

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y ANALISIS  
ECONOMICO DE CUATRO ESPECIES DE PINUS  
EN LA SIERRA FRIA, AGUASCALIENTES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA

GERARDO GARCIA REGALADO

DIRECTOR DE TESIS: DR. MARTIN RICKER

MEXICO, D.F. 2001

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**ESTUDIO DEL CRECIMIENTO Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE  
CUATRO ESPECIES DE *PINUS* EN LA SIERRA FRÍA,  
AGUASCALIENTES**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
PRESENTA

**GERARDO GARCÍA REGALADO**

DIRECTOR DE TESIS: DR. MARTIN RICKER

MÉXICO, D. F. 2001

## AGRADECIMIENTOS

*A ese ser sobrenatural que siempre escucha mis ruegos*

- *A las autoridades de la Universidad Autónoma de Aguascalientes en turno, que me concedieron el apoyo económico para realizar la maestría.*
- *A los Doctores Robert Bye y Gerardo Segura por su asesoría y consejos durante el transcurso del proyecto y el tiempo dedicado a los tutoriales; a los Doctores Javier Caballero y Luis Bojórques por aceptar ser mis sinodales de examen de maestría.*
- *Al Doctor Martín Ricker por su amistad, paciencia, comprensión, consejos técnicos y el tiempo concedido a la elaboración del trabajo de campo y de gabinete.*
- *A Norma Angélica de la Cerda, Conrado García, Claudia Angélica y Luis Conrado por permitirme compartir su espacio, por su apoyo material y moral que nunca podré pagarles, pero más que todo por el cariño que tan desinteresadamente me han brindado.*
- *A mi esposa Margarita a quien quiero, respeto y admiro, no existen palabras ni hechos suficientes para agradecerle todo lo que me ha dado.*
- *A mis hijas Silene y Rosa Angélica por tanto cariño hacia mi persona, cariño que ha sido uno de los principales soportes para mi superación.*
- *A mis hermanos y hermanas, a mis compañeros y amigos que me han mostrado siempre su comprensión y a todos aquellos que siempre han tenido para mí palabras de aliento.*

*A TODOS USTEDES DIOS LES BENDIGA*

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>OBJETIVOS</b>	5
<b>ANTECEDENTES</b>	5
Los pinos	7
La dendrocronología como herramienta para medir el crecimiento de los pinos	10
Factores biológicos en el manejo forestal	11
<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	13
<b>MÉTODOS</b>	17
Colecta de virutas	17
Medición del incremento anual	18
Análisis de varianza (ANOVA) para comparar los incrementos	18
Comparación estadística de los promedios de los incrementos por pares	20
Análisis de frecuencia de edades	21
Medición de la altura y cálculo del volumen del tronco	21
Modelaje de crecimiento	23
Modelaje del valor comercial	24
<b>RESULTADOS</b>	26
Análisis de varianza de los incrementos anuales del diámetro de los troncos	26
Frecuencias de las edades de los árboles	40
Curvas de crecimiento de los troncos	40
Análisis del valor comercial de sembrar plántulas	48



<b>DISCUSIÓN</b>	53
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	56
<b>MAPAS</b>	
Mapa 1. Localización del área de estudio	I
Mapa 2. Localización de sitios de muestreo	II
<b>TABLAS</b>	
Tabla 1. Regresión no-lineal con el modelo BRC de crecimiento	43
Tabla 2. Valor presente neto esperado por árbol con el modelo BRC de crecimiento	52
<b>APÉNDICE</b>	
APÉNDICE 1. Datos de entrada para los análisis de varianza	62
APÉNDICE 2. Datos de entrada para la regresión no-lineal con el modelo de crecimiento BRC	71

## RESUMEN

La finalidad del presente trabajo consistió en llevar a cabo la determinación del aumento en diámetro y volumen del fuste principal de cuatro especies de pino con el propósito de derivar sus ecuaciones de crecimiento. Se investigó el costo – beneficio del manejo forestal comercial de las cuatro especies de pino en la Sierra Fría de Aguascalientes de manera hipotética para analizar el crecimiento pasado en árboles existentes.

Se obtuvieron 432 virutas radiales de los troncos de cuatro especies de pinos *Pinus cembroides*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, y *P. teocote*, se encontraron seis sitios diferentes de las cuatro especies (distancia entre ellos 1 a 20 km). Se contaron los anillos de crecimiento para saber la edad de los árboles, y se midieron los incrementos anuales del radio troncal. Para explicar variación de crecimiento, se registraron los árboles dominantes, codominantes y suprimidos.

Por medio de un análisis de varianza (ANOVA) de los incrementos promedios a lo largo de la vida de cada árbol, se concluyó lo siguiente: (1) *Pinus lumholtzii* crece mucho más lento que las otras tres especies. (2) *P. cembroides* resultó ser la especie de crecimiento más rápido, aunque no significativamente más alto que *P. leiophylla* y *P. teocote*. (3) Los árboles suprimidos crecen mucho más lentos que los árboles dominantes o codominantes, independientemente del sitio.

Además de los incrementos, se midieron los diámetros a la altura de pecho y la altura total del tronco de cada árbol, por lo que se pudo calcular el volumen con una ecuación ya elaborada para *Pinus taeda*. Por medio de regresión no-lineal, se aplicó el modelo BRC (Bertalanffy-Richards-Chapman) para modular el desarrollo promedio de volumen, radio y altura, en función de la edad para cada especie.

Finalmente se obtuvo información acerca de costos de manejo y precios de madera de estos árboles en la región. Un análisis de costo-beneficio demuestra que no

valdría la pena plantar árboles de ninguna de las cuatro especies, con los precios actuales de la madera. Para que la inversión de sembrar árboles en la Sierra Fría de Aguascalientes sea redituable sería necesario que en el futuro el precio de la madera aumente por lo menos diez veces, o que los árboles de pino crezcan quince veces más rápido o que el costo de manejo disminuya por lo menos quince veces. Los tres escenarios parecen remotos. Se puede especular que con el suministro de madera por la tala ilegal, el precio de la madera no subirá hasta que se terminen los árboles grandes de la mayoría de los bosques existentes.

## **INTRODUCCIÓN**

El incremento de la población y el crecimiento industrial en México han determinado un aceleramiento en su demanda de productos forestales. México posee 141.7 millones de hectáreas consideradas como forestales y con vegetación natural, lo que representa el 72% de la superficie total nacional (SARH 1994: 42). No obstante que el potencial para el aprovechamiento forestal es alto, éste no se ha realizado de manera satisfactoria. Consecuentemente, el país recurre constantemente a importaciones de materias primas y productos forestales para satisfacer su consumo interno (Ricker et al 1999a: 78).

El 17.5% de la superficie de México está cubierta con vegetación de bosque de coníferas incluyendo pino y encino (Ricker et al 1999a: 78). A pesar de la gran diversidad de especies arbóreas en México (alrededor de 5,700 especies de árboles y arbustos según Standley 1920-26: 1643), el 80% de la madera en rollo proviene exclusivamente del género *Pinus* (Ricker et al 1999: 80).

El bosque como una forma de vida básica incluye la convivencia de animales y plantas bajo ciertas condiciones del medio ambiente como clima, suelo, humedad, etc. (Spurr y Barnes, 1982) Tanto los bosques naturales como las plantaciones con fines comerciales requieren de actividades silvícolas, aún aquellas cuyos propósitos sean la

estética, recreación, ecoturismo y conservación de especies. Mediante la aplicación y tratamiento de técnicas de silvicultura se pueden mantener y mejorar los bosques para ampliar su utilidad. Los propósitos de la silvicultura están normalmente dirigidos a la creación y mantenimiento de la productividad los cuales, se encuentran determinados por la calidad del sitio donde se combinan los factores animados e inanimados del bosque. El crecimiento de la madera y otros artículos del bosque son los objetivos más comunes, aunado a la regulación de la vida silvestre, pastoreo y conservación de humedad. En este mismo contexto los procesos naturales son deliberadamente guiados para producir bosques que sean más prácticos que los naturales y en menor tiempo. Por otro lado en los bosques no manejados ocurren severas pérdidas comúnmente causadas por daños de agentes como insectos, hongos, fuego, viento, heladas, sequías, derrumbes, huracanes, control de erosión etc. Con las consecuentes pérdidas no solo de árboles comerciales que con un manejo adecuado como cosecha de madera, preparación de sitios, control de humedad, regeneración, desyerbe, fertilización aclareos, incendios controlados y podas entre otros, no solo aumentarían substancialmente su producción sino también conservarían su relación con aquellos organismos con los cuales interactúan además de evitar modificaciones del medio físico (Smith, 1986; Oliver y Larson, 1990).

Con respecto a La Sierra Fría de Aguascalientes no se han encontrado datos que demuestren se haya sometido a algún tipo de manejo al decretarse su veda forestal a partir de 1964, salvo los permisos de aprovechamiento de madera muerta y permisos aislados para la obtención de postes. (SEMARNAT, 2000. Comunicación personal).

La Sierra Fría en el Estado de Aguascalientes, donde se encuentra el área de estudio tiene una superficie de aproximadamente 112,000 ha, principalmente de bosque de encino y pino entre cuyas especies se encuentran, *Quercus eduardii*, *Q. laeta*, *Q. potosina*, *Q. resinosa*, *Q. rugosa*; *Pinus chihuahuana*, *P. michoacana* var. *comuta*, *P. durangensis*, *P. durangensis* var. *quinquefoliata*, *P. leiophylla*, *P. teocote*, *P. lumholtzii*, *P.*



*cebroides*. De estas ocho especies de *Pinus*, 4 de ellas son relativamente abundantes y tienen valor comercial. Para el Estado de Aguascalientes, la Sierra Fría representa la principal área donde se podría aprovechar madera de *Pinus* entre otras especies.

La explotación de los bosques de la Sierra Fría inició en el año de 1900, alcanzando su mayor fuerza alrededor de 1950 (comunicación personal de habitantes de la Sierra Fría). Las especies explotadas para madera de construcción fueron *Pinus leiophylla*, *P. michoacana* var. *comuta*, *P. teocote* y *P. cebroides* principalmente, en tanto que las especies de encino utilizadas para leña y carbón fueron principalmente *Quercus eduardii* y *Q. rugosa*. Los productos se aprovecharon la mayoría en la región. Es posible que la sobreexplotación de esas especies y otros disturbios hayan traído como consecuencia que los manchones de chaparral de *Arctostaphylos pungens* y de *Juniperus deppeana* ocuparan los espacios dejados por ellas.

Debido a la sobreexplotación sin control alguno, la carencia de manejo forestal, el atractivo de los bosques, el estético paisaje y el reducido tamaño de los árboles por bajas precipitaciones (500 a 600 mm precipitación por año), entre otros aspectos, se dictó veda forestal en la Sierra Fría en el año de 1964, por parte del Gobierno Federal. Todavía en los años subsecuentes se suscitó un alto índice de furtivismo. En 1974 inició el proceso de ser decretada área ecológica protegida que, sin embargo, sigue hasta hoy en día (Gobierno del Estado 1995). Ahora la madera de construcción (principalmente *Pinus*) proviene de Durango, Jalisco y Michoacán, además de ser importada de Estados Unidos. El carbón casi ya no se utiliza, ya que ha sido sustituido ampliamente por gas natural de PEMEX. El único aprovechamiento que se realiza actualmente en el área de estudio es la madera muerta utilizada en ladrilleras y rosticerías de la región.

A través del tiempo se han efectuado algunos programas de reforestación en la Sierra Fría de Aguascalientes con poco éxito, posiblemente debido a que se usaron especies no-nativas (*Eucalyptus* spp. y *Casuarina* spp.) o porque no se le dio el

seguimiento necesario de manejo en el caso de algunas especies de pino (*Pinus radiata*, *P. cembroides*, *P. michoacana*). En este trabajo se investigó la posibilidad de iniciar un manejo de las cuatro especies más frecuentes de *Pinus* encontradas en la Sierra Fría: *Pinus cembroides*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, y *P. teocote*. En particular, se pretendió comparar el crecimiento entre las especies por medio de virutas de los troncos, y calcular el valor comercial esperado de sembrar plántulas de *Pinus*.

## OBJETIVOS

- 1) Analizar el crecimiento diametral del tronco de las especies de *Pinus cembroides*, *P. leiophylla*, *P. teocote* y *P. lumholtzii* en manchones de bosque en la Sierra Fría de Aguascalientes para modelar el desarrollo promedio de volumen, radio y altura, en función de la edad.
- 2) Llevar a cabo un análisis de costo-beneficio hipotético, considerando la siembra y manejo forestal de las cuatro especies de pino en la Sierra Fría de Aguascalientes, con el objetivo de producir madera.

## ANTECEDENTES

A continuación se presenta información acerca de la predicción de volumen, crecimiento y rendimiento para especies maderables, algunos comentarios sobre el valor económico de las plantas, referencias de las especies de pino considerados en este estudio, y finalmente algunos aspectos sobre la dendrocronología para medir las edades y los incrementos anuales de los troncos de los árboles.

En México se han realizado varios trabajos sobre la predicción de volúmenes de troncos de varias especies de árboles de interés maderable entre los que se puede mencionar el de Chojnack, (1988) quien trabajó con ecuaciones de volumen de varias especies de coníferas y otras especies de madera dura en Arizona; Zepeda, et al (1994)

proponen ecuaciones para estimar el volumen fuste total, rollo total árbol y ramaje con y sin corteza así como coeficientes mórficos cilíndricos de tres especies de pino del norte de Chihuahua; el trabajo de Torres y Brodie (1990) habla sobre la demostración de beneficios de una optimización para el análisis económico de un stand natural de pino en el centro de México, en dicho estudio se plantea un modelo de predicción de la función de crecimiento en diámetro y predicciones de rendimiento para *Pinus hartwegii*. También es importante el trabajo de Aguirre y Winter (1989) quienes estiman parámetros de un modelo de recuperación de crecimiento y rendimiento para *Pinus cooperii* en el estado de Durango, México; dentro de este contexto se pueden consultar también a Ffolliott y Gottfried (1991).

Los ecosistemas de la tierra contribuyen al bienestar humano y por lo tanto representan parte del valor económico del planeta (Constanza 1998). Además la evaluación de los recursos se convierte en un primer paso para diseñar políticas que aseguren una gestión adecuada de los recursos ( Escalante y Aroche 2000). Varios estudios se han realizado acerca del valor económico de los ecosistemas y sus bosques, entre ellos se encuentra el trabajo de Balick y Mendelsohn (1992) quienes determinan el valor económico de la medicina tradicional de los bosques tropicales lluviosos de Belice. Sobre aspectos de botánica económica en México se han elaborado algunos trabajos entre los que se encuentran: un análisis microeconómico de 2 especies frutales de bosque tropical lluvioso para referir un método de análisis de costo beneficio (Ricker et al 1999a); otro trabajo que destaca es el de Ibarra, et al (1997) donde se abordan algunas consideraciones importantes acerca del potencial comercial en el mercado de 860 especies de plantas de angiospermas nativas de la selva de los Tuxtlas (Veracruz , México).

## LOS PINOS:

El género *Pinus* se restringe al hemisférico norte de América y Eurasia, y cuenta con aproximadamente 110 especies. Con 42 especies, México es uno de los países más diversos en especies de *Pinus* (Farjon y Styles 1997: 4, 50).

La mayor parte de la madera de pino extraída de los bosques mexicanos es utilizada para triplay, leña y en la construcción de muebles. Considerables cantidades son usadas también como pulpa para papel y para la extracción de resina. En el caso de *P. cembroides* se aprovechan sus semillas comestibles (McVaugh 1992). La importancia de los pinos consiste en el hecho de que el xilema de la mayoría de las especies es dura y contiene largas fibras, dando finalmente productos extrafuertes. Según (Farjon y Styles, 1997) los pinos blandos como *P. patula*, *P. oocarpa*, *P. herrerae*, *P. leiophylla* son los más apreciados por ser menos resinosos. Otro producto de tipo secundario pero de gran valor comercial es la resina de los llamados pinos duros como *P. montezumae*, *P. teocote*, *P. ayacahuite*, *P. strobiformis* (CNIDS citado por Farjon y Styles 1997). Por otra parte aproximadamente, 200 000 has de bosque se explotan en México como resina base para la industria de los terpenos. Entre los principales pinos utilizados para extracción de resina se encuentran *P. oocarpa*, *P. montezumae*, *P. teocote* y *P. pseudostrobus* (Ochoa 1999).

La industria forestal en México comprende dos actividades esenciales: a) astillado, fibras de maderas de las que se obtiene celulosa, fibras secundarias, papel y aglomerados. b) trocería y madera aserrada, es utilizada en la construcción de tableros contrachapados, tablas, cajas, tarimas y molduras e impregnación. Esta industria es muy importante para la actividad económica, ya que se utiliza como insumo para varias actividades económicas. Entre 1992 y 1998 la producción forestal maderera creció a una tasa promedio anual de 7.06% de m<sup>3</sup> por rollo. Correspondiendo a los pinos 5988.8 millones, la más alta producción en comparación a otras especies (Ochoa 1999).



De acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández, X. (1963), en México los pinos se pueden encontrar como manchones puros o bien asociados a chaparral, encino, táscate y, en los límites de su distribución geográfica formando parte de matorrales xerófilos (*P. cembroides*). También se pueden localizar en regiones de bosque tropical lluvioso y a bajas elevaciones, como es el caso de *P. caribea* y *P. oocarpa*. Existen pinos a grandes elevaciones como *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* (Farjon y Styles 1997).

A continuación se describen las características de las cuatro especies de *Pinus* contempladas en este estudio:

- 1) *Pinus cembroides* Zuccarini subsp. *cembroides* var. *cembroides*. Subgénero: Haploxylon. Sección: Paracembra (Farjon y Styles 1997). Nombrado "pino piñonero" es bien conocido en México por su semilla comestible que tiene comercio regional (McVaugh 1992). En el norte de México, *P. cembroides* es ampliamente explotado por su leña y para hacer carbón, y localmente para aserrar. Constituye en México formaciones arbóreas más o menos abiertas frecuentes entre la transición de las formaciones secas de la meseta central y los bosques de altura de las Sierras Madre Oriental y Occidental (Passini 1982). Se distribuye de Arizona al Suroeste de Nuevo México y Suroeste de Texas en Estados Unidos. En México habita en Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, Distrito Federal, Tlaxcala, Veracruz y Puebla. Ocupa una zona de transición entre el semidesierto y valles y los bosques de coníferas de montaña. El rango de altitud varía de 800 a 2600 m. Crece en substratos aluviales a derivados de rocas volcánicas, sobre suelos pobremente desarrollados (Farjon y Styles 1997). En Aguascalientes se encuentra en dos localidades del municipio de San José de Gracia, entre los límites de la parte boscosa y la zona arbustiva, en suelos pobres y pedregosos y en altitudes de 2300 a

2400 m. Abarcando una extensión de aproximadamente una ha en cada localidad (Siqueiros 1989).

2) *Pinus leiophylla* Schiede ex Schlechtendal & Chamizo. Subgénero: Diploxylon.

Sección: Leiophyllae. (Farjon y Styles 1997). Es una especie cuya madera y resina es de buena calidad. Se distribuye desde el Noreste de Sonora, Oeste de Chihuahua, Durango, Nayarit, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, México, D. F., Hidalgo, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Guerrero y Oaxaca. Se le encuentra en bosques de alta montaña, derivados de suelos volcánicos o metamórficos rocosos, en altitudes de 1500 a 2900 m (Farjon y Styles 1997). En la Sierra Fría es una de las especies de más amplia distribución, asociado con encinos (*Quercus* spp.) o bien en manchones puros, de preferencia en valles y barrancas entre los 2430 a 2980 m de altitud (Siqueiros 1989).

3) *Pinus lumholtzii* B.L. Robinson & Fernald. Subgénero: Diploxylon. Sección:

Leiophyllae (Farjon y Styles 1997). Llamado en Aguascalientes "pino triste" (por las hojas péndulas), ha sido sobre-explotado en México para aprovechar su madera. Debido a lo pequeño de sus poblaciones y su lento crecimiento no es una especie tan comercial, en comparación con las otras especies de pino. Se distribuye en la Sierra Madre Occidental, desde Chihuahua, Sinaloa, Durango, Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Aguascalientes y Guanajuato. Sus rangos de altitud varían entre 1700 a 2600 m (Farjon y Styles 1997). En la Sierra Fría, se localizan manchones restringidos de laderas calizas y pedregosas preferentemente asociado a *Quercus coccolobifolia* en altitudes de 2650 a 2800 m (Siqueiros, 1989).

4) *Pinus teocote* Schiede ex Schlechtendal & Chamizo. Subgénero: Diploxylon. Sección Teocote. (Farjon y Styles 1997). Es una de las especies maderables más importantes, sobre todo hacia el sureste del país posiblemente debido a su tamaño y grosor de fuste. La explotación de su resina resulta también de mucha importancia. *Pinus*

*teocote* es una de las especies de pino con mayor distribución en México. Habita en 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 le encuentra en altitudes de 1500 a 3000 m (Farjon y Styles 1997). Esta especie es otro de los pinos más abundantes en el municipio de San José de Gracia, forma manchones puros, o se le encuentra asociado con otras especies de pino y encino en la Sierra Fría. En altitudes de 2430 a 2950 m, en laderas o cañadas abiertas o cerradas (Siqueiros 1989).

## **LA DENDROCRONOLOGÍA COMO HERRAMIENTA PARA MEDIR EL CRECIMIENTO EN LOS PINOS:**

El prefijo griego *dendro* viene del griego *dendron* (= árbol) y la palabra *chronologia* (= tiempo). Los anillos de crecimiento varían en anchura y estrechez por variaciones climáticas y secuencias favorables y desfavorables anuales (humedad y sequía, calor o frío) que son fielmente registrados en secuencia (Fritts 1978).

Cook y Kairiustkistis (1992) señalan que Shevedov en 1882 observa en *Robinia pseudoacacia*, que las capas anchas anuales de la madera dependen de la magnitud de la precipitación anual y las capas más estrechas se deben a años más secos. Huber posteriormente en 1941 introdujo pruebas estadísticas de similitud para apoyar la comparación visual de datos.

A continuación se mencionan algunos estudios realizados que aplicaron la dendrocronología como herramienta:

D' Arrigo-Rosanne et al. (1997) elaboran un análisis de tres cronologías de *Pinus kesiya* y *Pinus merkusi* del norte-central de Tailandia con lluvia. Para la primera especie se notó una correspondencia entre los años de bajo crecimiento y promedios bajos de

lluvia. Los datos del más bajo crecimiento anual coinciden con el más bajo período de humedad de lluvia record. Suzuki (1990) midió la anchura de los anillos de 198 virutas de 105 coníferas en dos rodales de bosque, uno dominado por *Abies spectabilis* y otro dominado por *Pinus wilchiniana* y *Picea smithiana*. Las anchuras de los anillos anuales concordaron entre diferentes virutas del mismo árbol y entre diferentes virutas tomadas de diferentes árboles. Los árboles más viejos se vieron más afectados con los cambios climáticos. Además, en *P. uncinata* la anchura de los anillos se correlacionó con la precipitación anual. Abrams et al (1998) trabajaron sobre la respuesta de los anillos de crecimiento de los árboles a sequía por especie y contraste de sitios en la cordillera y Valle Central de Pensilvania, Estados Unidos. Los anillos de crecimiento de las especies utilizadas reflejaron los efectos de la sequía. Lebourgeois et al (1997) observaron los efectos de la nutrición mineral y condiciones de régimen de agua del suelo sobre el crecimiento radial en los anillos de crecimiento de "pino corsico" (*Pinus nigra*) en el oeste de Francia. Encontraron que el follaje y los análisis químicos del suelo indican que el crecimiento depende exclusivamente de la nutrición del fósforo. La respuesta de árboles al fósforo es más grande en sitios húmedos que en sitios secos pero disminuye considerablemente durante los períodos secos. Otros estudios demuestran cómo es afectado el crecimiento por plagas (por ejemplo, Laurent 1986, Alfaro y Shepherd 1991) o por contaminación (por ejemplo, Volney y Mallett 1992, Alarcón 1993, Bartholomay y Eckert 1997).

