciones.

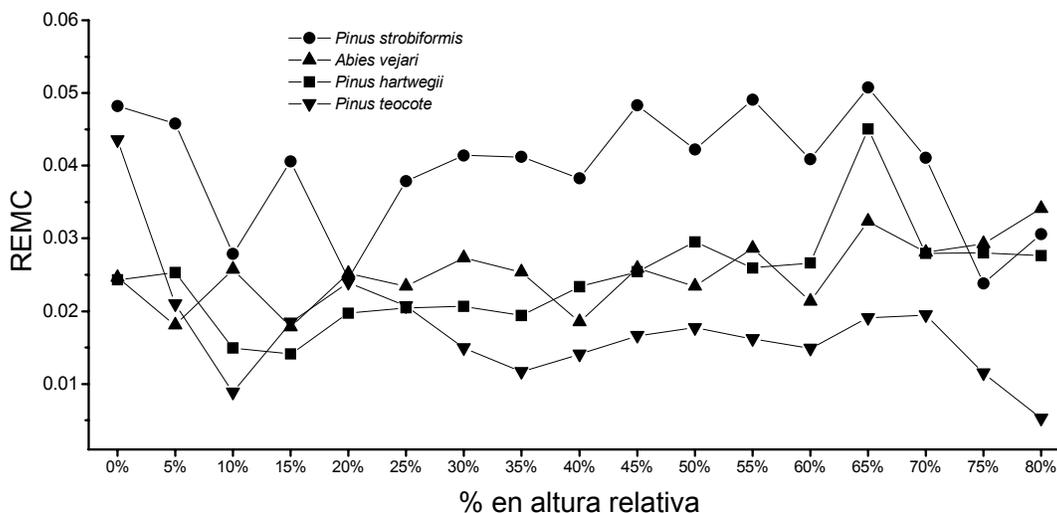


Figura 10. Tendencia de la Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMCM) a lo largo del tronco para intervalos de altura relativa de un 10%. Esta gráfica muestra la exactitud con que predice la función polinomial de quinto grado (Ecuación 12), el diámetro a determinada altura para cada especie.

Las especies para las cuales funciona mejor la función polinomial de quinto grado son *Abies vejari* y *Pinus teocote*. Ambas tienen ligeras sobreestimaciones y subestimaciones

a lo largo del tronco, habiendo en la segunda un sesgo pronunciado en la base del árbol (Figura 9). La especie *Pinus hartwegii* y *Pinus strobiformis* tuvieron un comportamiento deficiente, la primera por presentar la mayor sobrestimación de los cuatro modelos (40% al 50% del fuste) y subestimación (65% y 70%) al final, y la segunda por tener los más altos valores de raíz cuadrada del error medio (Figura 10). La raíz cuadrada del error medio es sensible a valores extremos en los residuales (Prodan, *et al.*, 1997). En general, la función ajustada en el presente trabajo tiende a subestimar los valores a lo largo del fuste (Figura 9), a excepción de las sobrestimaciones de *Pinus hartwegii* y *Pinus teocote* en la base y parte media del tronco (40 a 55 por ciento).

Es bien conocido que las funciones polinomiales simples no estiman los diámetros de forma muy precisa en la zona próxima a la base del árbol (Castedo y Álvarez, 2000), lo cual concuerda con los resultados obtenidos para el ajuste de la función polinomial de quinto grado (Fig. 9 y 10), pero estos modelos presentan la ventaja de ser lineales y por lo tanto sencillos de ajustar y sobretodo de integrar permitiendo obtener tarifas de cubicación con clasificación de productos (Prodan, *et al.*, 1997). Existen antecedentes contrastantes al respecto, por un lado tenemos el estudio como el de Castedo y Álvarez (2000) en donde se evalúan 17 diferentes tipos de funciones de ahusamiento para la especie *Pinus taeda* en la región de Galicia en España, en él se determina como funciones deficientes a las polinómicas simples y las potenciales, y como las de mejor desempeño las de exponente variable, exponenciales y trigonométricas. Pero por otro lado tenemos el trabajo de Figueiredo-Filho *et al.* (1996) en plantaciones de la misma especie en Brasil, en donde se obtienen muy buenos resultados con la función polinomial de quinto grado ($R^2=.9852$, $E = 0.35$, $D_s = .9642$). Los valores de ajuste del anterior trabajo son similares a los presentados en la Tabla 8 pero los de sesgo y desviación estándar de los residuos son mucho mayores. Esto es de esperarse ya que el número de muestra de ese estudio es de 537 árboles y en el presente fue de solamente 5 árboles por especie en un solo sitio; por lo general el sesgo y la desviación tienden a incrementarse con el número de muestra (debido a diferencia en sitios y edad-clase). El objetivo principal de esta investigación no es la construcción de un modelo fustal perfecto, el ajuste de la función es solamente una herramienta para el cálculo del volumen de árbol en pie, pero si ese fuera el objetivo sería necesario tener una muestra cercana a los 500 árboles y los datos deberían proporcionar el máximo de condiciones de tipos forestales y estructuras, edades, sitios, y clases de manejo del bosque (Prodan, *et al.*, 1997). Aun con la simplicidad de la fórmula polinomial y la limitante en el muestreo, las estimaciones de ésta son aceptables

para la derivación de la fórmula para el cálculo del volumen.

Posteriormente se calcularon los volúmenes de tres formas distintas; sin embargo, nótese que solamente la tercera servirá en el próximo apartado para proyectar el crecimiento del volumen en función (únicamente) del diámetro:

- 1) Se pueden calcular los segmentos uno por uno, tales como fueron medidos en forma de conos truncados, y tomar su suma para cada árbol. Se usan solamente las mediciones de campo con cinta métrica.
- 2) Se pueden usar las fórmulas 16-19 para calcular el volumen de cada árbol y especie del diámetro (a la altura del pecho) y la altura total. Se usan las funciones de ahusamiento del tronco.
- 3) Se pueden usar las fórmulas 21-24 para calcular el volumen de cada árbol en función de la especie y del diámetro. Se usan las funciones de ahusamiento del tronco, y las relaciones alométricas.

El primer método es el más exacto; entonces, en la Tabla 9 y la Figura 11 se comparan los otros dos métodos con el primero. Se aplicó la fórmula 20 que calcula un índice de ajuste. El tercer método para calcular el volumen con la relación alométrica predijo de una forma satisfactoria el volumen para las especies *Pinus strobiformis* y *Pinus teocote*, seguido con un valor menor por *Pinus hartwegii*. En contraste, *Abies vejari* tuvo un ajuste poco satisfactorio por tener índice de ajuste negativo. Este valor se debe a un árbol que creció amplio y bajo (sin competencia), en lugar de delgado y alto. Por lo tanto, la proyección del crecimiento en función de la edad para esta especie es menos exacta, ya que incluye una variación más amplia de situaciones de crecimiento.

Una vez derivadas las fórmulas para calcular el volumen en función del diámetro para cada especie, se calculó el Incremento Medio Anual (IMA) del volumen para todas las especies, dividiendo el volumen obtenido (con el método de la fórmula en función de diámetro y altura), entre la edad del árbol (derivada con la herramienta de la dendrocronología).

Tabla 9. Comparación entre tres métodos para calcular el volumen (m³) del trono.

Especie	Promedio por segmentos	Promedio por ahusamiento	Promedio por ahusamiento y relación	Índice de Ajuste ⁽¹⁾	Índice de Ajuste ⁽²⁾
<i>Abies vejari</i>	1.03	1.02	1.18	0.97	-0.75
<i>Pinus hartwegii</i>	2.09	2.08	2.31	1	0.50
<i>Pinus strobiformis</i>	1.83	1.83	1.84	0.90	0.70
<i>Pinus teocote</i>	1.16	1.16	1.17	0.99	0.91

⁽¹⁾ Comparando los volúmenes calculados de la forma de conos truncados y la función de ahusamiento.

⁽²⁾ Comparando los volúmenes calculados de la forma de conos truncados y la relación alométrica.

En la Tabla 10 podemos observar todos los Incrementos Medios Anuales, a excepción de los 4 árboles descartados de la especie *Pinus hartwegii* (#1, #2, #4, #5) en los que no se pudo determinar la edad. Se seleccionaron los siguientes árboles con mayor y menor IMA respectivamente por especie, para posteriormente derivar las curvas de crecimiento y llevar a cabo el análisis de costo-beneficio:

- *Pinus strobiformis* #1 con 0.030 m³/año y #5 con 0.013 m³/año;
- *Pinus teocote* #3 con 0.015 m³/año y #5 con 0.008 m³/año;
- *Pinus hartwegii* #3 con 0.030 m³/año y #6 con 0.014 m³/año; y
- *Abies vejari* #1 con 0.034 m³/año y #3 con 0.005 m³/año.

La fórmula para calcular el volumen en función del diámetro y altura predijo el volumen de forma satisfactoria (Fig. 11) con índices de ajuste con rangos de .9 a 99. Tomando en consideración las medias de volumen presentadas en la tabla 9, podemos apreciar que la fórmula tiende a subestimar los valores de volumen al compararlos con la forma de conos truncados, siendo mayores las discrepancias en los árboles de mayor tamaño (árbol 1 de *Pinus strobiformis*, 3 de *Pinus teocote*, 2 de *Pinus hartwegii*, y 4 de *Abies vejari*, Tabla 10), estas mismas discrepancias fueron encontradas por Tiarks y Clark (1999) en la especie *Pinus taeda* en el estado de Texas y Louisiana en los Estados Unidos.

Como se puede apreciar en la Figura 11, la fórmula para calcular volumen en función del diámetro obtenida a partir de la relación alométrica, tuvo un desempeño satisfactorio para la especie *Pinus teocote* (IA=.91) y en menor medida para *Pinus strobiformis* (IA=.70) y *Pinus hartwegii* (IA=.50). Siendo deficiente el desempeño para la especie *Abies vejari* por obtenerse valores negativos en el índice de ajuste (-.75). Si tomamos en cuenta la Tabla 10, la fórmula en función del diámetro tiende a sobrestimar los valores de volumen a diferencia de la fórmula en función de diámetro y altura que los subestima. Pero esto no es del todo correcto, la tabla 10 muestra que 13 de los 20 valores de volumen tienden a ser subestimados al compararse con el valor obtenido con la forma

de conos truncados. Estas desviaciones tan grandes se deben valores atípicos "outliers" causados por los mismos árboles grandes que muestran discrepancias en la fórmula en función de diámetro y altura (árbol 1 de *Pinus strobiformis*, 3 de *Pinus teocote*, 2 de *Pinus hartwegii*, y 4 de *Abies vejari*, Tabla 10). Lo anterior se corroboró, ya que al ser eliminados dichos árboles del cálculo de índice de ajuste este se mejoró notablemente, por ejemplo el valor negativo de *Abies vejari* se modificó a un valor positivo de .79, y los valores de las demás especies se incrementaron considerablemente .99 para *Pinus teocote* y *Pinus hartwegii* y .91 para *Pinus strobiformis*.

En el presente trabajo se realizó una estimación aproximada de la productividad del bosque por hectárea para el ejido "La encantada", la cual resultó ser de 4.6 metros cúbicos. En esta estimación se tomaron los valores promedio de los incrementos medios anuales de volumen de los árboles de menor crecimiento de cada especie (según el análisis de varianza), los cuales simulan el crecimiento del bosque natural en donde encontramos a los árboles con competencia, resultando un valor de 0.0115 metros cúbicos anuales por árbol (véase Tabla 10 y Figura 7). Multiplicando este valor por una densidad de 400 árboles por hectárea (valor aproximado de área de copa de 25 m², $10,000 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2 = 400$). Si multiplicamos la productividad por hectárea (4.6 m³/ha) por área total sujeta a manejo, aproximada en este caso 10,000 hectáreas, obtenemos una producción total aproximada de madera de 46,000 metros cúbicos anuales.

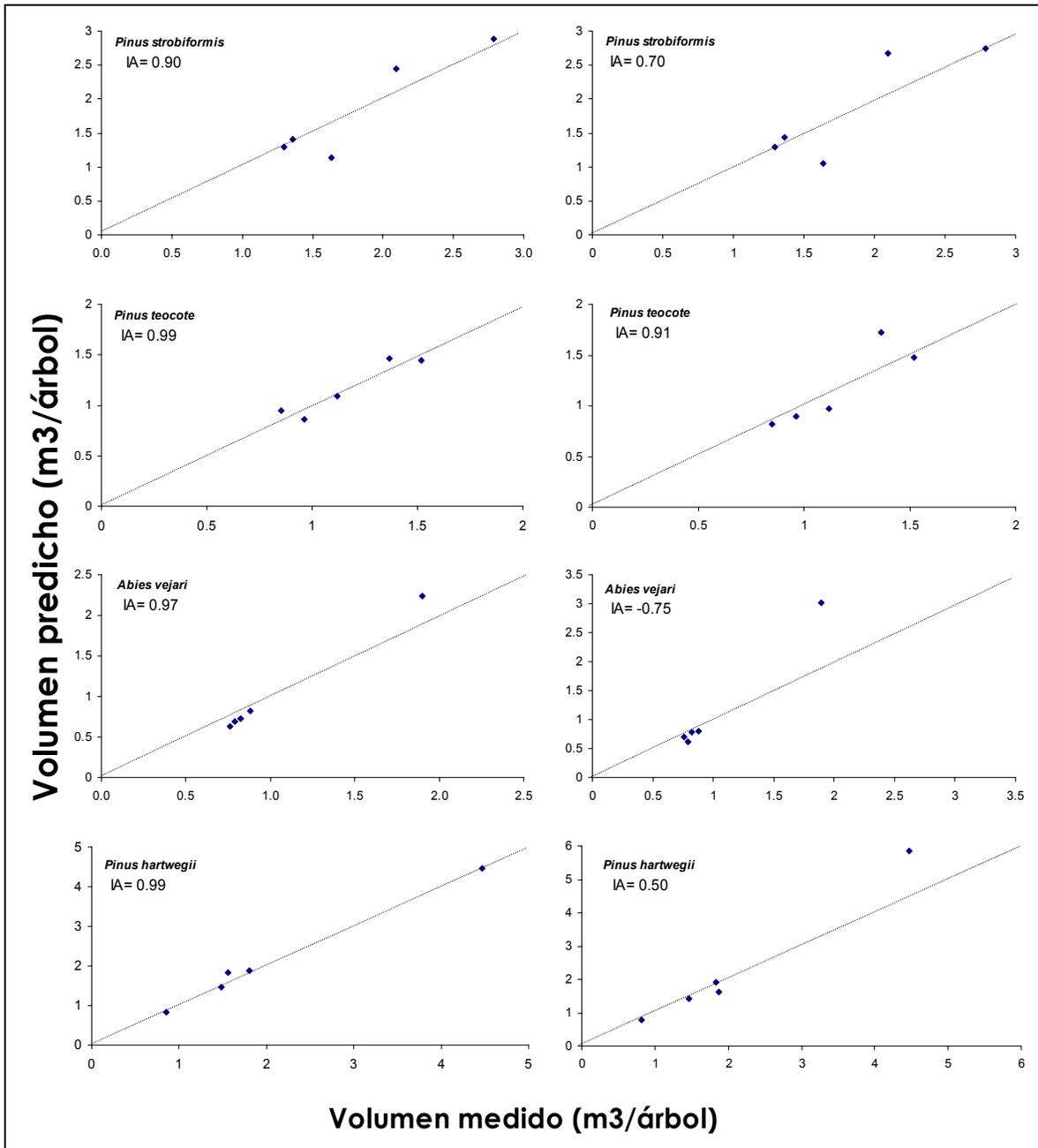


Figura 11. Índice de ajuste del cálculo de volumen por especie. De lado izquierdo se muestra la comparación entre el volumen medido por segmentos y el volumen en función de diámetro y altura. De lado derecho es la comparación entre el volumen medido por segmentos y el volumen en función de solamente el diámetro.

