

# Estudios sobre el crecimiento radial, basal, en altura y de las condiciones climáticas que afectan el desarrollo de *Pilgerodendron uviferum*

Studies on radial, basal and height growth, and climate-growth relationships in *Pilgerodendron uviferum*

FIDEL A. ROIG y JOSE A. BONINSEGNA

Laboratorio de Dendrocronología, Centro Regional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CRICYT)- CONICET, Casilla 330, Mendoza (550), Argentina

## RESUMEN

Las variables climáticas que controlan el crecimiento de *Pilgerodendron uviferum*, así como el ritmo anual del crecimiento radial, basal y en altura de su tallo principal, fueron determinadas mediante metodología dendrocronológica. Se utilizaron muestras de madera extraídas con barrenos de incremento provenientes de las localidades de Santa Lucía (43°10'S - 71°50'W) y Piuchue (42°25'S - 74°05'W) en la provincia de Chiloé, Chile. El análisis de función de respuesta destacó la precipitación estival como la variable climática que más influye sobre el crecimiento radial. Ambos sitios presentan pequeños valores de crecimiento radial anual, alcanzando un promedio de 0,51 mm/año en Santa Lucía y 0,44 mm/año en Piuchue. La relación diámetro/edad y área basal/edad alcanzan valores de correlación superiores a 0,60. El máximo valor de crecimiento radial medio anual es alcanzado a los 110 años en el sitio Santa Lucía y a los 50 años en Piuchue. Finalmente, se determinó en 5,8 cm/año la tasa de crecimiento en altura de los fustes principales de árboles que crecen en el sitio Santa Lucía.

**Palabras claves:** Dendroclimatología, anillo de crecimiento, función de respuesta, Chile.

## ABSTRACT

To study growth-climate relationships, diameter, basal area and height growth for *Pilgerodendron uviferum* growing in two Chilean forest stands at c. 42°S latitude, increment borer samples were used at breast height. The dendroclimatic analysis shows that summer precipitation is the most important variable relating annual growth with the current and previous year's precipitation which has a decisive influence in the annual yield wood production. Radial average growth is 0.51 mm/year in Santa Lucía and 0.44 mm/year in Piuchue, and the correlation coefficient of the diameter/age relationship was 0.79 in Santa Lucía and 0.64 in Piuche. Similar results were obtained in the basal area/age relationship. The trees have a low growth rate in both sites. The maximum annual mean radial increment is reached at 110 years in Santa Lucía and at 50 years in Piuchue. Height increment appears to be similar in all trees analyzed, and differences can be attributed to understory position of some trees. The increment in height reaches a maximum of 5.5 cm/year. **Key words:** Dendroclimatology, growth ring, response function, Chile.

## INTRODUCCION

El análisis de los anillos de crecimiento de las plantas leñosas es ampliamente usado para determinar edades y obtener otros datos factibles de utilizarse en estudios ecológicos y dasométricos. La medición del ancho de los anillos de crecimiento es también utilizada en la estimación de la relación del crecimiento leñoso con las variaciones anuales o periódicas del clima (Fritts 1976, Schweingruber 1988). Mediante el método dendrocronológico es posible obte-

ner no sólo el valor del espesor de los anillos de crecimiento con una alta precisión, sino también conocer la historia del desarrollo del árbol, lo cual pondera este método por sobre otros de uso tradicional en estudios forestales (forcipula, cinta, dendrógrafos, etc.). En el manejo forestal interesa determinar cuánto crece anualmente el árbol, en términos de diámetro y altura, y cómo varía este crecimiento entre sitios. Estos registros pueden ser utilizados para determinar la influencia del sitio de crecimiento sobre los caracteres xilológicos de

la madera, variable de importancia sobre todo en la producción de papel.

El método dendrocronológico es particularmente interesante cuando es aplicado al estudio del crecimiento de bosques naturales que no han sufrido el impacto de la actividad económica. Uno de los más importantes elementos que componen el bosque en la región templado-fría del sur chileno es *Pilgerodendron uviferum* (Don.) Florin., especie que se extiende desde los 39°30' (Martínez Miranda 1981) hasta aproximadamente los 55° de latitud sur (Moore 1983). Esta especie se desarrolla bajo un clima templado-frío, con valores de precipitación anual que superan los 2.500 mm. Los bosques de esta conífera se localizan preferentemente en los terrenos bajos y cerca de la costa, aunque también se lo puede encontrar a alturas superiores de 700 m, como en la Cordillera de la Costa en la Isla Grande de Chiloé. La madera de *Pilgerodendron* representa un recurso económico de importancia, ya que

es intensamente utilizada en Chile para construcción de casas (tejuelas), embarcaciones y como postes para cercos, debido a su fácil tala, aserrado y elevada resistencia a la descomposición.

En este trabajo se intenta determinar, mediante la aplicación del método dendrocronológico, el rol de algunos factores físicos que controlan el crecimiento anual del bosque de *Pilgerodendron uviferum* (Ciprés de las Guaitecas) como así también estimar la tasa anual del crecimiento radial, basal y en altura del fuste principal.

#### MÉTODOS

Los materiales leñosos utilizados en este estudio provienen de dos stand con marcada presencia de *Pilgerodendron uviferum*, uno ubicado en Chiloé continental (Santa Lucía) y el otro en Chiloé insular (Piu-chue) (Fig. 1). En ambos sitios, el bosque