#### **FACTORES BIOLÓGICOS EN EL MANEJO FORESTAL:**

Los árboles en el bosque en estrecha proximidad compiten por luz, aire, agua, calor y nutrientes indispensables. Cada individuo crece y sobrevive según la interacción de su genética y su medio ambiente sobre su crecimiento.



Cada individuo como miembro del bosque se ve afectado por los cambios continuos que sufre éste bosque en estructura y composición por el efecto de factores internos y externos. Estos cambios resultan de la periódica necesidad que tiene cada árbol por más espacio. El aumento constante en altura y diámetro de los árboles principales del bosque incita la competencia por el espacio de crecimiento reduciendo el espacio para la mayor parte de las especies.

Para muchos individuos del bosque la competencia se ve favorecida por factores como relámpagos, viento, insectos, enfermedades, senectud o efectos de competencia por agua, luz o nutrientes, lo que termina con la vida de árboles dominantes, liberando en la comunidad una porción del dosel principal que puede ser ocupada por el crecimiento y desarrollo de las especies que componen el sotobosque modificándose así su estructura.

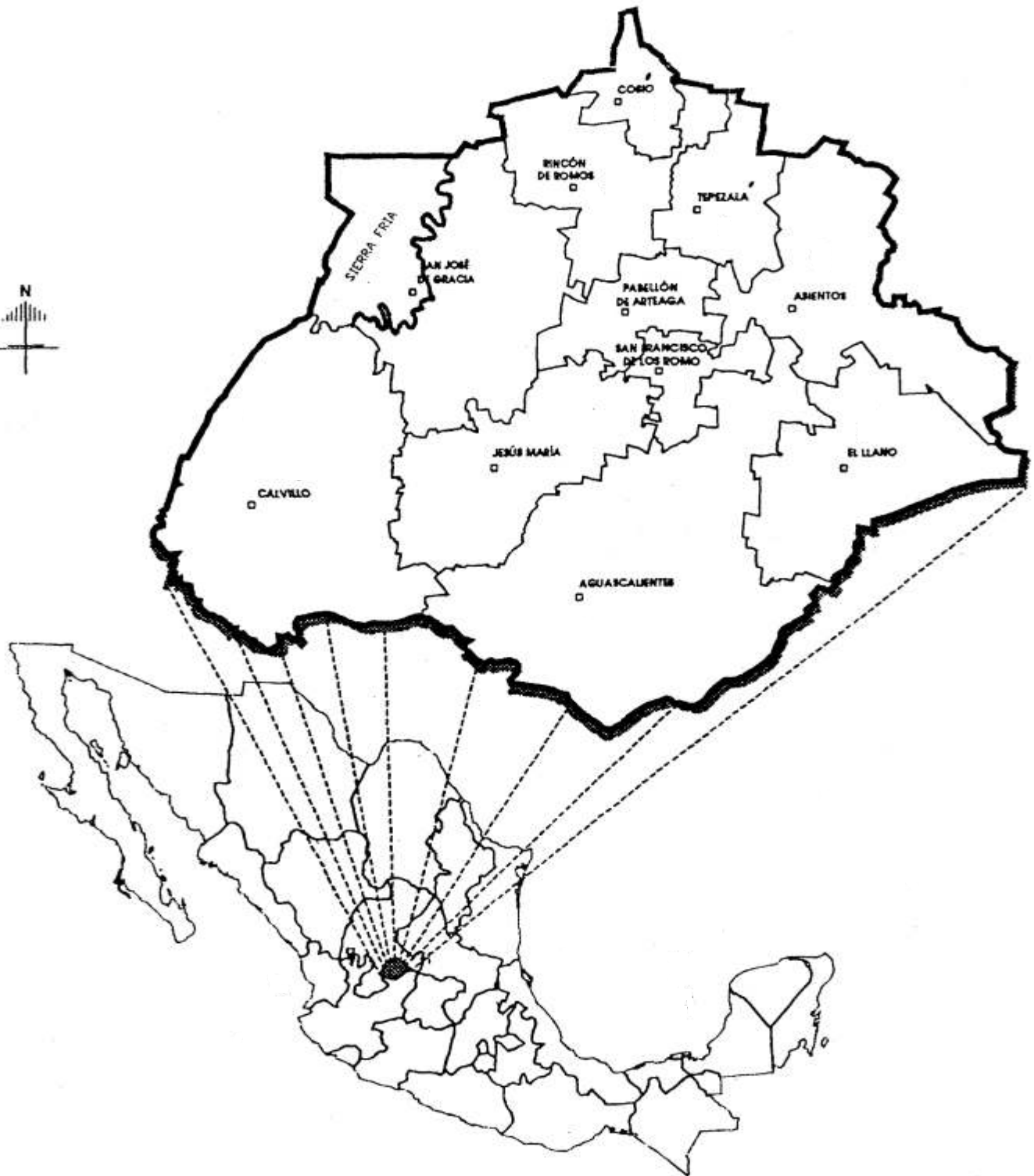
La estructura del bosque después de una fuerte perturbación se regenera. En comunidades que tienen la misma edad, la competencia por la luz, la humedad y los nutrientes dependen en gran medida de la cantidad de tallos por unidad de área, al cabo de un tiempo de que los árboles crecen juntos sus copas se diferencian por efecto de factores genéticos y del medio ambiente; unos árboles crecen rápidamente y forman grandes copas (dominantes), otros lo hacen más lentamente y sus copas son más restringidas (codominantes), mientras que otros definitivamente son dominados y su crecimiento es tan lento que sus copas quedan por debajo de las dos capas anteriores (suprimidos). El tipo de copa y nivel de la misma es utilizado en el manejo forestal para determinar el vigor de los árboles y explotaciones forestales (Spurr y Barnes 1982, Smith 1986, Oliver y Larson 1990).

Tanto los bosques naturales como las plantaciones con fines comerciales requieren de actividades silvícolas, aún aquellos cuyos propósitos sean los de estética, recreación, ecoturismo y conservación de especies (Smith 1986). Mediante la aplicación de técnicas de silvicultura se pueden mantener bien los bosques y mejorar su utilidad ya

que sus propósitos se dirigen a la creación y mantenimiento de la productividad, determinados por la calidad del sitio donde se combinan los factores biológicos y no biológicos del bosque. El crecimiento de la madera y otros artículos obtenidos del bosque son los objetivos más comunes del manejo, aunado a la regulación de la vida silvestre, pastoreo y conservación de humedad, recreación y estética. Por otro lado en los bosques no manejados ocurren severas pérdidas comúnmente causadas por daños de agentes tales como insectos, hongos, incendios naturales, efectos del viento, rompimiento de tallos por tormentas, etc., con las consecuentes pérdidas de árboles comerciales que con un manejo de silvicultura disminuyen en gran medida y aumentan substancialmente en su producción. El control de los agentes dañinos puede resultar en posteriores aumentos en los diámetros y altura de los árboles. A menudo el manejo forestal también es usado para controlar la erosión, deslizamientos de tierra, así como los efectos del frío y las fuertes sequías (Oliver y Larson 1990).

## **DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se localiza en su mayor parte al Noroeste del estado de Aguascalientes dentro del municipio de San José de Gracia, en lo que localmente se le denomina Sierra Fría (MAPA 1). El área boscosa donde se realizó el trabajo de campo abarca una superficie aproximada de 112,000 ha en el estado de Aguascalientes, con altitudes por encima de los 2100 m. De acuerdo al sistema de clasificación climatológica de Köppen modificado por García (INEGI 1998) el clima predominante en las localidades muestreadas (1,2,3,5,6) pertenecen al subtipo subhúmedo C(w1), "templado subhúmedo". Sin embargo, la localidad (4) pertenece al subtipo BSk1, "fresco seco con veranos cálidos". Ambos subtipos pertenecen al tipo [BS1Kw(e)], "seco con lluvias en verano". El mes más frío es enero, con una temperatura promedio de 12.3° C. El mes más caliente



MAPA 1. Localización del estado de Aguascalientes en la República Mexicana y su división política. FUENTE: INEGI. (1998). Carta topográfica, 1:250 000.

corresponde a julio, con 20.4° C. La temperatura promedio mensual durante el año es de 16.8° C. El promedio anual de lluvias es de 542 mm.

En la Sierra Fría se localizan el 90% de los bosques templados de Aguascalientes, además de casi todos los otros tipos de vegetación presentes en el estado. Aunque su flora no se conoce de manera completa, la Universidad Autónoma de Aguascalientes dentro de su proyecto sobre la flora de Aguascalientes, ha publicado 11 trabajos que incluyen la Sierra Fría entre los que destacan (De la Cerda 1989, 1995; García 1998, García et al 1993; Siqueiros 1989, 1995) donde se reportan 650 especies de plantas vasculares. Desde el punto de vista etnobotánico, García (1989) y García et al (1993) reportan 97 especies de plantas medicinales de uso regional y 93 especies con otros usos en el municipio de San José de Gracia en la Sierra Fría.

La mitad de los bosques de la Sierra Fría son bosques de encino o asociaciones de encinos con pino u otras especies tales como madroño (*Arbutus spp.*), *Juniperus deppeana*, *Arctostaphylos pungens*. Los encinos se encuentran ampliamente distribuidos sobre mesetas, laderas y cañadas. Como manchones puros existen generalmente desde los 1900 m de altitud. Hasta ahora se han localizado para el área de estudio un total de 18 especies de encinos, siendo las dominantes *Quercus rugosa*, *Q. eduardii*, *Q. potosina*, y *Q. laeta* (De la Cerda, 1989). En contraste se han localizado 8 especies de pino; éstas se encuentran en menor cantidad que los encinos. Las especies de pino más frecuentes son *Pinus teocote* y *P. leiophylla*. En menor proporción se encuentran *P. lumholtzii* y *P. cembroides* (Siqueiros 1989). La especie menos frecuente es *P. michoacana var. comuta*. Actualmente los pinares puros se encuentran sumamente reducidos a pequeños manchones, desde los 2350 a 2900 m de altitud. Por lo regular se asocian a suelos profundos y arcillosos, o se les encuentra en laderas protegidas de difícil acceso.

Los campesinos que viven en el área se dedican al cultivo de maíz y frijol. La ganadería que se practica en la región es de tipo extensivo. Los aprovechamientos



forestales en Aguascalientes tuvieron mucho auge hasta los años sesenta (comunicación personal de los habitantes del municipio de San José de Gracia donde se localiza La Sierra Fría). Sin embargo, es posible que aunado a lo anterior, la sobreexplotación, los incendios, las plagas y las graves sequías diezmaron las poblaciones de especies arbóreas. (de tiempo atrás los pinos y encinos han sido atacados por plagas de barrenador y descortezador (*Dendroctonus* sp.) además de varias especies de injertos (*Phoradendron* spp.) en el caso de encino. Actualmente, están siendo derribados 40, 000 individuos tanto de pinos como de encinos según datos de SEMARNAT (comunicación personal 2000) por efecto de plaga.

Para el estudio de crecimiento de los pinos, se entrevistó a los propietarios de las áreas más representativas con manchones puros de pino en la Sierra Fría, seis de ellos permitieron coleccionar las muestras de virutas (6 sitios de muestreo) en superficies de aproximadamente 1 ha cada sitio. La ubicación geográfica y la altitud de los sitios se registraron con un geoposicionador. La vegetación también fue inspeccionada en el sitio. Solamente el tipo de suelo proviene de La Síntesis Geográfica de Aguascalientes (1981).

Los sitios de muestreo (MAPA 2) presentaron las siguientes características:

- 1) "AGUA ESCONDIDA": Se encuentra situada a 9 km al Oeste de la Congoja (22° 11' 694" N y 102° 38' 145" W), a una altitud de 2625 m. Cuenta con bosque de pino (*Pinus teocote*, *P. leiophylla*), encino (*Quercus* spp.) y manzanita (*Arctostaphylos pungens*). *Pinus teocote* se encuentra en partes adyacentes de un arroyo intermitente con orientación Norte-Sur. *Pinus leiophylla* se localiza cerca de un arroyo intermitente con orientación Este-Oeste, con ambas laderas de arroyos ligeramente pronunciadas. Sus suelos son del tipo "Hh We Lo" (Ferozem háplico, Planosol éutrico, Luvisol ortico).

- 2) "BARRANCA DE JUAN FRANCISCO": Se localiza aproximadamente a 7 km al noroeste del poblado La Congoja (22° 11' 245" N y 102° 35' 564" W), a una altitud de 2425 m. Es un bosque de pino (*Pinus leiophylla*), acompañado de olmo (*Juniperus deppeana*), encino (*Quercus* spp.) y manzanita (*Arctostaphylos pungens*). Es una ladera con exposición Este ligeramente pronunciada. Sus suelos son del tipo "Hh We Lo" (Ferozem háplico, Planosol éutrico, Luvisol órtico).
- 3) "BARRANCA LOS HOYOS": Se localiza a 12 km al Oeste de La Congoja (22°11' 407" N y 102° 38' 524" W), a una altitud de 2620 m. Habita bosque de pino triste (*P. lumholtzii*), encino (*Quercus* spp.) y manzanita (*Arctostaphylos pungens*). Los suelos son "Lo Lf I" (Luvisol órtico, Luvisol férrico, litosol).
- 4) "BARRANCA LOS PLANES": Se localiza a 13 km al Sur-Sureste de Potrero de Los López (22° 00' 133" N y 102° 32' 739" W), a una altitud de 2350 m. Es una ladera con exposición Este. La vegetación se encuentra formada por pino (*P. cembroides*), olmo (*Juniperus deppeana*), sotol (*Dasilirion acrotriche*), palma (*Yuccaaustralis*), y gatuño (*Mimosa* sp.). Se caracteriza por tener suelos "Rc Lo We" (Regosol calcárico, Luvisol órtico, Planosol éutrico).
- 5) "LAGUNA SECA": Se localiza a 11 km al Oeste de La Congoja (22° 11' 123" N y 102° 38' 382" W), a una altitud de 2650 m. Este sitio se divide en dos partes: una pequeña loma con vegetación de bosque de pino (*Pinus teocote*), encino (*Quercus* spp.), manzanita (*Arctostaphylos pungens*). Por el otro lado, hacia el Este se encuentra un pequeño valle con *P. leiophylla*, cercano a un arroyo intermitente con cauce norte-sur). Los suelos son del tipo "Lo Lf I" (Luvisol órtico, Luvisol férrico, litosol).
- 6) "PUERTO PIÑONES": Se encuentra a 8 km al oeste de La Congoja (22° 11' 172" N y 102° 36' 267" W), a una altitud de 2420 m. La vegetación es de pino (*P. teocote*) y olmo (*Juniperus deppeana*). El terreno es más o menos regular,

adyacente a un bordo artificial. Presentan suelos del tipo "Hh We Lo" (Ferozem háplico, Planosol éutrico, Luvisol órtico).

## MÉTODOS

Se localizaron los árboles en rodales o manchones de árboles de *Pinus* en los seis sitios descritos arriba: 100 árboles de *P. leiophylla* (35 en Barranca de Juan Francisco, 32 en Agua Escondida y 33 en Laguna Seca); 96 árboles de *P. teocote* (32 en Puerto Piñones, 34 en Agua Escondida y 30 en Laguna Seca); 25 árboles de *P. lumholtzii* en Barranca Los Hoyos y 20 árboles de *P. cembroides* en Barranca Los Planes. Se utilizaron árboles con diferentes diámetros troncales y se seleccionaron al azar; el diámetro mínimo a la altura del pecho (DAP) fue de 3 cm (Cook y Kairiuskstis 1993; Fritts 1978).

## COLECTA DE VIRUTAS:

Por medio de un taladro forestal (Taladro de Pressler de 5.15 mm por 40 cm) se extrajeron de cada uno de los árboles de pino una viruta en la base del árbol hasta su centro (abajo), y otra viruta a la altura del pecho (arriba). Las virutas se transportaron en estuches de madera al laboratorio de dinámica de poblaciones y evolución de historias de vida del Instituto de Ecología de la UNAM en México, D.F.

Originalmente se muestrearon 241 árboles y se extrajeron un total de 482 virutas de las cuatro especies de *Pinus* consideradas en este trabajo. (*Pinus cembroides*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii* y *P. teocote*). Se midieron los incrementos anuales al medir el ancho de los anillos de crecimiento. La edad se estimó al contar los anillos de crecimiento en virutas completas desde la corteza hasta el centro de cada árbol (Cook y Kairiuskstis 1993). Además se midió la altura y se calculó el volumen del tronco. Finalmente se aplicaron modelos de crecimiento y modelos para estimar el valor comercial de sembrar plántulas de las 4 especies.

## MEDICIÓN DEL INCREMENTO ANUAL:

Después de deshidratarse, las virutas se montaron sobre un soporte de madera mediante pegamento soluble en agua. Se lijaron por medio de lija para madera. Previamente al análisis, se les colocó aceite comestible para clarificar aún más los anillos de crecimiento. En el laboratorio se midió la edad y el incremento en cada año de la vida del árbol por medio de los anillos anuales de crecimiento en cada viruta. Utilizando un contador de anillos de crecimiento y un programa computacional denominado Tree Rings, sin estandarizar el método. El número de virutas para cada especie fue 40 para *Pinus cembroides*, 158 para *P. leiophylla*, 50 para *P. lumholtzii*, 184 *P. teocote*, acumulando así un total de 432 virutas, el resto de muestras (54), se desecharon por malformaciones o porque se encontraban incompletas.

## ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA COMPARAR LOS INCREMENTOS:

Para analizar los datos de incrementos anuales (en 1/100 cm), se llevaron a cabo seis diferentes análisis de varianza (ANOVA). La computación del cálculo de promedio ponderado del acta de evaluación (ANDEVA) se llevó a cabo con el programa SYSTAT 6. El programa calcula promedios ponderados en diseños no balanceados (SYSTAT 1996: 201-205). Esto es importante porque por ejemplo el promedio de crecimiento de una especie puede deberse a unos cuantos datos en un suelo bueno y muchos datos en un suelo pobre.

- 1) Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) factorial utilizando 185 árboles ( $n = 370$  muestras de virutas) de las **4 especies de pino por 3 estatus (con copa dominante, codominante o suprimido) por 2 virutas (arriba, abajo)**. La variable de análisis fue el incremento promedio anual en todos los años medibles en las virutas de cada árbol.

- 2) Se repitió el ANOVA del punto (1). Sin embargo, ahora la variable de análisis fue el incremento promedio anual en los primeros 20 años de vida en las virutas de cada árbol. Dado que los árboles presentaron diferentes edades, si se toma el promedio de los incrementos de un árbol, por ejemplo de 30 años, y se compara con el promedio de los incrementos de árboles de más de 100 años causa el problema de un sesgo, ya que el incremento esperado no es constante a lo largo de la vida de los árboles. En este análisis se evita este sesgo, debido a los diferentes años de nacimiento, los árboles experimentaron diferentes climas en sus primeros 20 años.
- 3) Se repitió nuevamente el ANOVA del punto (1), ahora con el incremento promedio anual en los últimos 20 años de vida en las virutas de cada árbol. Dado que los árboles tenían diferentes años de nacimiento, (no todos los árboles en un bosque natural tienen la misma edad puesto que no se trata de una plantación, de tal manera, que los árboles muestreados presentaron diferentes edades), tomar el promedio de los incrementos en los últimos 20 años asegura que todos experimentaron el mismo clima (un factor importante de variación). Sin embargo, ahora no se puede evitar el sesgo de no esperar el mismo incremento en diferentes edades, ya que los últimos años corresponden a edades variadas.
- 4) Las dos especies *P. leiophylla* y *P. teocote* se encontraron tanto en Agua Escondida como en Laguna Seca. Por lo tanto, se pudo realizar un ANOVA que tomó en cuenta diferencias entre dos sitios, de **2 especies (*P. leiophylla*, *P. teocote*) por 3 estatus (copa dominante, codominante y suprimida) por 2 virutas (arriba, abajo) por 2 sitios (Agua Escondida, Laguna Seca)** en un total de 121 árboles (242 virutas). La variable de análisis fue como anteriormente el incremento promedio anual en todos los años medibles en las virutas de cada árbol.



- 5) Se repitió el ANOVA del punto (3), ahora con el incremento promedio anual en los primeros 20 años de vida en las virutas de cada árbol.
- 6) Se repitió el ANOVA del punto (3) con el incremento promedio anual en los últimos 20 años de vida en las virutas de cada árbol.

#### **COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PROMEDIOS DE LOS INCREMENTOS POR PARES:**

Después de haber realizado el ANOVA, fue de interés hacer comparaciones "no-planeadas" de los promedios por pares, para ver cuáles pares mostraban diferencias significativas. Para este propósito se siguió el método GT2 en la manera propuesta por Gabriel (1978) y descrito en Sokal y Rohlf (1995: 248-249). En este método se calcularon intervalos de comparación alrededor de los promedios obtenidos, de manera similar a intervalos de confianza de 95%. Cuando se sobrelapan los intervalos de comparación, los dos grupos de promedios no son significativamente diferentes. En lugar de sumar y restar el error estandar multiplicado con el valor de  $t_{\alpha/2, v}$ , se suma y resta el error estandar multiplicado con  $(0.5^{0.5}) m_{\alpha[k^*, v]}$ , donde  $m$  = "studentized maximum modulus" (Sokal y Rohlf 1995: 79-85),  $\alpha = 0.05$ ,  $k^*$  = número de comparaciones por pares, y  $v$  = grados de libertad, igual a la suma de los  $(n_i - 1)$  en todos los grupos  $i$ .

El método de Gabriel (1978) funciona para grupos con  $n_i$  muy variado ("unequal sample sizes"). Sokal y Rohlf (1995) no incluyen el caso de tener solamente dos grupos (pares) en su tabla. Para grupos con  $n_i$  casi iguales ("nearly equal sample sizes"), Sokal y Rohlf (1995: 246) recomiendan el método T' que resulta más poderoso estadísticamente hablando. Para este método, Sokal y Rohlf (1995: 77) también incluyen el caso de dos grupos. En el presente trabajo, los grupos tienen  $n_i$  variado por lo que se usa el método de GT2 para comparaciones de promedios entre tres y cuatro grupos. Para calcular intervalos de comparación de dos promedios, se empleó el método de T'. En este método,

se suma y resta el error estandar multiplicado con el valor  $(0.5)Q_{\alpha[k^*,v]}$ , donde  $Q$  = "studentized augmented range" (Sokal y Rohlf 1995: 76-77),  $\alpha = 0.05$ ,  $k$  = número de promedios, y  $v$  = grados de libertad, igual a la suma de los grados de libertad  $(n_i - 1)$  en todos los grupos  $i$ . Todas las gráficas con promedios estadísticos incluyen los intervalos de comparación.

#### **ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE EDADES:**

Se seleccionaron todos los árboles de las cuatro especies cuyas virutas en la base se presentaron de manera completa, así que se pudo deducir sus edades. Con el fin de comparar la estructura demográfica de las distintas poblaciones de pino, se prepararon histogramas de la frecuencia de las edades en los seis sitios. El tipo de muestras consideradas (virutas) por tipo de posición en el dosel fue de 120 para árboles dominantes, 117 para árboles codominantes y 104 para árboles suprimidos.

#### **MEDICIÓN DE LA ALTURA Y CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL TRONCO:**

La mayoría de las especies de pino pueden presentar variación en las formas de fuste debido a sus características genéticas y condiciones del medio en el que se desarrollan los individuos (Salazar et al 1999) de tal manera que los modelos de crecimiento de volumen para cada especie no son completamente exactas para todas las especies de pinos del mundo. Al respecto se sugiere revisar los trabajos de Chojnack (1988) quien derivó ecuaciones para la predicción de volumen de varias especies de coníferas y especies de madera dura y el trabajo de Aguirre y Winter (1989) para *Pinus cooperii*.