Tabla 10. Tabla de volúmenes de los árboles por especie.

Árbol	EDAD (años)	Diámetro (m)	Altura (m)	Vol. Segm. (m ³)	Vol.Func (m ³)	Vol.Alom (m ³)	IMA (m ³)
VEJ1	46	0.34	21	0.88	0.82	0.81	0.017 (máx)
VEJ2	89	0.30	22	0.79	0.70	0.62	0.007
VEJ3	116	0.32	18	0.76	0.63	0.70	0.005 (min)
VEJ4	65	0.58	20	1.90	2.25	3.02	0.034
VEJ5	83	0.34	19	0.82	0.73	0.79	0.008
HAR1	-	0.47	17	1.83	1.60	1.92	-
HAR2	-	0.74	20	4.47	4.59	5.84	-
HAR3	61	0.44	22.5	1.87	1.85	1.62	0.030 (máx)
HAR4	-	0.33	19	0.82	0.88	0.79	-
HAR5	-	0.42	20.5	1.46	1.52	1.42	-
HAR6	99	0.40	21	+	1.44	1.29	0.014 (mín)
HAR8	81	0.44	20	+	1.67	1.65	0.020
HAR20	98	0.51	20.5	+	2.23	2.29	0.022
HAR21	99	0.51	19.5	+	2.17	2.37	0.021
STR1	79	0.60	19	2.10	2.45	2.67	0.030 (máx)
STR2	96	0.61	22	2.79	2.89	2.75	0.030
STR3	98	0.47	18	1.36	1.41	1.43	0.014
STR4	83	0.45	18	1.29	1.29	1.29	0.015
STR5	84	0.41	18.5	1.63	1.13	1.06	0.013 (min)
TEO1	101	0.45	19	1.52	1.42	1.48	0.014
TEO2	-	0.38	20	1.12	1.07	0.97	-
TEO3	92	0.48	17	1.37	1.43	1.72	0.015 (máx)
TEO4	90	0.36	17	0.96	0.85	0.89	0.009
TEO5	105	0.35	20	0.85	0.93	0.82	0.008 (min)

- Árboles que no se determinó la edad por no realizarse el fechado cruzado

+ Árboles utilizados para mediciones de incremento radial, en ellos no se calculó volumen por segmentos debido a que no se tomaron medidas de perímetros parciales a lo largo del tronco.

VEJ= *Abies vejari*, HAR= *Pinus hartwegii*, STR= *Pinus strobiformis*, TEO= *Pinus teocote*, Vol. Segm= Volumen calculado de la forma de conos truncados, Vol. Func= Volumen calculado con la fórmula en función del diámetro y altura, Vol. Alom= Volumen calculado con la fórmula en función solamente del diámetro.

CURVAS DE CRECIMIENTO

Con los valores de los incrementos diametrales de los troncos derivados en la sección de la dendrocronología (véase los datos en Apéndice 3) se derivaron primero las curvas de crecimiento del diámetro para los árboles con mayor y menor crecimiento (Figura 12). Con éstas curvas y utilizando las fórmulas 21-24 (relación entre diámetro x volumen) se obtuvieron las curvas de crecimiento del volumen en función de la edad para cada especie (Figura 13).

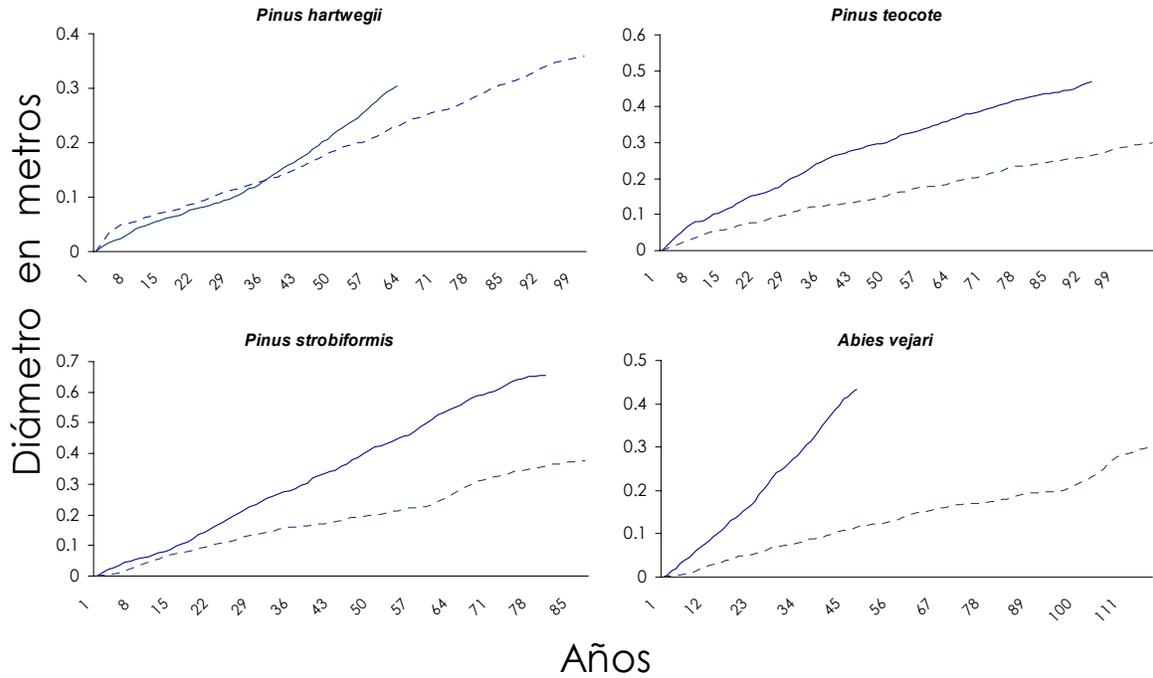


Figura 12. Curvas de diámetro en función de la edad obtenidas con el diámetro acumulado. La línea continua son los árboles de mayor crecimiento de cada especie (sin competencia) y punteada los árboles de más lento crecimiento (con competencia).

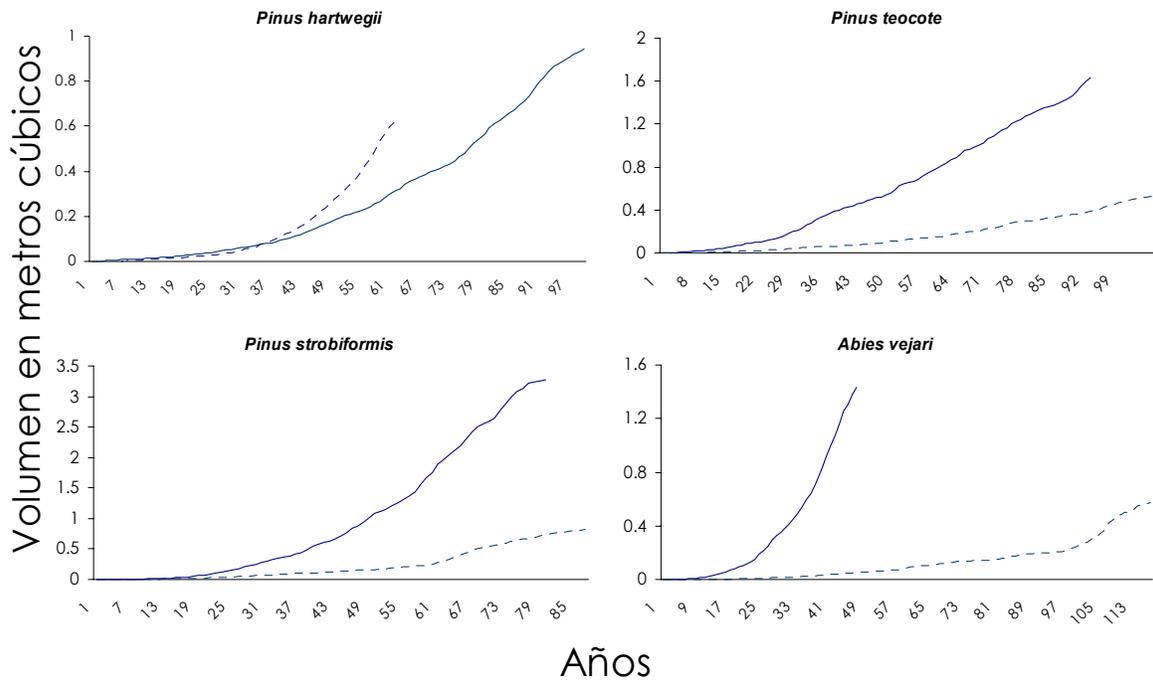


Figura 13. Curvas de volumen en función de la edad para los árboles de mayor crecimiento de cada especie (sin competencia), en línea continua y los árboles de menor crecimiento (con competencia), en línea punteada.

3.8. EL VALOR COMERCIAL DEL SISTEMA EXTRACTIVO ACTUAL

En la actualidad la gente de Ejido La Encantada aprovecha el bosque natural existente sin sembrar nuevos árboles o vigilar la regeneración natural. En este sistema podemos calcular la utilidad neta de talar, aserrar, y vender la madera. Las variables y los datos relevantes - obtenidos en encuestas en el ejido y por una delegación de la Comisión Nacional Forestal en Puebla (CONAFOR) en 2001 (costos de producción por plántula) - son las siguientes:

- a) **Vol en m³:** Volumen (véase apartado anterior).
- b) **P en MxP\$/m³:** El precio que se paga por metro cúbico aserrado en la ciudad de Monterrey o Matehuala, es de MxP\$ 1695.1. Se cálculo ese valor al multiplicar el precio por pie-tabla (4.00 pesos) por la cantidad de pies-tabla por metro cúbico (423.776). Para calcular el precio de un metro cúbico no-aserrado, se tiene que multiplicar por el coeficiente de recuperación (0.57) lo que resulta en MxP\$ 966.21.
- c) **C en MxP\$/m³:** El costo por talar, aserrar, transportar, y vender un metro cúbico de madera en pie para los ejidatarios de La Encanta es de MxP\$ 508.50. Se hace a continuación un desglose:
 - MxP\$ 10.50 por metro cúbico por el costo del permiso de aprovechamiento forestal (MxP\$ 126,000 por 12,000 m³),
 - MxP\$ 85 por metro cúbico por la transportación de madera cortada al aserradero (MxP\$ 850 por camión con capacidad de 10 metros cúbicos),
 - MxP\$ 254.26 por metro cúbico por costo de transporte de madera aserrada del ejido al sitio de venta (0.6 por pie-tabla a la ciudad de Monterrey, Nuevo León con un camión con capacidad de 15,000 pies- tabla),
 - MxP\$ 230 por aserrar un metro cúbico. El asierre incluye el costo del personal que labora en el aserradero (1,900 pesos diarios x 24 personas con sueldos variables de 60-120 pesos), los costos de luz, y mantenimiento de maquinaria (MxP\$ 400 diarios, trabajando 20 días a la semana, teniendo una producción de 3,500 pies-tabla diarios) todo esto multiplicado por el coeficiente de recuperación (0.57), ya que se quieren los costos de 1 metro cúbico de madera aserrada. El calculo sería de la siguiente forma $(423.78 \cdot 0.57 \cdot (1900 + 400) / 3500)$.
 - Y un costo adicional de MxP\$ 38.92, si quisiéramos incluir los costos de reforestación en base a la cantidad de metros cúbico autorizados en el permiso de aprovechamiento forestal (7 plantas/m³), si se le otorgó al ejido un permiso de 12,000 metros cúbicos se tendrían que reforestar 84,000 plántulas. El costo total por

plántula es de MxP\$ 5.56: la plántula es comprada en Galeana a un precio de MxP\$ 3.00, se cobra MxP\$ 1.00 por traslado de plántula de Galeana al ejido, MxP\$ 1 por el plantar una plántula, MxP\$ 0.34 por manejo del vivero (120 pesos diarios por el trabajo de 4 mujeres x 4 horas/día, por 240 días de trabajo entre 84,000 plántulas). Finalmente, hay que gastar MxP\$ 0.22 por plántula por el costo del transporte de plántulas del ejido al sitio de reforestación (MxP\$ 500.00 por camión con capacidad de 4000 plántulas) y carga-descarga de plántulas (MxP\$ 200.00 por cargar camión y MxP\$ 200.00 por descarga camión con 4,000 plántulas) en el sitio de reforestación.

VALOR COMERCIAL DE UN SISTEMA DE PLANTACIÓN

Ahora considero hipotéticamente el escenario de establecer plantaciones de árboles las cuales se aprovecharán en el futuro. Será redituable?

Para este escenario hay que calcular el valor presente neto, ya que involucra un largo lapso de espera hasta que sean aprovechables; ésto en torno involucra tres variables adicionales:

- d) **r**: La tasa de descuento anual es la tasa de rendimiento alternativo que un inversionista podría obtener en otros proyectos en el mercado. También se le puede considerar el "costo del tiempo". Datos internacionales indican que un buen valor promedio a largo plazo es de 5% ó 0.05 (Ricker y Daly, 1998).
- e) **Edad_{opt} en años**: Esto es la edad en que el árbol llega a crecer a una tasa igual o menor a la tasa de descuento. Esta optimización considera el punto de vista de un inversionista que quiere maximizar el valor comercial.
- f) **K en Mex\$/árbol**: El valor presente del costo de siembra y manejo. En este escenario hipotético el valor para la variable K es de MxP\$ 79.56 esta basado en una plantación hipotética de aproximadamente 400 hectáreas (100 hectáreas por especie) en el ejido "La encantada". En el escenario se establece una plantación de cada una de las cuatro especies en una hectárea para dar un total de 4 hectáreas, el 1% de la extensión total a reforestar.