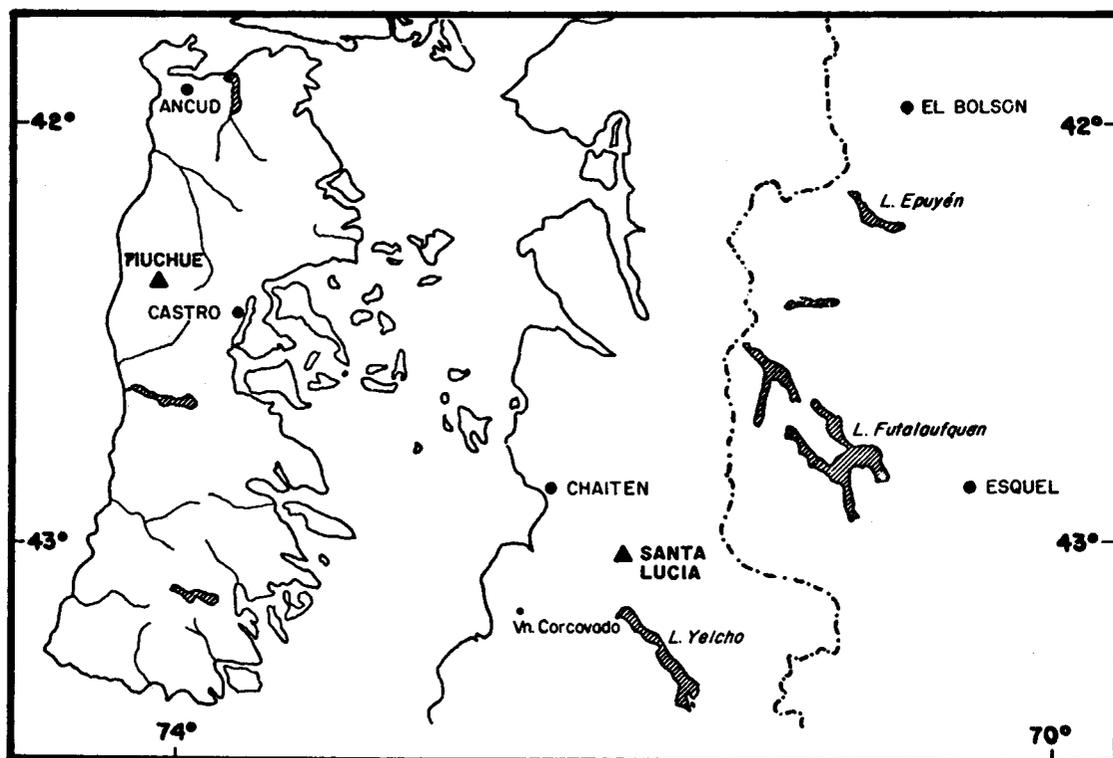


Fig. 1: Area de estudio. Los triángulos muestran los sitios con bosque de *Pilgerodendron uviferum* analizados.

Study area. The triangles show the analyzed sites with *Pilgerodendron uviferum* forest.

de ciprés aparentemente mostraba una seriación completa en su estructura de edades, comprendiendo desde renovales hasta individuos de gran desarrollo.

El bosque de *Pilgerodendron* en Santa Lucía se desarrolla perimetralmente a una turbera compuesta principalmente por *Sphagnum magellanicum* con facies de *Dacrydium fonckii*. Eventualmente aparecen dentro del stand ejemplares de *Nothofagus nitida* que escasamente superan el dosel del bosque de ciprés. La turbera se encuentra ubicada en una extensa depresión a una altura aproximada de 500 m.

En Cordillera de Piuchue (Isla Grande de Chiloé) *Pilgerodendron* se encuentra consociado principalmente con *Fitzroya cupressoides* y en menor medida con fagáceas y podocarpaceas. El stand está ubicado a 750 m de altitud y corresponde al límite superior del bosque en esta Cordillera. Debido a su ubicación, se observaron gran cantidad de ejemplares con el típico aspecto fisonómico de árboles en bandera.

Dado que uno de los objetivos de este trabajo era estudiar el registro histórico del crecimiento, se muestrearon aquellos árboles que por su aspecto morfológico externo indicaban mayor edad.

No menos de dos muestras de madera por ejemplar de ciprés fueron extraídas de radios opuestos y en forma perpendicular al fuste principal mediante barrenos de incremento a la altura de pecho (1,30 m sobre el suelo). En el sitio Santa Lucía se muestrearon 67 ejemplares y en Piuchue 54. La preparación y datación de las muestras se hizo de acuerdo a los métodos clásicos descritos por Stokes & Smiley (1968). Luego de realizar el cofechado visual, el ancho de los anillos fue medido con una precisión de 0,01 mm mediante una máquina medidora de incrementos tipo Bannister, almacenando la información en una microcomputadora (Robinson & Evans 1980). Los datos se transfirieron a una computadora VAX-11 para su procesamiento y análisis. La identificación de posibles errores cometidos durante la operación del fechado fue realizada mediante el uso del programa de computación COFECHA (Holmes 1983).

Con las series de anchos de anillos correctamente datadas, se confeccionaron las cronologías correspondientes a cada sitio utilizando el programa de computación ARSTAN (Cook 1985; Holmes *et al.*, 1986). En esta etapa se procede a la eliminación de la tendencia biológica de crecimiento o de aquellas variaciones radiales originadas por causas no directamente atribuibles al clima (por ejemplo, pulsos de crecimiento debidos a fenómenos de competencia). Así, cada serie es ajustada mediante el empleo de una función exponencial negativa, regresión lineal, línea horizontal a través de la media o mediante una función de spline cúbico cuya flexibilidad es equivalente a 2/3 de la edad de la serie (Cook 1985), según las características propias de cada serie. Este procedimiento es denominado estandarización de las series. Cada medición anual es posteriormente dividida por el correspondiente valor calculado de la función del ajuste empleada, obteniéndose el respectivo índice estandarizado del ancho del anillo. El programa ARSTAN genera tres versiones de cronologías: STANDARD que incluye las series previamente estandarizadas a fin de remover el máximo de variancia no debida al clima, RESIDUAL calculada a partir de los residuos generados por un modelo autorregresivo y manteniendo una uniformidad semejante en la cantidad de la variancia en todo el espectro de frecuencias, y ARSTAN la cual es básicamente la cronología RESIDUAL a la cual se le agrega la estimación de la estructura de persistencia común a todas las series sin tendencia biológica.

La determinación de la relación climacrecimiento se realizó mediante el Análisis de Función de Respuesta (AFR) (Fritts *et al.* 1971; Fritts 1976; Fritts & Wu 1986). El AFR es una técnica de regresión múltiple cuyo objetivo es estimar la relación estadística existente entre el crecimiento leñoso anual y las variables climáticas. El uso exclusivo de la técnica de regresión ha sido cuestionada (Cropper 1982) sugiriéndose el análisis de correlación como alternativa (Blasing *et al.* 1984). Previo al cálculo de la ecuación de regresión, es aconsejable extraer los componen-

tes principales de la variancia de los datos climáticos para evitar problemas de colinealidad entre las variables. Estas nuevas variables, ahora estadísticamente independientes, son usadas como predictoras en el AFR, pudiendo agregarse, también como predictoras, los valores de crecimiento previo. El crecimiento previo es el valor del anillo t-1 con respecto al anillo t o variable dependiente.