Para el análisis de costo-beneficio fue necesario derivar las curvas de crecimiento del volumen de madera de los troncos. Para este propósito se midieron las alturas de los árboles por medio de un hipsómetro a una distancia que correspondió a ángulo de 45° con

respecto a la punta del tronco (Ricker y Daly 1998: 174). Con las limitaciones pertinentes para cada caso, ya que se trata de 4 especies diferentes de un bosque natural y no de una plantación las fórmulas troncales exactas obviamente tienen que ser diferentes. Sin embargo se calculó el volumen a partir del radio (r) y la altura (h) para cada árbol con una sola fórmula:

$$V = 0.46117 r^2 h \pi.$$

Esta fórmula se derivó de información para *Pinus taeda* de Figueiredo-Filho et al (1996: 41, 42), de la siguiente manera. Los autores proporcionan una fórmula para calcular el diámetro "d<sub>i</sub>" afuera de la corteza a la altura "h<sub>i</sub>", dado el diámetro a la altura del pecho "d" y la altura total "h":

$$d_i = d [1.28730 - 4.95593(h_i/h) + 22.78505(h_i/h)^2 - 51.91140(h_i/h)^3 + 51.37267(h_i/h)^4 - 18.57969(h_i/h)^5]$$

La fórmula para el volumen total fue la integral de  $(0.5) d_i^2 \pi$  sobre todas alturas h<sub>i</sub>. Esta integral, calculada con el programa *Mathematica* resulta ser  $0.362201 d^2 h$ , que es lo mismo que  $0.46117 r^2 h \pi$ . La fórmula representa una forma geométrica intermedia entre un cono ( $1/3 r^2 h \pi$ ) y un cilindro ( $1 r^2 h \pi$ ).

En esta fórmula se necesita el radio a la base del árbol. Dado la forma irregular en la base, se midió el perímetro y se calculó el radio a la altura de pecho. El radio a la altura de la base se puede calcular como  $(h)(rap) / (h - 1.3)$ , donde 1.3 m se refiere a la altura del pecho del tronco.

## MODELAJE DEL CRECIMIENTO:

Con el cálculo del volumen del tronco ( $Vol_{Edad}$ ) de los árboles se pudo también conocer la edad. Con esta información se aplicó el modelo de crecimiento de Von Bertalanffy - Richards - Chapman (BRC) por medio de regresión no-lineal con el programa SYSTAT citado por (Zeide 1989):

$$Vol_{Edad} = V_{max} (1 - e^{-(a)(Edad)^b})$$

Los coeficientes resultantes de la regresión fueron  $V_{max}$ , "a" y "b". Con lo cual se logró calcular el volumen esperado en función de la edad del árbol. Este análisis se llevó a cabo para cada una de las cuatro especies, sin distinguir sitios. Además se aplicó el mismo modelo de crecimiento para el radio troncal y la altura troncal:

$$\{Rad_{Edad} = R_{max} (1 - e^{-(c)(Edad)^d})\}$$

$$\{Alt_{Edad} = A_{max} (1 - e^{-(f)(Edad)^g})\}.$$

Con el modelo BRC se obtuvo también la edad óptima y el volumen óptimo (ver modelaje del valor comercial) de una sola vez, bajo la suposición que se quiere cosechar cuando el crecimiento relativo del volumen llega a disminuir a la tasa de descuento, es decir la tasa de rendimiento de proyectos alternativos en el mercado o tasa de rendimiento de la inversión (aquí 5%). Esta suposición es correcta siempre y cuando se considere un sólo ciclo de cosecha (véase Ricker y Daly 1998, capítulo 5.3). La fórmula para calcular el crecimiento relativo (CR) con el modelo BRC es  $CR = (a)(b) / [e^{(a)(Edad)} - 1]$ . Con  $CR = r$ , se puede despejar para Edad:

$$Edad_{opt} = \text{Ln}[(a)(b) / r + 1] / a$$

Una vez determinada la  $Edad_{opt}$ , se puede calcular el volumen óptimo con la fórmula

$$Vol_{opt} = Vol_{max} (1 - e^{-(a)(Edad_{opt})^b})$$

#### **MODELAJE DEL VALOR COMERCIAL:**

En el análisis económico se siguieron los métodos resumidos y aplicados en Ricker y Daly (1998) y Ricker (1998). El valor presente neto (VPN) se refiere al valor comercial esperado por árbol al tiempo en que se trasplanta. Tomando como base la hipótesis de que se siembran plántulas de una especie de pino maderable y que éstas presentan un crecimiento promedio en comparación con las mediciones en las virutas. En una hoja de cálculo del programa computacional (EXCEL), se aplicó la siguiente fórmula:

$$VPN = (Vol_{opt})(P-C)(e^{-r(Edad_{opt})}) - K$$

Donde:

VPN = Valor presente neto esperado o promedio de un árbol en un sistema de aclareo en que no hay duda acerca de la sobrevivencia de las plántulas (el número de plántulas tiene que ser mayor al número de árboles que se quiere cosechar, dependiendo del esquema de aclareo).

$Vol_{opt}$  = El volumen total en metros cúbicos a la edad óptima para cosechar; se emplearon las curvas de crecimiento calculadas en el punto anterior.

P = Precio por metro cúbico de madera en rollo.

C = Costo de cosecha, transporte y comercialización por metro cúbico de madera en rollo.



$r$  = Tasa de descuento anual continua generalmente de 5% (véase Ricker y Daly 1998, capítulo 5.3).

$Edad_{opt}$  = Edad óptima de cosecha que alcanza el máximo valor presente neto.

$K$  = Costos iniciales de la siembra y preparación del sitio, más el valor presente de todos los costos de manejo posteriores, por árbol (el número de plántulas tiene que ser mayor al número de árboles que se quiere cosechar, dependiendo del esquema de aclareo).

Las variables económicas "P", "C", y "K" se estimaron en base a la información proporcionada por personal de la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) delegación Aguascalientes, Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agropecuario (INIFAP) en el estado de Durango y miembros del ejido El Brillante, Municipio El Salto, Durango.

Se obtuvieron valores umbrales de las variables señaladas arriba, para el caso de que el valor presente neto se vuelve cero, se despejó la fórmula  $(Vol_{opt})(P-C)(e^{-r(Edad_{opt})})$

–  $K > 0$  para las diferentes variables:

$$Vol_{opt} > K / [(P-C)(e^{-r(Edad_{opt})})] \quad [5a]$$

$$P-C > K / [Vol_{opt}(e^{-r(Edad_{opt})})] \quad [5b]$$

$$r < -\ln\{K / [Vol_{opt}(P-C)]\} / Edad_{opt} \quad [5c]$$

$$Edad_{opt} < -\ln\{K / [Vol_{opt}(P-C)]\} / r \quad [5d]$$

$$K < (Vol_{opt})(P-C)(e^{-r(Edad_{opt})})$$

[5e]

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en cuatro secciones: (1) los resultados del análisis de varianza de los incrementos anuales del diámetro de los troncos; (2) los histogramas de las frecuencias de las edades de los árboles; (3) las curvas de crecimiento del volumen de madera en los troncos; y (4) finalmente el análisis del valor comercial de sembrar plántulas de las cuatro especies de *Pinus* en la Sierra Fría de Aguascalientes.

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS INCREMENTOS ANUALES DEL DIÁMETRO DE LOS TRONCOS

Del análisis de varianza (ANOVA) factorial que se llevó a cabo para las 4 especies con los 3 estatus y para las 2 virutas de arriba y abajo en 370 muestras de virutas (n). Se considera el incremento promedio anual en todos los años medibles en las virutas de cada árbol (en 1/100 cm) como la variable de análisis. Los datos de entrada se muestran en el Apéndice 1.

Resultado del primer ANOVA:

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR DE F	PROBABILIDAD	SIGNIFICANCIA
Especie:	3.44E-05	3	4.10E-01	0.00000	SI
Estatus:	7.42E-04	2	1.33E-01	0.000028	SI
Viruta:	4.82E-03	1	1.72	0.19	NO
Especie x Estatus:	7.22E-04	6	4.30	0.00033	SI
Especie x Viruta:	8.68E-02	3	0.103	0.958	NO
Estatus x Viruta:	3.08E-02	2	0.055	0.946	NO
Especie x Estatus x Viruta:	1.27E-03	6	0.076	0.998	NO
ERROR	9.68466E-05		346		

Los resultados gráficos se observan de la siguiente manera: la Figura 1A muestra únicamente los efectos de los "factores" sobre el incremento anual en el diámetro de los troncos. Se observaron diferencias significativas del efecto de los incrementos entre las 4 especies de pino y entre los árboles dominante, codominante y suprimido pero no entre las dos alturas en que se tomaron las virutas (abajo y arriba) cuyos incrementos son casi iguales. En la Figura 1B se muestra la interacción significativa entre las 4 especies y los 3 estatus.

Los árboles mostraron edades con variaciones entre 16 años (*P. cembroides*) y 223 años (*P. lumholtzii*). A lo largo de vida de un árbol, se espera que el incremento promedio anual varíe con la edad y por variación climática. El resultado de estandarizar ésta comparación, con dos variaciones del ANOVA anterior fue como sigue: inicialmente se utilizaron únicamente los promedios del incremento de los primeros 20 años en las virutas (desde el centro del tronco). De esta forma, se confrontaron las mismas edades de los árboles, pero con diferentes climas, la variación en edades nos indica que no nacieron al mismo tiempo. (no se incluyeron árboles con menos de 20 años). Posteriormente, se usaron solo los promedios de los últimos 20 años en las virutas. De esta manera, se compararon los incrementos bajo el mismo clima en los últimos 20 años, sin embargo variaron las edades comparadas.

Resultados del ANOVA para los primeros 20 años:

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR DE F	PROBABILIDAD	SIGNIFICANCIA
Especie	5.81E-05	3	3.74E-01	0.00000	SI
Estatus	1.72E-05	2	1.66E-01	0.001360	SI
Viruta	3.42E-02	1	0.066	0.798	NO
Especies x Estatus	1.28E-05	6	4.13	0.000558	SI
Especies x Viruta	2.17E-03	3	0.140	0.936	NO
Estatus x Virutas	7.91E-03	2	0.764	0.467	NO
Especie x Estatus x Viruta	8.70E-02	6	0.028	1.000	NO
ERROR	1.79E-06		346		

Resultados del ANOVA para los últimos 20 años:

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR DE F	PROBABILIDAD	SIGNIFICANCIA
Especie	2.55E-05	3	2.66E-01	0.00000	SI
Estatus	4.16E-04	2	6.50	0.001698	SI
Viruta	9.91E-03	1	3.10	0.07916	SI
Especie x Estatus	6.50E-04	6	3.39	0.0029446	SI
Especie x Viruta	6.08E-03	3	0.633	0.5939	NO
Estatus x Viruta	1.34E-03	2	0.209	0.8116044	NO
Especie x Estatus x Viruta	9.07E-03	6	0.209	0.99956	NO
ERROR	1.11E-06		346		

Como se esperaba los factores significativos no cambiaron en este análisis. Sin embargo, los incrementos promedio en el caso de los últimos 20 años fueron menores debido a que el incremento anual se distribuye en una superficie mas amplia del tronco del árbol, que en los primeros 20 años donde el diámetro del tronco es más reducido. Las diferencias entre especies resultaron más pronunciadas: *P. cembroides* > *P. leiophylla* > *P. teocote* > *P. lumholtzii* (Figura 2). En el caso de los primeros 20 años, los promedios del incremento fueron mayores, y la secuencia de las especies cambió: *P. teocote* > *P. leiophylla* > *P. cembroides* > *P. lumholtzii*.

Debido a que *P. leiophylla* y *P. teocote* se localizaron tanto en laguna Seca como en Agua Escondida, se efectuó un ANOVA en el cual se consideraron diferencias entre esos dos sitios, tomando en cuenta los 3 estatus, 2 virutas (arriba, abajo) y 2 sitios (Agua Escondida, Laguna Seca) en 121 árboles. De nuevo la variable de análisis es el incremento promedio anual en todos los años medibles en las virutas de cada árbol (en 1/100 cm). El resultado se observa en la siguiente tabla:

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	VALOR DE F	PROBABILIDAD	SIGNIFICANCIA
Especie:	7.29E-03	1	2.38	0.125	NO
Sitio:	8.62E-03	1	2.81	0.095	NO
Estatus:	1.39E-05	2	2.26E-01	0.000001	SI
Viruta:	5.09E-03	1	1.66	0.199	NO
Especie x Sitio:	6.76E-04	1	2.20E-01	0.000047	SI
Especie x Estatus:	2.00E-04	2	3.25	0.041	SI
Especie x Viruta:	9.62E-02	1	3.14E-01	0.576	NO
Sitio x Estatus	2.61E-04	2	4.25	0.015	SI
Sitio x Viruta	4.41E-03	1	1.44E-06	0.999	NO
Estatus x Viruta:	1.82E-03	2	0.298	0.749	NO
Especie x Sitio x Estatus	3.65E-03	2	5.95E-01	0.552	NO
Especie x Sitio x Viruta	2.50E-03	1	0.008	0.928	NO
Especie x Estatus x Viruta:	1.29E-03	2	2.11E-01	0.810	NO
Sitio x Estatus x Viruta	3.81E-01	2	0.006	0.990	NO
Especie x Sitio x Estatus x Viruta	1.64E-05	2	0.267	0.760	NO
ERROR	6.69E-05		218		

Las gráficas correspondientes muestran lo siguiente: en la Figura 3A arriba se presenta la diferencia no-significativa entre las dos especies; sin embargo, se observa que *Pinus teocote* tiende a tener un crecimiento inferior. Similarmente, en la Figura 3A intermedio, el incremento en el sitio Laguna Seca en promedio es inferior que en Agua Escondida, pero la diferencia no es significativa. La Figura 3A abajo presenta la altamente significativa diferencia en el incremento entre árboles suprimidos y dominantes (o codominantes). Los efectos de las interacciones significativas se ven en las Figuras 3B a 3D.

Como en el caso anterior se repitió el análisis para los primeros y los últimos 20 años en la vida de cada árbol.

En conjunto con la tabla y las gráficas correspondientes del primer análisis de ANOVA, se llega a las siguientes conclusiones:



- 1) *P. lumholtzii* crece mucho más lento que las otras tres especies. *P. cembroides* fue la especie de mayor crecimiento, aunque no significativamente más alto que *P. leiophylla* y *P. teocote*. Figura 1A.
- 2) Los árboles suprimidos crecen mucho más lentos que los árboles dominantes o codominantes. Los árboles codominantes presentaron el mayor crecimiento, aunque no significativamente más alto que los árboles dominantes. Figura 1A.
- 3) Las virutas arriba (a la altura de 1.3 m) y abajo (a 0.1 m) no presentaron diferencias significativas. Sin embargo, la tendencia fue tener un mayor crecimiento promedio anual en las virutas abajo. Figura 1A.
- 4) La interacción entre "especie y estatus" fue la única interacción estadísticamente significativa. Figura 1B. Esto se debe a que, en el caso de los árboles dominantes y codominantes *P. cembroides* crece mejor que *P. leiophylla* y ésta última mejor que *P. teocote*. Sin embargo, en el caso de los árboles suprimidos, *P. teocote* crece mejor que *P. leiophylla* y éste mejor que *P. cembroides*. Aparentemente, *P. cembroides* está mejor adaptado a espacios abiertos, donde también se encuentra más frecuentemente.

Respecto al ANOVA de los primeros y los últimos 20 años de la vida de los árboles de las cuatro especies. Figura 1 A, como se esperaba, los factores significativos no cambiaron en este análisis. Sin embargo, los incrementos promedio en el caso de últimos 20 años fueron menores debido a que el incremento anual se distribuye en una superficie mas amplia del tronco del árbol, que en los primeros 20 años donde el diámetro del tronco es más reducido. Las diferencias entre especies resultaron más pronunciadas: *P. cembroides* > *P. leiophylla* > *P. teocote* > *P. lumholtzii* (Figura 2). En el caso de los primeros 20 años, los promedios del incremento fueron mayores, y la secuencia de las especies cambió: *P. teocote* > *P. leiophylla* > *P. cembroides* > *P. lumholtzii*.

Con base a los resultados del ANOVA donde se analizan únicamente *P. leiophylla* y *P. teocote* localizadas en los mismos sitios se puede concluir lo siguiente:

Igual que en el caso de usar las 4 especies sin distinguir sitios, resultan significativos los factores "Estatus" y "Especie x Estatus". Sin embargo, ahora no es significativo el factor "Especie", y se agregan las interacciones significativas "Especie x Sitio", "Especie x Estatus" y "Sitio x Estatus". Figura 3 A – Figura 3 D.

El hecho de ya no tener diferencias significativas entre especies se debe a que este análisis ya no incluye a *P. lumholtzii*, la especie que mostró un crecimiento más lento.

La interacción entre "Especie y Sitio" resulta ser significativa. En el sitio Agua Escondida el crecimiento de *P. teocote* es mayor al crecimiento de *P. leiophylla*. Este patrón se presente de manera inversa en Laguna Seca, donde *P. leiophylla* crece mejor que *P. teocote*. Una posible explicación consiste en que los árboles de *P. teocote* en Laguna Seca se concentran en una loma de mayor exposición y los árboles de *P. leiophylla* en una valle, por lo que *P. teocote* probablemente creció menos. Además, es posible que Agua Escondida en general sea un sitio más seco y Laguna Seca un sitio más húmedo. Por lo tanto, puede ser que *P. leiophylla* sea una especie que necesita mayor humedad que *P. teocote*.

La interacción "Especie y Estatus" pone de manifiesto un mayor incremento en los codominantes de *P. leiophylla* mientras que para *P. teocote* existe un mayor incremento en los suprimidos es posible que para este último caso se deba a lo abierto del bosque.

La interacción significativa entre "Sitio" y "Estatus" se debe a un mayor crecimiento de los árboles dominantes y codominantes en Agua Escondida que en Laguna Seca, pero un mayor crecimiento de los árboles suprimidos en Laguna Seca que en Agua Escondida. La razón podría ser que el bosque en Laguna Seca parece algo más abierto que en Agua

Escondida, lo que daría una ventaja para árboles suprimidos, aunque Agua Escondida parece ser un sitio mejor para los árboles no-suprimidos.

Para este análisis en el cual se utilizaron 2 especies, 2 sitios y 3 estatus considerando los primeros y los últimos 20 años de la vida de los árboles (comparando las mismas edades) *P. teocote* crece mejor que *P. leiophylla*, a diferencia del primer ANOVA (aunque no resultó significativo). Sin embargo, ahora resulta ser significativo la diferencia del crecimiento entre los dos sitios. En el caso de usar exclusivamente los últimos 20 años (bajo el mismo clima), la diferencia del crecimiento entre especies resulta ser altamente significativa, con *P. leiophylla* creciendo mejor que *P. teocote*.

Como se anota en métodos, los histogramas con las frecuencias de las edades de las cuatro especies de pino ayudaron a evaluar la estructura poblacional de las diferentes especies en diferentes sitios.

Conforme a los resultados de la figura 4 de los histogramas de frecuencia de edades se puede deducir que la falta de árboles viejos en el caso de *P. cembroides*, *P. leiophylla* y *P. teocote* se debe probablemente a la tala de todos los árboles grandes. Los árboles de *P. lumholtzii* en Los Hoyos en el pasado (cuando no estaban protegidos) eran poco accesibles, además de que la madera de esta especie generalmente es menos apreciada.

Para *P. teocote* en Laguna Seca, no existen árboles entre 70 y 100 años. No hay una explicación obvia, y se podría visitar nuevamente a los siete árboles grandes entre 100 y 150 años, para ver si presentan anomalías en el tronco o si el dueño tendría una explicación del porque no fueron talados.

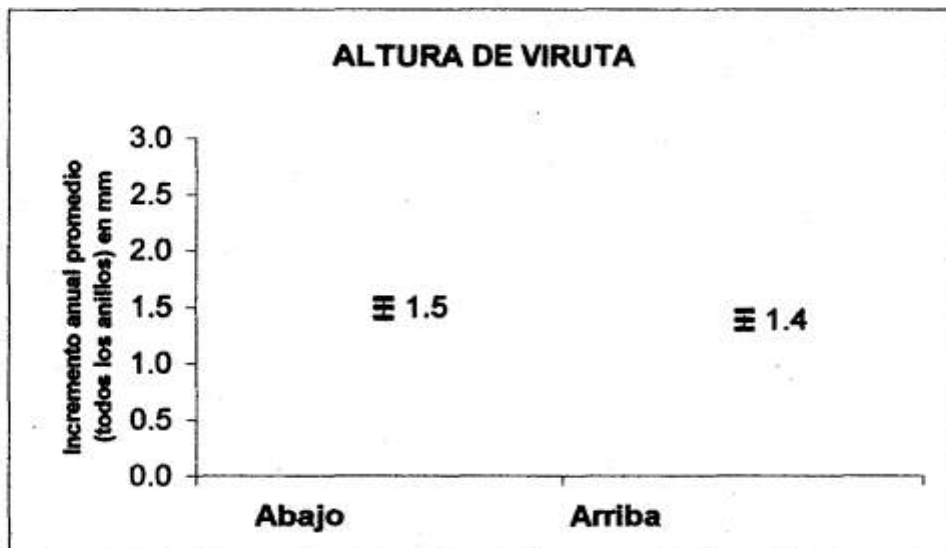
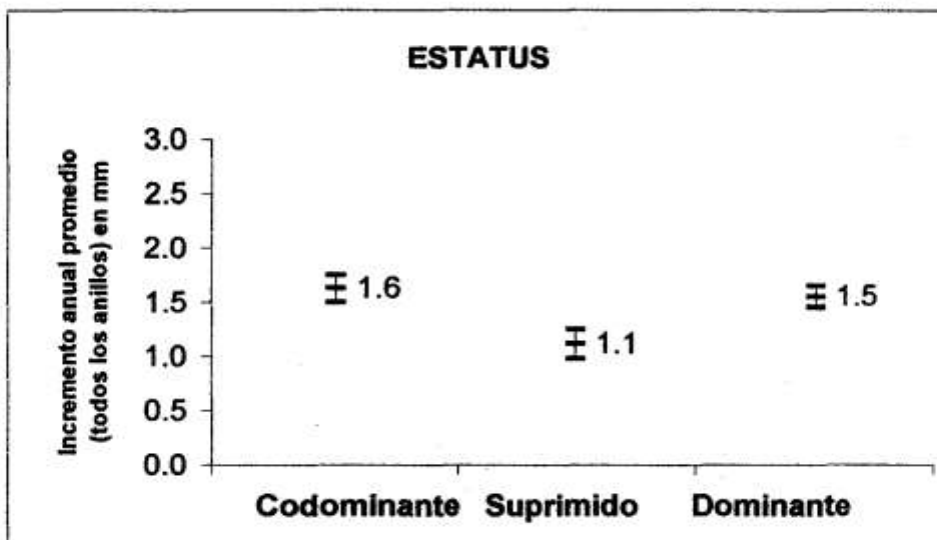
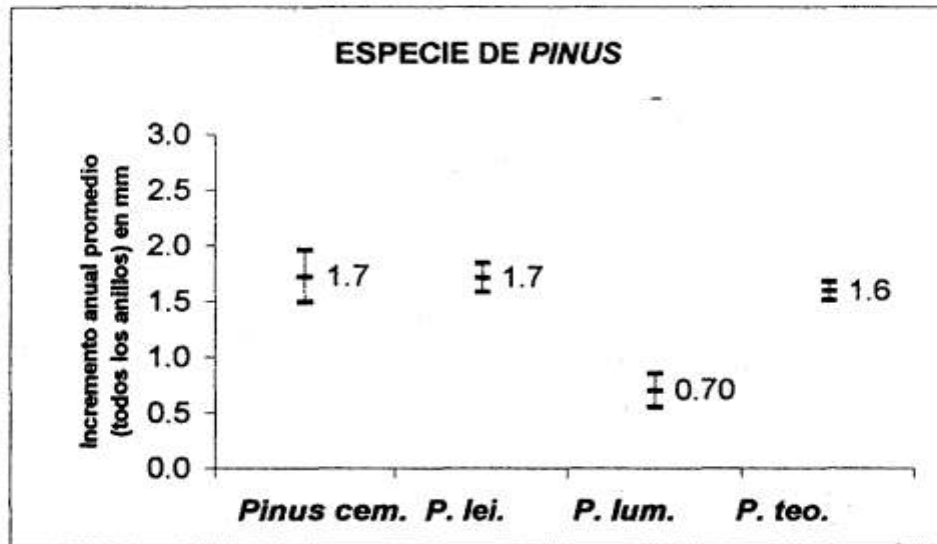


Figura 1 A. Efecto de los factores en el ANOVA de los incrementos anuales del diámetro de los troncos. Los factores "especie" y "estatus" son altamente significativos, pero no altura de viruta. Se muestran los intervalos de comparación.