Para iniciar el proceso de manejo forestal de la zona, se establece un vivero con plántulas de las 4 especies a utilizar. Partiendo de que cada árbol al ser cosechado debe tener un espacio de 25 metros cuadrados, la densidad al momento de cosechar debe ser de 400 árboles por hectárea ($10,000 \text{ m}^2 / 25 \text{ m}^2 = 400$). Para obtener esta

cantidad de árboles, tomando en consideración una eliminación del 96 por ciento debido a los aclareos anuales y una mortalidad natural alta con una época de lluvias de tan sólo 4 meses (Junio – Octubre), deberíamos plantar 10,000 plántulas (1 plántula por metro cuadrado). Por lo anterior se requiere sembrar 25 plántulas para poder obtener 1 árbol a la edad cosechable. El sistema de aclareo permite seleccionar los árboles más fuertes, con troncos rectos y de buen crecimiento. Los 79.56 MxP\$ de la variable K se desglosan de la siguiente forma en base a los datos proporcionados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) delegación Puebla:

- El costo de producción por plántula es de 1 MxP\$. Supongamos que se producen las plántulas en el ejido la "Encanatada", una persona necesitaría aproximadamente 10 minutos para llevar la plántula al sitio, hacer la cepa, quitar la bolsa, meter la plántula y cubrir las raíces con suelo.
- Para 10,000 plántulas en una hectárea serían 1666.6 horas de trabajo si las dividimos por 20 trabajadores resultarían 83.3 horas.
- Siendo el costo por hora de 11.25 MxP\$ (90 MxP\$ por 8 horas) tendríamos un costo de 18,750 MxP\$ para las 10,000 plántulas, o 1.88 MxP\$ por plántula.
- El costo total por plántula es por lo tanto de 2.88 MxP\$, este valor se multiplica por 25, ya que cada 25 plántulas proporcionan un árbol a la edad óptima, como resultado de la mortalidad y el aclareo periódico.
- Entonces el costo por siembra y transplante por árbol aprovechable es de 72 MxP\$. Hay que considerar un costo adicional el del aclareo y eliminación de árboles con forma irregular.
- Tomando en consideración que una hectárea con 10,000 plántulas sería limpiada y mantenida en siete días, cada dos meses (6 veces al año), el costo sería de 75,600 MxP\$ (90 MxP\$ x 7 días X 20 personas X 6 veces) para las 10,000 plántulas o 7.56 MxP\$ por plántula.
- Sumando este costo al de de siembra y transplante de árbol aprovechable de 72 MxP\$ obtenemos el valor de la variable K de 79.56 MxP\$.

En la Tabla 11 se muestran los resultados del análisis económico del escenario de una plantación, separado para cada especie. En la primera fila tenemos la edad óptima en años. En la siguiente fila tenemos el volumen óptimo, es decir el volumen producido a la edad óptima, en la siguiente el diámetro a la altura del pecho, y en la última línea el valor presente neto. Los valores presentes netos para todas las especies resultan ser negativos, es decir no vale la pena plantar desde el punto de vista comercial.

Por lo tanto resulta de interés calcular los valores umbrales de cada variable de la fórmula 26. Por "valor umbral" se refiere al valor de una variable con la cual el valor presente neto resulta ser cero, es decir el valor a partir del cual la inversión en el proyecto forestal empezaría a ser redituable. En el último apartado de la Tabla 11 tenemos las relaciones umbrales para tales variables que podrán ser modificadas por el mercado y/o por el manejo de forestal. Por "relación umbral" se refiere a la división entre el valor umbral y el valor original de la variable. Las relaciones umbrales nos permiten conocer cuantas veces tiene que cambiar el valor en una variable para que el valor presente neto sea cero.

Tabla 11. Análisis del valor presente neto esperado por árbol en una plantación hipotética.

	<i>Abies vejari</i>	<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus strobiformis</i>	<i>Pinus teocote</i>
Edad_{opt} [años] :	44	61	61	37
V_{opt} [m³] :	1.26	0.596	1.89	0.366
DAP :	0.34	0.4	0.6	0.34
VPN [MxP\$/árbol]	-15.67	-67.97	-38.58	-53.19
Valores umbrales (VPN>0)				
V_{opt}* [m³] :	1.57	3.67	3.67	1.11
P-C* [MxP\$]:	569.97	2820.08	888.59	1380.78
P* [MxP\$]:	1078.47	3328.59	1397.09	1889.28
R*	0.045	0.020	0.039	0.020
Edad_{opt}* [años] :	39.61	24.63	47.73	14.92
K* [MxP\$]:	63.89	12.91	40.98	26.37
CR	0.64	1.96	0.82	1.11
Relaciones umbrales (VPN>0)				
Vol_{opt}*/Vol_{opt}	1.25	6.16	1.94	3.03
P*/P:	1.12	3.44	1.45	1.96
K/K*:	1.25	6.16	1.94	3.02

Edad_{opt}= Edad óptima de cosecha que alcanza el máximo valor presente neto de todos los costos de manejos posteriores por árbol; **VOL_{opt}** = El volumen total en metros cúbicos a la edad óptima para cosechar; DAP= Diámetro a la altura del pecho; **VPN** = Valor presente neto; **P** = Precio por metro cúbico de madera en rollo, **C** = costo de la cosecha, transporte y comercialización por metros cúbico **r** = Tasa de descuento anual.

Ya que el análisis costo-beneficio resulto negativo alternativamente, se puede considerar un escenario con $K = 0$, si se piensa en regeneración natural del área forestal aprovechada, en donde no existen costos de reforestación ni manejo. En este escenario se utiliza el sistema "árboles-padres", en el que se dejan árboles adultos para que proporcionen semillas para la regeneración de la masa forestal. Este tipo de regeneración fue observada en campo de manera satisfactoria en el ejido "La encantada". En este escenario en donde $K = 0$ los valores presentes netos si resultan positivos y es de interés hacer un análisis de sensibilidad para analizar la exactitud de cuales parámetros es crítico al determinar el valor presente neto, y de ésta manera indicar que tan robusto es el resultado.

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de sensibilidad para las variables precio (P), costos de cosecha, aserrar, transporte y comercialización (C), y la tasa de descuento (r). El volumen del tronco no se incluye, ya que se escogió una curva de crecimiento máxima, que solamente puede variar hacia abajo. En la segunda columna ("Valor original") se encuentran los valores originales de entrada para el cálculo del valor presente neto. En seguida, en la tercera columna ("Valor cambiado") se escoge un límite inferior y superior. Para la variable P se tomó el criterio del límite inferior del precio de venta de madera siniestrada por plaga o incendiada (2.8 MxP\$ por pie tabla) y el límite superior por un incremento de 1.2 peso en el precio de venta del pie-tabla (5.2 MxP\$); para la variable C se escogió arbitrariamente un incremento y una disminución de 100 MxP\$, y para r un incremento y disminución de 20%. En la cuarta columna ("% de cambio del parámetro") se calculó el por ciento de desviación del parámetro cambiado de su valor original. Posteriormente se calculó el valor presente neto para cada uno de los valores cambiados, el cual se presenta en la quinta columna ("Nuevo VPN"), en la sexta columna ("% de cambio del VPN") tenemos el cambio porcentual relativo al valor presente neto original. Finalmente la última columna ("Proporción de cambio en %") divide el "% de cambio del VPN" entre el "% de cambio del parámetro". Esta proporción indica la sensibilidad del valor presente neto al parámetro, esto es el cambio promedio porcentual del valor presente neto resultado de un 1% de cambio en el parámetro cambiado. En términos económicos, esta proporción se le llamaría elasticidad del valor presente neto del parámetro (Ricker *et al.*, 1999). En las últimas dos columnas se indican los dos valores absolutos mas altos.

Tabla 12. Análisis de sensibilidad de las 4 especies en el escenario hipotético de un aprovechamiento sin costos de siembra y manejo.

Parámetro	Valor orig.	Valor cambiado	% de cambio del parámetro	Nuevo VPN	% de cambio del VPN	Proporción de cambio en %
<i>Abies vejari</i> o: VPN = 63.9 MxP\$						
P	966.21	1256.08	30.00	104.35	103.35	3.45
		676.35	-30.00	23.43	22.43	-0.75
C	508.5	608.5	19.67	49.93	48.93	2.49
		408.5	-19.67	77.85	76.85	-3.91
R	0.05	0.03	-40	26.50	25.50	-0.64
		0.07	40	154.04	153.04	3.83
<i>Pinus hartwegii</i>: VPN = 12.913 MxP\$						
P	966.21	1256.08	30.00	21.09	20.09	0.67
		676.35	-30.00	4.74	3.74	-0.12
C	508.5	608.5	19.67	10.09	9.09	0.46
		408.5	-19.67	15.73	14.73	-0.75
R	0.05	0.03	-40	3.81	2.81	-0.07
		0.07	40	43.74	42.74	1.07
<i>Pinus strobiformis</i>: VPN = 40.98 MxP\$						
P	966.21	1256.08	30.00	66.94	65.94	2.20
		676.35	-30.00	15.03	14.03	-0.47
C	508.5	608.5	19.67	32.03	31.03	1.58
		408.5	-19.67	49.94	48.94	-2.49
R	0.05	0.03	-40	12.10	11.10	-0.28
		0.07	40	138.81	137.81	3.45
<i>Pinus teocote</i>: VPN = 26.373 MxP\$						
P	966.21	1256.08	30.00	43.08	42.08	1.40
		676.35	-30.00	9.67	8.67	-0.29
C	508.5	608.5	19.67	20.61	19.61	1.00
		408.5	-19.67	32.14	31.14	-1.58
R	0.05	0.03	-40	12.58	11.58	-0.29
		0.07	40	55.28	54.28	1.36

P = Precio por metro cúbico de madera en rollo, C = costo de la cosecha, transporte y comercialización por metros cúbico r = Tasa de descuento anual. Para comparar los valores de la penúltima columna se toman los valores superiores e inferiores de la variable P, como ejemplo para la especie *Pinus strobiformis* ($65.94 + 14.03 = 79.97$). Para poder ordenar los parámetros de mayor a menor sensibilidad (última columna) se calcula el promedio de de los límites mayores y menores de C, como ejemplo para *Abies vejari* $(2.49 + 3.91)/2 = 3.15$.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.

En este estudio el objetivo fue combinar métodos de dendrocronología y economía para calcular el valor comercial de cuatro especies coníferas en el ejido “La Encantada” en la Sierra de San Antonio Peña Nevada (Nuevo León). La dendrocronología es la ciencia que estudia los anillos de crecimiento en los troncos de los árboles. El bosque en la región de San Antonio Peña Nevada es un sitio ideal para un estudio de esta naturaleza, por encontrarse a una altura de alrededor de 3000 m sobre nivel de mar, lo que implica épocas de heladas y sequía, y consecuentemente anillos anuales de crecimiento en los árboles. La dendrocronología permitió conocer de forma exacta la edad de los individuos (a excepción de *Pinus teocote*), y cuantificar el crecimiento diametral. Se asignó a tres de las especies analizadas (*Pinus strobiformis*, *Pinus hartwegii*, y *Abies vejari*) un índice de fechado-cruzado igual a 2 (de un rango de 0 a 2), por existir una correlación positiva entre cronologías de sitios cercanos debido a una señal macro-climática. Los valores estadísticos dendrocronológicos son aceptables, comparándolos con otras cronologías desarrolladas para México (Tabla 5). Obsérvese en la Tabla 5, que todos los valores estadísticos para las especies *Pinus montezumae* y *Taxodium mucronatum* son similares a los obtenidos en el presente estudio, mientras que en las demás especies el único parámetro que varía (con valores mayores) es la proporción señal-ruido.

La tasa de crecimiento es una de las variables más determinantes del valor comercial de un árbol sembrado, es decir, cuando no se extrae madera de árboles grandes ya existentes (Ricker et al. 1998, Ricker 2000). Por lo tanto resulta ser de interés estudiar y analizar el crecimiento de los árboles, el cual está influenciado por las capacidades genéticas de la especie y su interacción con el ambiente (Prodan et al., 1997). Además, puede ser modificado por el hombre a través del manejo silvicultural (Husch et al., 1982). Los crecimientos radiales de los árboles medidos en el ejido “La Encantada” son mayores a los reportados por García (2001) para *Pinus lumholtzii* (0.7 mm), *Pinus teocote* (1.6 mm), *Pinus cembroides* y *Pinus leiophylla* (ambos con valores de 1.7 mm) para la Sierra Fría en el estado de Aguascalientes. Esto es de esperarse, ya que ese sitio tiene condiciones más áridas. En general se observa un menor crecimiento por parte de las especies *Pinus teocote* (1 - 1.6 mm) y *Pinus hartwegii* (1.5 - 2 mm) que en *Abies vejari* (1.3 - 4 mm) y *Pinus strobiformis* (2.4 - 4.3 mm). A continuación se interpreta el crecimiento diametral de las cuatro especies:

- El menor crecimiento lo tuvo la especie *Pinus teocote*, probablemente debido a que

fue muestreada en el límite de su distribución altitudinal 1500-3000 msnm (Farjon y Styles, 1993), y en un sitio más retirado del resto de las demás especies con condiciones más secas.

- *Pinus hartwegii* es considerada una especie de muy lento crecimiento, ya que se encuentra adaptada a condiciones extremas presentes en el límite de la vegetación arbórea (Alarcón, 1993; Beaman, 1962). Beaman (1966) menciona un valor de crecimiento radial promedio para esta especie de 2.5 mm en el Cerro del Potosí en el estado de Nuevo León, muy cercanos a los encontrados en el presente estudio, pero menor al valor promedio de 4 mm encontrado por el mismo autor en el volcán Iztaccihuatl y Popocatepetl (Beaman, 1962).
- La especie de mayor crecimiento, *Pinus strobiformis*, es la más representativa y mejor adaptada al sitio muestreado, ya que generalmente es encontrada en sitios méxicos con suelos profundos (Farjon y Styles, 1993; Capo, 1972).
- *Abies vejari* en la "Encantada" es una especie frecuentemente suprimida por la dominancia de varias especies del género *Pinus*. Los árboles de menor crecimiento de *Abies vejari* se encuentran en este estado suprimido (Figura 7). Sin embargo, podemos ver que al no tener competencia puede tener un crecimiento vigoroso como lo muestra el árbol 11.