En el análisis de crecimiento radial y basal se utilizaron las muestras que presentaban un registro cronológico completo, es decir desde la médula hasta el último anillo formado, asignando la edad 1 al anillo contiguo a la médula. En los casos en que la muestra de barreno no alcanzó el centro, se procedió a estimar la edad completa mediante la reconstrucción geométrica de la posición de la médula (Norton *et al.* 1987). Se obtuvo la media aritmética para cada anillo y la serie promedio de incrementos radiales anuales fue suavizada mediante una función de spline cúbico con rigidez de 100 años (Cook 1985). A esta serie suavizada se la denominó Incremento Radial Anual Corriente (IRA), la cual representa la cantidad de crecimiento que ocurre a una edad determinada. Los valores del IRA acumulados y divididos por su edad correspondiente dan por resultado una nueva serie denominada Incremento Radial Medio Anual (IMA), que representa el crecimiento medio a una edad determinada.

El Incremento Basal Anual Corriente (IBA) fue estimada mediante la ecuación:

$$AB(t) = 2 \Pi r(t-1) Ir(t)$$

donde, AB(t) es el área basal en el año t, r(t-1) es el valor radial del árbol alcanzado hasta el año t-1 e Ir(t) es el ancho del anillo (t). Los valores del IBA acumulados y divididos por la edad correspondiente a cada uno de ellos, originaron la curva de Incremento Medio Basal Anual (IMB).

Para la estimación de la tasa de incremento en altura se tomaron muestras en el tallo de árboles seleccionados, a intervalos regulares de 1 m.

## RESULTADOS

### *Cronologías de anchos de anillos*

Las cronologías de Santa Lucía y Piuchue presentan alto valor de autocorrelación de primer orden (correlación de la misma serie cuando ésta es desplazada un año), y una relativamente baja sensibilidad media siendo este último estadístico una medida de la variación del ancho de anillos consecutivos (Fritts 1976). La relación señal/ruido es alta en la cronología Santa Lucía y media a baja en Piuchue (o por lo menos es un valor que corresponde al límite bajo-medio usuales de hallarse en cualquier cronología). El término "señal" se refiere a la variancia común a todas las muestras que forman parte de la cronología (Wigley *et al.* 1984) y "ruido" corresponde a la variancia producida por factores de sitio no relacionados al clima y a factores de control interno del árbol (hormonas p.e.). La comparación de este estadístico debe realizarse con precaución debido al diferente número de muestras que intervinieron en cada cronología (ver Tabla 1). La cantidad de variancia común entre las series que forman parte de la cronología, medida como el porcentaje de la variancia explicada por el primer autovector y medida como la correlación media entre el ancho de anillos de árboles, presenta valores similares para ambas cronologías y comparables a los resultados obtenidos por Holmes *et al.* (1986).

TABLA 1

Estadígrafos del programa ARSTAN correspondientes a la versión "STANDARD"

Statistics of computer program ARSTAN, corresponding to "STANDARD" version

Cronología	Santa Lucía	Piuchue
Mediana	0,9757	0,9851
Sensibilidad media	0,1606	0,1435
Desviación estándar	0,2927	0,2388
Autocorrelación 1 <sup>er</sup> orden	0,7494	0,7091
Autocorrelación 2 <sup>o</sup> orden	0,0670	0,0447
Autocorrelación 3 <sup>er</sup> orden	0,0951	0,0834
Variancia debida a la autorregresión (PCT)	56,5	55,1
Variancia del error	0,0085	0,0054
Nº de muestras	60	27

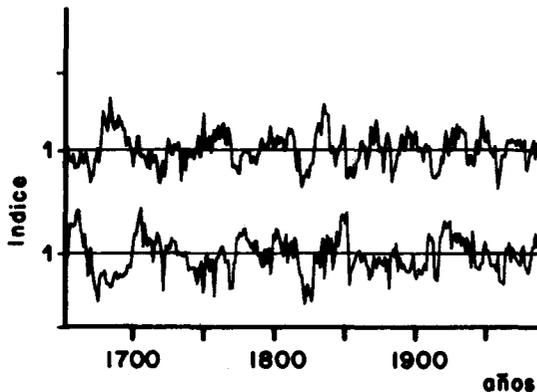


Fig. 2: Cronologías de anchos de anillos correspondientes a los sitios Piuchue (A) y Santa Lucía (B). Ambas han sido graficadas desde el año 1650.

Growth ring chronologies corresponding to Piuchue (A) and Santa Lucía (B) sites. Both chronologies have been drawn since 1650.

Los principales estadísticos se observan en las tablas 1 y 2 y las cronologías de índices de anchos de anillos en la Fig. 2. Resultados estadísticos similares se han obtenido de las cronologías derivadas de *Austrocedrus chilensis* y *Fitzroya cupressoides* (Roig en prensa).

*Relación clima-crecimiento*

Mediante el análisis de función de respuesta (AFR) se determinó la relación entre el crecimiento radial y las variables de temperatura y precipitación. En el modelo matemático se consideraron 13 predictores del crecimiento correspondientes a temperatura y precipitación incluyendo 3 años previos de crecimiento. Los datos climáticos fueron agrupados en trimestres de acuerdo a las siguientes combinaciones de meses: diciembre-enero-febrero (verano), marzo-abril-mayo (otoño), junio-julio-agosto (invierno) y septiembre-octubre-noviembre (primavera).