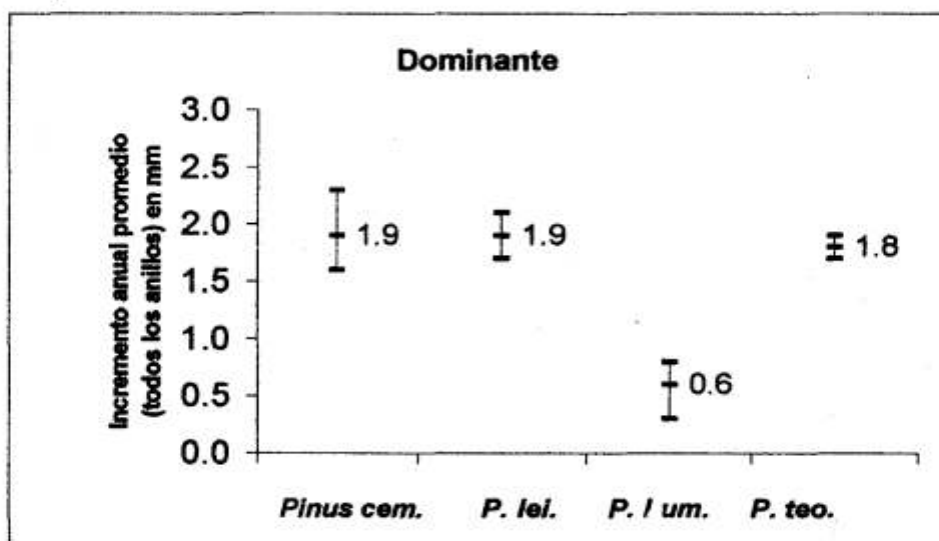
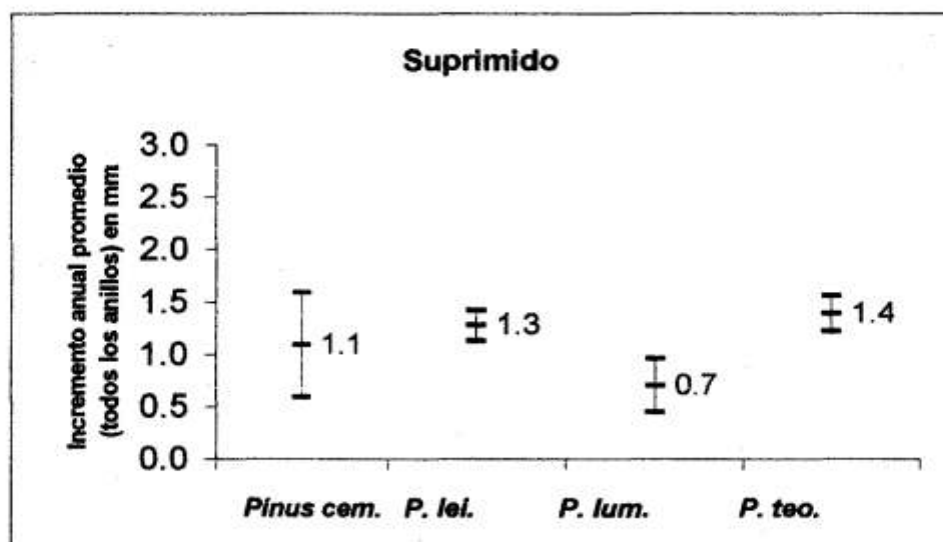
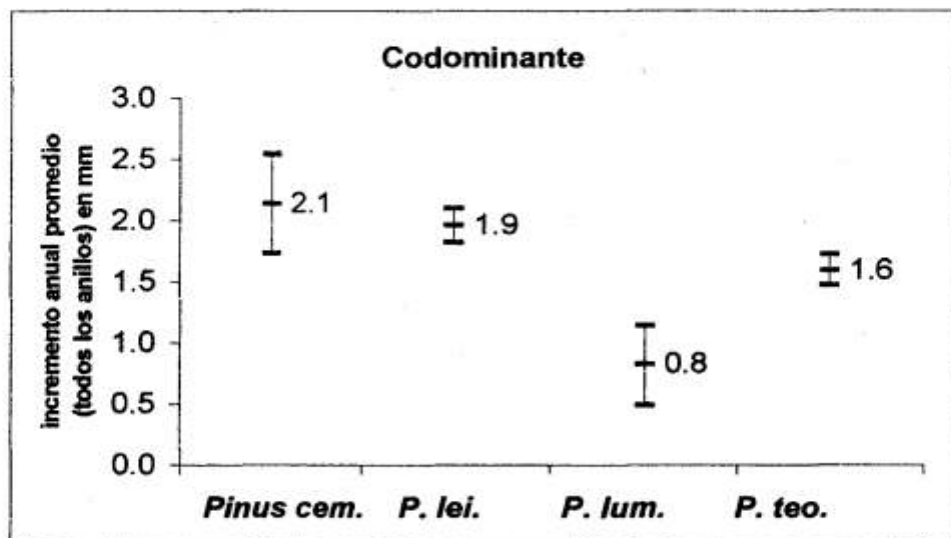


Figura 1B. Efecto entre interacción "especie" y "estatus" altamente significativa en el ANOVA de la Figura 1A.



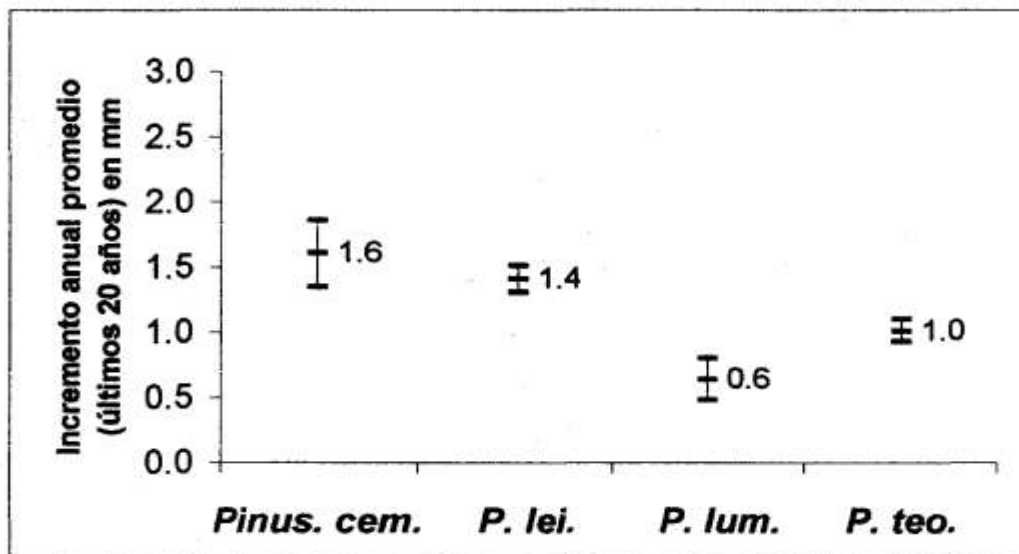
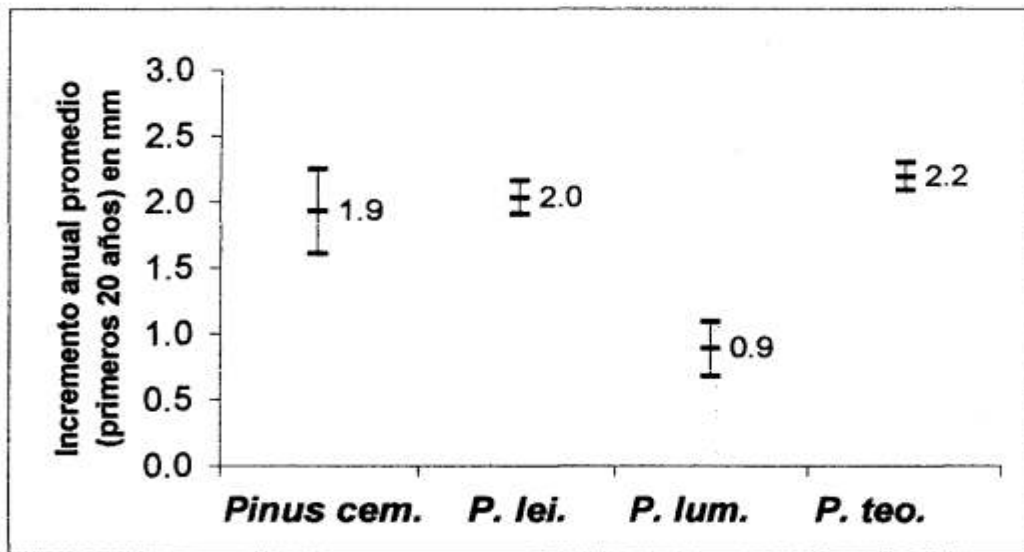


Figura 2. Gráficas para el ANOVA de la Figura 1A con los incrementos únicamente de los primeros 20 años (arriba) y los últimos 20 años (abajo) de crecimiento.

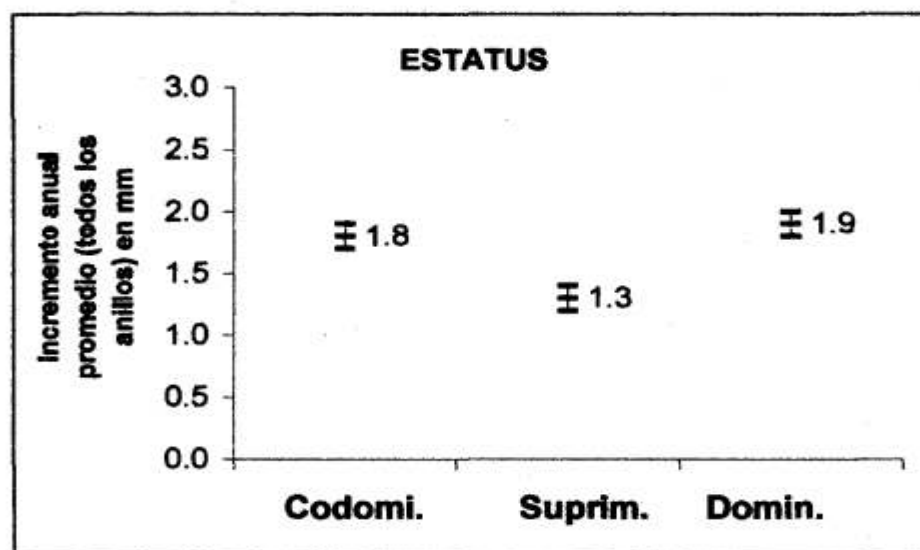
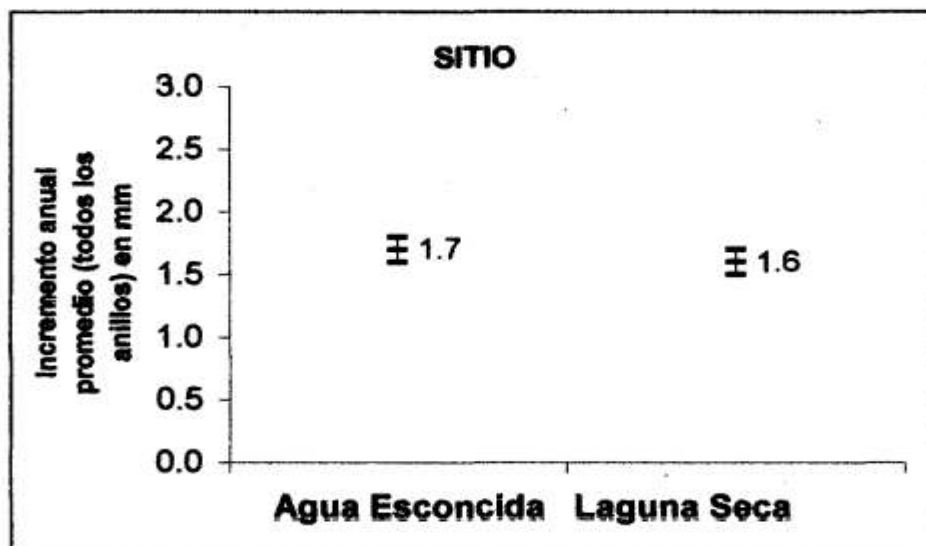
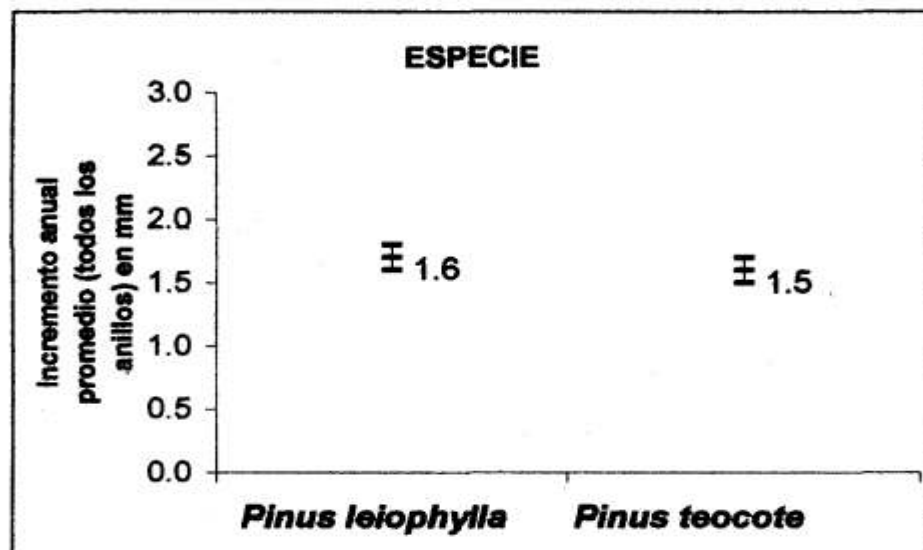


Figura 3 A. Efecto promedio de los factores "especie", "sitio" y "estatus". Solamente el factor "estatus" es significativo.

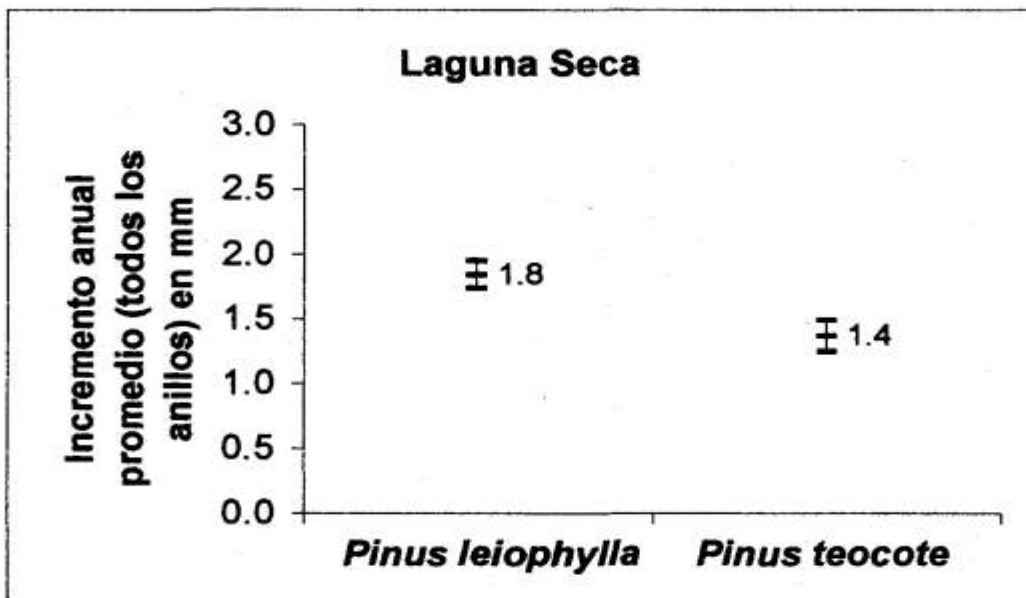
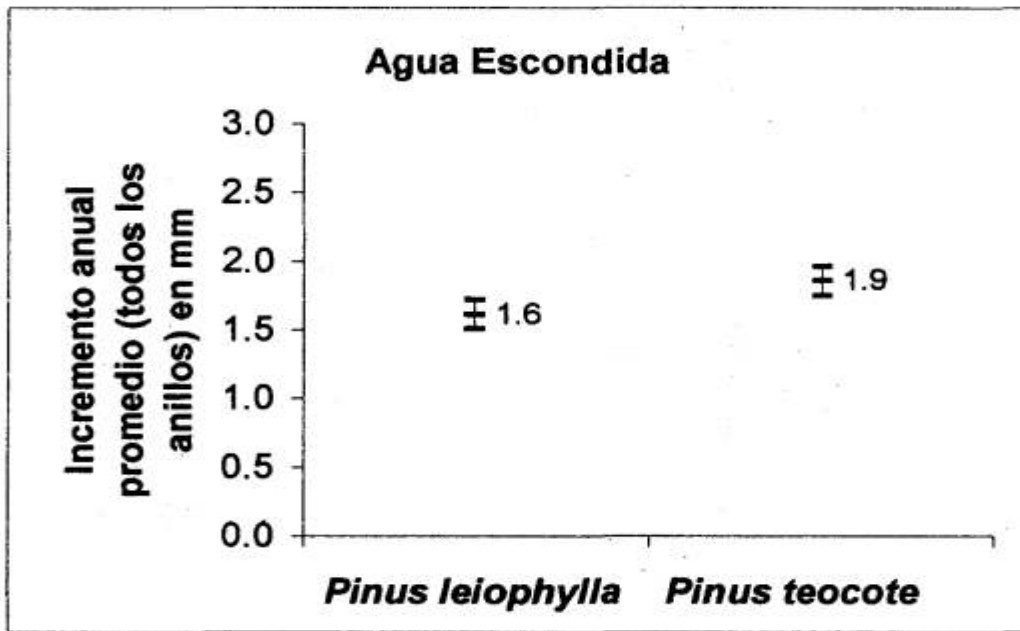


Figura 3 B. Interacción entre "especie-sitio" altamente significativo. El efecto del crecimiento de *P. leiophylla* en la gráfica superior es menor en el sitio Agua Escondida que en el sitio Laguna Seca, mientras que para la especie *P. Teocote* sucede lo contrario.

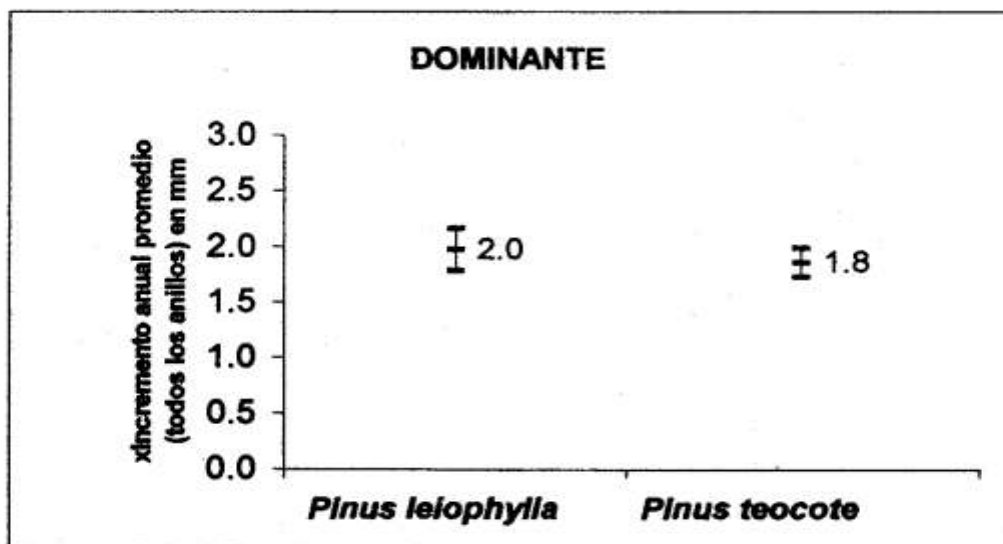
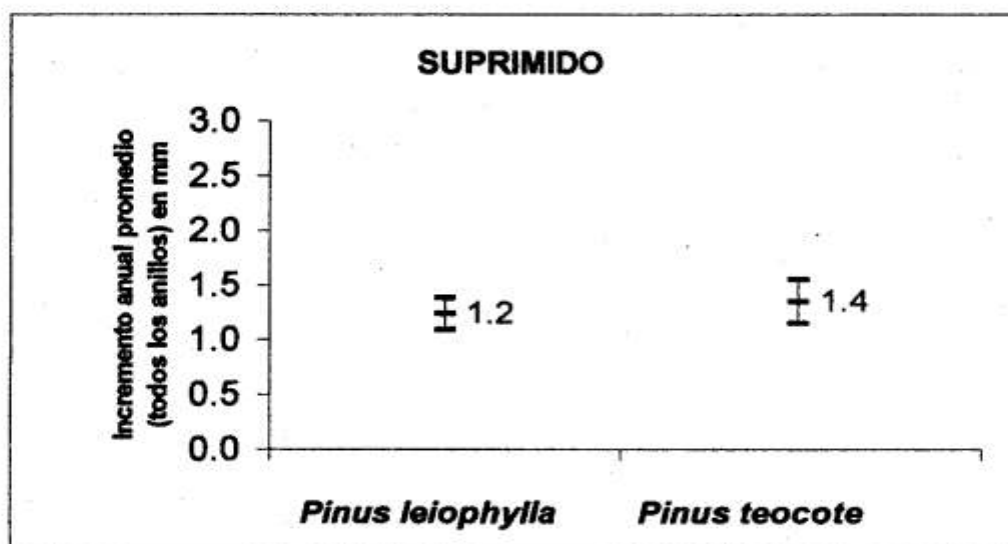
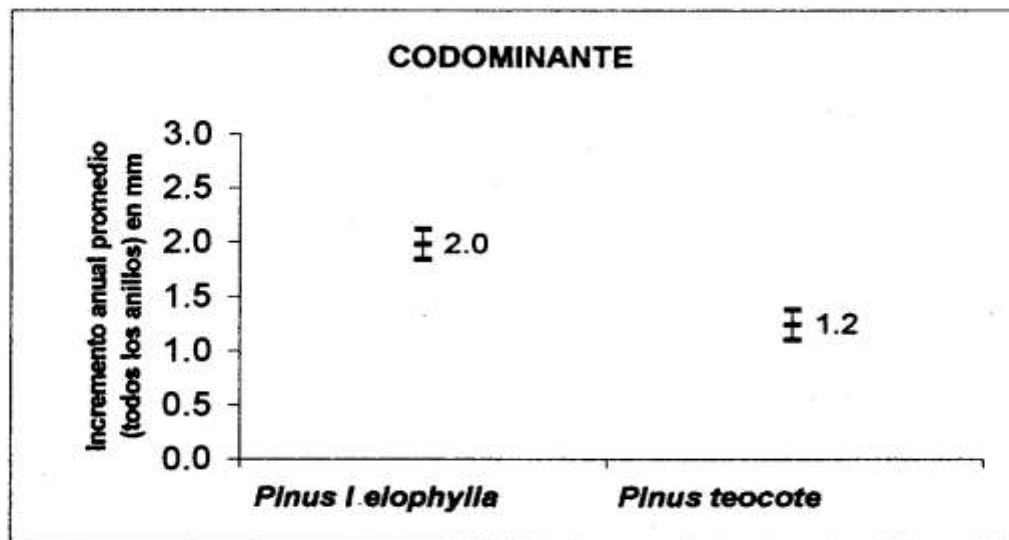


Figura 3 C. Interacción entre "especie-estatus" escasamente significativa.