Con el promedio de los volúmenes de los árboles de menor crecimiento se calculó la productividad (incremento medio anual en volumen) en el ejido "La encantada", la cual resultó ser de 4.6 metros cúbicos por hectárea/año. Esta cifra es relativamente alta, si la comparamos con bosques no muy productivos reportados en la literatura para diversas regiones del país y del mundo: 2.16 m³/ha en bosques mixtos de coníferas y latifoliadas para la región de Jamiltepec, Oaxaca (Medina, 1982); 3 m³/ha para bosques templado en las zonas más productivas de Rusia (Dobrynin, et al. 2002); 2 - 4 m³/ha para bosques tropicales en diferentes sitios de Asia y África, y 5 m³/ha en el Amazonas Brasileño después de 10 años de tala selectiva (Pereira da Silva, et al., 2002). Sin embargo, estos valores no son comparables con bosques altamente productivos como los del estado de Washington en Estados Unidos donde se reportan incrementos de 10 m³/ha (Miller, et al., 1991), o los incrementos producidos en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile (21.98 m³/ha) y Nueva Zelanda (25 m³/ha), y de *Pinus taeda* en Brasil (20 m³/ha) (Klemperer, 1996).

Tomando el valor del incremento medio anual en volumen, podemos estimar que la extensión sujeta a manejo en "La encantada" crece aproximadamente 46, 000 m³ de madera anualmente. Si se extrae de la zona la cantidad de metros cúbicos autorizados

por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, que son 12, 000 m³, entonces la extracción de madera en el ejido resulta ser sustentable. Incluso se podría extraer hasta 2.8 veces más madera que la autorizada actualmente, para llegar a un volumen de extracción que ya no fuera sustentable.

El análisis económico del escenario hipotético de una plantación forestal (Tabla 11) nos muestra valores presentes netos negativos para las cuatro especies, indicándonos que bajo condiciones actuales no es redituable establecer plantaciones de estas especies en el Ejido de "La Encantada". Las relaciones umbrales muestran que para ser redituable, tendría que ser todavía 0.25 veces a 6.2 veces mayor el crecimiento en los árboles (Vol_{opt}). Alternamente, podría ser de 0.12 a 3.44 mayor el precio de la madera (P), o 0.48 a 6.2 menor el costo de manejo de la plantación (K). Cabe destacar que la fórmula para calcular el volumen en función del diámetro tiende a subestimar el volumen, y consecuentemente el cálculo del valor comercial no sobrevalora el valor presente neto.

Para las especies *Abies vejari* y *Pinus strobiformis*, pareciera factible intentar incrementar el volumen en un rango del 12 al 94 por ciento por medio de fertilización y manejo del rodal (Miller y Tarrant, 1983). Un incremento del 12 al 45 por ciento en el precio de la madera también es posible en un futuro, si se piensa en una mejor aplicación de la ley a la tala clandestina, lo cual suprime los precios por suministrar madera "barata" al mercado. Alrededor del 50% de la producción nacional proviene de esta actividad ilícita (SEMARNAP, 1999). García (2001) en un estudio similar al presente, en la Sierra Fría en el estado de Aguascalientes, obtiene también valores negativos en el valor presente neto. Sin embargo, en contraste al presente estudio las relaciones umbrales de las variables de crecimiento, precio de la madera, y costos no parecen factibles de alcanzarse.

Si suponemos regeneración natural, es decir, el costo de manejo y reforestación (K) es igual a cero, entonces el valor presente neto resulta ser positivo. El análisis de sensibilidad en este caso muestra en la columna 5 "Nuevo VPN" en la Tabla 12 que se puede tener certeza de que la obtención de madera con un método de regeneración natural es comercialmente viable, ya que ningún valor presente neto resultó negativo. La penúltima columna "% de cambio" nos indica el grado de incertidumbre y cual parámetro debe ser estimado de forma más exacta para obtener una estimación más "segura" del valor presente neto. Ordenando los valores de mayor a menor incertidumbre la secuencia resultante primero la tasa de descuento (r) en las cuatro especies, y después la utilidad neta (P - C). La última columna "Proporción de cambio en %" indica la sensibilidad o elasticidad del valor presente neto para cada parámetro. La secuencia resultante en orden decreciente para todas las especies comenzó por la variable costos

(C) con la mayor sensibilidad media, seguida por la tasa de descuentos (r) y al final por el precio (P). Se puede apreciar en las especies que entre mayores sean los valores presentes netos, mayores serán los valores de sensibilidad. Los parámetros a los que se le tiene que poner mayor atención son los costos en la especie *Abies vejari* y *Pinus teocote*, y la tasa de descuento (r) en *Pinus hartwegii* y *Pinus strobiformis*, ya que el valor presente neto es más sensible a esta variable.

Ricker *et al.* (1999) en un análisis económico en la especie *Pouteria sapota* obtiene valores de sensibilidad menores a los encontrados en el presente estudio para las variables P , C , y mayores para la variable r . En su caso, el VPN es más sensible a las variables de crecimiento. En el presente estudio no se incluyeron las variables de crecimiento en el análisis de sensibilidad por haber preseleccionado los árboles de mayor crecimiento de árboles (sin competencia) para calcular el valor comercial. Esto se justifica siempre y cuando se piense en un sistema extensivo de regeneración natural, donde se aprovechan solamente los árboles en sitios favorables.

En el ejido "La Encantada", la utilidad neta de talar, aserrar, y vender 1 metro cúbico de madera, sin reforestar en el sistema extractivo actualmente empleado es de MxP\$ 676.40 (MxP\$ 966.20 - MxP\$ 289.80). Si se reforesta, cumpliendo con lo que marca el permiso de explotación forestal, tendremos que agregar MxP\$ 38.92 al costo para producir un metro cúbico de madera aserrada, resultando en una utilidad neta de MxP\$ 654.20. Calculando la utilidad neta mensual por ejidatario, para determinar si el ingreso por ejidatario es superior al salario mínimo, resulta ser, MxP\$ 4,086.69 reforestando y MxP\$ 3,739.19 no reforestando. Estos valores se obtuvieron de la multiplicación de las utilidades netas por metro cúbico por el número de metros cúbicos autorizados por año (12,000 m³) entre el número de ejidatarios (112), entre 12 meses que conforman el año. El salario mínimo para el ejido "La Encantada" en el año 2002 fue de 1149 MxP\$ por mes (38.30 MxP\$ por día), acordado para la región C en el tabulador nacional de salarios mínimos (CNSM, 2003). El ingreso obtenido por la extracción de madera por los ejidatarios en el ejido resulta ser 2.5 veces mayor que el salario mínimo no reforestando, y 2.3 reforestando. La actividad de reforestación implica una disminución del 8.5 por ciento de la utilidad neta mensual, lo cual significa que las actividades de reforestación no comprometen el ingreso neto mensual de los ejidatarios, aún cuando actualmente no sea comercialmente atractivo. En la actualidad las actividades de reforestación se realizan regularmente en las zonas que fueron incendiadas en el año de 1998 (totalmente deforestadas).

El valor comercial en la explotación forestal está basado aquí en la venta de una porción de la biomasa total (madera aserrada). En un análisis económico sobre la

redituabilidad de fertilización en rodales de bosques templados en los Estados Unidos, un valor presente neto puede resultar positivo si se utiliza la biomasa total, incluyendo aserrín, trozas, corteza, etc. (Blinkey, 1993). Sería de interés investigar sobre alternativas de uso de los residuos de la actividad forestal, y sus mercados. Es además recomendable la implementación de métodos y tecnología que incrementen el coeficiente de recuperación, ya que como puede apreciarse en la Tabla 11, un incremento del 57 al 64 por ciento puede hacer redituable (VPN positivo) un proyecto de una plantación con la especie *Abies vejari*.

Conociendo que la tasa de crecimiento es una de las variables más importantes para llegar a un valor comercial positivo Tabla 11 (García, 2001; Ricker, 1998), una prioridad podría ser seleccionar variedades nativas adaptadas a las condiciones de los sitios donde crecen más rápido, así como tratar de incrementar los crecimientos por técnicas de manejo (aclareo y posiblemente fertilización). En la actualidad las plántulas con las que se lleva el programa de reforestación en el ejido, provienen del vivero de la SEMARNAT en la ciudad de Galena, Nuevo León. Sin embargo, el ejido es una buena fuente de germoplasma, ya que sus semillas tienen una buena aclimatación a sitios de plantación, y una mejor respuesta a la eliminación de la vegetación competidora en los diferentes tratamientos, en comparación con semillas de otras localidades (Castro, 1990).

En el sur del estado de Nuevo León el asierre de madera de sistemas extractivos constituye una de las actividades de importancia como fuente de trabajo y producción (Aguirre, 1993). Sin embargo, el presente estudio mostró, por que resulta atractivo para la gente, desde el punto de vista comercial, extraer madera y por que no quieren reforestar al mismo tiempo. Mejorar métodos de manejo, eficiencia de asierre, y mercadotecnia podrían hacer atractivo también la reforestación en sitios adecuados. Sin embargo, es esencial también reconocer el valor no-comercial del bosque como su estética y funciones de contener biodiversidad. No se puede esperar que un mercado tome en cuenta estos valores, y si la sociedad no protege estos valores no comerciales aparte, el precio del mercado de la madera resulta ser "equivocadamente" barato desde el punto de vista de la sociedad

LITERATURA CITADA

- Aguirre, R. R.**, 1993. Situación actual de la actividad forestal y análisis de la industria de aserrio en el sur del estado de Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, Nuevo León. México.
- Alarcon, M. C.**, 1993. Estudio dendrocronológico de *Pinus hartwegii* en el suroeste de la cuenca México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México.
- Alvarado, R.D., de Bauer, L.I., Galindo A. J.**, 1993. Decline of sacred fir (*Abies religiosa*) in a forest park south of Mexico City. *Environmental Pollution* 80(2): 115–121.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores)**. 2000. *Regiones terrestres prioritarias de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México D. F., México.
- Avery, T. E. y Burkhardt, H. E.**, 1983. *Forest Measurements*. Third Edition, McGraw-Hill, EUA. 331 pp.
- Beaman, J. H.**, 1962. The timberlines of Iztaccihuatl and Popocatepetl, México. *Ecology* 43 (3): 377-385.
- Beaman, J. H.**, 1966. The vegetation, floristic and phytogeography of the summit of Cerro Potosi, México. *The American Midland Naturalist* 75 (1): 1-33
- Binkley, 1993**. Nutrición Forestal: Prácticas de manejo. Editorial Limusa, México, 340pp.
- 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>>, (accesado enero 2 del 2002).
- Biondi, F.**, 1999. Comparing tree-ring chronologies and repeated timber inventories as forest monitoring tools. *Ecological Applications* 9: 216-227.
- Biondi, F.**, 2001. A 400-year Tree-ring Chronology from the Tropical Treeline of North America. *Ambio* 30(3): 162 – 166.
- Cairns, M. A., Dirzo, R., Zadroga, F.**, 1995. Forest of Mexico- a diminishing resource?, *Journal of Forestry*, Julio 21-24.
- Capo, A. M.**, 1972. Observaciones sobre la taxonomía y distribución de las coníferas de Nuevo León. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- Castedo-Dorado, F., Álvarez-González, J.G.**, 2000. Construcción de una tarifa de cubicación con Clasificación de productos para *Pinus radiata* d. Don en Galicia

basada en una función de perfil del tronco. España. *Investigación agrícola: Sistemas y Recursos Forestales* 9(2):253-268.

- Castro, F. R.**, 1990. Efecto del Control de la Vegetación Competidora sobre cinco Especies de *Pinus* plantados en dos exposiciones en Arteaga, Coah., Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buena Vista, Saltillo Coahuila, México.
- Comisión Nacional de Salarios Mínimos**, 2003. Salario Mínimo General Promedio de los Estados Unidos Mexicanos. Documento electrónico disponible en: <http://www.conasami.gob.mx/indice.htm>
- Cook, E. R.**, 1985. A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Ph. D. Dissertation, School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, USA. 175 pp.
- Cook, E.R. y L.A. Kairiukstis**. 1990. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 394 pp.
- Davis, R.**, 1996. Mexico Country Brief: Interim Forest Cover Assessment for SOF 1997, Roma, Food Agriculture Organization.
- Díaz, S. C., Touchan, R., Swetnam, T. H.**, 2001. A tree-ring reconstruction of past precipitation for Baja California sur, México. *International Journal of Climatology* 21: 1007–1019.
- Dobrynin, D., Isaev, A., Laestadius, L.**, 2002. Atlas of Russia's intact forest landscapes. World Resource Institute, 72 pp. Disponible en Internet, http://forests.wri.org/pubs_description.cfm?PubID=3717. (accesado el 10 de Diciembre 2002).
- Douglass, A. E.**, 1941. Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry* 39(10): 825 – 831.
- Farjon, A.**, 1990. Pinaceae. Drawings and Descriptions of the genera: *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothosuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix*, and *Picea*. Koeltz Scientific Books, Germany.
- Farjon, A., y B. T. Styles**. 1993. *Pinus* (Pinaceae), Flora Neotropica Monograph 75. The New York Botanical Garden, New York, Bronx, EUA. 291 pp.
- Figueiredo-Filho, A., Borders, B. E., Hitch, K. L.**, 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 83: 39-46.
- Fritts, H. C.**, 1976. Tree rings and climate. Academic Press. New York, USA, 567 pp.
- Fritts H. C. y Swetnam T.**, 1989. Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forest environments. *Advances in Ecological Research* Vol. 19:111-189.

- García, G. R.**, 2001. Estudio del crecimiento y análisis económico de cuatro especies de *Pinus* en la Sierra Fría, Aguascalientes. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 74 pp.
- Grissino-Mayer, H. D.**, 1993. An updated list of species used in tree-ring research. *Tree-ring Bulletin* 53:17 – 43.
- Grissino-Mayer, H. D.**, 2001. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research* 57 (2) 205 – 221.
- Holmes, R. L.**, 1999. USERS MANUAL for Program COFECHA, The Dendrochronology Program Library. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA.
- Holmes, R. L.** 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin* 43: 69 – 78.
- Huante, P., Rincón, E., Swetnam, T. H.**, 1991. Dendrochronology of *Abies religiosa* in Michoacan, México. *Tree-ring Bulletin* 51: 15 – 28.
- Husch, B., Miller C.I., Beers, T.W.**, 1982. Forest Mensuration, Third edition USA, 402 pp.
- Kitzberger, T, Veblen, T., Villalba, R.**, 2000. Métodos dendrocronológicos y sus aplicaciones en estudios de dinámica de bosques templados de Sudamérica. En Dendrocronología en América Latina, pp. 17 - 78. F. A. Roig (Comp), EDIUNC, Mendoza, Argentina.
- Klemperer, W. D.**, 1996. Forest Resources Economics and Finance. McGraw-Hill. 551 pp.
- Kozak, A., y Smith J. H. G.**, 1993. Standard for evaluating taper estimating systems. *The Forestry Chronicle* 69(4):438 – 444.
- Ledig, F. T., Bermejo-Velázquez, B., Hodgskiss, P. D., Johnson, D. R., Flores-Lopez, C., Jacob-Cervantes, V.**, 2000. The mating system and genic diversity in Martinez spruce, and extremely rare endemic of Mexico's Sierra Madre Oriental: and example of facultative selfing and survival in interglacial refugia. *Canadian Journal of Forest Research* 30:1156 - 1164.
- Lujan, V. R.**, 1979. Estudio sobre el Potencial Forestal en el Ejido La Encantada, Zaragoza Nuevo León. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, Nuevo León. México.
- Martinez, M.**, 1953. Las pináceas mexicanas. Segunda edición. Subsecretaría de Recursos Forestales y de Caza. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México.
- Matos, J. A.**, 1995. *Pinus hartwegii* and *P. rudis*: a critical assessment. *Systematic Botany* 20 : 6 – 21.
- McDonald, J.A.** 1998. Fitogeografía e historia de la flora alpina-subalpina del noreste de México. En T.P. Ramamoorthy, R. Bye, y A. Lot (eds.), Diversidad biológica de México:

orígenes y distribución, pp. 665-686. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

Medina, R. B., 1982. Datos relevantes del inventario forestal del estado de Oaxaca, *Ciencia Forestal* 7(35): 31 – 64.