Mediante un ejercicio previo se calibró cada una de las tres versiones de cronologías generadas por el programa ARSTAN con los respectivos registros meteorológicos, resultando la versión STANDARD la más apropiada. La calibración dendroclimática de la cronología Santa Lucía fue realizada con la precipitación de Puerto Montt y la

temperatura media del aire resultante del promedio de las estaciones de Isla Guafo, Punta Galera y Puerto Montt. La extensión de los registros de datos climáticos usados alcanzó los 60 años (1901-1960). Los resultados establecen que la precipitación estival, tanto del verano en que se forma el anillo como la registrada en el verano anterior, son determinantes del valor que alcanza el ancho del anillo (Fig. 3). La función de respuesta permite explicar el 53,75% de la variancia total como debida al clima (precipitación y temperatura conjuntamente). La influencia biológica que ejerce un año de crecimiento sobre el siguiente queda reflejada por el alto valor de autocorrelación que alcanza la cronología y los valores de correlación en la función de respuesta (Tabla 2 y Fig. 3). En general, es esperable encontrar valores altos de autocorrelación en sitios de crecimiento con elevada humedad (Fritts 1976).

Para la calibración dendroclimática de la cronología Piuchue, se utilizaron 56 años (1913-1968) de registro correspondientes al promedio de precipitación de cuatro estaciones meteorológicas de Chiloé (Punta Corona, Ancud, Castro y Piruquina) y el promedio estacional de temperatura media del aire de dos estaciones ubicadas en la cercanía de Chiloé (Isla Guafo y Punta

TABLA 2

Análisis del intervalo común (series estandarizadas). El asterisco indica significancia al 5%

Common interval analysis (detrended series). Asterisk indicate significant at 5% level

Cronología	Santa Lucía	Piuchue
Período	1846-1982	1792-1975
Nº de muestras	44	17
Correlación entre todos los radios	0,357*	0,453*
Correlación entre árboles	0,348*	0,417*
Correlación dentro de los árboles	0,797*	0,782*
Relación señal/ruido	17,084	7,161
Semejanza con la población de la cronología	0,945	0,877
Variancia en el primer autovector (PCT)	37,59	48,14

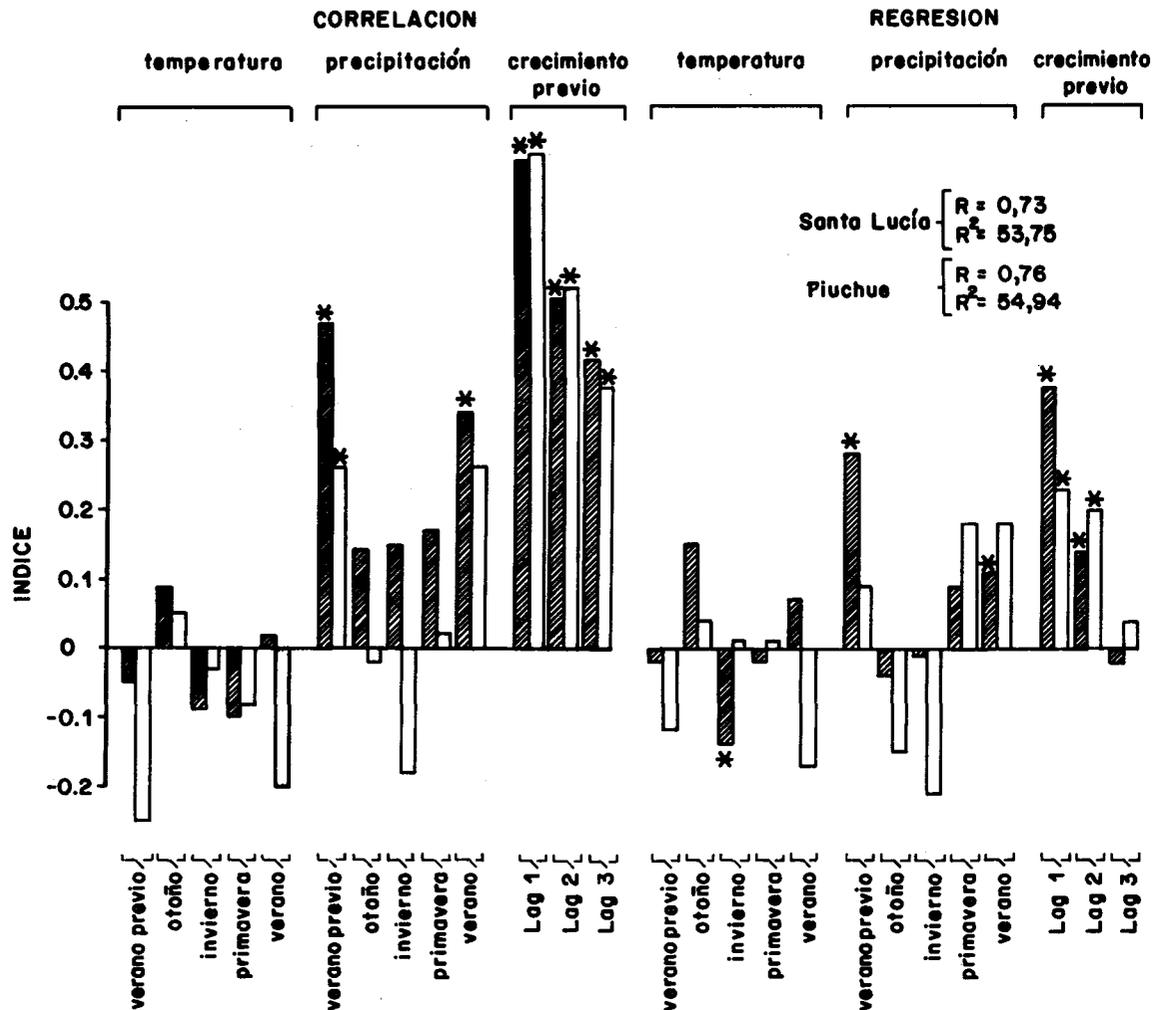


Fig. 3: Resultados del Análisis de Función de Respuesta para las cronologías Santa Lucía y Piuchue. Las barras rayadas corresponden al modelo generado para Piuchue y las blancas para Santa Lucía. El asterisco indica significancia al 0,05%. R corresponde al valor del coeficiente de correlación múltiple y R<sup>2</sup> al porcentaje de variancia explicada por las variables climáticas consideradas en el modelo matemático. Lag 1, 2 y 3 corresponden a los tres años previos considerados también como variables predictoras.