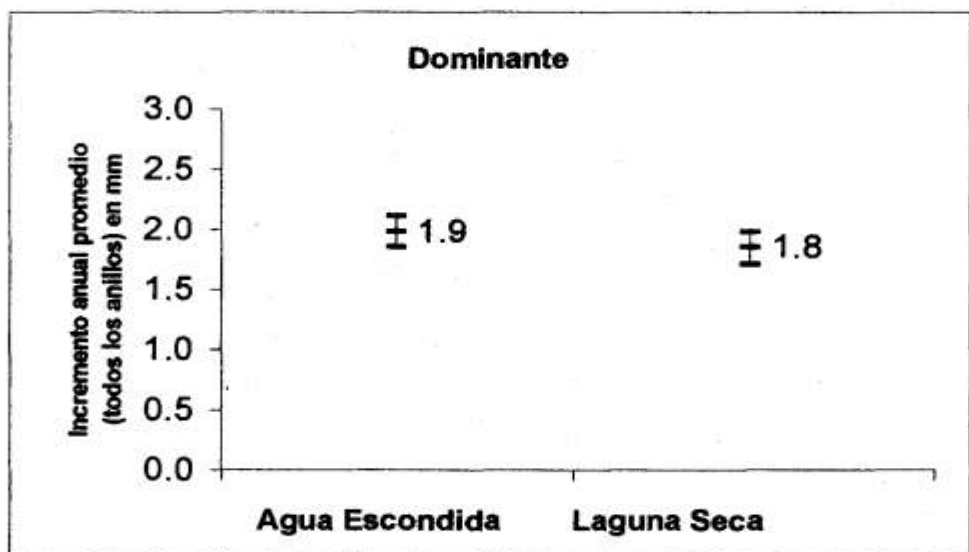
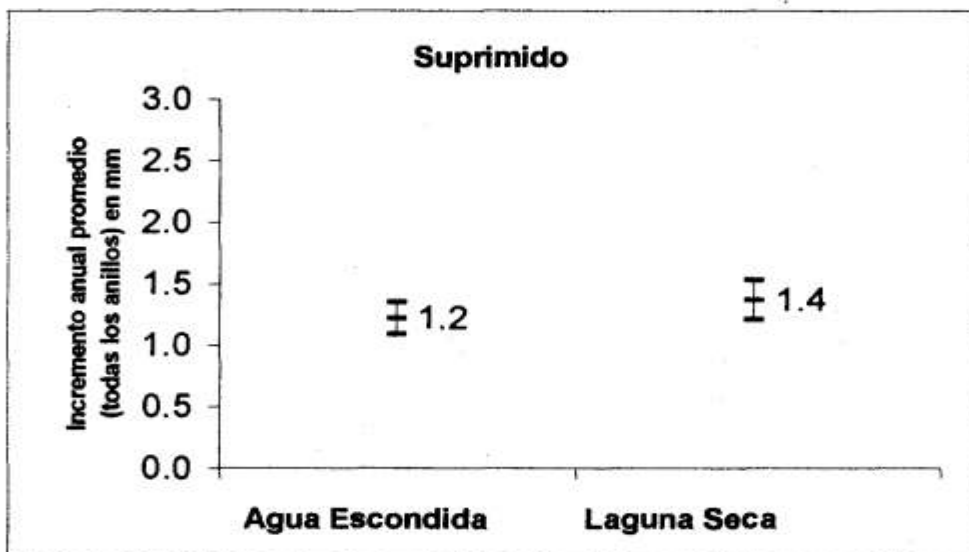
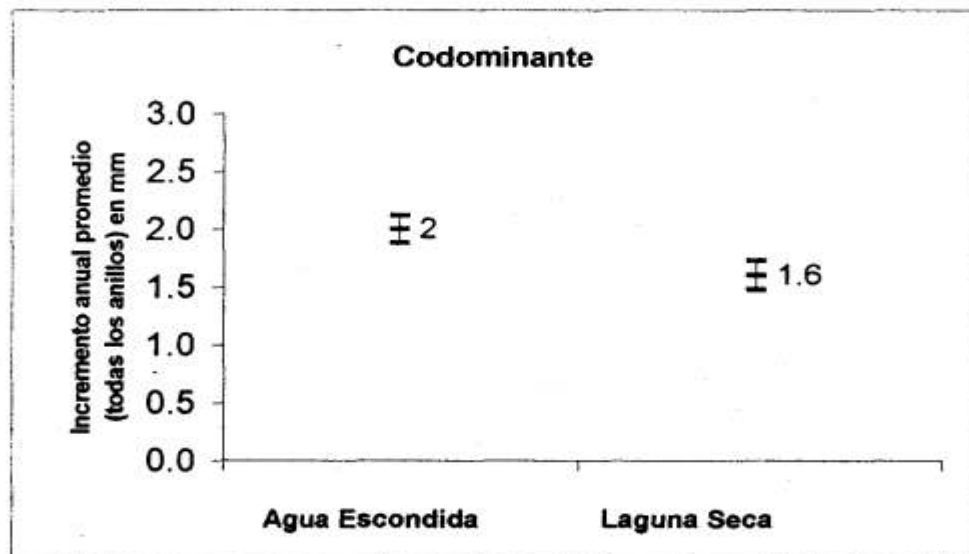


Figura 3 D. Interacción significativa "sitio-estatus". Los árboles codominantes y dominantes presentan crecimiento más alto en Agua Escondida que los suprimidos. En Laguna Seca los árboles suprimidos presentan crecimiento más alto.



## FRECUENCIAS DE LAS EDADES DE LOS ÁRBOLES

Los resultados del análisis de las frecuencias de edades se observan en la Figura 4 donde se muestran los histogramas de las cuatro especies, *Pinus cembroides* en Los Planes, *P. leiophylla* en Juan Francisco, *P. lumholtzii* en Los Hoyos, y *P. teocote* en Puerto Piñones. Es notable que todas las especies menos *P. lumholtzii* no presentaron árboles con edades mayor a 80 años en estos cuatro sitios; *P. lumholtzii* presentó árboles de hasta 230 años de edad.

La Figura 5 compara las dos especies *Pinus leiophylla* y *P. teocote*, cada una en los dos sitios Agua Escondida y Laguna Seca. *Pinus leiophylla* presentó árboles más viejos en Agua Escondida en comparación con Laguna seca. Para *P. teocote* la situación es a la inversa con árboles más viejos en Laguna Seca en comparación con Agua Escondida. Para *P. teocote* en Laguna Seca es obvio que existen árboles hasta 150 años, mientras en Agua Escondida esta especie llega solamente a 70 años, y *P. leiophylla* llega a un máximo de 90 años en los dos sitios.

## CURVAS DE CRECIMIENTO DE LOS TRONCOS

Se aplicó regresión no-lineal con el modelo BRC para derivar las curvas de crecimiento esperadas para el volumen, el radio y la altura del tronco. El Apéndice 2 contiene los datos de entrada medidos en el campo o para los volúmenes calculados según se explicó en los métodos. En este análisis no se distinguieron diferentes sitios, así que las curvas representan un promedio para los sitios analizados en la Sierra Fría. La Tabla 1 muestra para las cuatro especies el número de datos ( $n$ ), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), y los coeficientes de regresión para las curvas de volumen, radio, y altura. Los datos de entrada más las curvas predichas con las fórmulas para  $V_{Edad}$ ,  $R_{Edad}$ , y  $A_{Edad}$  se grafican en las Figuras 6-9 con curvas de las cuatro especies. La Tabla 1 y las Figuras 6-9 muestran que los ajustes son aceptables, (Los datos aislados no ejercen ninguna influencia en la

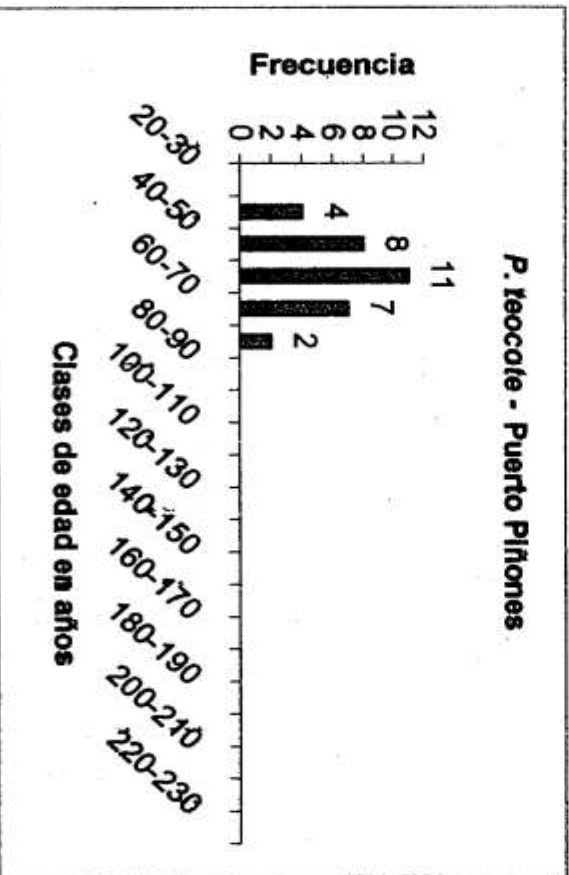
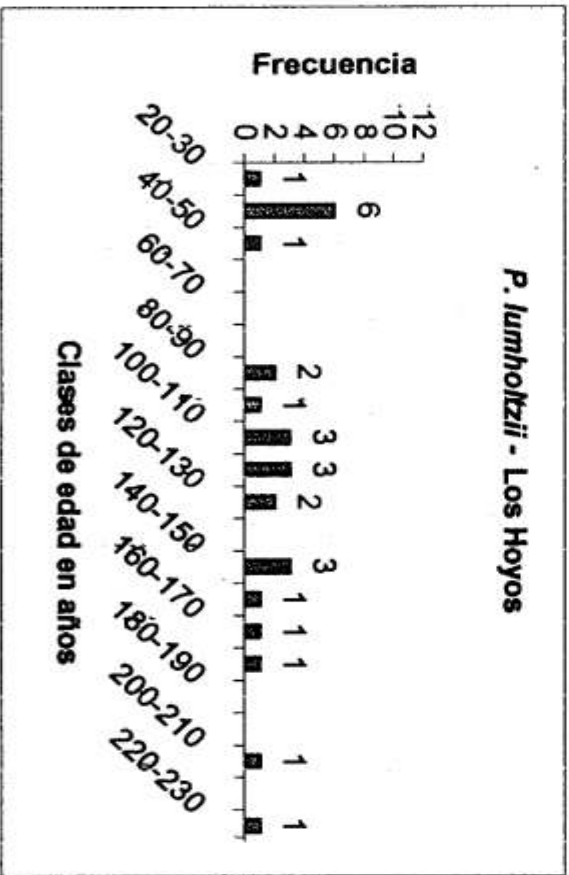
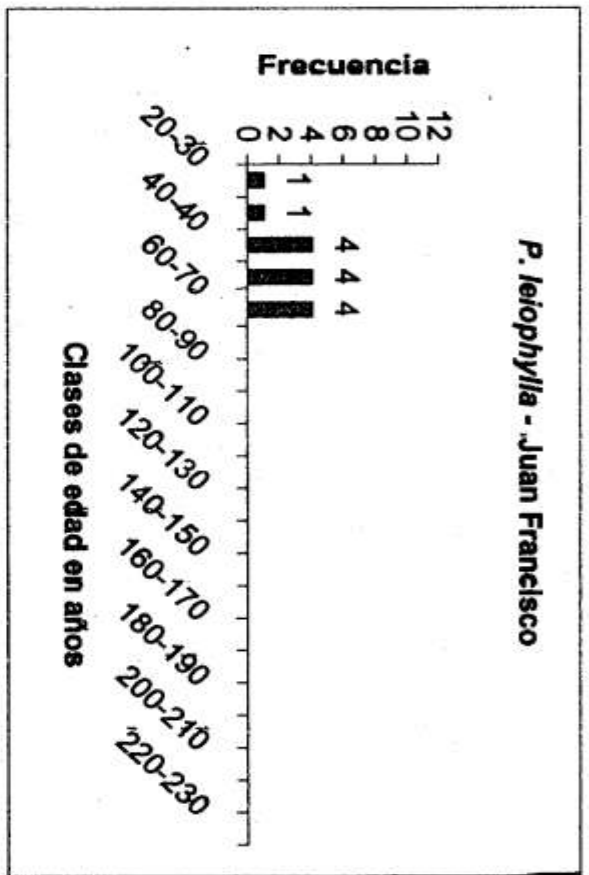
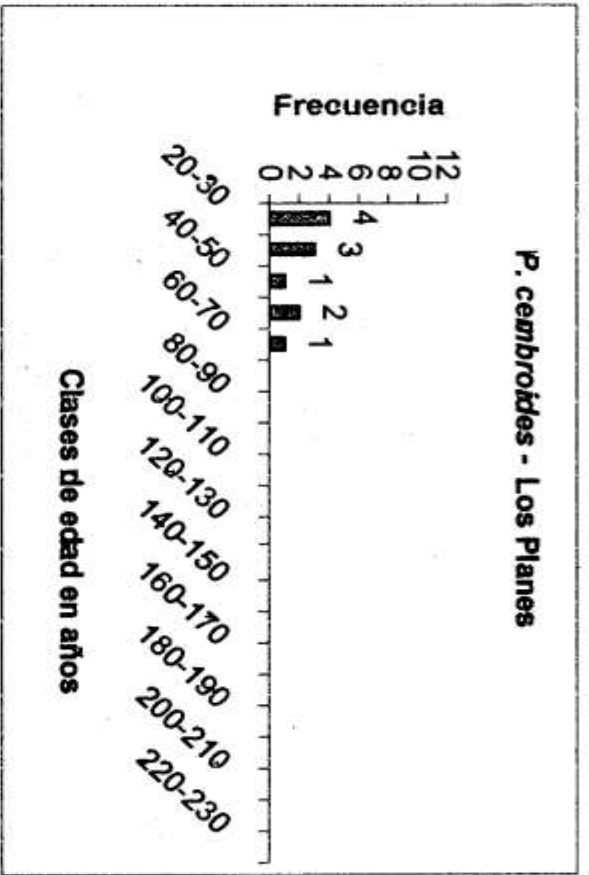


Figura 4. Frecuencia de árboles en clases de edades para las 4 especies en 4 sitios distintos. *Pinus lumholtzii* presenta los árboles más viejos con 220 a 230 años.

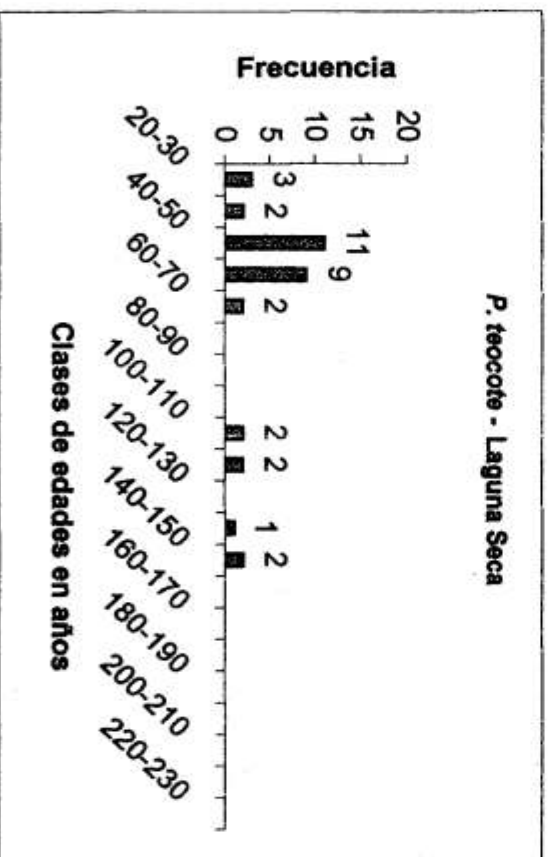
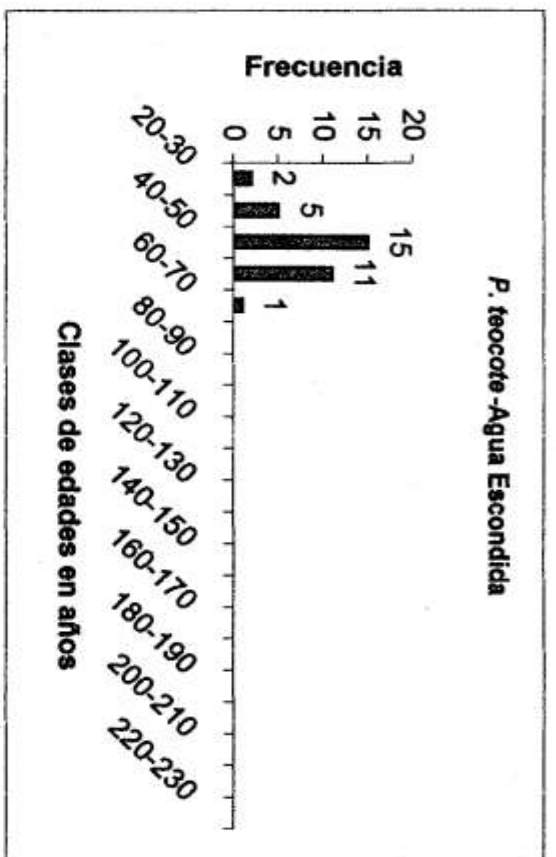
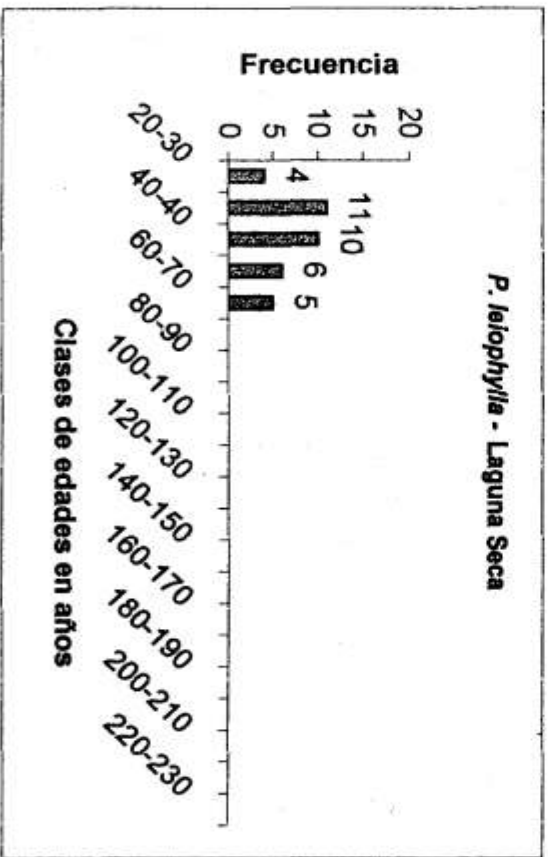
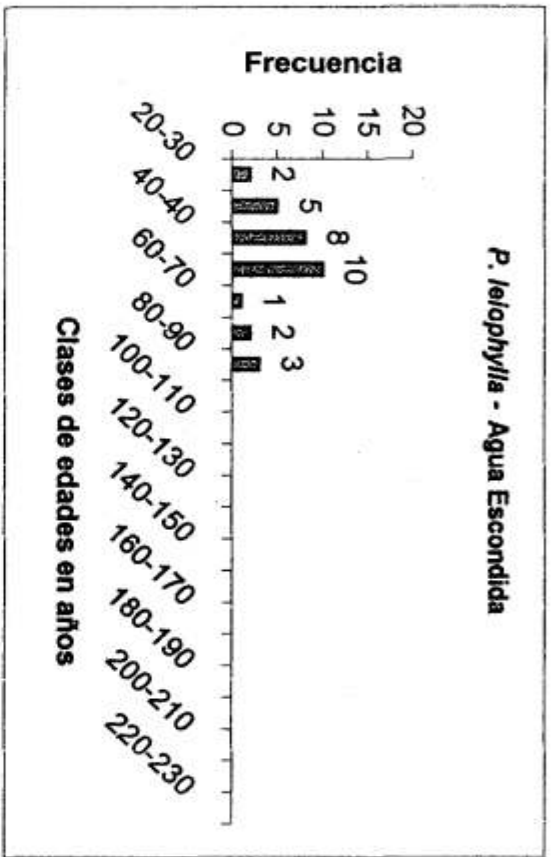


Figura 5. Frecuencia de árboles en clases de edades para 2 especies en 2 sitios. *Pinus leiophylla* tiene árboles más jóvenes en Laguna Seca en comparación con Agua Escondida. Para *P. teocote* la situación es lo contrario, con árboles más viejos en Laguna Seca. Es Entre los 60 y 70 años donde se presenta la mayor frecuencia de edades.

curva de crecimiento y no se descartaron ni aún en los grupos pequeños pues más bien demuestra la diferencia en el crecimiento entre diferentes árboles de manera individual), con un promedio de los doce  $R^2$  de 0.475, y un rango entre 0.180 y 0.794. Esta es una primera estimación de una curva de crecimiento ya que no existen datos anteriores para estas especies en los sitios muestreados.

**Tabla 1. Resultados de la regresión no-lineal con el modelo BRC de crecimiento para las cuatro especies de *Pinus*.**

	<i>P. cembroides</i> N = 10	<i>P. leiophylla</i> n = 52	<i>P. lumholtzii</i> n = 20	<i>P. teocote</i> n = 78
$R^2$ :	0.748	0.180	0.675	0.268
$V_{max}$ [m <sup>3</sup> ]:	0.502169	0.368233	0.867416	1.28666
$a_V$ [1/año]:	0.110130	0.095779	0.00927120	0.0156595
$b_V$ :	56.8805	29.9588	3.32610	2.19357
$R^2$ :	0.794	0.219	0.747	0.339
$R_{max}$ [m]:	0.191042	0.129415	141.883	0.197559
$a_R$ [1/año]:	0.0556393	0.0459745	0.000000205	0.0287216
$b_R$ :	4.57319	2.29746	0.680238	1.92987
$R^2$ :	0.603	0.187	0.719	0.231
$A_{max}$ [m]:	11.2424	12.7697	919.256	13.8701
$a_A$ [1/año]:	0.0220490	0.0560163	0.000000302	0.052331
$b_A$ :	0.915006	2.15328	0.443526	2.45296

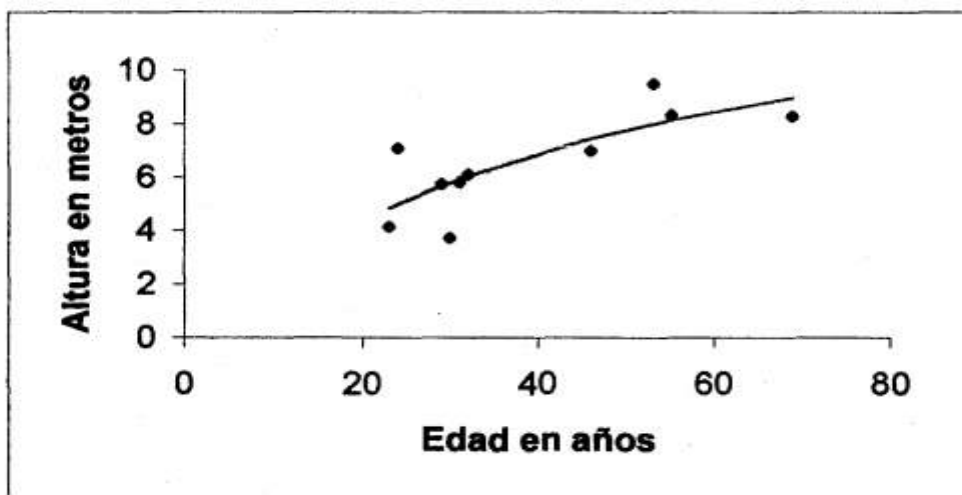
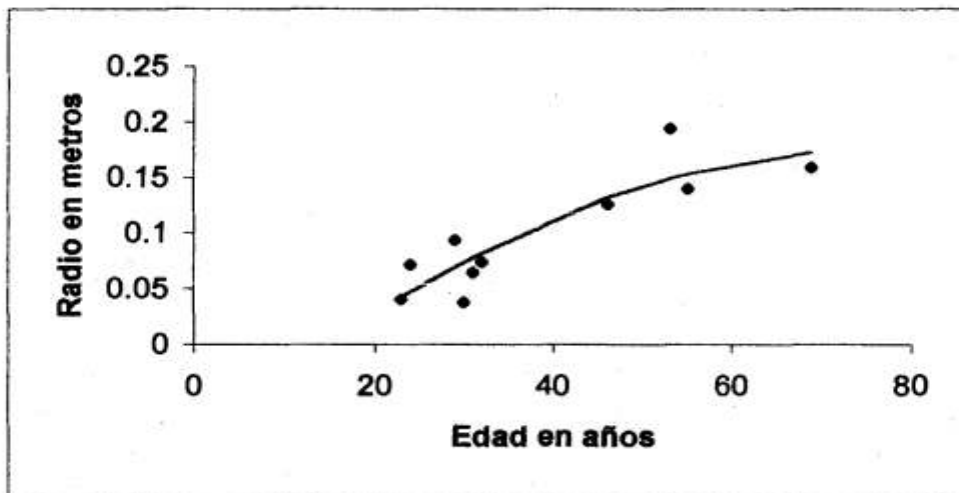
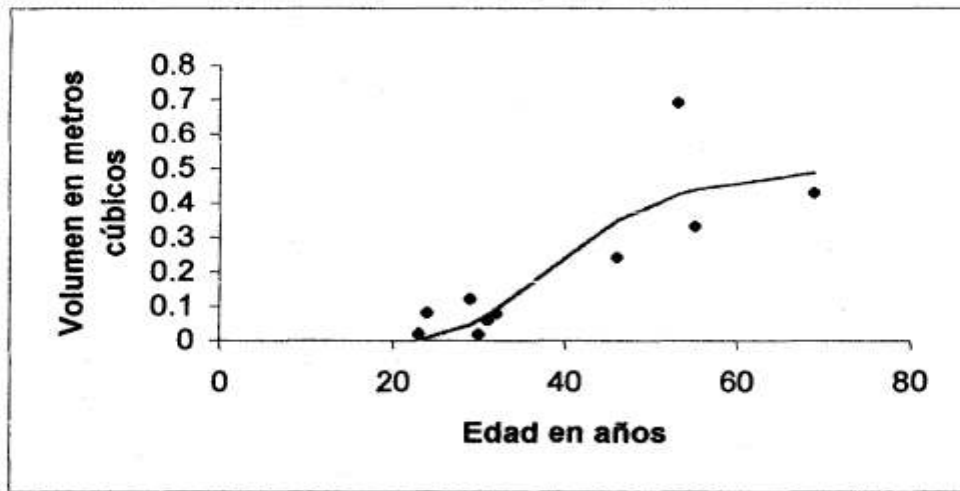


Figura 6. Curvas de crecimiento de volumen, radio y altura de *Pinus cembroides* (vease Tabla 1).