Miller, R. E., Hazard, J. H., Donald C. Y., 1991. Effects of foliar spray and prill applications of nitrogen fertilizer on four mixed conifer stands. *Forest science* 37(3): 741 - 754.

Miller, R. E. y Tarrant R. F., 1983. Long-term growth response of douglass fir to ammonium nitrate fertilizer. *Forest Science* 29(1):127-137.

Nylor, T. H., 1971. Dendrochronology in Oaxaca: a preliminary study. *Tree-ring Bulletin* 31: 25 – 29.

Pereira da Silva, R., dos Santos, J., Siza Tribuzy, E., Chambers, J. Q., Nakamura, S., Higuchi, N., 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. *Forest Ecology and Management* 166: 295 – 301.

Pérez de la Rosa, J. A., 1993. Taxonomía de *Pinus ayacahuite* y *Pinus strobiformis* Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México, México 100 p.

Prodan, M., Peters, R., Cox, F., Real, P., 1997. Mensura Forestal, IICA, BMZ/GTZ. Costa Rica, pp. 561.

PROFEPA., 2000. Informe de Gestión 1995-2000, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, SEMARNAP, México, 343 pp.

Ricker, M., 1998. Enriching the Tropical Rain Forest with native fruits Trees; a Biological and Economic Analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico). Ph.D. thesis, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, and Graduate School, New Heaven, Connecticut, EUA, 262 pp.

Ricker, M. 1999. Enriching the rainforest with native fruit trees an ecological and economic analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico). *Ecological Economics* 31(1999) 439-448.

Ricker, M. 2000. Enriquecimiento de la selva con árboles nativos: un análisis de costo-beneficio con tres especies en Los Tuxtlas, Veracruz. En R. Escalante y F. Aroche (eds.), El sector forestal en México. Facultad de Economía, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

Ricker, M., Daly, D.C., 1998. Botánica económica en bosques tropicales: principios y métodos para su estudio y aprovechamiento. Editorial Diana, México D.F., México. 293 pp.

Robinson, W. J., Evans, R., 1980. A microcomputer-based tree-ring measuring system. *Tree-ring bulletin.* 40: 59 – 64.

- Rolland, C.**, 1993. Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps. *Tree-ring bulletin* 53 : 1 -11.
- Romahn de la Vega., C, Maldonado-Ramírez, H. , Treviño-García, JL.**, 1994. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 354 pp.
- Rzedowsky, J.**, 1981. Vegetación de México. Editorial Limusa. México, 432 pp.
- Rzedowsky, J.**, 1998. Diversidad y orígenes de la Flora Fanerogámica de México. En T.P. Ramamoorthy, R. Bye, y A. Lot (eds.), Diversidad biológica de México: orígenes y distribución, pp. 129-145. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.
- SEMARNAP**, 1999, Anuario Estadístico de Producción Forestal 1997, Dirección General Forestal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico, 144 pp.
- Schlaegel, B.E.**, 1982. Testing, reporting, and using biomass estimation models. In: Gresham, Charles A., ed. Proceedings of the 1981 southern forest biomass workshop and the third meeting of the Southern Forest Biomass Working Group; 1981 June 1 1-12; Georgetown, SC. [Place of publication unknown]: The Belle W. Baruch Forest Science Institute of Clemson University: 95-1 12.
- Schulman, E.**, 1944. Dendrochronology in Mexico. *Tree-ring Bulletin* (10) 3 :18-24.
- SEDESOL**, 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059-1994 que determina las especies y subespecies de la flora y fauna silvestre terrestre y acuáticas ne peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial. 16 de Mayo de 1994.
- Secretaría de Programación y Presupuesto**, 1981. Síntesis Geográfica de Nuevo León. Secretaria de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. 170 pp.
- Stahle, D. W., Hehr, J. G., Hawks Jr., G. G., Cleveland, M. K., Baldwin, J. R.**, 1995a. Tree-ring chronologies in the south-central United States, Department of Geography Publication, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas, USA, 135 pp.
- Stahle, D., Therrell, M., Cleaveland, M., Paull, G.**, 1995b. Mediciones de *Pseudotsuga mensienzii* en el Cerro del Potosí. 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>>, (accesado en enero 2 del 2002).
- Stahle, D., Therrell, M., Cleaveland, M., Paull, G.**, 1995c. Mediciones de *Pinus montezumae* en el Rancho el Cielo. 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>>, (accesado enero 2 del 2002).

- Stahle, D., Therrell, M., Cleaveland, M., Paull, G.,** 1995d. Mediciones de *Taxodium* sp. en el Río Sabinas. 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>>, (accesado enero 2 del 2002).
- Swetnam, T. H., Thompson, M. A., Sutherland, E. K.,** 1985. Using dendrochronology to measure radial growth of defoliated trees. *Agriculture Handbook 639*, US Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, 39 pp.
- Tiarks, A. E. y Clark, C. B.,** 1999. Validation of volume and taper equations for loblolly, Shortleaf and slash pine. Documento presentado en la Tenth Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Shreveport, LA, Febrero 16-18.
- Treviño, G. E.,** 1984. Contribución al Conocimiento de la Vegetación del Municipio de General Zaragoza, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.
- Villanueva-Díaz J.** 1998. Tree-Ring chronologies and ENSO in northern Mexico. In *American Quaternary Association Program and Abstracts of the 15th Biennial Meeting*, Puerto Vallarta, Mexico. AMQUA; 64–65.
- Webb, G. E.,** 1983. *Tree rings and Telescopes: The Scientific Career of A. E. Douglass*. The University of Arizona Press, Tucson, 242 pp.
- Yamaguchi, D. K.,** 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 414-416

APENDICE 1. DESCRIPCION DE LAS ESPECIES.

Abies vejarii Martínez. según Martínez (1953):

Árbol de 20 a 40 metros de altura por 30 a 50 cm de diámetro. Se encuentra en terrenos pobres, moderadamente húmedos, en alturas de 2,800 a 3,000 metros. Se asocia con *Pseudotsuga flahualti* y *Pinus montezumae*, y en los lugares más elevados con *Pinus hartwegii*. Su madera es ligera de hilo uniforme, poco resistente, de color blanco, con tinte levemente amarillento o rosado. Su nombre vulgar es "hallarín" (Martínez, 1953). Se distribuye desde el suroeste de Coahuila hasta el noroeste de Tamaulipas, en dos zonas disyuntas en parte de la Sierra Madre Oriental en el noreste de México (Farjon, 1990).

Martínez (1953) reporta para el estado de Nuevo León colectas en la Sierra de Santa Catarina, N. L. (A. Auddiffred. Septiembre de 1942), cerca de Ojo de agua al pie del Cerro del Potosí, Galeana N. L. (A. J. Sharp 45684, Julio 12 de 1945), y en la Sierra de Peña Nevada, Dr. Arroyo, N. L. (V. García. Julio 18 de 1943). Capo (1972) reporta colectas en el Cerro del Potosí, Galeana, N. L. (Capo 086, 090)

Pinus hartwegii Lindley, según Farjon y Styles (1997):

Árbol alto, erecto, altura de 25 - 30 metros, diámetro de 80 - 100 cm. Se distribuye en Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Jalisco, Michoacán, México, Morelos, Hidalgo, Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, y Chiapas. Además se encuentra en Guatemala, *Pinus hartwegii* es el pino de alta elevación típico en México, donde frecuentemente forma bosques extensos y monotípicos. Su rango altitudinal es de (2300-) 2500 - 4000 (-4300) m. A bajas elevaciones se mezcla con *Pinus montezumae*, con el cual esta cercanamente relacionado, y con otros pinos dependiendo de la área geográfica. Los suelos en los que habita son tanto de origen volcánico y de roca granítica, de varias profundidades pero frecuentemente pobres en nutrientes.

Pinus hartwegii tiene una madera densa pero resinosa. Es explotado como árbol para la obtención de madera donde los rodales son extensos y accesibles, pero debido a la gran altitud en la que habita y la ausencia de infraestructura (camino de acceso), muchos bosques permanecen en la actualidad virtualmente intactos.

Existen variaciones evidentes en el color de los conos en varias poblaciones; una forma de conos café claro (no púrpura o negro) a veces considerada como otra especie, *Pinus rudis*. Una evaluación morfológica llevada a cabo por Matos (1995), utilizando 25

caracteres con muestras tomadas en dos transectos altitudinales a través de poblaciones en México, reportó no haber podido diferenciar dos entidades morfológicas diferentes. Por lo tanto *Pinus rudis* quedaría como sinónimo de *Pinus hartwegii*.

Farjon y Styles reportan colectas para el estado Nuevo León en la Sierra del Infiernillo, 22 Km SO de Galeana (1934); el Cerro del Potosí (1934); la Joya cerca de Galeana, (1980); 1 km de Mimbres (1984); y La Escondida y Cerro el Viejo Zaragoza (1984). Capo (1972) lo reporta colectado cerca de la cima del Cerro del Potosí.

Pinus teocote Schiede, según Farjon y Styles (1997).

Árbol de tamaño medio, altura de 20 - 25 m, diámetro hasta 75 cm. Es uno de los pinos mexicanos más ampliamente distribuidos ya que se encuentra en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Nayarit, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Michoacán, México, Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Guerrero, Oaxaca, y Chiapas. Se encuentra en distintos hábitats, comúnmente en bosque abierto asociado con *Quercus*, en sitios relativamente secos en suelos poco profundos. Su rango altitudinal es (1000-) 1500 - 3000 (-3300) m. La precipitación anual es usualmente moderada (500-1000 mm), pero mucho mayor en las regiones altas del centro de Chiapas. Crece como un árbol grande en sitios favorables en la región norte de su rango de distribución (Durango, Nuevo León). Aparece con otros pinos en varias partes de su rango de distribución. Los más comunes de Norte a Sur son: *Pinus arizonica*, *P. engelmannii*, *P. durangensis*, *P. leiophylla*, *P. montezumae*, *P. oocarpa* y *P. patula*.

Pinus teocote es de importancia forestal por su madera. Debido a su tamaño moderado, especialmente en las regiones sur de su rango, se aprovecha también la especie para la producción de resina.

Farjon y Styles reportan colectas para Nuevo León a 13 km al sur de Galeana, 21 km al oeste de Iturbide (1976), en Potrero Redondo, Municipio de Villa de Santiago (1935), y en el Parque Ecológico Chipinque (1980).

Pinus strobiformis Engelmann, según Farjon y Styles (1997).

Árbol de tamaño medio a grande, altura de 25 - 30 m, diámetro de 80 - 100 cm. Se distribuye en Estado Unidos (Arizona, Nuevo México) y en México (Sonora, Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Sinaloa, Jalisco, muy local en Zacatecas y San Luis

Potosí). Es un pino montano de sitios méxicos; su rango altitudinal es de 1900 – 3500 m. Aparece en sitios con suelos relativamente profundos, ricos en humus, aunque a veces también en suelos rocosos, especialmente en pendientes de exposición al norte, o a lo largo arroyos en las montañas. Crece en rodales pequeños y puros, dentro de bosques de pino y pino-encino, mezclado más comúnmente con *P. arizonica*, *P. engelmanni*, *P. leiophylla* var. *chihuahuana*, *P. durangensis*, *P. lumholtzii* y/o otras especies de *Quercus* y *Arbutus*. En bosques de tipo más méxico es asociado con *Abies* y *Pseudotsuga*, y en altitudes mas altas con *Pinus hartwegii*. En el Cerro del Potosí crece a una altitud menor que el pino arbustivo *Pinus culminicola*.

Como uno de los "pinos suaves" es frecuentemente considerado *Pinus ayacahuite* entre la gente en el norte de México, y algunos taxónomos lo consideran *Pinus ayacahuite* var. *brachyptera* (Farjon, et al., 1997). Sin embargo, Pérez de la Rosa (1995) en un estudio taxonómico las considera especies diferentes, determinando la longitud del ala como carácter principal para distinguirlos. Es buscado por carpinteros por la buena calidad de su madera para trabajos de carpintería.

Farjon y Styles (1997) reportan colectas en el Cerro del Potosí (1935, 1980), el Cerro del Potosí a lo largo del camino cerca del km 16, el Cerro el Viejo, a 24 km al Oeste de Dulces Nombres (1948), y el Cerro del Potosí en el flanco Este de la montaña (1984).

APENDICE 2. Se proporciona el número código del árbol, su edad según las virutas, las coordenadas tomadas con GPS, altura, diámetro y fotografía.