Results of response function analysis of Santa Lucía and Piuchue chronologies. The dashed bars represent the values reached by the Piuchue model and the black ones, the Santa Lucía model. Asterisk indicate significance at 0.05% level. R represents the multiple correlation coefficient and R<sup>2</sup> the total variance explained by climate. Lag 1, 2 and 3 are previous growth years which are considered as one of the predictors in the mathematic model.

Galera). Los resultados muestran que la precipitación estival es la variable que controla el crecimiento de *Pilgerodendron* en este ambiente (Fig. 3). La temperatura parece no tener incidencia significativa en el desarrollo del leño secundario, a diferencia de los resultados logrados con cronologías de árboles que se desarrollan en el límite altitudinal de distribución de los bosques (LaMarche 1974, Norton 1985). Como se observa en las tablas 2 y 3, el crecimiento

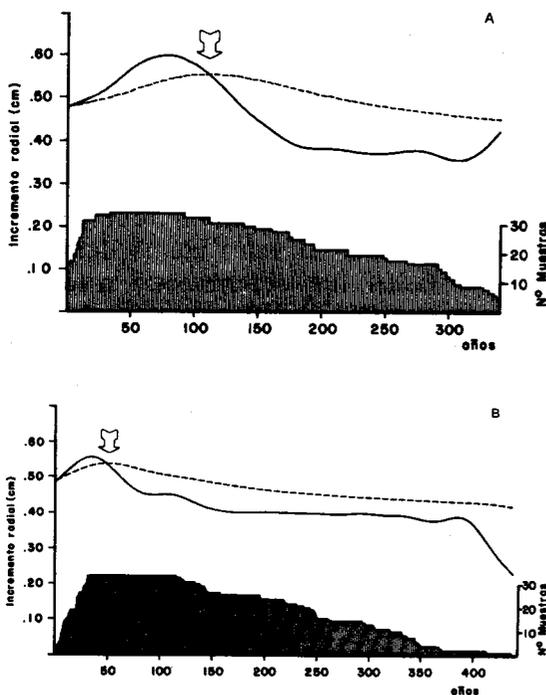
previo influye fuertemente en el valor del ancho del anillo. La variancia total explicada por el clima (precipitación y temperatura) alcanzó 54,94%.

#### *Incremento radial y basal*

Los principales factores de producción en un bosque son el suelo y el clima. En función de esto, el crecimiento anual difiere

para una misma especie, de acuerdo a las condiciones del sitio, incluidas las micro y macroclimáticas. El incremento radial anual corriente (IRA) y el incremento anual en altura, dependen no sólo de las condiciones climáticas bajo las cuales el crecimiento tiene lugar, sino también de las condiciones climáticas de los años previos a la formación del anillo. Determinados meses del año previo son vitales en el desarrollo de sustancias de reserva, con las cuales es favorecido el crecimiento.

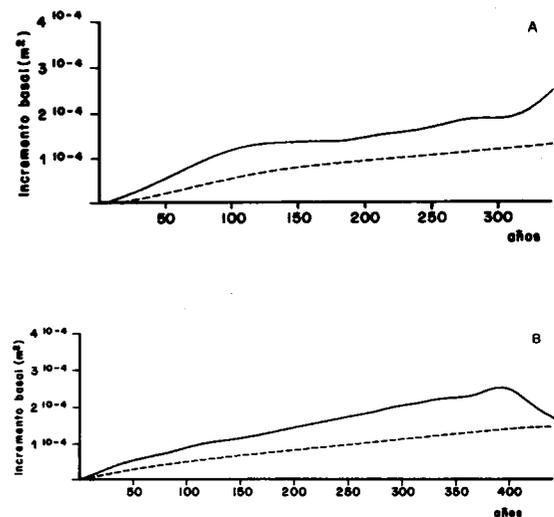
El IRA muestra para ambos sitios una fase inicial de aumento sostenido, y luego una definitiva tendencia decreciente, la cual se ve alterada de tanto en tanto por pequeños pulsos de mayor incremento (Fig. 4 A y B). Los puntos de inflexión de estas



**Fig. 4:** Incremento radial anual corriente (línea entera) e incremento radial medio anual (línea de rayas) para Santa Lucía (A) y Piuchue (B). La flecha indica el punto de inflexión en el cual el incremento radial medio se hace máximo. El área de barras indica la distribución del número de muestras analizadas.

Current annual radial increment (solid line) and annual radial average increment (dashed line) of Santa Lucía (A) and Piuchue (B). The arrow shows the inflexion point in which the mean radial increment reaches a maximum value. The dashed area indicates the distribution of the analyzed samples.

curvas corresponden a 80 años para Santa Lucía y 40 años para Piuchue. Los bruscos cambios de pendiente que muestran ambas curvas en su finalización, posiblemente estén relacionados al bajo número de muestras promediadas. Respecto al incremento basal anual corriente (IBA), los dos sitios presentan curvas con características semejantes (Fig. 5 A y B). En ambas curvas el crecimiento es sostenido y creciente y la brusca curvatura que experimentan hacia su finalización podría atribuirse a la misma causa señalada en el incremento radial.



**Fig. 5:** Incremento basal anual corriente (línea entera) e incremento basal medio anual (línea de raya) para Santa Lucía (A) y Piuchue (B). La distribución del número de muestras es idéntico al de la Fig. 3.

Current annual basal increment (solid line) and annual basal average increment (dashed line) of Santa Lucía (A) and Piuchue (B). The distribution of samples is equal to Fig. 3.

Superponiendo a las curvas IRA e IBA las correspondientes curvas de incremento radial medio anual (IMA) e incremento medio basal anual (IMB) es posible calcular la edad de culminación para la cual IMA e IMB alcanzan el máximo valor de crecimiento (Assmann 1970). Según se observa en la Fig. 4 (A y B) la edad en la que IMA alcanza el máximo es de 110 años para Santa Lucía y 50 años para Piuchue. Debido a que las muestras fueron obtenidas a altura de

pecho, los valores de crecimiento máximo radial y basal no corresponden a tasas de crecimiento de plántulas, sino que deben ser referidos al crecimiento de los tallos a partir de 1,30 m de altura.