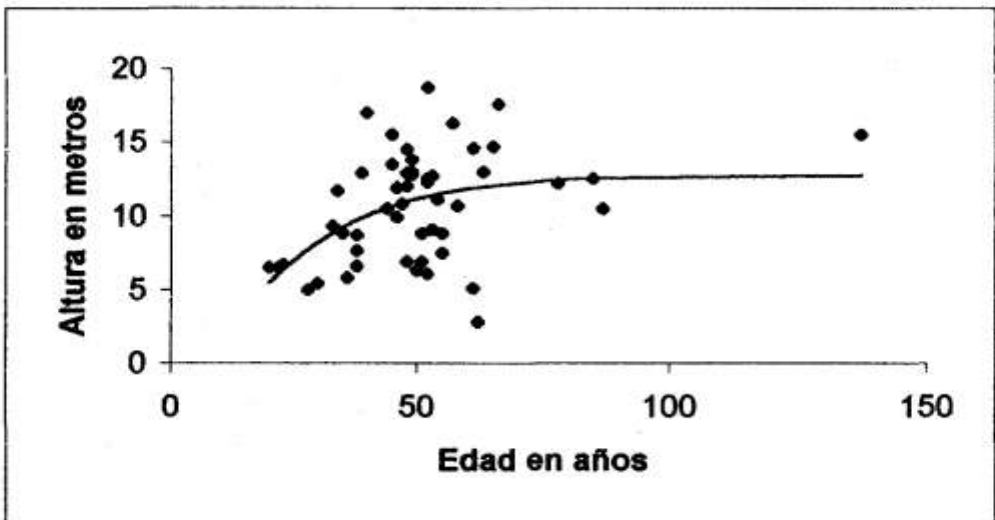
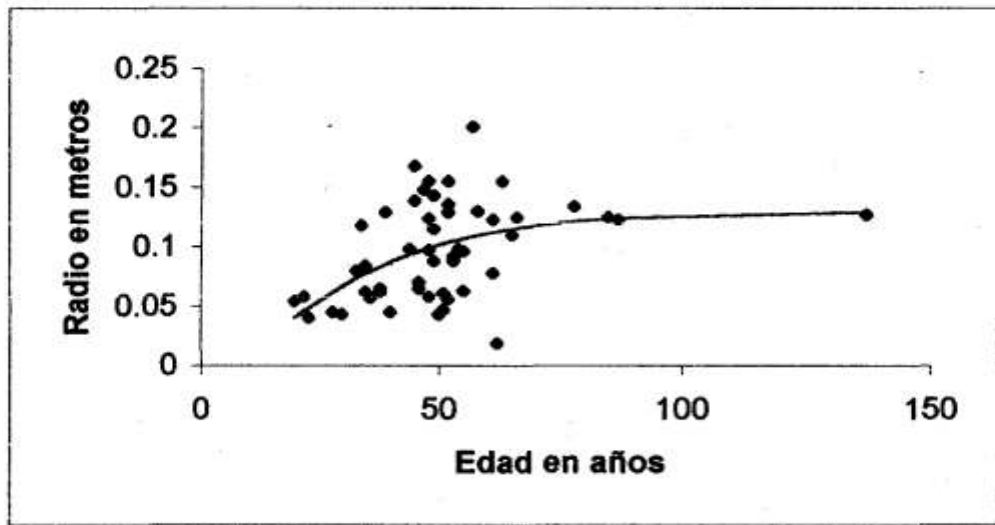
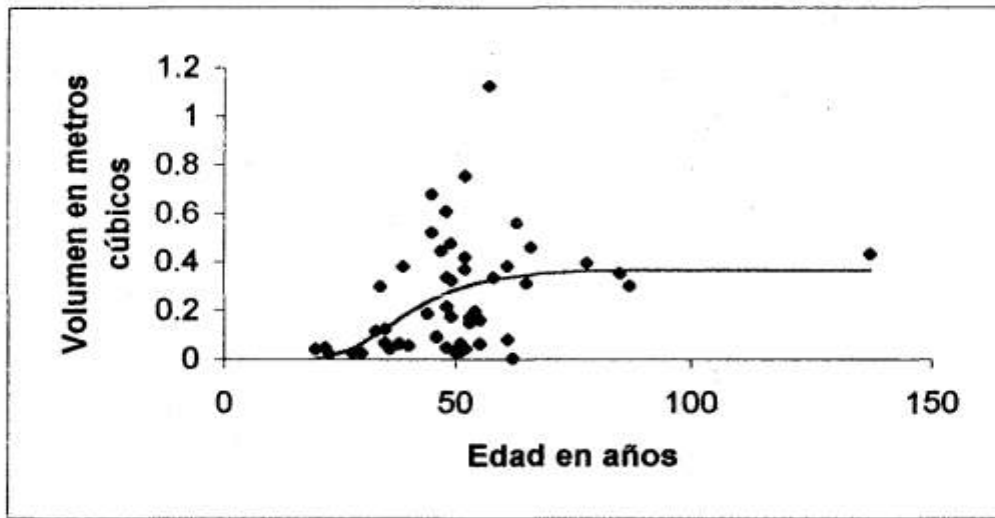


Figura 7. Curvas de crecimiento de volumen, radio y altura de *Pinus leiophylla* (vease Tabla 1).

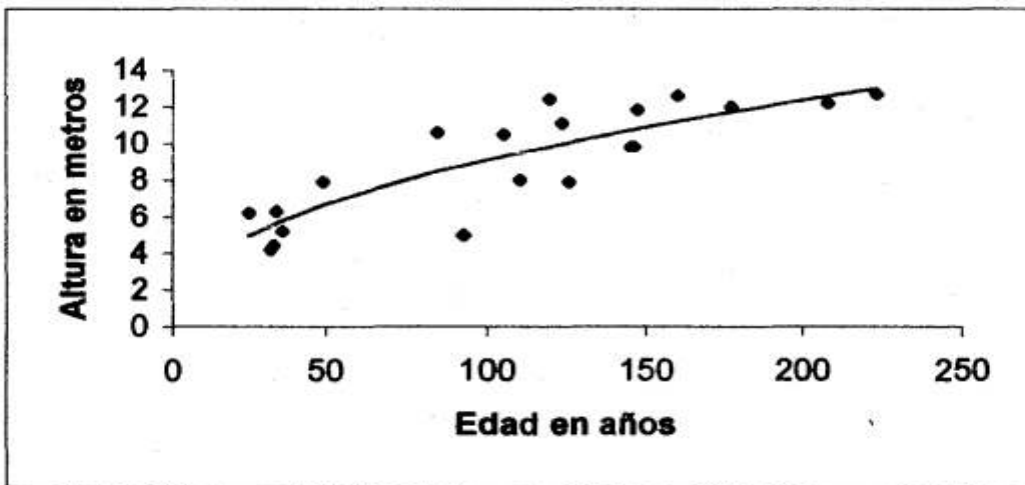
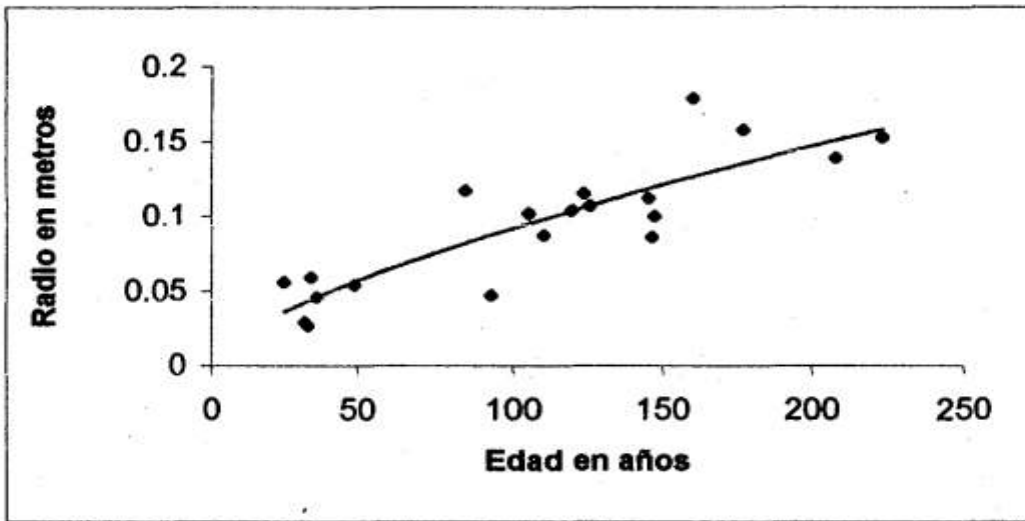
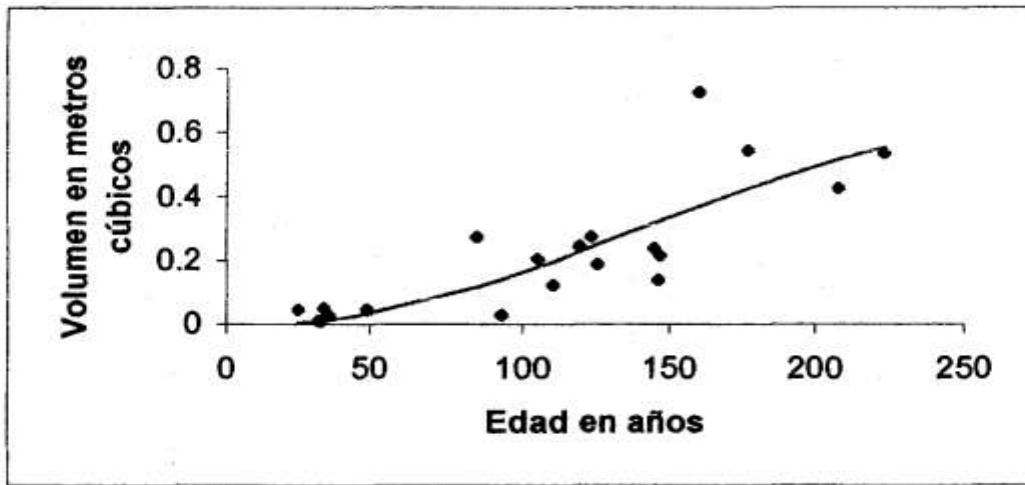


Figura 8. Curvas de crecimiento de volumen, radio y altura de *Pinus lumholtzii* (vease Tabla1).

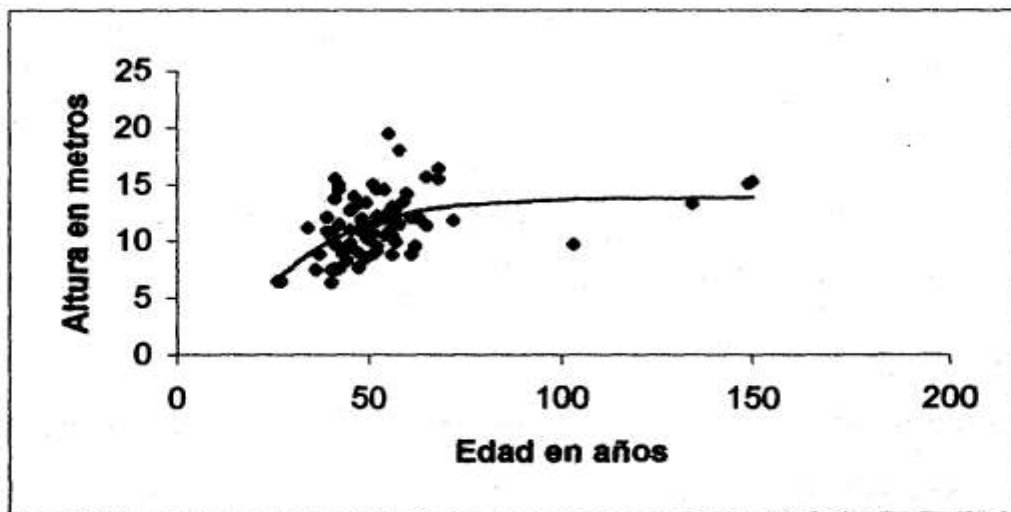
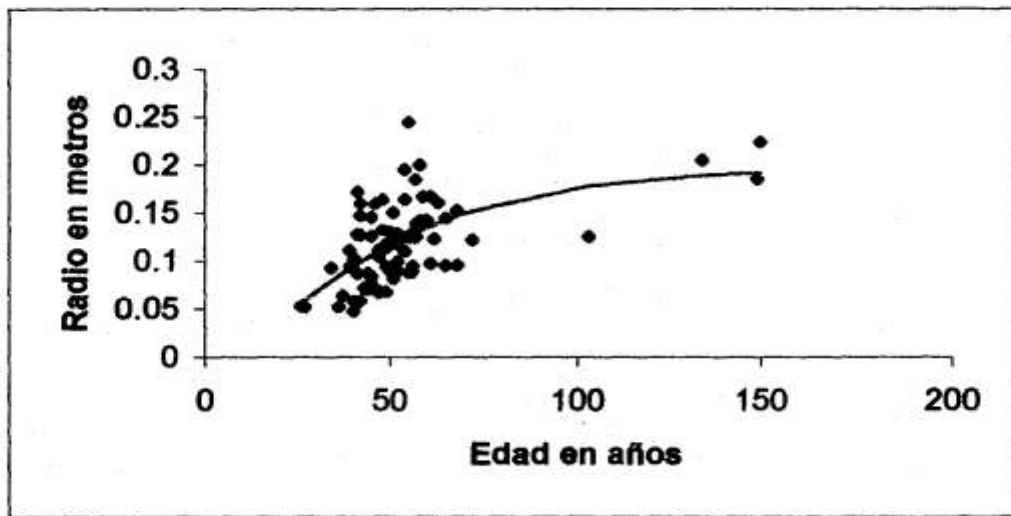
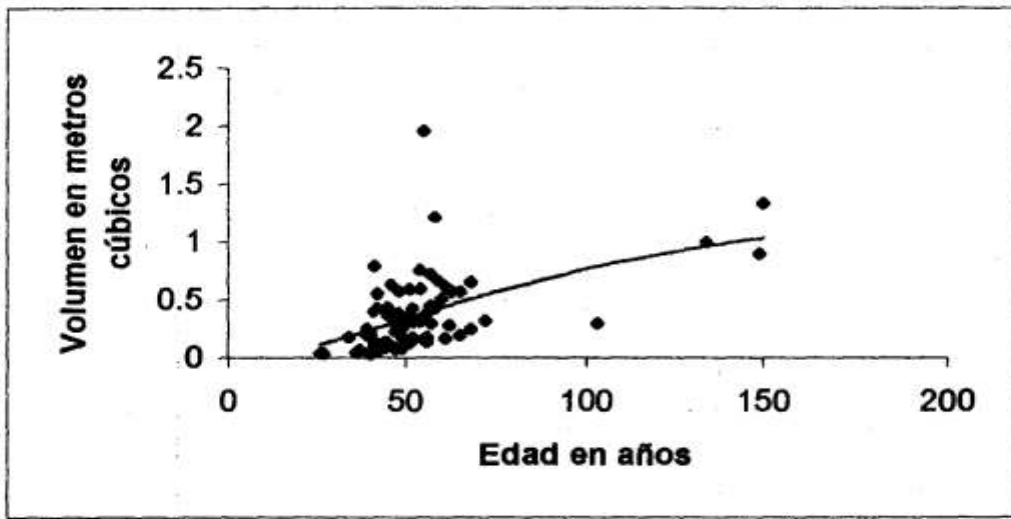


Figura 9. Curvas de crecimiento de volumen, radio y altura de *Pinus teocote* (ver Tabla 1).

## **ANÁLISIS DEL VALOR COMERCIAL DE SEMBRAR PLÁNTULAS DE LAS CUATRO ESPECIES DE *PINUS* EN LA SIERRA FRÍA DE AGUASCALIENTES**

En esta sección se plantea un modelo de reforestación para el valle de Laguna Seca – un área de aproximadamente 500 has - para poder llevar a cabo un análisis de costo-beneficio. Existen ahora áreas boscosas no-manejadas y áreas de pastizal con ganado. Este sitio cuenta naturalmente con *Pinus leiophylla* y *P. teocote*. Además se ha sembrado de manera exitosa *P. cembroides*, y se encuentra cerca *P. lumholtzii* (aproximadamente 1 km). También es un área que cuenta con un cuerpo de agua artificial.

Para el propósito del análisis se supone que se establezca un monocultivo de cada una de las cuatro especies en una hectárea, lo que suma cuatro hectáreas para las cuatro especies. Además se considera una hectárea de pastizal de ganado.

El proceso de manejo forestal consiste en el establecimiento de un vivero con plántulas de las cuatro especies de pino. Considerando un aclareo una vez por año, se podrían sembrar al inicio una plántula por metro cuadrado, así requiriendo tener 10,000 plántulas por ha. Se supone que en el momento de cosechar, cada árbol debería tener un espacio de 5 por 5 m, lo que resulta en 400 árboles por hectárea ( $10,000 / 25$ ). De esta manera, se eliminarían por aclareo y mortalidad el 96%. Para obtener un árbol a la edad de cosecha se requiere sembrar 25 plántulas. La eliminación de tantos árboles permite seleccionar los más fuertes, con tronco recto y buen crecimiento. Además, la mortalidad natural puede ser alta, dado que la época de lluvias es solamente de tres meses (julio a septiembre).

Presumiendo que se transplantan en julio. Se puede anticipar que los primeros tres años la mortalidad es muy alta. Sin embargo, una vez establecido el árbol, la mortalidad baja, aquí se supone que 2% anualmente. Se puede calcular para *Pinus teocote* (edad óptima de 33.4 años):

$$10,000 (e^{-(m)(3\text{años})})(e^{-(0.02)(33.4-3\text{ años})}) = 400 \text{ árboles}$$

$$m = -\ln(400 / [10,000 e^{-(0.02)(30.4)}]) / 3 = 0.87$$

La mortalidad anual continua en los primeros tres años en este caso podría llegar a 87%, y todavía sería válido el cálculo económico.

En la sección de métodos se explicó la fórmula para calcular el valor presente neto esperado por árbol, tomando en cuenta (en  $K$ ) que se tienen que sembrar 25 plántulas por árbol cosechado:  $VPN = (Vol_{opt})(P-C)(e^{-r(Edad_{opt})}) - K$ . A continuación se calibra cada variable en esta fórmula para la situación en Laguna Seca de la Sierra Fría (datos recabados en el año 2000).

- 1) **El volumen óptimo ( $Vol_{opt}$  en  $m^3$ ):** El volumen óptimo se refiere al volumen, obtenido a la edad óptima (véase 5) abajo). Calculado con la fórmula del modelo BRC, con los coeficientes de regresión para cada especie. Los resultados de los coeficientes, la edad óptima y el volumen óptimo correspondiente se presentan en la Tabla 2.
- 2) **El precio por metro cúbico de la madera ( $P$  en MXP\$ / $m^3$ ):** La madera de primera calidad (trocería de largas dimensiones) se cotiza actualmente a razón de MXP\$600 por metro cúbico en rollo. Para la madera de calidad intermedia (trocería de cortas dimensiones e incluso ramas gruesas que se pueden usar para construir muebles, sin embargo con grosor reducido) se paga un precio de MXP\$340.- por metro cúbico en rollo. Este precio fue obtenido en la ciudad de Durango como precio de compra por parte de un aserradero y la madera puesta en el sitio del aserradero.
- 3) **El costo por metro cúbico de la madera ( $C$  en MXP\$ / $m^3$ ):** El costo por talar un metro cúbico en rollo es de MXP\$2.- (MXP\$70-75 por un día en que una persona tala 40-45  $m^3$ ). Este precio fue obtenido en Secretaria de Ganadería y Agricultura (SAGAR) en la ciudad de Durango. En la actualidad hay aserraderos en Durango pero no en Aguascalientes. El transporte desde la Sierra Fría a un aserradero hipotético en la ciudad de Aguascalientes cuesta alrededor de MXP\$150.- por  $m^3$  (MXP\$1500.- por



10 m<sup>3</sup>). Este costo es con carga en el bosque y descarga en el aserradero. El costo total entonces es de MXP\$152.- /m<sup>3</sup>.

- 4) **La tasa de descuento ( $r$ ):** La tasa de descuento 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 es 5% ó 0.05 (Ricker y Daly 1998, capítulo 5.2). El cálculo del valor presente usa el número de Euler " $e$ " = 2.71828.
- 5) **La edad óptima para la cosecha ( $Edad_{opt}$  en años):** La fórmula para calcular la edad óptima de la cosecha se presentó en la sección de los métodos  $\{Edad_{opt} = \text{Ln}[(a_v)(b_v) / r + 1] / a_v\}$ . En esta optimización se considera el punto de vista de un inversionista que quiere maximizar el valor presente neto, es decir el ingreso monetario, por vender la madera. La fórmula es correcta para un solo ciclo de cosecha. Los resultados para una tasa de descuento  $r = 0.05$  se presentan en la Tabla 2.
- 6) **El valor presente de los costos de siembra y manejo ( $K$  en MXP\$ /árbol):** Según la información del vivero de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) en el municipio de Pabellón de Arteaga (entre Aguascalientes y la Sierra Fría), el costo de producir una plántula de pino con una altura de 20-30 cm es MXP\$1.10. Supongamos que se producen las plántulas en el sitio de Laguna Seca, así que se pueden llevar sin transporte sofisticado a su sitio de trasplantación. Una persona necesitaría aproximadamente 15 minutos para llevar la plántula a su sitio, hacer la cepa, quitar la bolsa, meter la plántula y cubrir las raíces con suelo. Para 10,000 plántulas en una hectárea resultarían 2,500 horas de una persona, o 100 horas de 25 personas. Con MXP\$7.50 por hora (MXP\$60.- por 8 horas) resultaría un costo de MXP\$18,750 para las 10,000 plántulas, ó MXP\$1.88 por plántula. El costo total por plántula entonces resulta ser MXP\$2.98. Este valor se multiplica por 25, ya que cada 25 plántulas dejan un árbol para cosechar a la edad óptima, como resultado de la

mortalidad y el aclareo periódico. Entonces el costo de siembra y transplante por árbol aprovechable es MXP\$74.5.-. Considerando que hay que revisar la plantación y aclarar para asegurar distancias adecuadas y seleccionar árboles de buen crecimiento como parte del manejo, parece realista redondear el valor de  $K$  a MXP\$100.- por árbol aprovechable.