Abies vejari 1

Num	297
Edad (años)	46
Cord. N	23°53'80"
Cord. O	99°48'71"
Altitud (m)	2970
Altura (m)	21
DAP (1.3 m)	0.344

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.46
5%	1.05	0.36
10%	2.10	0.33
15%	3.15	0.31
20%	4.20	0.29
25%	5.25	0.29
30%	6.30	0.27
35%	7.35	0.27
40%	8.40	0.25
45%	9.45	0.25
50%	10.50	0.21
55%	11.55	0.20
60%	12.60	0.18
65%	13.65	0.16
70%	14.70	0.14
75%	15.75	0.12
80%	16.80	0.10



Abies vejari 2

Num	296
Edad (años)	89
Cord. N	23°53'81"
Cord. O	99°48'72"
Altitud (m)	2960
Altura (m)	22
DAP (1.3 m)	0.309

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.41
5%	1.10	0.32
10%	2.20	0.30
15%	3.30	0.28
20%	4.40	0.27
25%	5.50	0.26
30%	6.60	0.26
35%	7.70	0.25
40%	8.80	0.23
45%	9.90	0.22
50%	11.00	0.21
55%	12.10	0.19
60%	13.20	0.19
65%	14.30	0.17
70%	15.40	0.15



Abies vejari 3

Num	291
Edad (años)	116
Cord. N	23°53'82"
Cord. O	99°48'65"
Altitud (m)	2942
Altura (m)	18
DAP (1.3 m)	0.325

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.44
5%	0.90	0.35
10%	1.80	0.31
15%	2.70	0.29
20%	3.60	0.28
25%	4.50	0.27
30%	5.40	0.26
35%	6.30	0.25
40%	7.20	0.24
45%	8.10	0.24
50%	9.00	0.23
55%	9.90	0.22
60%	10.80	0.20
65%	11.70	0.20
70%	12.60	0.16
75%	13.50	0.17
80%	14.40	0.17

Abies vejari 4

Num	257
Edad (años)	65
Cord. N	23°53'76"
Cord. O	99°48'67"
Altitud (m)	2975
Altura (m)	20
DAP (1.3 m)	0.583

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.71
5%	1.00	0.57
10%	2.00	0.48
15%	3.00	0.47
20%	4.00	0.42
25%	5.00	0.42
30%	6.00	0.39
35%	7.00	0.38
40%	8.00	0.38
45%	9.00	0.35
50%	10.00	0.33
55%	11.00	0.30
60%	12.00	0.30
65%	13.00	0.25
70%	14.00	0.22
75%	15.00	0.19
80%	16.00	0.17
85%	17	0.12

Foto no disponible



Abies vejari 5

Num	256
Edad (años)	83
Cord. N	23°53'77"
Cord. O	99°48'62"
Altitud (m)	2950
Altura (m)	19
DAP (1.3 m)	0.341

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.41
5%	0.95	0.35
10%	1.90	0.32
15%	2.85	0.30
20%	3.80	0.29
25%	4.75	0.28
30%	5.70	0.27
35%	6.65	0.27
40%	7.60	0.26
45%	8.55	0.25
50%	9.50	0.24
55%	10.45	0.23
60%	11.40	0.21
65%	12.35	0.21
70%	13.30	0.19
75%	14.25	0.13
80%	15.20	0.10



***Pinus hartwegii* 1**

Num	65
Edad (años)	No fechado
Cord. N	23°53'78"
Cord. O	99°48'74"
Altitud (m)	3010
Altura (m)	17
DAP (1.3 m)	0.477

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.58
5%	0.85	0.50
10%	1.70	0.47
15%	2.55	0.45
20%	3.40	0.45
25%	4.25	0.43
30%	5.10	0.42
35%	5.95	0.42
40%	6.80	0.40
45%	7.65	0.39
50%	8.50	0.41
55%	9.35	0.40
60%	10.20	0.37
65%	11.05	0.35
70%	11.90	0.32



***Pinus hartwegii* 2**

Num	94
Edad (años)	No fechado
Cord. N	23°53'94'
Cord. O	99°48'71'
Altitud (m)	2937
Altura (m)	20
DAP (1.3 m)	0.745

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.91
5%	1.00	0.76
10%	2.00	0.74
15%	3.00	0.69
20%	4.00	0.67
25%	5.00	0.66
30%	6.00	0.64
35%	7.00	0.59
40%	8.00	0.57
45%	9.00	0.55
50%	10.00	0.53
55%	11.00	0.54
60%	12.00	0.47
65%	13.00	0.47
70%	14.00	0.44
75%	15.00	0.30
80%	16.00	0.25



***Pinus hartwegii* 3**

Num	96
Edad (años)	61
Cord. N	23°53'03'
Cord. O	99°48'69'
Altitud (m)	2984
Altura (m)	22.5
DAP (1.3 m)	0.446

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.56
5%	1.13	0.46
10%	2.25	0.44
15%	3.38	0.42
20%	4.50	0.40
25%	5.63	0.39
30%	6.75	0.38
35%	7.88	0.37
40%	9.00	0.36
45%	10.13	0.35
50%	11.25	0.34
55%	12.38	0.33
60%	13.50	0.31
65%	14.63	0.30
70%	15.75	0.25
75%	16.88	0.19
80%	18.00	0.13



***Pinus hartwegii* 4**

Num	299
Edad (años)	No fechado
Cord. N	23°53'81"
Cord. O	99°48'69"
Altitud (m)	2960
Altura (m)	19
DAP (1.3 m)	0.334

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.40
5%	0.95	0.36
10%	1.90	0.33
15%	2.85	0.30
20%	3.80	0.28
25%	4.75	0.27
30%	5.70	0.26
35%	6.65	0.26
40%	7.60	0.24
45%	8.55	0.24
50%	9.50	0.24
55%	10.45	0.24
60%	11.40	0.23
65%	12.35	0.20
70%	13.30	0.18
75%	14.25	0.17
80%	15.20	0.11



***Pinus hartwegii* 5**

Num	295
Edad (años)	No fechado
Cord. N	23°53'83'
Cord. O	99°48'66'
Altitud (m)	2935
Altura (m)	20.5
DAP (1.3 m)	0.423

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.56
5%	1.03	0.44
10%	2.05	0.39
15%	3.08	0.36
20%	4.10	0.36
25%	5.13	0.34
30%	6.15	0.33
35%	7.18	0.32
40%	8.20	0.31
45%	9.23	0.30
50%	10.25	0.30
55%	11.28	0.29
60%	12.30	0.28
65%	13.33	0.35
70%	14.35	0.26
75%	15.38	0.21
80%	16.40	0.19



***Pinus hartwegii* 6**

Num	253
Edad (años)	99
Cord. N	23°54'03'
Cord. O	99°48'77'
Altitud (m)	2988
Altura (m)	21
DAP (1.3 m)	0.407



***Pinus hartwegii* 8**

Num	254
Edad (años)	81
Cord. N	23°54'07"
Cord. O	99°48'85"
Altitud (m)	3060
Altura (m)	20
DAP (1.3 m)	0.449



***Pinus hartwegii* 20**

Num	908
Edad (años)	98
Cord. N	23°53'78"
Cord. O	99°48'58"
Altitud (m)	2950
Altura (m)	20.5
DAP (1.3 m)	0.512



***Pinus hartwegii* 21**

Num	909
Edad (años)	99
Cord. N	23°57'70'
Cord. O	99°48'57'
Altitud (m)	2946
Altura (m)	19.5
DAP (1.3 m)	0.519



***Pinus strobiformis* 1**

Num	31
Edad (años)	79
Cord. N	23°53'77'
Cord. O	99°48'75'
Altitud (m)	2970
Altura (m)	19
DAP (1.3 m)	0.605

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.80
5%	0.95	0.59
10%	1.90	0.57
15%	2.85	0.54
20%	3.80	0.52
25%	4.75	0.57
30%	5.70	0.41
35%	6.65	0.39
40%	7.60	0.37
45%	8.55	0.33
50%	9.50	0.31
55%	10.45	0.27
60%	11.40	0.25
65%	12.35	0.21
70%	13.30	0.19



***Pinus strobiformis* 2**

Num	98
Edad (años)	98
Cord. N	23°53'81"
Cord. O	99°48'69"
Altitud (m)	2960
Altura (m)	22
DAP (1.3 m)	0.611

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.73
5%	1.10	0.62
10%	2.20	0.61
15%	3.30	0.59
20%	4.40	0.54
25%	5.50	0.51
30%	6.60	0.48
35%	7.70	0.45
40%	8.80	0.44
45%	9.90	0.40
50%	11.00	0.38
55%	12.10	0.34
60%	13.20	0.30
65%	14.30	0.25
70%	15.40	0.22
75%	16.50	0.18
80%	17.60	0.15



***Pinus strobiformis* 3**

Num	99
Edad (años)	100
Cord. N	23°53'77"
Cord. O	99°48'75"
Altitud (m)	2960
Altura (m)	18
DAP (1.3 m)	0.471

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.56
5%	0.90	0.48
10%	1.80	0.44
15%	2.70	0.43
20%	3.60	0.41
25%	4.50	0.39
30%	5.40	0.39
35%	6.30	0.38
40%	7.20	0.35
45%	8.10	0.31
50%	9.00	0.30
55%	9.90	0.26
60%	10.80	0.25
65%	11.70	0.19
70%	12.60	0.18
75%	13.50	0.14
80%	14.40	0.11



***Pinus strobiformis* 4**

Num	292
Edad (años)	85
Cord. N	23°53'81"
Cord. O	99°48'69"
Altitud (m)	2962
Altura (m)	18
DAP (1.3 m)	0.452

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.54
5%	0.90	0.47
10%	1.80	0.44
15%	2.70	0.40
20%	3.60	0.40
25%	4.50	0.38
30%	5.40	0.38
35%	6.30	0.34
40%	7.20	0.33
45%	8.10	0.31
50%	9.00	0.29
55%	9.90	0.26
60%	10.80	0.23
65%	11.70	0.21
70%	12.60	0.21
75%	13.50	0.14
80%	14.40	0.12



***Pinus strobiformis* 5**

Num	259
Edad (años)	86
Cord. N	23°53'81"
Cord. O	99°48'69"
Altitud (m)	2960
Altura (m)	18.5
DAP (1.3 m)	0.417

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.60
5%	0.93	0.51
10%	1.85	0.46
15%	2.78	0.47
20%	3.70	0.42
25%	4.63	0.41
30%	5.55	0.39
35%	6.48	0.37
40%	7.40	0.36
45%	8.33	0.36
50%	9.25	0.32
55%	10.18	0.32
60%	11.10	0.28
65%	12.03	0.28
70%	12.95	0.23
75%	13.88	0.18
80%	14.80	0.17



***Pinus teocote* 1**

Num	95
Edad (años)	101
Cord. N	23°54'03'
Cord. O	99°48'71'
Altitud (m)	2990
Altura (m)	19
DAP (1.3 m)	0.452

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.54
5%	0.95	0.47
10%	1.90	0.44
15%	2.85	0.43
20%	3.80	0.41
25%	4.75	0.38
30%	5.70	0.37
35%	6.65	0.36
40%	7.60	0.35
45%	8.55	0.34
50%	9.50	0.34
55%	10.45	0.33
60%	11.40	0.28
65%	12.35	0.24
70%	13.30	0.21
75%	14.25	0.18
80%	15.20	0.13



***Pinus teocote* 2**

Num	97
Edad (años)	No fechado
Cord. N	23°54'02'
Cord. O	99°48'76'
Altitud (m)	3017
Altura (m)	20
DAP (1.3 m)	0.382

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.45
5%	1.00	0.40
10%	2.00	0.36
15%	3.00	0.34
20%	4.00	0.33
25%	5.00	0.32
30%	6.00	0.31
35%	7.00	0.31
40%	8.00	0.30
45%	9.00	0.28
50%	10.00	0.27
55%	11.00	0.26
60%	12.00	0.24
65%	13.00	0.22
70%	14.00	0.20
75%	15.00	0.18
80%	16.00	0.14



Pinus teocote 3

Num	298
Edad (años)	92
Cord. N	23°54'03'
Cord. O	99°48'71'
Altitud (m)	3020
Altura (m)	17
DAP (1.3 m)	0.481

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.61
5%	0.85	0.48
10%	1.70	0.45
15%	2.55	0.41
20%	3.40	0.38
25%	4.25	0.36
30%	5.10	0.36
35%	5.95	0.36
40%	6.80	0.35
45%	7.65	0.33
50%	8.50	0.32
55%	9.35	0.30
60%	10.20	0.28
65%	11.05	0.27
70%	11.90	0.27
75%	12.75	0.19
80%	13.60	0.17
85%	14.45	0.10



Pinus teocote 4

Num	294
Edad (años)	90
Cord. N	23°54'03'
Cord. O	99°48'71'
Altitud (m)	2992
Altura (m)	17
DAP (1.3 m)	0.369

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.55
5%	0.85	0.40
10%	1.70	0.36
15%	2.55	0.34
20%	3.40	0.32
25%	4.25	0.32
30%	5.10	0.31
35%	5.95	0.29
40%	6.80	0.27
45%	7.65	0.28
50%	8.50	0.26
55%	9.35	0.25
60%	10.20	0.25
65%	11.05	0.25
70%	11.90	0.21
75%	12.75	0.17
80%	13.60	0.13



***Pinus teocote* 5**

Num	No disponible
Edad (años)	105
Cord. N	23°54'02'
Cord. O	99°48'76'
Altitud (m)	3015
Altura (m)	20
DAP (1.3 m)	0.357

Altura(HI) y diámetros parciales (DI)

% de altura total	HI (m)	DI (m)
0%	0.00	0.44
5%	1.00	0.35
10%	2.00	0.33
15%	3.00	0.30
20%	4.00	0.28
25%	5.00	0.27
30%	6.00	0.27
35%	7.00	0.26
40%	8.00	0.25
45%	9.00	0.23
50%	10.00	0.23
55%	11.00	0.22
60%	12.00	0.22
65%	13.00	0.19
70%	14.00	0.18
75%	15.00	0.15
80%	16.00	0.12

Apéndice 3. Valores de los incrementos radiales por especie.