El incremento radial y el área basal acumulados en los dos sitios (Fig. 6 A y B), demuestran que esta especie, aún con 350-

400 años de edad, mantiene su pontencialidad de crecimiento. Este resultado puede ser comparado con el continuo incremento en longitud que experimentan las traqueidas de *Pinus longaeva*, aun en ejemplares de 2.200 años de edad cronológica (Bass *et al.* 1986).

#### Relación diámetro-edad y área basal-edad

Los resultados de estas relaciones se muestran en la Fig. 7. Santa Lucía evidencia mejor ajuste tanto para la relación diámetro/edad como en la área basal/edad, lo cual queda confirmado por un mayor valor de los coeficientes de correlación. Cuando el árbol es joven, el incremento anual del diámetro es mayor que cuando el árbol es maduro, como puede verse en las curvas del incremento radial acumulado (Fig. 6 A y B). La relación entre el diámetro y la edad es lineal después que los árboles alcanzan aproximadamente 150 años de edad en el sitio Santa Lucía y 75 años de edad en el sitio Piuchue. Características similares presentan las curvas de la relación área basal-edad. El valor medio del crecimiento radial fue determinado mediante el programa COFECHA y es de 0,44 mm/año para Piuchue y de 0,51 mm/año para Santa Lucía, lo cual es demostrativo del bajo nivel de crecimiento que tiene *Pilgerodendron* en condiciones naturales. Young (1972) obtuvo valores de incremento anual promedio algo superiores (0,74 mm) en *Pilgerodendron*. Por otro lado, es escasa la presencia de valores extremos de crecimiento, ya que en Piuchue, sobre 6.521 anillos de crecimiento analizados, sólo el 0,54% de los datos superaron 3 SD respecto a la media para determinados años. En el caso de Santa Lucía, sobre 14.076 mediciones analizadas, 0,69% de los incrementos anuales estaban por encima de 3 SD.

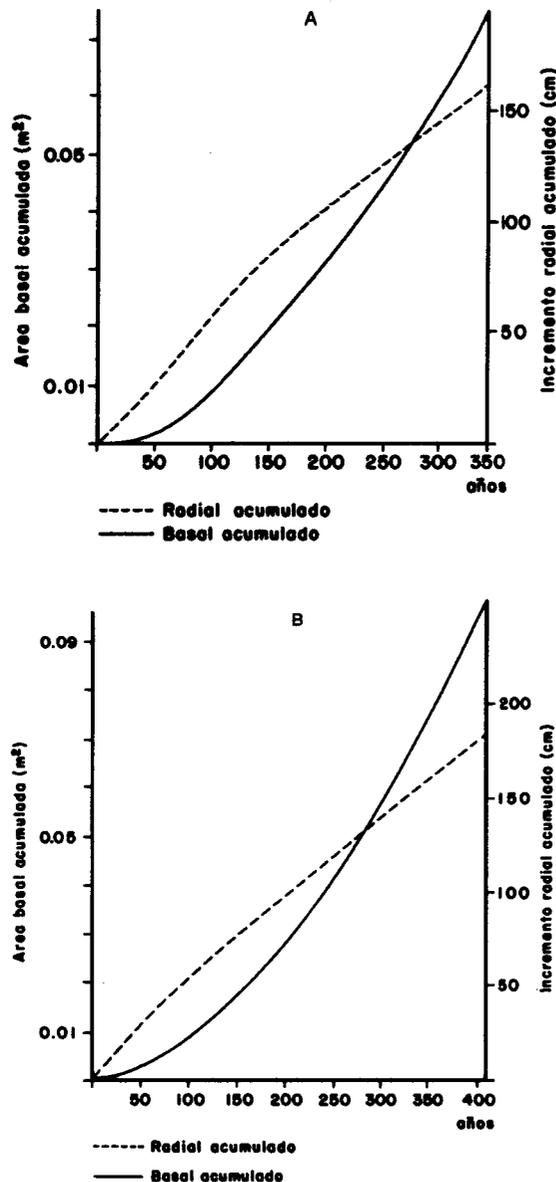


Fig. 6: Incremento radial acumulado e incremento basal acumulado para Santa Lucía (A) y Piuchue (B).

Cumulative radial and basal increment of Santa Lucía (A) and Piuchue (B).

#### Incremento en altura

El desarrollo en altura fue calculado a partir de las muestras obtenidas en la turbera Santa Lucía. La Fig. 8 muestra la familia de curvas logradas, en donde se destaca la uniformidad de las pendientes, al