La Tabla 2 muestra los datos de los resultados del análisis económico. En la primera fila se encuentran por segunda vez los tres coeficientes del modelo BRC con los cuales se determinó la curva de crecimiento del volumen ( $V_{max}, a_v, b_v$ ) para la Tabla 1. Posteriormente aparece el resultado de calcular la edad óptima, cuando el crecimiento llega a disminuir a 5% (es decir, la tasa de descuento  $r$  es 0.05). Con esta edad fue posible obtener el volumen así como el diámetro ( $DAP$ ) y altura correspondiente. En la siguiente fila, se observa el valor presente neto ( $VPN$ ) el cual resultó ser negativo para las cuatro especies. Debido a ello, aparecen en la misma tabla los valores umbrales calculados del volumen óptimo ( $Vol_{opt}$ ), ingreso neto ( $P - C$ ), la tasa de descuento ( $r$ ), la edad óptima y el valor presente de los costos de siembra y manejo ( $K$ ). El valor umbral se refiere a la variable con la cual el valor presente neto resulta ser cero; los cambios de esta variable nos indica cuando comienza a ser rentable la inversión. El cálculo de los valores para la tasa de descuento y la edad óptima también resultaron ser negativos. Esto significa que aún si la cosecha fuera el mismo día de la siembra, no resultaría rentable.

**Tabla 2. Cálculo del valor presente neto esperado por árbol con el modelo BRC de crecimiento para las cuatro especies de *Pinus*.**

	<i>P. cembroides</i>	<i>P. leiophylla</i>	<i>P. lumholtzii</i>	<i>P. teocote</i>
$V_{max}$ [m <sup>3</sup> ):	0.502169	0.368233	0.867416	1.28666
$a_V$ [1/año):	0.110130	0.095779	0.00927120	0.0156595
$b_V$ :	56.8805	29.9588	3.32610	2.19357
<b><math>Edad_{opt}</math> [años):</b>	<b>43.9</b>	<b>42.5</b>	<b>51.8</b>	<b>33.4</b>
<b><math>Vol_{opt}</math> [m<sup>3</sup>):</b>	<b>0.3195</b>	<b>0.2195</b>	<b>0.0352</b>	<b>0.1793</b>
<b><math>DAP</math> [cm):</b>	<b>25.2</b>	<b>18.2</b>	<b>11.7</b>	<b>15.5</b>
<b><math>Alt</math> [m):</b>	<b>7.3</b>	<b>10.4</b>	<b>6.8</b>	<b>8.7</b>
<b><math>VPN</math> [MXP\$/árbol):</b>	<b>-93.32</b>	<b>-95.06</b>	<b>-99.50</b>	<b>-93.65</b>
<b>Valores umbrales (<math>VPN &gt; 0</math>):</b>				
$Vol_{opt}^*$ [m <sup>3</sup> ):	4.7846	4.4456	7.0965	2.8250
$P^*-C$ [MXP\$):	2815.62	3808.26	37,938.31	2961.71
$r^*$ :	-0.01160	-0.02085	-0.05242	-0.03256
$Edad_{opt}^*$ [años):	-10.2	-17.7	-54.3	-21.7
$K^*$ [MXP\$):	6.68	4.94	0.50	6.35
<b>Relaciones umbrales (<math>VPN &gt; 0</math>):</b>				
$Vol_{opt}^*/Vol_{opt}$ :	15.0	20.3	201.6	15.8
$P^*/P$ :	8.7	11.6	112.0	9.2
$K/K^*$ :	15.0	20.2	200.0	15.8

Los siguientes parámetros para el cálculo básico son iguales para las cuatro especies:  $P - C = \text{MXP}\$340 - \text{MXP}\$152 = \text{MXP}\$188$ ,  $r = 0.05$ ,  $K = \text{MXP}\$100$ ;  $DAP$  = diámetro a la altura de pecho o 1.3 m, correspondiente a la edad óptima,  $Alt$  = altura correspondiente a la edad óptima.

## **DISCUSIÓN**

México tiene una amplia riqueza forestal. Durante 1994, el inventario nacional forestal periódico determinó que 72% del territorio nacional, es decir 141.7 millones de hectáreas, está cubierto por diferentes tipos de vegetación forestal, colocando el país en el décimo lugar mundial con respecto a su extensión forestal. En total, el 28% de la superficie del territorio nacional es arbolada, ya que los bosques y selvas en conjunto cubren 55.3 millones de hectáreas (SEMARNAP 1999: 9). El 38.3% del territorio mexicano está cubierto por matorral xerófilo, 17.5% corresponde a bosque de coníferas y encino, 14% a bosque tropical caducifolio, 9.4% a bosque tropical perennifolio, 6.8% a bosque espinoso, 3% a bosque tropical subcaducifolio, y 0.9% a bosque mesófilo de montaña (Ricker et al 1999: 78).

Desafortunadamente, la participación del sector forestal en la economía nacional de México es poco significativa y durante los últimos años ha disminuido considerablemente. La participación de la silvicultura en el producto interno bruto, que incluye las actividades de aprovechamiento y transformación de los productos forestales, tuvo una disminución durante los últimos 10 años, de 1.3% en 1987 a 0.5% durante 1996. La producción nacional maderable ha registrado disminuciones significativas durante ese mismo año, al pasar de 9.8 millones de metros cúbico en 1987, a 6.8 millones en 1996 (SEMARNAP 1999: 9).

La situación a nivel nacional también se refleja en la Sierra Fría de Aguascalientes, la cual puede servir como un estudio de caso para entender porque no se inicia el manejo forestal. Para este propósito se analizó primero el crecimiento de los árboles de pino, para posteriormente combinar estos datos con información económica. Todo el análisis económico se llevó a cabo desde un punto de vista comercial, es decir, el dueño pretende maximizar su ingreso monetario. Aunque se reconocen los importantes valores no-

comerciales, como por ejemplo el aspecto estético del paisaje forestal, hoy en día las fuerzas comerciales son determinantes para los destinos de muchas áreas forestales.

Para analizar el crecimiento, se obtuvieron 432 virutas radiales de los troncos de árboles de las cuatro especies *Pinus cembroides*, *P. leiophylla*, *P. lumholtzii*, y *P. teocote*. Se contaron los anillos de crecimiento para saber las edades de los árboles, y se midieron los incrementos anuales del radio troncal. De un análisis de varianza (ANOVA) de los incrementos promedio a lo largo de la vida de cada árbol, se concluyó lo siguiente:

- 1) *Pinus lumholtzii* crece mucho más lento que las otras tres especies. Posiblemente esto se deba a que esta especie se encuentra en la Sierra Fría en sitios pedregosos, con suelo escaso. La menor comercialización de la madera de *P. lumholtzii* en comparación con las otras tres especies de *Pinus* se debe a que su madera es de menor calidad (Farjon y Styles 1997), y no necesariamente a que el crecimiento sea lento.
- 2) *Pinus cembroides* resultó ser la especie de crecimiento más rápido, aunque no significativamente más rápido que él de *P. leiophylla* y *P. teocote*. El bosque muestreado de *P. cembroides* contenía árboles que disponían de amplio espacio y luz para su crecimiento. Convivían con especies arbustivas de tipo desértico con bajo crecimiento y copa reducida, a diferencia del bosque más cerrado de *P. leiophylla* y *P. teocote*.
- 3) Los árboles suprimidos de todas las especies crecen mucho más lentos que los árboles dominantes o codominantes, independientemente del sitio. Este fenómeno está ampliamente reportado en la literatura (Oliver y Larson 1990): los árboles suprimidos disponen de menos recursos.

Los árboles del estudio presentaron edades entre 16 (*P. cembroides*) y 223 años (*P. lumholtzii*). A lo largo de la vida de un árbol se espera que el incremento promedio



anual varíe con la edad y por variación climática. Para estandarizar la comparación, se llevaron a cabo dos variaciones del ANOVA anterior, usando primero exclusivamente los promedios del incremento de los primeros 20 años en las virutas (desde el centro del tronco), y segundo exclusivamente los promedios de los últimos 20 años en las virutas. Los factores significativos no cambiaron en éstos dos análisis. Sin embargo los incrementos promedio en el caso de los últimos 20 años fueron menores y las diferencias entre especies más pronunciadas. Esto se debe posiblemente a las bajas precipitaciones registradas en esta zona durante ese tiempo.

Además de los incrementos, se midieron los diámetros a la altura del pecho y la altura total del tronco de cada árbol, por lo que se pudo calcular el volumen con una ecuación ya elaborada para *Pinus taeda* en la literatura (véase métodos). Por medio de regresión no-lineal, se aplicó el modelo BRC (Von Bertalanffy-Richards-Chapman) para derivar ecuaciones del crecimiento del volumen en función de la edad para cada especie. Finalmente se obtuvo información acerca de los costos del manejo y el precio de la madera de estos árboles en la región. Usando toda esta información, la Tabla 2 resume el análisis de costo-beneficio. Para todas las especies, el valor presente neto resulta ser negativo, lo que indica que bajo las condiciones actuales no valdría la pena desde el punto de vista comercial de establecer plantaciones con estas especies en La Sierra Fría de Aguascalientes. El crecimiento tendría que ser 15 a 202 veces más rápido, el precio 9 a 112 veces más alto, o el valor presente de los costos de siembra y manejo 15 a 200 veces más bajo; el primer valor se refiere siempre a *Pinus cembroides* y el segundo a *P. lumholtzii* (*P. leiophylla* y *P. teocote* se acercan a *P. cembroides* en estas relaciones). Es poco factible cambiar tanto los parámetros de crecimiento o costo de siembra y manejo. Por lo tanto es entendible que después de haber cosechado los árboles de pino en el pasado (redituable porque no hay el costo de esperar décadas para cosechar, y el costo de manejo  $K = 0$ ),

Lo que sí se puede esperar es un aumento en los precios de la madera, ya que los árboles grandes del bosque natural son cada vez menos numerosos. Un aumento del precio real por metro cúbico en rollo de 15 a 20 veces parece poco realista en la actualidad. Sin embargo, el aprovechamiento forestal en México todavía consiste principalmente en extracción de árboles naturales, es decir, en la "minería forestal". En gran parte esta tala sigue de manera ilegal. Se estima (SEMARNAP 1999:9) que el volumen de madera talada ilegalmente al año alcanza los 3.4 millones de metros cúbicos de madera en rollo, lo que representa alrededor del 50% de la producción nacional maderable registrada. Se tiene conocimiento de que la capacidad instalada de la industria forestal nacional rebasa en casi 4.5 millones de metros cúbicos de madera en rollo al volumen autorizado (11,935,119 m<sup>3</sup>), aun cuando se observa un bajo nivel de utilización de la capacidad instalada (INEGI 2000: 585). Si México fortaleciera la aplicación de la ley y de esta manera restringiera la tala ilegal, un fuerte aumento del precio a lo largo de las próximas décadas podría ser posible. Entonces, la inversión ahora en una plantación forestal resultaría redituable desde el punto de vista comercial.

## **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

- Abrams, D. M., C. M. Ruffner, y T. A. Morgan.** 1998. Tree-ring responses to drought across species and contrasting sites in the ridge and valley of central Pennsylvania. *Forest Science*. EUA. 44(4).
- Agulre, B., y Winter, S.** 1989. A growth and yield parameter recovery model for *Pinus cooperii* in northern Mexico. En *USDA Forest Service: (Technical Coordinators: Aregai Teclé, W. Wallace Covington; R.H. Hamre)* report RM-185. Flagstaff, Arizona. EUA. 42-49.

- Alarcón, C., M. A.** 1993. *Estudio dendrocronológico de Pinus hartwegii en el suroeste de la Cuenca de México*. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Alfaro, R. I., y R. F. Shepherd.** 1991. Tree-ring growth of interior Douglas-fir after one year's defoliation by Douglas-fir Tussock moth. *Forest Science* 37: 959-964.
- Balick, J., y R. Mendelsohn.** 1992. Assessing the economic value of traditional medicine from tropical rain forests. *Conservation Biology* 6: 128-130.
- Bartholomay, G.A., y R.T. Eckert.** 1997. Reductions in tree ring widths of white pine following ozone exposure at Acadia National Park, Maine, EUA. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 361-368.
- Cook, E.R., y L.A. Kairiustkistis.** 1993. *Methods of Dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers. Printed in The Netherlands. 394 pp.
- Constanza, R.** 1998. The value of the world's ecosystem service and natural capital. *Ecological Economics* 25: 3-15.
- Chojnack, C. D.** 1988. Juniper, pinyon, oak, and mesquite volume equations for Arizona. Res. Pap. INT. 391. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, *Forest Service*, Intermountain Research Station. EUA. 11 pp.
- D' Arrigo, R., M. Barbetti, M. Watanasak, B. Bukley, P. Krusic, S. Boonchirdchoo, y S. Sarutanon.** 1997. Progress in dendroclimatic studies on mountain in northern Thailand. *IAWA-Journal* 18(4): 433-444.
- De la Cerda, L.** 1989. Encinos de Aguascalientes. *Programa de Investigaciones Biológicas*, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México. 844 pp.
- De la Cerda, L.** 1995. Las Gramíneas de Aguascalientes. *Universidad Autónoma de Aguascalientes*, Aguascalientes, México. 212 pp.

- Escalante, S., y R. Aroche.** 2000. El sector forestal mexicano: paradojas de la explotación de un recurso natural. *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Economía. México, D.F.* 222 pp.
- Farjon, A., y B. T. Styles.** 1997. *Pinus (Pinaceae) (Flora Neotropica Monograph 75).* The New York Botanical Garden, Bronx, New York, EUA. 291 pp.
- Figueiredo, F. A., B. E. Bordes, y H. L. Kenneth.** 1996. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in Southern Brazil. *Forest Ecology and Management* 83: 39-46.
- Ffolliott, F., y J. Gottfried.** 1991. Natural tree regeneration after clearcutting in Arizona, Ponderosa Pine forests: two long-term case studies. Research Note RM-507. USDA Forest Service. Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Fritts, H. C.** 1978. Tree rings and climate. *Academic Press Inc.* New York, USA. 567 pp.
- Gabriel, K. R.** 1978. A simple method of multiple comparisons of means. *Journal of the American Statistical Association* 73: 724-729.
- García, G.** 1989. Plantas medicinales del municipio de San José de Gracia, Aguascalientes. *Programa de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.* 109 pp.
- García G., M. de la Cerda, M. E. Siqueiros, y O. Rosales.** 1993. Recursos Florísticos. *Investigación y Ciencia. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México.* 10: 5-23.
- García, G.** 1998. La familia Loranthaceae (injeritos) del estado de Aguascalientes, México. *Polibotánica* 7: 1-14.
- Gobierno del Estado de Aguascalientes.** 1995. *Programa integral de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica Sierra Fría.* Gobierno del Estado de Aguascalientes, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Secretaría de la Reforma Agraria, Comisión Nacional del Agua, Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de

Desarrollo Agropecuario del Gobierno del Estado de México, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Aguascalientes, México. 286 pp.

**Ibarra, G., M. Ricker, G. Angeles, S. Sinaca, y M.A. Sinaca.** 1997. Useful Plants of the Tuxtlas rain forest (Veracruz, México): considerations of their market potential.

*Economic Botany* 51: 362-376.

**INEGI.** 1998. Cuaderno Estadístico Municipal. San José de Gracia, estado de Aguascalientes. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática* (INEGI), Aguascalientes, México. 149 pp.

**INEGI.** 2000. Estadísticas del Medio Ambiente, México-1999 (tomos 1 y 2). *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática* (INEGI), Aguascalientes, México. 845 pp.

**Laurent, H.** 1986. Radial growth losses in some species of *Pinus* due two forest defoliators. *Annales Des Sciences Forestieres* (París) 43(49): 419-440.

**Lebourgeois, F., G. Levy, M. Becker, y Y. Lefevre.** 1997. Effects of mineral nutrition and water site condition on radial growth of corsican pine in western France. *Annales des Sciences Forestieres* (Paris) 54(3): 279-300.

**McVaugh, R.** 1992. Gymnosperms y Pteridophytes. *Flora Novo-Galiciana*. 17. The University of Michigan Herbarium Ann Arbor, Michigan, EUA. 467 pp.

**Miranda, F., y E. Hernández X.** 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 28: 29-179.

**Ochoa, M. R.** 1999. Producción Forestal Maderable. Centro de Estudios del Sector Privado para el Desarrollo Sostenible (*CÉSPEDES*) 8: 41-43.

**Oliver, Ch., y B. Larson.** 1990. *Forest stands dynamics*. Biological Resource management. McGraw-Hill, Inc. EUA. 467 pp.



- Passini, M. F.** 1982. Estudio fitogeográfico y ecológico de los bosques de *Pinus cembroides* en México. *Mission Archéologique et Ethnologique Francaise au Mexique*. Editions Recherche sur les civilisations. Paris. 373 pp.
- Ricker, M.** 1998. *Enriching the tropical rain forest with native fruit trees - A Biological and Economic Analysis in Los Tuxtlas (Veracruz, Mexico)*. Ph. D. thesis, Yale University, School of Forestry and Environmental Studies & Graduate School, New Haven, Connecticut, EUA. 262 pp.
- Ricker, M., y D. C. Daly .** 1998. *Botánica económica en bosques tropicales - principios y métodos para su estudio y aprovechamiento*. Editorial Diana, México D. F., México. 293 pp.
- Ricker, M., R. Bye, G. Ibarra, M. Martínez, C. Siebe, J. L. Palacio P., R. Valenzuela R., y G. Ángeles.** 1999a. Diversidad y manejo de los bosques mexicanos: aspectos microeconómicos. *Investigación económica* LIX: 11-12, 77-109.
- Salazar, G., J. J. Vargas, J. Jasso, J. D. Molina, C. Ramírez, y J. López.** 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques*. 5(2):19-34.
- SARH.** 1994. *Inventario nacional forestal periódico México 1994*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, México, D. F., México. 129 pp.
- SEMARNAP.** 1999. *Atlas forestal de México 1999*. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México D. F., México. 106 pp.
- Síntesis Geográfica de Aguascalientes.** 1981. *Secretaría de Programación y Presupuesto*. México, D. F. 94 pp.
- Siqueiros, M. E.** 1989. Coníferas de Aguascalientes. *Programa de Investigaciones Biológicas*, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México. 67 pp.



- Siqueiros, M. E.** 1995. Algunos comentarios sobre la vegetación de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia*. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes, México. 5: 16-18.
- Smith, M.** 1986. *The practice of silviculture*. Editors Jhon Wiley & Sons. EUA. 527 pp.
- Sokal, R. R., y F. J. Rohlf.** 1995. *Statistical Tables*. W. H. Freeman and Company, New York, EUA. 199 pp.
- Sokal, R. R., y F. J. Rohlf.** 1995. *Biometry*. W. H. Freeman and Company, New York, EUA. 887 pp.
- Spurr, H. S., y V. B. Barnes.** 1982. *Ecología Forestal*. AGT Editor. México. D.F. 690 pp.
- Standley, P. C.** 1920-26. Trees and shrubs of Mexico. *Contributions from the United States National Herbarium* 23: 1-1721.
- Suzuki, E.** 1990. Dendrocronology in coniferous forests around Lake Rara, West Nepal. *Botanical Magazine Tokio* 103(1071): 297-312.
- SYSTAT.** 1996. *SYSTAT 6.0: Manual*. Chicago, EUA. 751 pp.
- Torres, R., y D. Brodie.** (1990) Demostración de beneficio de un enfoque de optimización a la economía del análisis de bosques naturales de pino en el centro de México. *Forest ecology and management* 36: 267-278.
- Volney, W. J. A., y K. I. Mallett.** 1992. Light rings and the age of jack pine trees. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 2011-2013.
- Zeide, B.** 1989. Accuracy of equations describing diameter growth. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1283-1286.
- Zepeda, B. M., S. Veruette, y S. Esparza.** 1994. Ecuaciones para estimar el volumen fuste total, rollo total árbol y ramaje con y sin corteza así como coeficientes móricos cilíndricos de tres especies de pino del norte de Chihuahua. *Universidad Autónoma de Chapingo*. México. 37 pp.

**Apéndice 1. Datos de entrada para los análisis de varianza. Pcembr = *Pinus***

*cembroides*, \*\*, Pleioph = *P. leiophylla*, \*\*, Plumhol = *P. lumholtzii*, \*\*, Pteocot = *P.*

*teocote*, \*\*, LosPlan = Barranca Los Planes, \*\*, Codomi = codominante, \*\*, Arriba = a la

altura del pecho, \*\*, INCTOTAL = promedio de \*\* en 1/100 cm\*\*, INCULTI = incremento

en los últimos 20 años, INCPRIM = incremento en los primeros 20 años.