<i>Pinus strobiformis</i> 1		<i>Pinus strobiformis</i> 2		<i>Pinus strobiformis</i> 3		<i>Pinus strobiformis</i> 4		<i>Pinus strobiformis</i> 5	
1922	5.26	1903	5.28	1901	2	1916	2.23	1915	1.05
1923	4.36	1904	4.18	1902	1.68	1917	1.12	1916	0.89
1924	3.7	1905	2.86	1903	2.71	1918	1.78	1917	1.29
1925	3.36	1906	3.24	1904	5.27	1919	2.66	1918	2.34
1926	5.12	1907	3.37	1905	3.11	1920	0.56	1919	3.93
1927	2.57	1908	3.95	1906	4.93	1921	1.52	1920	2.28
1928	2.63	1909	3.32	1907	3.15	1922	1.99	1921	3.52
1929	1.98	1910	4.07	1908	2.92	1923	2.84	1922	3.16
1930	2.56	1911	4.3	1909	2.3	1924	2.4	1923	3.92
1931	3.52	1912	4.47	1910	3.55	1925	2.31	1924	3.24
1932	2.7	1913	5.38	1911	3.67	1926	3.53	1925	2.88
1933	2.2	1914	2.23	1912	3	1927	2.24	1926	4.02
1934	4.4	1915	1.43	1913	3.89	1928	1.86	1927	2.38
1935	3.6	1916	3.02	1914	4	1929	0.6	1928	1.98
1936	4.48	1917	2.51	1915	3.39	1930	1.96	1929	0.64
1937	3.83	1918	3.44	1916	1.63	1931	1.86	1930	1.97
1938	5.24	1919	4.67	1917	1.59	1932	1.17	1931	3.14
1939	5.62	1920	3.78	1918	2.28	1933	1.15	1932	2.85
1940	4.71	1921	3	1919	3.91	1934	1.71	1933	1.4
1941	5.06	1922	2.26	1920	2.17	1935	1.62	1934	2.71
1942	5.09	1923	3.56	1921	1.95	1936	1.84	1935	1.83
1943	5.14	1924	4.29	1922	1.72	1937	1.36	1936	2.26
1944	4.95	1925	2.84	1923	2.97	1938	2.59	1937	1.57
1945	4.91	1926	4.51	1924	3.36	1939	3.24	1938	2.52
1946	6.18	1927	3.05	1925	3.04	1940	1.97	1939	3.55
1947	4.44	1928	2.51	1926	3.86	1941	2.14	1940	2.61
1948	5	1929	1.74	1927	1.84	1942	2.57	1941	1.45
1949	4.77	1930	3.4	1928	2.27	1943	2.5	1942	1.7
1950	4.66	1931	4.8	1929	1.23	1944	2.68	1943	1.88
1951	4.5	1932	2.5	1930	2.59	1945	2.05	1944	2.89
1952	3.5	1933	3.08	1931	4	1946	2.95	1945	1.7
1953	3.34	1934	4.48	1932	2.61	1947	1.46	1946	2.25
1954	3.97	1935	2.66	1933	1.98	1948	2.04	1947	1.76
1955	2.18	1936	3.2	1934	4.22	1949	2.28	1948	1.8
1956	4.04	1937	2.51	1935	2.79	1950	2.22	1949	1.02
1957	3.87	1938	4.71	1936	4.02	1951	1.99	1950	1.04
1958	4.9	1939	5.62	1937	4.16	1952	2.05	1951	1.25
1959	7.04	1940	4.59	1938	5.34	1953	1.78	1952	1.09
1960	3.7	1941	3.75	1939	5.03	1954	2.34	1953	1.02
1961	3.72	1942	4.19	1940	3.69	1955	1.45	1954	0.96

<i>Pinus strobiformis</i> 1	<i>Pinus strobiformis</i> 2	<i>Pinus strobiformis</i> 3	<i>Pinus strobiformis</i> 4	<i>Pinus strobiformis</i> 5					
1962	3.06	1943	3.41	1941	3.44	1956	2.34	1955	0.86
1963	3.27	1944	3.9	1942	2.74	1957	2.17	1956	2.11
1964	5.83	1945	2.69	1943	1.64	1958	3.95	1957	1.98
1965	4.56	1946	3.19	1944	2.28	1959	3.66	1958	2.53
1966	6.55	1947	2.15	1945	2.04	1960	2.77	1959	1.96
1967	3.5	1948	2.58	1946	3.33	1961	2.77	1960	1.35
1968	6.44	1949	3.37	1947	1.62	1962	1.86	1961	1.29
1969	5.26	1950	2.27	1948	2.06	1963	2.42	1962	0.65
1970	4.84	1951	2	1949	2.55	1964	3.1	1963	1.05
1971	2.81	1952	2.15	1950	2.06	1965	3.32	1964	1.57
1972	2.94	1953	1.88	1951	1.82	1966	4.18	1965	1.7
1973	4.33	1954	2.1	1952	1.9	1967	1.63	1966	2.87
1974	3.83	1955	1.08	1953	1.8	1968	2.91	1967	1.23
1975	3.31	1956	2.5	1954	2.18	1969	2.3	1968	2.35
1976	3.13	1957	2.93	1955	0.9	1970	2.06	1969	1.38
1977	5.78	1958	4.09	1956	2.1	1971	1.55	1970	1.15
1978	7.57	1959	6.18	1957	1.94	1972	2.22	1971	0.66
1979	5.93	1960	2.94	1958	1.68	1973	2.1	1972	1.22
1980	5.82	1961	3.75	1959	2.92	1974	2.23	1973	3.06
1981	7.64	1962	1.74	1960	2.53	1975	2.4	1974	4.46
1982	3.54	1963	1.74	1961	3.12	1976	2.59	1975	4.2
1983	5.22	1964	4.14	1962	1.18	1977	2.86	1976	5.97
1984	3.79	1965	3.75	1963	1.26	1978	2.89	1977	4.81
1985	3.42	1966	4.67	1964	1.86	1979	2.58	1978	4.98
1986	3.62	1967	1.68	1965	1.93	1980	2.3	1979	5.64
1987	5.51	1968	2.38	1966	2.53	1981	3.88	1980	3.7
1988	4.45	1969	2	1967	1.07	1982	2.65	1981	4.85
1989	1.83	1970	2.63	1968	2.53	1983	2.62	1982	1.53
1990	2.22	1971	1.48	1969	1.34	1984	1.97	1983	2.51
1991	2.3	1972	1.57	1970	1.48	1985	1.7	1984	1.72
1992	5.76	1973	2.26	1971	0.93	1986	2.13	1985	2.43
1993	4.86	1974	2.5	1972	1.86	1987	2.51	1986	2.64
1994	4.73	1975	3.43	1973	1.87	1988	1.9	1987	3.41
1995	3.33	1976	4.78	1974	2.02	1989	1.45	1988	2.06
1996	2.06	1977	7.22	1975	1.55	1990	1.23	1989	1.08
1997	4	1978	6.46	1976	2.1	1991	1.16	1990	1.41
1998	0.55	1979	4.21	1977	1.6	1992	2.42	1991	1.52
1999	0.48	1980	4.75	1978	2.42	1993	2.4	1992	2.54
2000	0.66	1981	7.45	1979	1.81	1994	2.84	1993	1.97
		1982	2.08	1980	2.55	1995	1.82	1994	1.86
		1983	3.37	1981	2.67	1996	1.76	1995	0.99
		1984	3.06	1982	1.2	1997	2.6	1996	0.66
		1985	3.02	1983	2.35	1998	1.24	1997	2.19

<i>Pinus strobiformis</i> 1	<i>Pinus strobiformis</i> 2	<i>Pinus strobiformis</i> 3	<i>Pinus strobiformis</i> 4	<i>Pinus strobiformis</i> 5
	1986 2.28	1984 2.16	1999 1.27	1998 0.95
	1987 3.89	1985 2.56	2000 1.55	1999 0.89
	1988 3.7	1986 0.91		2000 1.07
	1989 1.49	1987 0.77		
	1990 1.41	1988 2.13		
	1991 1.05	1989 1.15		
	1992 2.24	1990 1.7		
	1993 2.31	1991 1.17		
	1994 1.81	1992 1.44		
	1995 2.2	1993 1.55		
	1996 1.54	1994 2.03		
	1997 2.03	1995 2.02		
	1998 1.09	1996 2.26		
	1999 1.17	1997 2.34		
	2000 1.55	1998 1.47		
		1999 1.49		
		2000 0.63		

<i>Pinus teocote</i> 1		<i>Pinus teocote</i> 2		<i>Pinus teocotes</i> 3		<i>Pinus teocote</i> 4	
1900	2.9	1909	8.15	1911	4.05	1896	3.29
1901	3.11	1910	5.72	1912	1.93	1897	3.14
1902	2.93	1911	5.29	1913	3.14	1898	1.59
1903	2.2	1912	5.61	1914	3.31	1899	2.67
1904	2.65	1913	6.11	1915	3.4	1900	2.22
1905	2.27	1914	4.38	1916	2.64	1901	2.4
1906	2.42	1915	4.16	1917	3.97	1902	2.66
1907	1.9	1916	1.21	1918	3.46	1903	1.7
1908	1.74	1917	1.12	1919	3.94	1904	2.96
1909	1.83	1918	3.93	1920	3.83	1905	2.29
1910	0.9	1919	4.62	1921	1.2	1906	1.2
1911	1.3	1920	2.03	1922	0.49	1907	1.63
1912	1.99	1921	2.77	1923	2.43	1908	0.75
1913	1.77	1922	2.3	1924	1.61	1909	1.35
1914	1.38	1923	3.5	1925	2.84	1910	1.93
1915	1.79	1924	3.96	1926	1.56	1911	2.85
1916	1.69	1925	3.08	1927	1.83	1912	1.33
1917	0.84	1926	4.28	1928	1.71	1913	1.16
1918	0.51	1927	2.99	1929	1.34	1914	1.46
1919	0.4	1928	1.93	1930	1.79	1915	0.37
1920	0.88	1929	1.15	1931	1.68	1916	1.19
1921	1	1930	2.55	1932	2.46	1917	2.14
1922	0.88	1931	2.16	1933	2.16	1918	1.93
1923	0.55	1932	2.56	1934	1.94	1919	1.77
1924	0.86	1933	2.28	1935	3.25	1920	1.74
1925	0.9	1934	5.56	1936	3.07	1921	0.89
1926	1.08	1935	4.15	1937	1.71	1922	2.02
1927	1.51	1936	2.78	1938	1.11	1923	2.7
1928	1.31	1937	3.14	1939	1.37	1924	1.75
1929	0.87	1938	3.25	1940	0.89	1925	2.33
1930	0.43	1939	5.18	1941	1.01	1926	1.86
1931	0.33	1940	4.38	1942	1.21	1927	1.18
1932	0.58	1941	4.21	1943	1.41	1928	0.43
1933	0.61	1942	3.44	1944	1.58	1929	0.67
1934	0.22	1943	2.21	1945	1.44	1930	1.49
1935	0.54	1944	3.2	1946	1.32	1931	0.76
1936	0.43	1945	2.6	1947	0.8	1932	0.39
1937	0.46	1946	1.96	1948	1.05	1933	0.4
1938	0.79	1947	1.88	1949	1.16	1934	0.89
1939	0.88	1948	1.77	1950	1.94	1935	0.68
1940	0.8	1949	1.76	1951	1.2	1936	0.75
1941	0.58	1950	1.78	1952	0.81	1937	0.96

<i>Pinus teocote</i> 1		<i>Pinus teocote</i> 2		<i>Pinus teocotes</i> 3		<i>Pinus teocote</i> 4	
1942	0.86	1951	2.09	1953	1.13	1938	1.27
1943	0.81	1952	1.87	1954	1.09	1939	1.38
1944	0.77	1953	1.34	1955	0.45	1940	1.12
1945	1.2	1954	1.75	1956	0.75	1941	1.42
1946	0.42	1955	0.75	1957	0.6	1942	1.8
1947	0.42	1956	1.39	1958	1.27	1943	1.56
1948	0.35	1957	2.3	1959	2.75	1944	2.07
1949	1.04	1958	3.88	1960	1.88	1945	1.81
1950	1.03	1959	3.54	1961	1.97	1946	0.8
1951	1.08	1960	2.2	1962	2.34	1947	1.31
1952	0.93	1961	1.46	1963	1.77	1948	2.14
1953	0.91	1962	0.86	1964	1.41	1949	1.13
1954	0.79	1963	1.8	1965	3.5	1950	1.44
1955	0.61	1964	2.49	1966	1.18	1951	1
1956	0.51	1965	2.67	1967	1.32	1952	0.86
1957	0.98	1966	2.3	1968	0.6	1953	0.49
1958	1.15	1967	2.12	1969	0.91	1954	0.45
1959	1.97	1968	1.83	1970	0.6	1955	0.66
1960	2.68	1969	2.41	1971	0.84	1956	1.65
1961	1.75	1970	2.65	1972	0.5	1957	2.28
1962	1.39	1971	1.66	1973	0.61	1958	2.17
1963	0.66	1972	2.43	1974	2.15	1959	1.15
1964	1.21	1973	2.52	1975	2.79	1960	1.24
1965	1.71	1974	1.09	1976	2.12	1961	1.24
1966	1.07	1975	1.42	1977	1.77	1962	0.55
1967	1.76	1976	1.65	1978	3.44	1963	1.12
1968	1.03	1977	1.75	1979	1.34	1964	2.72
1969	1.92	1978	2.55	1980	1.07	1965	1.69
1970	1.43	1979	1.74	1981	0.54	1966	1.62
1971	1.27	1980	1.94	1982	1.23	1967	0.97
1972	0.56	1981	2.44	1983	0.6	1968	2.19
1973	0.92	1982	1.56	1984	0.35	1969	3.06
1974	1.6	1983	2.55	1985	1.86	1970	2.4
1975	1.11	1984	1.23	1986	1.28	1971	0.92
1976	2.64	1985	1.74	1987	1.19	1972	0.33
1977	2.98	1986	1.78	1988	2.22	1973	0.49
1978	2.04	1987	1.08	1989	1.43	1974	0.57
1979	2.73	1988	1.6	1990	1.61	1975	0.88
1980	2.09	1989	1.26	1991	1.47	1976	0.82
1981	1.98	1990	1.17	1992	0.97	1977	1.22
1982	1.79	1991	0.98	1993	2.58	1978	1.26
1983	2.48	1992	0.68	1994	3.92	1979	1.02
1984	1.47	1993	0.92	1995	1.83	1980	1.2

<i>Pinus teocote 1</i>		<i>Pinus teocote 2</i>		<i>Pinus teocotes 3</i>		<i>Pinus teocote 4</i>	
1985	2.29	1994	1.53	1996	2.06	1981	1.35
1986	2.02	1995	1.4	1997	1.83	1982	0.37
1987	2.48	1996	1.35	1998	1.1	1983	0.77
1988	2.12	1997	2.61	1999	0.98	1984	0.72
1989	1.03	1998	2.89	2000	0.66	1985	0.72
1990	1.04	1999	2.85			1986	1.09
1991	1.04	2000	1.95			1987	1.68
1992	0.24					1988	1.62
1993	0.64					1989	1.19
1994	1.15					1990	2.31
1995	0.39					1991	1.77
1996	0.23					1992	1.7
1997	1.93					1993	1.71
1998	1.52					1994	1.85
1999	1					1995	0.53
2000	0.57					1996	1.68
						1997	0.92
						1998	0.69
						1999	0.88
						2000	0.77