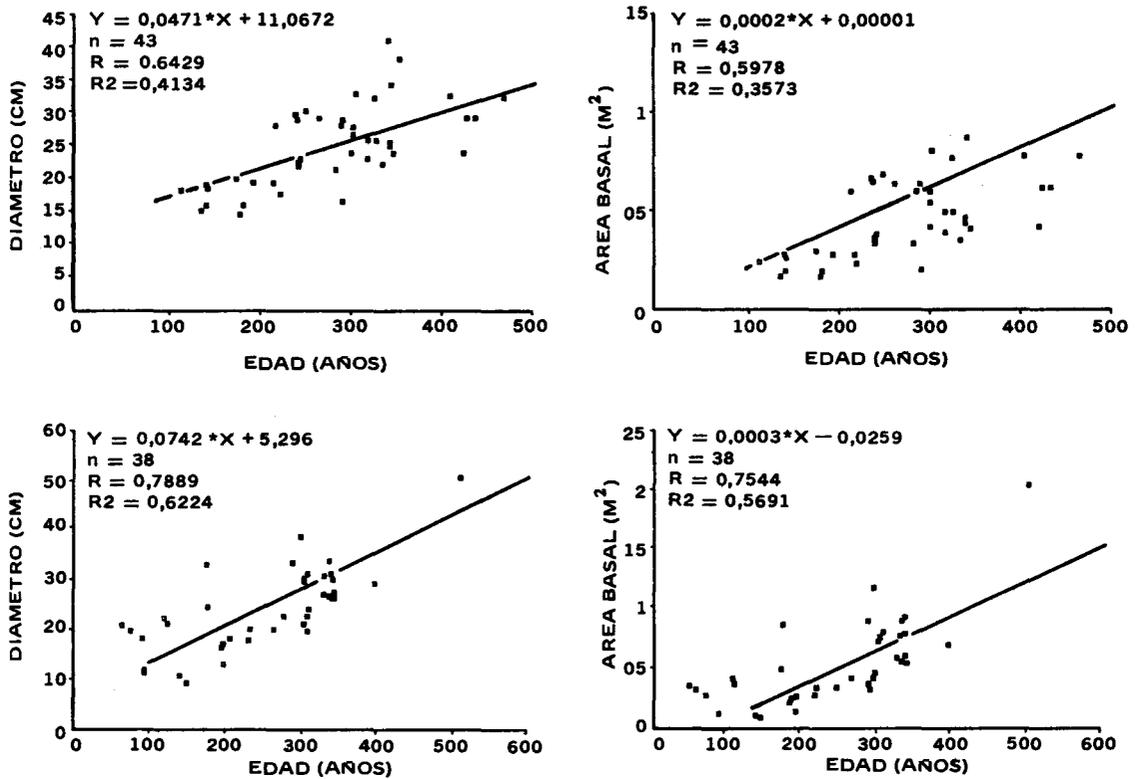


Fig. 7: Relación entre diámetro/edad y área basal/edad para los sitios Santa Lucía y Piuchue. Los gráficos de la parte superior de la figura corresponden a Piuchue; los de abajo a Santa Lucía.

Relationship between age/diameter and age/basal area of Santa Lucía and Piuchue sites. Plots at the top of the figure correspond to Piuchue site.

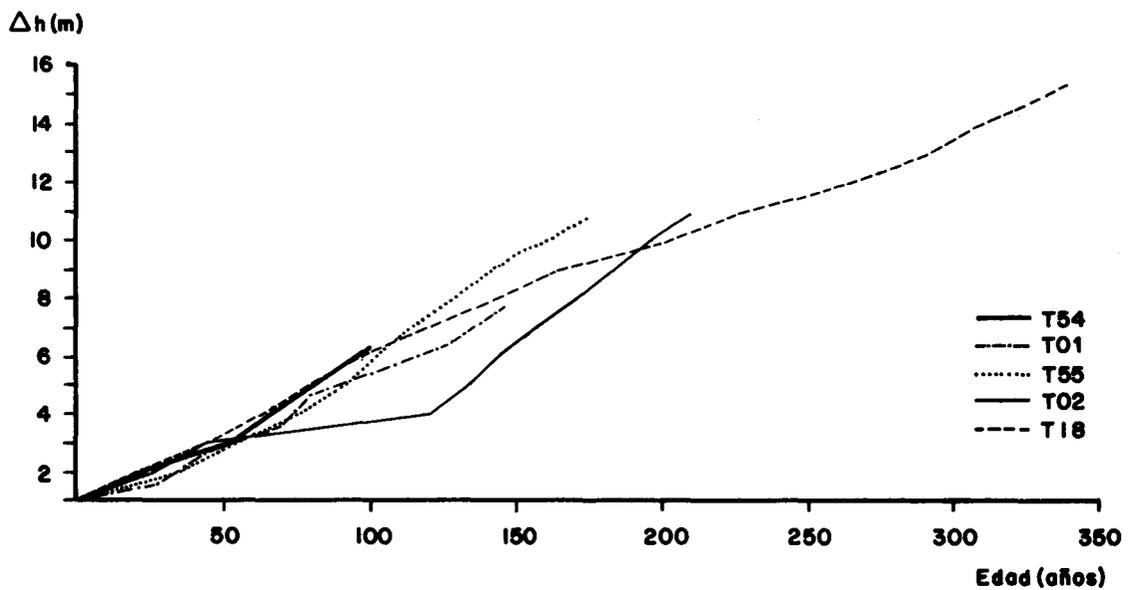


Fig. 8: Familia de curvas de incremento en altura.

Family of curves of height increment.

menos hasta los 150 años de vida. La tasa de crecimiento anual en altura en Santa Lucía alcanza 5,8 cm/año y es superior al crecimiento que tienen los fustes de los bosques de coníferas de la taiga canadiense (3,3 cm/año) (Sakai *et al.* 1979). Observando la Fig. 8, sólo la curva correspondiente al árbol T02 se diferencia del resto, con una marcada fase de crecimiento lento de aproximadamente 80 años y con un incremento promedio para el mismo período de 1,3 cm/año. Este bajo valor puede estar asociado a la influencia de la competencia de plantas dominantes. La tasa de incremento en altura disminuiría con el aumento de la latitud ya que, de acuerdo a datos recolectados por Young (1972) y Roig *et al.* (1985), la tasa sería de 1,7 cm/año, considerando plantas cuya edad varía entre 65 y 308 años, y que crecen por debajo del paralelo 51. Este incremento resulta ser sensiblemente menor al encontrado en Santa Lucía. Hacia el sur del paralelo 42, en territorio chileno, la precipitación y la presión atmosférica sufren progresivos cambios, mientras que el gradiente de temperatura es pequeño (Miller 1976). Es posible que algunos de estos factores ambientales sean los causantes de la disminución en la tasa de crecimiento y además se relacionen con la disminución del largo de las traqueidas de *Pilgerodendron* en función de la procedencia latitudinal de los ejemplares (Roig en prensa). De acuerdo a los resultados logrados con el bosque de Santa Lucía y considerando inútil al último metro del tallo, un fuste de *Pilgerodendron* de 10 m de altura se lograría recién a partir de los 190 años, bajo condiciones naturales de crecimiento.

A modo de conclusión puede decirse que el análisis de función de respuesta define a la precipitación estival como la variable de mayor incidencia en el desarrollo anual del xilema secundario en *Pilgerodendron*. Particularmente importante resulta el verano previo a la formación del anillo, según lo cual, por ejemplo, un verano con alta precipitación incidirá en un aumento del crecimiento al verano siguiente, probablemente debido a la acumulación de materias de reserva disponibles para la actividad metabólica.