CÓDIGO	ESPECIE	SITIO	ESTATUS	VIRUTA	N	INCTOTAL	INCULTI	INCPRIM
260	Pcembr	LosPlan	Codomi	Arriba	25	199	209.5	201.4
260	Pcembr	LosPlan	Codomi	Abajo	29	272	319	275.6
268	Pcembr	LosPlan	Suprim	Arriba	30	97	91.2	98.7
268	Pcembr	LosPlan	Suprim	Abajo	30	132	144.05	130
269	Pcembr	LosPlan	Domi	Arriba	22	203	190	208.2
269	Pcembr	LosPlan	Domi	Abajo	24	272	261.7	308
270	Pcembr	LosPlan	Codomi	Arriba	25	184	166	189.9
270	Pcembr	LosPlan	Codomi	Abajo	31	180	188	203.1
272	Pcembr	LosPlan	Codomi	Arriba	20	231	230.8	230.8
272	Pcembr	LosPlan	Codomi	Abajo	32	216	234.25	220.8
273	Pcembr	LosPlan	Domi	Arriba	40	194	129.6	258.9
273	Pcembr	LosPlan	Domi	Abajo	46	224	194.6	270.6
274	Pcembr	LosPlan	Domi	Arriba	52	133	65.3	221.9
274	Pcembr	LosPlan	Domi	Abajo	53	188	132	257.8
275	Pcembr	LosPlan	Domi	Arriba	60	147	56.35	273.8
275	Pcembr	LosPlan	Domi	Abajo	69	165	69.55	262.5
276	Pcembr	LosPlan	Domi	Abajo	55	184	157.05	134.35
276	Pcembr	LosPlan	Domi	Arriba	37	233	200.3	270.95
278	Pcembr	LosPlan	Suprim	Abajo	23	104	106.45	110.85
278	Pcembr	LosPlan	Suprim	Arriba	23	104	106.45	110.85
101	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	44	248.2	201.2	330.35
101	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	48	264	246.35	249.6
102	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	53	200	102.4	331
102	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	35	284.4	296.85	325.75
103	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	45	322	305.05	371.15
103	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	34	313.1	305.75	329.55
104	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	74	149	151.75	135.25
104	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	39	216.42	180.15	245.3
105	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	52	157.1	104.6	227.35
105	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	48	137.9	159.4	126.05
106	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	58	170.4	122.55	229.1
106	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	50	215.4	144	312.7
107	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	43	154.3	127.8	187.85

107	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	44	179.27	133.5	177.1
108	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	71	173.8	142.65	296.5
108	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	78	146.4	162.8	192.55
109	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	87	150.7	136.95	167.15
109	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	79	160.5	155.95	127.25
110	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	79	160.5	155.95	127.25
110	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	45	238.3	263.2	242.65
111	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	52	192.2	193.65	236.3
111	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	39	312	247.2	375
112	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	137	112.2	43.8	144.15
112	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	104	113.9	50.85	210.55
113	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	85	112.8	64.5	230.65
113	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	79	163.5	69.5	310.3
114	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	26	72.35	45.14	88.25
114	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	52	66.2	47.5	79.15
115	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	38	68.52	74.5	58.9
115	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	51	71.9	89.45	66.6
116	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	44	85.8	96.55	83.7
116	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	55	87	106.95	98.55
117	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	46	84.2	58.15	122.4
117	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	52	84.5	65.35	112.3
118	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	38	118.4	114.35	101.65
118	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	38	111.4	144.45	75.75
119	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	39	71.38	42.1	97.7
119	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	61	94	69.7	114.8
120	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	38	186.2	180.3	198.6
120	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	45	222.4	197.6	283.2
121	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	38	250.8	200.6	309.5
121	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	28	348.7	294.1	375.8
122	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	43	181.5	92.7	282.55
122	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	54	227.8	196.05	223.55
123	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	48	145	87.6	185.15
123	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	46	236.5	155.95	307.25
124	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	38	266.1	195.9	344.1
124	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	45	292	249.5	348.6
125	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	88	108.1	61.2	78.15
125	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	24	142	110.35	159.9
126	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Arriba	29	52.2	26.1	65.85
126	Pleioph	AguaEsc	Suprim	Abajo	30	87.3	51.15	117.95
127	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	33	132.7	88.7	163.95
127	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	33	154.7	104.15	206.7
128	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Abajo	47	208.1	154.6	287.05
128	Pleioph	AguaEsc	Codomi	Arriba	43	206.9	168.3	261.15
129	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	41	132.9	67.55	203.1
129	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	58	139.7	72.15	202.95
130	Pleioph	AguaEsc	Domi	Arriba	54	121.1	59.5	165.35
130	Pleioph	AguaEsc	Domi	Abajo	55	132.8	70.95	182.7



171	Pleioph	JuanFrco	Suprim	Arriba	45	101.15	87.1	117.5
171	Pleioph	JuanFrco	Suprim	Abajo	62	97.73	99.35	79.8
182	Pleioph	JuanFrco	Codomi	Abajo	46	127.12	53.05	202.6
182	Pleioph	JuanFrco	Codomi	Arriba	40	86.31	54.75	126.65
187	Pleioph	JuanFrco	Suprim	Arriba	27	74.68	82.4	85
187	Pleioph	JuanFrco	Suprim	Abajo	28	117.38	99.4	147.05
137	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	31	285.7	34	333
137	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	34	286.2	237.8	380.45
138	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	48	282.8	240.35	247.25
138	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	40	294.3	292	296.45
139	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	36	118	52.5	172.75
139	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	38	116.1	68.65	164.95
140	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	40	162.1	50.2	274.05
140	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	48	180	91.05	280.25
141	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	32	110.66	45.2	145.1
141	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	48	101.42	70.2	127.1
143	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	29	94.5	86.4	113.2
143	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	36	124.7	105.25	147
144	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	32	130.5	113.4	159.9
144	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	35	207.2	226.75	233.9
145	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	28	225.9	218.15	215.6
145	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	49	242.6	305.05	226.95
146	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	43	215	184.45	242.15
146	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	33	219.9	187.25	277.1
147	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	45	89.1	68.9	110.75
147	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	46	139.2	130.7	152.6
148	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	49	158.51	123.45	211.7
148	Pleioph	LagSeca	Domi	Arriba	49	179.78	183.55	189.65
150	Pleioph	LagSeca	Domi	Arriba	52	239.63	219.4	284.3
150	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	57	242.19	229.65	251.45
151	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	65	155.6	68.65	251.3
151	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	47	144.8	76.4	221.15
152	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	61	147.1	47.15	203.55
152	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	60	133.1	92.95	166.95
153	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	49	128.22	35	222
153	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	39	114.59	38.3	194.38
154	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	57	156.2	145.85	166.95
154	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	63	172.5	151.75	197.35
155	Pleioph	LagSeca	Domi	Arriba	51	174.1	156.05	208.1
155	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	58	185	181	203.8
156	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	66	165.2	182.3	109.8
156	Pleioph	LagSeca	Domi	Arriba	42	239.3	206.1	273
157	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	64	227.1	245.4	193.35
158	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	31	146.8	151.3	144.35
158	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	30	181.5	192.15	192.5
159	Pleioph	LagSeca	Codomi	Arriba	47	123	74.6	188.5
159	Pleioph	LagSeca	Codomi	Abajo	53	140.9	78	210.7

160	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	40	75.7	69.05	82.4
160	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	50	88.7	81.05	116.75
161	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	51	196.47	87.4	140.4
161	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	41	94.2	97.95	94.3
162	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	23	111.4	103.45	109.7
162	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	23	121	116.7	131.3
163	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	38	109	104.8	55.9
163	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	38	178	208.3	160.25
165	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	40	257	271.9	242.05
166	Pleioph	LagSeca	Domi	Arriba	48	226	229.45	258.15
166	Pleioph	LagSeca	Domi	Abajo	52	229	239.35	293.15
167	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	20	176	176.05	176.05
167	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	17	201	200.76	200.76
168	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	34	122	151.8	102.9
168	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	35	187	247.65	101.7
169	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	45	175	219.75	160.95
169	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	23	295	295.05	321.55
170	Pleioph	LagSeca	Suprim	Abajo	22	284	271.2	302.45
170	Pleioph	LagSeca	Suprim	Arriba	13	295	274.08	274.1
100	Pleioph	PuertoPi	Domi	Abajo	53	120.5	55.15	181.8
100	Pleioph	PuertoPi	Domi	Arriba	52	125	57.05	162.85
213	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Arriba	25	146	150.7	156.65
213	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Abajo	25	175	166.2	180.65
214	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	157	53	39.75	74.75
214	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	160	60	55.35	114.2
215	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	49	75	78.95	60.2
215	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	44	92	89.25	97.3
216	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Arriba	123	51	55.45	63.4
216	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Abajo	123	66	58.9	80.9
217	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	107	78	58.85	63.12
217	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	76	109	64.9	183.3
218	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	147	38.6	50.35	65.35
218	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	147	53	50.35	65.35
219	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	81	51	37.15	44.95
219	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	129	53	42.4	27.15
220	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	33	59	46.4	73.05
220	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	23	56	54.1	60.2
221	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	200	44	22	68.65
221	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	208	44	22.45	44.5
222	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	34	103	117	88.6
222	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	34	130	140.45	120.65
223	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	32	61	68.6	51.6
223	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	25	80	87.2	87.5
224	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	223	51	26	88.5
224	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	168	65	27.85	160.05
225	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	100	54	56.55	86.35
225	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	119	63	59.5	67.85

236	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	36	80	61.05	88.85
236	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	36	89	84.55	87
239	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	89	55	40.5	77.15
239	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	93	51	44.65	58.55
244	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	110	39	32.2	74.55
244	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	79	41	35	75.9
245	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	106	56	50.3	184.7
245	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	146	58	81.7	32.85
246	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Abajo	85	80	54.25	108.95
246	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Arriba	59	98	94.35	117.9
247	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Abajo	145	51	28	111.7
247	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Arriba	118	44	31.5	84.8
248	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	117	40	32	91.6
248	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	138	41	45	103.6
249	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Arriba	123	45	54.2	57.6
249	Plumhol	LosHoyos	Suprim	Abajo	125	71	60.35	76.4
250	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Arriba	92	38	51.45	34.1
250	Plumhol	LosHoyos	Codomi	Abajo	105	79.02	88.6	74
251	Plumhol	LosHoyos	Domi	Abajo	177	65	44.9	129
251	Plumhol	LosHoyos	Domi	Arriba	202	49	55.25	47.9
33	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	42	209.23	149.8	309.85
33	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	42	231.1	202	268.25
34	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	51	198.78	163.3	279.3
34	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	51	305.65	279.05	325.25
36	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	43	180.51	65.1	278.15
36	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	37	145.74	118.75	187.45
37	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	47	169.64	60.05	301.9
37	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	43	100.53	66.15	260.05
38	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	51	125.76	54	213.6
38	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	52	119.33	55	200.8
39	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	58	210.07	131.9	281.15
39	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	46	215.04	175.55	282.5
40	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	41	296.37	205.8	389.65
40	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	41	337.51	244.6	438.95
41	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	47	124.6	60.2	154.7
41	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	45	111.02	61.85	179.7
42	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	47	230.91	92.1	389.4
42	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	55	303.91	126.45	487.5
43	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	44	136.98	84.8	184.7
43	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	37	11.62	94.65	149.8
44	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	47	168.21	74.35	295.1
44	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	55	175.24	91.95	241.75
45	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	40	101.3	48.6	156.15
45	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	34	103.56	59.9	145.05
46	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	46	193.15	109	312.15
46	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	52	172.42	128.65	248.8
47	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	59	210.83	87	295.35



47	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	42	217.83	107.75	320.05
48	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	45	199.16	120.25	285.85
48	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	35	200.54	158.85	226.8
49	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	17	134.12	135.41	135.41
49	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	27	150.41	176.65	134.95
50	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	52	216.12	78.4	351.84
50	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	38	227.32	111.15	337.55
51	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	54	198.52	112.55	342.5
51	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	57	186.54	114.25	289.25
52	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	41	178.54	168.9	187.25
52	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	37	235.32	179.35	303.4
53	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	52	221.87	116.8	345.65
53	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	54	287.93	161.25	410.4
54	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	42	133.79	64.2	206.55
54	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	52	190.62	97.5	248.35
55	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	40	163.2	105.5	221.1
55	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	37	186.08	116	239.15
56	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	46	194.76	71	257.05
56	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	46	219.93	127.15	337.55
57	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	37	145.86	101.25	190.85
57	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	39	185.46	111.5	250.15
58	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	39	188.41	117.1	251.85
58	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	43	213.3	142.6	304
59	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	41	197.49	152.85	244.75
59	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	42	266.52	173.9	269.6
60	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	44	167.5	104.65	236.05
60	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	47	201.49	104.65	318.4
61	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	44	178.45	96.95	275.6
61	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	49	197.53	128.15	302.3
62	Pteocot	AguaEsc	Domi	Arriba	48	126.93	101.6	149.8
62	Pteocot	AguaEsc	Domi	Abajo	42	210.36	199.65	240.65
63	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Abajo	37	157.05	159.45	171.5
63	Pteocot	AguaEsc	Codomi	Arriba	28	182.36	193.15	195.25
64	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Arriba	51	170.9	87.35	265.55
64	Pteocot	AguaEsc	Suprim	Abajo	62	173.81	89.57	232.65
1	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	144	108.19	60	102.45
1	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	150	97.45	93.7	96.55
2	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	129	94.26	50.5	180.7
2	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	111	88.68	64.8	139
3	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	44	150.09	132.05	157.45
3	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	38	166.37	154.15	169.3
4	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	41	124.44	87.2	164.5
4	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	34	152.82	94.6	189.85
5	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	41	143.22	93.15	196.05
5	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	52	168.12	122.4	169.7
6	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	50	153.1	71.2	246.35
6	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	41	150.41	96.7	200.2

7	Pteocot	LagSeca	Suprim	Arriba	36	97.47	83.15	110.9
7	Pteocot	LagSeca	Suprim	Abajo	40	87.08	83.45	88.3
8	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	98	55.05	29.05	114.25
8	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	103	107.33	122.7	118.2
9	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	59	167.33	98.3	179.75
9	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	61	172.3	135.2	167.3
10	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	54	87.41	58.1	109
10	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	61	134.28	112.15	190.15
11	Pteocot	LagSeca	Suprim	Arriba	27	107.19	102.3	121.6
11	Pteocot	LagSeca	Suprim	Abajo	27	99.93	107.15	98.95
12	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	49	101.96	77.55	126.55
12	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	40	116.38	77.9	156.1
13	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	55	90.6	94.95	66.25
13	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	56	119.79	102.65	116.35
14	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	42	104.45	80.65	137.85
14	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	47	88	87.45	140.1
15	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	41	127.61	88.14	163.85
15	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	41	207.56	105.75	302.9
16	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	127	96.53	74.55	147.3
16	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	103	134.56	90.85	120.95
17	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	67	70.97	69.9	85.55
17	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	117	87.19	83.63	139.9
18	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	112	130.47	58.7	267.3
18	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	134	141.34	98.65	113.8
19	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	51	160.25	67	289.55
19	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	38	137.71	88.14	179.1
20	Pteocot	LagSeca	Codomi	Arriba	36	142.42	71.8	199
20	Pteocot	LagSeca	Codomi	Abajo	45	158.29	178.64	258
21	Pteocot	LagSeca	Suprim	Arriba	26	152.69	114.85	185.4
21	Pteocot	LagSeca	Suprim	Abajo	26	209.23	193.95	256.25
22	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	44	167.45	105.85	240.85
22	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	50	214.18	132.2	296.95
23	Pteocot	LagSeca	Suprim	Arriba	36	101.56	59.2	135.7
23	Pteocot	LagSeca	Suprim	Abajo	41	114.88	59.9	174.65
24	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	126	88.06	40.45	165.7
24	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	149	93.57	41.25	188.05
25	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	49	118.35	47.9	197.05
25	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	55	131.02	62.3	212
26	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	52	240.92	158.45	381.25
26	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	54	251.85	201.25	320.4
27	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	37	169.86	120.5	205.95
27	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	39	160.49	128.8	177.7
28	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	37	289.68	178.6	378.1
28	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	42	294.4	178.6	430.15
29	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	58	195.69	143.8	229.35
29	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	24	156.17	161.55	163.25
30	Pteocot	LagSeca	Domi	Abajo	57	267.79	185	411.65



30	Pteocot	LagSeca	Domi	Arriba	50	312.58	209.6	461.65
68	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	61	139.61	58.05	195.8
68	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	68	159.43	58.85	207.2
69	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	68	82.35	42.6	95.8
69	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	68	103.71	50.25	127.1
70	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	65	157.91	91.5	172.8
70	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	63	157.22	106.4	150.9
71	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Abajo	60	153.53	95.15	208.95
71	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Arriba	54	169.74	105.8	223.75
72	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	48	227.94	134.7	337.55
72	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	49	266.73	142.7	392.25
73	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	40	159.38	71.75	241.55
73	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	36	178.97	90.75	258
74	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	34	175.38	53.55	270.45
74	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	49	140.94	86.95	198.7
75	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	60	195.66	83.6	249.55
75	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	53	248.36	106.65	394.75
76	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	54	112.67	52.4	162.95
76	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	50	130.88	58.1	236.2
77	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	40	137.7	85.75	189.65
77	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	30	92.6	93.45	96.8
78	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	60	186.88	145.4	217.2
78	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	60	212.48	160.25	310.75
79	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	51	219.98	106.7	370.3
79	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	55	174.91	224	103.05
80	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	51	163.25	80.9	269.1
80	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	56	167.09	135	205.65
81	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	53	115.74	59	142.95
81	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	65	118.17	63	156.15
82	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	49	126.9	70	184.5
82	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	56	135.82	82.4	134.5
83	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	34	144.91	96.35	172.9
83	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	34	183.76	163.2	196
84	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	51	117.39	37.3	139.3
84	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	37	145.46	47.7	225.85
85	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	45	228	101.5	353.15
85	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	42	209.6	103.15	317.5
86	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	48	158.46	94.55	242.95
86	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	48	240.67	143.25	339.2
87	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	63	174.49	90.15	236.1
87	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	62	153.91	90.45	177.35
88	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	50	179.76	70.8	301
88	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	57	163.67	78.25	184.75
89	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Arriba	44	133.18	58.4	220.5
89	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Abajo	45	185.67	90.35	281.15
90	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	56	165.73	48.15	249.65
90	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	72	169.19	73.55	144.4

91	Pteocot	PuertoPi	Domi	Arriba	79	136.57	59.8	158.95
91	Pteocot	PuertoPi	Domi	Abajo	71	118.68	63.2	125.95
92	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Abajo	49	178.67	52.95	367.3
92	Pteocot	PuertoPi	Codomi	Arriba	44	153.41	57.85	247.95
93	Pteocot	PuertoPi	Deprim	Abajo	36	86.47	34.05	131.15
93	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Arriba	30	109.8	64.2	146.85
94	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Arriba	40	104.38	61.65	147.1
94	Pteocot	PuertoPi	Suprim	Abajo	42	108.95	76.65	139.2

**Apéndice 2. Datos de entrada para la regresión no-lineal con el modelo de crecimiento BRC.**

Datos de entrada para las curvas de crecimiento de *P. cembroides*

CÓDIGO	EDAD	VOLUMEN	RADIO (AP)	ALTURA
278	23	0,0212	0,041	4,15
269	24	0,0808	0,072	7,1
260	29	0,1226	0,094	5,75
268	30	0,0186	0,038	3,73
270	31	0,0594	0,065	5,8
272	32	0,0792	0,074	6,1
273	46	0,2430	0,126	7
274	53	0,6919	0,194	9,5
276	55	0,3329	0,14	8,35
275	69	0,4300	0,159	8,3

Datos de entrada para las curvas de crecimiento de *P. leiophylla*

CÓDIGO	EDAD	VOLUMEN	RADIO (AP)	ALTURA
167	20	0,044	0,054	6,5
170	22	0,050	0,058	6,5
162	23	0,024	0,04	6,7
187	28	0,026	0,045	5
126	30	0,025	0,043	5,4
127	33	0,117	0,08	9,3
137	34	0,299	0,118	11,7
168	35	0,067	0,062	8,8
144	35	0,126	0,084	8,9
143	36	0,046	0,057	5,8
139	38	0,063	0,065	6,6
118	38	0,064	0,063	7,65
163	38	0,067	0,062	8,7
149	39	0,382	0,129	12,9
165	40	0,058	0,045	17
107	44	0,189	0,098	10,5
103	45	0,520	0,139	15,5
169	45	0,289	0,127	9,1
124	45	0,679	0,168	13,5
147	46	0,093	0,07	9,9
182	46	0,092	0,065	11,9
128	47	0,445	0,148	10,8
101	48	0,609	0,155	14,5
141	48	0,051	0,058	6,9
123	48	0,337	0,124	12
140	48	0,216	0,097	12,9
153	49	0,176	0,088	12,8

145	49	0,477	0,143	13
148	49	0,324	0,115	13,8
160	50	0,027	0,043	6,3
115	51	0,033	0,047	6,9
161	51	0,065	0,061	8,8
105	52	0,419	0,136	12,5
114	52	0,031	0,048	5,3
117	52	0,045	0,056	6,1
111	52	0,370	0,129	12,3
166	52	0,754	0,155	18,7
100	53	0,151	0,092	9,1
159	53	0,175	0,088	12,7
122	54	0,198	0,098	11,1
116	55	0,064	0,063	7,5
130	55	0,163	0,096	8,8
150	57	1,125	0,201	16,3
129	58	0,337	0,13	10,7
119	61	0,082	0,078	5,1
152	61	0,385	0,123	14,6
171	62	0,005	0,019	2,8
154	63	0,562	0,155	13
157	64	1,857	0,232	21
151	65	0,313	0,11	14,7
156	66	0,462	0,125	17,6
104	74	0,503	0,142	14,3
108	78	0,396	0,134	12,2
113	85	0,355	0,125	12,5
109	87	0,301	0,123	10,5
125	88	0,054	0,063	5,4
112	137	0,434	0,127	15,5

Datos de entrada para las curvas de crecimiento de *P. lumholtzii*

CÓDIGO	EDAD	VOLUMEN	RADIO (AP)	ALTURA
213	25	0,0446	0,056	6,2
223	32	0,0105	0,029	4,2
220	33	0,0092	0,027	4,4
222	34	0,0508	0,059	6,3
236	36	0,0278	0,046	5,2
215	49	0,0472	0,054	7,9
246	85	0,2738	0,117	10,6
239	93	0,0292	0,047	5
250	105	0,2056	0,102	10,5
217	107	0,3812	0,134	11,5
244	110	0,1239	0,087	8



225	119	0,2444	0,104	12,4
216	123	0,2739	0,115	11,1
249	125	0,1865	0,107	7,9
247	145	0,2383	0,112	9,8
245	146	0,1384	0,086	9,8
218	147	0,2157	0,1	11,8
214	160	0,7263	0,179	12,6
251	177	0,5451	0,158	12
221	208	0,4255	0,139	12,2
224	223	0,5353	0,153	12,7

Datos de entrada para las curvas de crecimiento de *P. teocote*

CÓDIGO	EDAD	VOLUMEN	RADIO (AP)	ALTURA
21	26	0,0416	0,053	6,5
49	27	0,0217	0,041	4,5
11	27	0,0406	0,053	6,5
83	34	0,1807	0,093	11,2
93	36	0,0439	0,053	7,5
63	37	0,0718	0,064	8,85
27	39	0,2527	0,111	10,9
57	39	0,1980	0,095	12,1
7	40	0,0337	0,048	6,4
45	40	0,0545	0,059	7,5
55	40	0,2113	0,104	10,4
73	40	0,2060	0,101	10,9
4	41	0,1218	0,088	7,5
23	41	0,0503	0,056	7,6
15	41	0,1457	0,088	9,7
52	41	0,3987	0,128	13,7
40	41	0,7935	0,172	15,5
94	42	0,0568	0,06	7,6
28	42	0,5473	0,161	11,5
33	42	0,5530	0,148	14,5
59	42	0,4245	0,128	15
36	43	0,0923	0,072	8,9
43	44	0,0852	0,071	8,3
3	44	0,1315	0,088	8,4
89	45	0,1114	0,078	9,5
20	45	0,1353	0,085	9,8
85	45	0,4375	0,146	11
48	45	0,3647	0,126	12,7
56	46	0,6283	0,16	13,9
41	47	0,0722	0,067	7,7
14	47	0,0862	0,07	9
37	47	0,2261	0,105	11
60	47	0,2980	0,112	13,3

72	48	0,5765	0,164	11,7
86	48	0,3871	0,133	12
12	49	0,0804	0,068	8,5
92	49	0,2538	0,114	10,3
74	49	0,1771	0,095	10,5
61	49	0,3321	0,118	13,4
6	50	0,1559	0,09	10,1
22	50	0,3444	0,131	10,8
19	51	0,1282	0,085	8,85
84	51	0,1355	0,082	10,7
34	51	0,5956	0,151	15
5	52	0,1793	0,1	9,1
38	52	0,1510	0,09	9,5
50	52	0,3106	0,12	11,7
54	52	0,3088	0,118	12,2
46	52	0,4234	0,129	14,5
26	54	0,7594	0,196	10,5
53	54	0,5945	0,165	12
76	54	0,3111	0,111	14,5
25	55	0,1584	0,088	10,8
44	55	0,3422	0,125	12
79	55	0,3584	0,126	12,5
42	55	1,9584	0,246	19,5
13	56	0,1389	0,089	8,8
82	56	0,1807	0,095	10,5
80	56	0,3884	0,129	13
88	57	0,2990	0,125	9,9
30	57	0,7219	0,185	11,5
51	57	0,4493	0,139	12,9
29	58	0,4278	0,142	11,5
39	58	1,2106	0,2	18
47	59	0,6663	0,167	13,5
71	60	0,5115	0,143	14,2
10	61	0,1671	0,098	8,8
9	61	0,6180	0,168	12,1
64	62	0,2803	0,123	9,5
87	63	0,5673	0,161	12
81	65	0,1932	0,096	11,4
70	65	0,5682	0,145	15,65
69	68	0,2456	0,096	15,5
68	68	0,6543	0,153	16,4
90	72	0,3209	0,122	11,8
8	103	0,2963	0,126	9,7
17	117	0,8463	0,194	12,5
18	134	0,9978	0,205	13,3
24	149	0,9020	0,186	15,1
1	150	1,3332	0,224	15,3