<i>Abies vejari</i> 1		<i>Abies vejari</i> 2		<i>Abies vejari</i> 3		<i>Abies vejari</i> 4		<i>Abies vejari</i> 5	
1955	3.01	1912	6.22	1885	0.77	1936	10.83	1918	2.28
1956	4.1	1913	4.9	1886	0.7	1937	7.89	1919	0.63
1957	3.27	1914	3.57	1887	0.77	1938	9.45	1920	1.66
1958	5.05	1915	2	1888	0.5	1939	8.06	1921	2.83
1959	4.49	1916	1.32	1889	0.89	1940	7.91	1922	2.16
1960	2.35	1917	0.89	1890	0.56	1941	5.88	1923	2.53
1961	3.58	1918	1.85	1891	1.25	1942	4.35	1924	1.87
1962	4.37	1919	2.86	1892	1.9	1943	3.32	1925	1.84
1963	3.72	1920	2.13	1893	2.95	1944	3.14	1926	3.13
1964	3.86	1921	1.53	1894	1.24	1945	2.41	1927	1.1
1965	3.55	1922	1.06	1895	2.12	1946	4.81	1928	1.51
1966	5.5	1923	1.56	1896	1.28	1947	3.36	1929	0.64
1967	3.29	1924	1.11	1897	1.72	1948	3.93	1930	1.87
1968	4.28	1925	1.2	1898	0.92	1949	3.97	1931	5.04
1969	5.27	1926	2.41	1899	1.54	1950	3.9	1932	2.48
1970	5.23	1927	1.62	1900	0.75	1951	2.85	1933	0.85
1971	3.27	1928	0.95	1901	2.43	1952	2.99	1934	2.51
1972	3.82	1929	0.41	1902	1.84	1953	2.11	1935	1.55
1973	4.12	1930	0.7	1903	0.98	1954	2.34	1936	2.31
1974	3.93	1931	2.11	1904	0.6	1955	1.66	1937	2.1
1975	3.33	1932	0.75	1905	0.5	1956	3.33	1938	2.48
1976	4.08	1933	0.9	1906	0.63	1957	4	1939	2.8
1977	8.33	1934	2.35	1907	1.59	1958	4	1940	1.5
1978	5.58	1935	1.59	1908	1.7	1959	3.13	1941	2.18
1979	6	1936	2.37	1909	1.65	1960	2.53	1942	2.46
1980	7	1937	2.36	1910	2.27	1961	3.93	1943	2.52
1981	5.86	1938	2.2	1911	1.38	1962	3.13	1944	2.71
1982	2.67	1939	2.39	1912	0.7	1963	3.43	1945	1.71
1983	4.3	1940	2.22	1913	0.33	1964	3.17	1946	1.84
1984	4.3	1941	1.94	1914	0.64	1965	2.8	1947	1.23
1985	4.69	1942	1.57	1915	0.85	1966	3.49	1948	1.63
1986	4.59	1943	1.18	1916	1.05	1967	2.5	1949	1.42
1987	5.32	1944	1.36	1917	1.76	1968	2.83	1950	1.45
1988	6.19	1945	1.16	1918	2.04	1969	2.03	1951	0.88
1989	4.31	1946	1.1	1919	1.34	1970	1.83	1952	1.19
1990	6.12	1947	1.13	1920	0.57	1971	1.4	1953	1.31
1991	4.79	1948	1.2	1921	0.43	1972	1.45	1954	2.18
1992	6.75	1949	1.27	1922	1.04	1973	2.1	1955	0.89
1993	7.33	1950	1.43	1923	2.18	1974	2.05	1956	1.04
1994	6.09	1951	1.16	1924	1.24	1975	2.24	1957	1.43
1995	5.33	1952	1.11	1925	1.69	1976	3.26	1958	1.62
1996	5.86	1953	0.62	1926	1.08	1977	2.67	1959	2.23

<i>Abies vejari</i> 1		<i>Abies vejari</i> 2		<i>Abies vejari</i> 3		<i>Abies vejari</i> 4		<i>Abies vejari</i> 5	
1997	6.53	1954	0.88	1927	1.22	1978	1.97	1960	0.75
1998	3.19	1955	0.56	1928	1.12	1979	1.8	1961	0.51
1999	4.17	1956	0.57	1929	0.59	1980	1.18	1962	0.65
2000	3.51	1957	0.89	1930	2.39	1981	1.48	1963	1.44
		1958	0.76	1931	1.19	1982	0.56	1964	2.04
		1959	0.57	1932	0.63	1983	0.62	1965	1.6
		1960	0.62	1933	0.52	1984	0.58	1966	4.4
		1961	0.64	1934	1.11	1985	1.45	1967	3.17
		1962	0.45	1935	0.73	1986	1.74	1968	4.85
		1963	0.71	1936	0.29	1987	2.53	1969	3.17
		1964	1.01	1937	0.91	1988	1.81	1970	1.93
		1965	1.04	1938	1.12	1989	0.93	1971	0.68
		1966	0.83	1939	1.3	1990	1.49	1972	1.35
		1967	0.57	1940	1.08	1991	1.18	1973	1.78
		1968	1.02	1941	1.88	1992	2.63	1974	0.99
		1969	0.9	1942	2.29	1993	1.8	1975	0.82
		1970	0.56	1943	1.91	1994	1.39	1976	1.56
		1971	0.63	1944	1.28	1995	1.24	1977	2.4
		1972	0.53	1945	0.76	1996	1.46	1978	1.5
		1973	1.28	1946	0.73	1997	2.09	1979	1.79
		1974	0.92	1947	1.27	1998	0.88	1980	1.82
		1975	0.87	1948	0.77	1999	0.85	1981	2.83
		1976	1.13	1949	1.44	2000	1.04	1982	0.53
		1977	1.2	1950	0.65		2.91	1983	2.21
		1978	0.83	1951	0.72			1984	1.81
		1979	1.29	1952	1.35			1985	2.46
		1980	1.59	1953	1.03			1986	1.76
		1981	1.22	1954	0.95			1987	5.98
		1982	0.37	1955	0.68			1988	5.17
		1983	0.71	1956	0.25			1989	1.09
		1984	0.6	1957	0.58			1990	4.91
		1985	0.71	1958	0.23			1991	2.49
		1986	1.97	1959	0.25			1992	7.26
		1987	3.39	1960	0.33			1993	4.01
		1988	3.63	1961	0.66			1994	3.9
		1989	1.56	1962	0.38			1995	2.3
		1990	1.67	1963	0.36			1996	2.25
		1991	1	1964	0.81			1997	7.46
		1992	1.65	1965	1.39			1998	1.63
		1993	1.98	1966	0.89			1999	0.58
		1994	1.76	1967	2.11			2000	0.85
		1995	1.52	1968	1.09				2.17
		1996	1.92	1969	1.44				

<i>Abies vejari</i> 1	<i>Abies vejari</i> 2	<i>Abies vejari</i> 3	<i>Abies vejari</i> 4	<i>Abies vejari</i> 5
	1997 3.54	1970 1.24		
	1998 1.54	1971 0.6		
	1999 1.43	1972 0.33		
	2000 1.06	1973 0.41		
	1.46	1974 0.22		
		1975 0.09		
		1976 0.46		
		1977 0.72		
		1978 0.48		
		1979 0.6		
		1980 1		
		1981 2.89		
		1982 1.59		
		1983 2.48		
		1984 2.7		
		1985 1.69		
		1986 3.38		
		1987 1.74		
		1988 4.05		
		1989 3.31		
		1990 7.58		
		1991 2.62		
		1992 3.96		
		1993 1.44		
		1994 1.09		
		1995 0.7		
		1996 1.35		
		1997 3.83		
		1998 0.7		
		1999 0.75		
		2000 0.56		

<i>Pinus hartwegii</i> 1		<i>Pinus hartwegii</i> 2		<i>Pinus hartwegii</i> 3		<i>Pinus hartwegii</i> 4		<i>Pinus hartwegii</i> 5	
1902	6.91	1903	8.05	1902	8.55	1920	4.95	1940	3.98
1903	6.82	1904	3.57	1903	5.5	1921	4.77	1941	2.55
1904	5.58	1905	3.74	1904	4.22	1922	2.18	1942	2.26
1905	2.47	1906	3.47	1905	4.49	1923	3.44	1943	1.65
1906	2.34	1907	1.44	1906	4.34	1924	4.03	1944	1.6
1907	1.3	1908	1.89	1907	2.13	1925	2.44	1945	2.78
1908	1.39	1909	1.41	1908	2.24	1926	1.73	1946	3.23
1909	0.87	1910	1.79	1909	0.87	1927	3.01	1947	2.53
1910	1.72	1911	1.97	1910	0.66	1928	2.15	1948	1.93
1911	1.7	1912	2.13	1911	1.48	1929	2.02	1949	1.47
1912	1.66	1913	2.28	1912	3.4	1930	1.15	1950	1.93
1913	1.55	1914	1.17	1913	3.54	1931	1.24	1951	1.18
1914	0.82	1915	1.56	1914	2.14	1932	1.92	1952	1.78
1915	0.86	1916	0.62	1915	1.31	1933	2.62	1953	1.3
1916	0.7	1917	0.47	1916	1.05	1934	1.33	1954	1.46
1917	1.38	1918	0.52	1917	0.61	1935	0.88	1955	0.83
1918	1.6	1919	1.43	1918	0.93	1936	0.75	1956	1.28
1919	2.04	1920	0.93	1919	1.29	1937	0.7	1957	1.78
1920	1.5	1921	1.32	1920	1.43	1938	1.01	1958	2.36
1921	1.32	1922	1.01	1921	2.12	1939	1.72	1959	1.64
1922	1.24	1923	1.24	1922	2.24	1940	2.64	1960	0.88
1923	1.55	1924	2.15	1923	2.03	1941	2.96	1961	1.13
1924	1.89	1925	1.76	1924	0.75	1942	4.69	1962	0.68
1925	1.48	1926	2.27	1925	1.83	1943	3.78	1963	1.54
1926	1.84	1927	1	1926	1.97	1944	4.15	1964	1.8
1927	1.92	1928	0.91	1927	1.44	1945	3.73	1965	1.43
1928	0.95	1929	0.44	1928	0.92	1946	4.11	1966	1.44
1929	1.3	1930	0.76	1929	1.12	1947	3.13	1967	1.26
1930	1.54	1931	1.07	1930	2.16	1948	2.98	1968	2.76
1931	1.61	1932	1.08	1931	2.07	1949	2.96	1969	2.04
1932	1.11	1933	1.99	1932	1.74	1950	2.26	1970	3.03
1933	1.69	1934	2.18	1933	1.03	1951	2.33	1971	1.58
1934	1.21	1935	1.9	1934	1.83	1952	1.99	1972	1.84
1935	1.21	1936	2.27	1935	1.33	1953	1.4	1973	3.82
1936	1.25	1937	3.07	1936	1.29	1954	1.67	1974	2.88
1937	0.96	1938	3.41	1937	1.85	1955	1	1975	3.11
1938	1.76	1939	2.83	1938	2.08	1956	0.97	1976	2.69
1939	2.06	1940	1.98	1939	2.32	1957	1.77	1977	2.89
1940	1.41	1941	2.22	1940	1.08	1958	2.82	1978	2.81
1941	2.06	1942	2.86	1941	2.08	1959	2.78	1979	2.08
1942	2.44	1943	2.12	1942	2.35	1960	1.61	1980	2.63
1943	1.48	1944	3	1943	1.81	1961	2.67	1981	3.83

<i>Pinus hartwegii</i> 1		<i>Pinus hartwegii</i> 2		<i>Pinus hartwegii</i> 3		<i>Pinus hartwegii</i> 4		<i>Pinus hartwegii</i> 5	
1944	2.56	1945	1.97	1944	2.57	1962	1.72	1982	2.19
1945	2.43	1946	4.44	1945	1.5	1963	1.47	1983	4.16
1946	2.15	1947	3.27	1946	3.58	1964	3.56	1984	3.45
1947	1.93	1948	3.86	1947	2.03	1965	2.3	1985	3.24
1948	2.42	1949	3.74	1948	3.21	1966	3.14	1986	2.66
1949	1.87	1950	4.53	1949	3.33	1967	1.83	1987	4.12
1950	1.63	1951	4.23	1950	3.67	1968	3.52	1988	3.28
1951	2.24	1952	3.36	1951	2.09	1969	3.11	1989	2.76
1952	1.69	1953	2.62	1952	1.74	1970	3.43	1990	2.73
1953	0.96	1954	2.8	1953	1.74	1971	2.23	1991	3.31
1954	1.41	1955	1.11	1954	2.33	1972	1.86	1992	2.93
1955	0.71	1956	3.46	1955	0.53	1973	2.54	1993	3.58
1956	1.78	1957	4.44	1956	1.69	1974	2.22	1994	4.53
1957	2.07	1958	4.09	1957	2.06	1975	1.74	1995	3.38
1958	2.01	1959	4.97	1958	3.18	1976	1.87	1996	4.05
1959	1.87	1960	3	1959	2.35	1977	2.52	1997	5.11
1960	2.77	1961	3.85	1960	1.34	1978	1.83	1998	3.3
1961	2.45	1962	3.15	1961	2.09	1979	2.24	1999	2.95
1962	1.75	1963	3.63	1962	1.25	1980	2	2000	2.51
1963	1.39	1964	4.55	1963	1.25	1981	2.62		2.49
1964	3.16	1965	2.33	1964	1.92	1982	1.44		
1965	1.47	1966	4.62	1965	1.51	1983	2.18		
1966	1.5	1967	1.95	1966	3.02	1984	1.71		
1967	1.12	1968	4.74	1967	1.59	1985	1.15		
1968	1.63	1969	3.05	1968	4.54	1986	0.51		
1969	1.7	1970	3.02	1969	1.7	1987	0.92		
1970	0.8	1971	1.51	1970	1.36	1988	1.04		
1971	1.12	1972	2.56	1971	0.43	1989	1.55		
1972	1.01	1973	2.72	1972	0.93	1990	1.7		
1973	1.45	1974	1.7	1973	0.8	1991	1.56		
1974	1.39	1975	1.12	1974	0.96	1992	1.5		
1975	2.07	1976	1.83	1975	0.5	1993	2.1		
1976	1.91	1977	3.46	1976	0.86	1994	2.3		
1977	3.04	1978	2.48	1977	1.4	1995	1.17		
1978	2.39	1979	1.83	1978	1.58	1996	0.58		
1979	1.62	1980	1.74	1979	1.58	1997	1.29		
1980	2.26	1981	1.22	1980	2.35	1998	1.08		
1981	3.05	1982	1.95	1981	2.14	1999	0.72		
1982	1.48	1983	3.78	1982	1.19	2000	0.32		
1983	1.72	1984	2.95	1983	2.04		2.16		
1984	1.18	1985	3.26	1984	1.59				
1985	1.95	1986	2.13	1985	1.64				
1986	1.19	1987	3.3	1986	1.7				

<i>Pinus hartwegii</i> 1		<i>Pinus hartwegii</i> 2		<i>Pinus hartwegii</i> 3		<i>Pinus hartwegii</i> 4	<i>Pinus hartwegii</i> 5
1987	1.68	1988	3.77	1987	1.9		
1988	1.76	1989	1.85	1988	2.13		
1989	2.28	1990	3.41	1989	0.85		
1990	2.24	1991	1.67	1990	2.02		
1991	2.86	1992	3.54	1991	0.87		
1992	1.92	1993	2.08	1992	2.28		
1993	2.1	1994	2.78	1993	2.22		
1994	2.11	1995	1.49	1994	2.77		
1995	0.78	1996	1.129	1995	1.09		
1996	0.82	1997	3.81	1996	0.75		
1997	1.3	1998	2.53	1997	2.28		
1998	1.05	1999	1.4	1998	0.26		
1999	0.73	2000	1.27	1999	0.35		
2000	0.99		2.49	2000	0.38		
	1.81				1.93		