Analizando el incremento radial y área basal acumulados del ciprés en Santa Lucía y Piuchue, se observa que esta especie mantiene un crecimiento sostenido, no habiendo evidencias de declinación provocadas por senectud del bosque. De acuerdo a lo observado en el análisis del incremento en altura, aquellos árboles suprimidos por árboles dominantes pueden disminuir sensiblemente su tasa de crecimiento en altura. Consecuencias similares han sido registradas para bosques de Nueva Zelandia por Wardle (1963) y Smale & Kimberley (1986).

Considerando el tiempo que tarda en formarse un fuste para ser comercialmente útil, sistemas de aprovechamiento y conducción racionales del bosque de *Pilgerodendron* deberían ser implementados a fin de preservar este valioso recurso natural, evitando que sigan siendo castigados por abusivas prácticas de extracción de madera. Además hay que tener en cuenta que la madera producida por árboles de bosques manejados presenta propiedades diferentes a las del bosque no explotado, tales como disminución de la densidad con el aumento del espesor de los anillos (Bonnemann 1972). Por este motivo es aconsejable encontrar el punto de equilibrio para el cual pueda estimularse el crecimiento de una masa forestal y acortar los períodos de extracción de madera, sin que por eso disminuyan las características tecnológicas deseables.

Los resultados obtenidos en la comparación diámetro-edad establecen que esta relación es un buen estimador de la edad de un árbol en observaciones a campo. En este sentido podría aventurarse que las citas de árboles con diámetros superiores al metro (Martínez Miranda 1981, Young 1972) corresponderían a ejemplares varias veces centenarios, lo cual es de gran importancia para estudios paleoclimáticos.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su gratitud a la Corporación Nacional Forestal por los permisos otorgados para realizar trabajos de campaña en áreas protegidas de la X y XI Región.

## LITERATURA CITADA

- ASSMANN E (1970) The principles of forest yield study. Pergamon Press, Oxford.
- BAAS P, R SCHMID & BJ VAN HEUVEN (1986) Wood anatomy of *Pinus longaeva* (Bristlecone Pine) and the sustained length-on-age increase of its tracheids. IAWA Bulletin n.s. 7 (3): 221-228.
- BLASING TJ, AM SOLOMON & DN DUVICK (1984) Response function revisited. Tree Ring Bulletin 44: 1-15.
- BONNEMANN A (1972) Modificaciones de las propiedades de las maderas como consecuencia de la transformación del bosque natural en bosque manejado en la región forestal de Chile. Actas VII Congreso Forestal Mundial, Buenos Aires, 4-18 octubre, 2: 2054-2061.
- COOK ER (1985) A time series analysis approach to tree-ring standardization. Publicado por el Tree Ring Laboratory, Lamont-Doherty Geological Observatory, Palisades New York.
- CROPPER JP (1982) Comment on Response Functions. In HUGHES MK, PM KELLY, JR PILCHER & VC LaMARCHE (eds) Climate from Tree Rings. Cambridge University Press.
- FRITTS HC, TJ BLASING, BP HAYDEN & JE KUTZBACH (1971) Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate. Journal of applied meteorology 10 (5): 845-864.
- FRITTS HC (1976) Tree Rings and Climate. Academic Press.
- FRITTS HC & X WU (1986) A comparison between response-function analysis and other regression techniques. Tree Ring Bulletin 46: 31-46.
- HOLMES RL (1983) Computer-assisted quality in tree-ring dating and measurement. Tree Ring Bulletin 43: 69-75.
- HOLMES RL, RK ADAMS & HC FRITTS. (1986) Tree-ring chronologies of western north America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Serie VI, Lab of Tree Ring Research, Tucson, Arizona.
- LaMARCHE VC (1974) Frequency-dependent relationships between tree-ring series along an ecological gradient and some dendroclimatic implications. Tree Ring Bulletin 34: 1-20.
- MARTINEZ MIRANDA O (1981) Flora y fitosociología de un relicto de *Pilgerodendron uvifera* (D. Don) Florin en el fundo San Pablo de Tregua (Valdivia-Chile). Bosque 4(1): 3-11.
- MILLER A (1976) The climate of Chile. In SCHWERDT-FEGER (ed) Climates of Central and South America. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- MOORE DM (1983) Flora of Tierra del Fuego. London-Missouri.
- NORTON DA (1985) A dendrochronological study of *Nothofagus solandri* tree growth along an elevational gradient, South Island, New Zealand. In Turner H & W Tranquillini (eds) Establishment and Tending of Subalpine Forest: Research and Management. Proc. 3rd IUFRO Workshop P 1.07-00, 1984. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 270: 159-171.
- NORTON DA, JG PALMER & JOG DEN (1987) Dendroecological studies in New Zealand. 1. An evaluation of tree age estimates based on increment cores. New Zealand Journal of Botany 25: 373-383.
- ROBINSON WJ & R EVANS (1980) A microcomputer-based tree-ring measuring system. Tree-Ring Bulletin 40: 59-64.
- ROIG FA, O DOLLENZ & E MENDEZ (1975) La vegetación de los canales. In BOELCKE O, DM MOORE & FA ROIG (eds.) Transecta Botánica de la Patagonia Austral. CONICET-Instituto de la Patagonia-Royal Society.
- SAKAI A, S YOSHIDA, M SAITO & SC SOLTAI (1979) Growth rate of spruces related to the thickness of permafrost active layer near Inuvik, Northwestern Canada. Low Temperature Science, Ser. B 37: 19-32.
- SMALE MC & MO KIMBERLEY (1986) Growth of naturally regenerated tawa and podocarps in unlogged and selectively logged podocarp/tawa forest, Pureora. New Zealand Journal of Forestry Science 16: 131-141.
- SCHWEINGRUBER FH (1988) Tree Rings. Basics and applications of dendrochronology. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- STOKES MA & TL SMILEY (1968) Introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press.
- WARDLE P (1963) The regeneration gap of New Zealand gymnosperms. New Zealand Journal of Botany 1: 301-315.
- WIGLEY TM, KR BRIFFA & PD JONES (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology 23 (2): 201-213.
- YOUNG SB (1972) Subantarctic rain forest of magellanic Chile: distribution, composition, and age and growth rate studies of common forest trees. Antarctic Research Series 20: 307-322.