



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales

**Estudio comparativo del diámetro de ramas  
en *Pinus radiata* D. Don con y sin  
mejoramiento genético**

Profesor Patrocinante: Sr. Mario Meneses V.

Trabajo de Titulación presentado como  
parte de los requisitos para optar al  
Título de **Ingeniero Forestal**.

**Rodrigo Andrés Romano Angulo**

Valdivia Chile 2002

## CALIFICACIÓN DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

		<b>Nota</b>
Patrocinante:	Sr. Mario Meneses Villanueva	_____
Informante:	Sr. Roberto Juacida Percaz	_____
Informante:	Sr. Rubén Peñaloza Wagenknecht	_____

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.

---

Sr. Mario Meneses V.

*A través de las siguientes líneas, quisiera testimoniar mi aprecio y gratitud a todas aquellas personas, que de una u otra forma, colaboraron para que este trabajo llegara a feliz término.*

*Agradezco en especial:*

*A los Srs. profesores, Mario Meneses V., Roberto Juacida P. y Rubén Peñaloza W.; sinónimos de sabiduría y fraternidad.*

*A mis compañeros y amigos, por su apoyo incondicional.*

*A Dios, mi mejor aliado.*

*Rodrigo A. Romano A.*

*A mis padres y hermanos*

## INDICE DE MATERIAS

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEORICO / CONCEPTUAL</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Crecimiento diametral de ramas</b>	<b>3</b>
2.1.1 Engrosamiento secundario	3
2.1.2 Factores que afectan el crecimiento en diámetro	5
<b>2.2. Desarrollo de la rama en el tiempo</b>	<b>17</b>
2.2.1 Crecimiento diametral	17
2.2.2 Grado angular	17
<b>2.3 Efecto de la rama en la calidad de la madera</b>	<b>18</b>
<b>3. DISEÑO DE INVESTIGACION</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Material</b>	<b>20</b>
3.1.1 Ubicación del ensayo	20
3.1.2 Clima	20
3.1.3 Geología y geomorfología	21
3.1.4 Suelos	21
3.1.5 Características del ensayo	21
<b>3.2 Metodología</b>	<b>22</b>
3.2.1 Captura de datos y derivación de variables	22
3.2.2 Procesamiento de la información	23
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>25</b>
<b>4.1 Caracterización general del ensayo</b>	<b>25</b>
<b>4.2 Descripción y evaluación familiar</b>	<b>26</b>
4.2.1 Diámetro de ramas	26
4.2.2 Caracteres que afectan el crecimiento de las ramas	30
<b>4.3 Análisis de correlación</b>	<b>36</b>
<b>4.4 Limitantes del estudio</b>	<b>38</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>39</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>41</b>
<b>ANEXOS</b>	
1 <i>Abstract and keywords</i>	
2 <i>Diseño del ensayo</i>	
3 <i>Derivaciones matemáticas</i>	

- 4 *Pautas de evaluación*
- 5 *Estado arbóreo y niveles de vecindad*
- 6 *Estadística descriptiva*
- 7 *Análisis y métodos estadísticos*
- 8 *Gráficos de dispersión*

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Descripción de la semilla utilizada en el ensayo	21
Cuadro 2. Estadísticos descriptivos, respecto a diversas variables	25
Cuadro 3. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a IR (primera evaluación)	26
Cuadro 4. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a IR (segunda evaluación)	29
Cuadro 5. Características de los árboles con IR extremos, dentro del nuevo rango evaluativo	30
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a HR	31
Cuadro 7. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a LIM(1)	31
Cuadro 8. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a ILI08(1)	31
Cuadro 9. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a LIM(2)	32
Cuadro 10. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a ILI08(2)	32
Cuadro 11. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a AR	32
Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre IR y diversas variables, en base a medias familiares y valores individuales provenientes de ambas densidades evaluativas	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

		<b>Página</b>
Figura 1.	Porción de una rama de 4 años de <i>Pinus</i>	4
Figura 2	Crecimiento cíclico anual en <i>P. radiata</i>	9
Figura 3.	Desarrollo de la rama en el tiempo	18
Figura 4.	Origen del índice de rama	19
Figura 5.	Ubicación del predio Los Pinos	20
Figura 6.	Frecuencia de árboles por clases de IR, a nivel familiar (154 árb.)	26
Figura 7.	Frecuencia de árboles por categorías de estado, según situación espacial	27
Figura 8.	Frecuencia de árboles por niveles de vecindad, a nivel global (previo al raleo)	28
Figura 9.	Frecuencia de árboles por rangos de vecindad, a nivel familiar (previo al raleo)	28
Figura 10.	Frecuencia de árboles por clases de IR, a nivel familiar (82 árb.)	28
Figura 11.	Medias familiares respecto a IR, bajo ambas densidades evaluativas	29
Figura 12.	Frecuencia de árboles por categorías de HR, a nivel familiar	31
Figura 13.	Frecuencia de árboles por clases de LIM(1), a nivel familiar	31
Figura 14.	Frecuencia de árboles por clases de ILI08(1), a nivel familiar	31
Figura 15.	Frecuencia de árboles por clases de LIM(2), a nivel familiar	32
Figura 16.	Frecuencia de árboles por clases de ILI08(2), a nivel familiar	32
Figura 17.	Frecuencia de árboles por categorías de AR, a nivel familiar	32
Figura 18.	Medias familiares respecto a HR, bajo ambas densidades evaluativas	35
Figura 19.	Medias familiares respecto a LIM(1), bajo ambas densidades evaluativas	35
Figura 20.	Medias familiares respecto a ILI08(1), bajo ambas densidades evaluativas	35
Figura 21.	Medias familiares respecto a LIM(2), bajo ambas densidades evaluativas	35
Figura 22.	Medias familiares respecto a ILI08(2), bajo ambas densidades evaluativas	36





## RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

El tamaño diametral de ramas puede ser afectado por la acción conjunta de una multitud de factores, tanto internos como externos. En este estudio, la correlación entre las partes de la planta (factor interno), revistió vital importancia.

Los individuos que presentan sólo un verticilo en el crecimiento anual (uninodales) tienden a formar ramas gruesas, con ángulos de inserción agudos, mientras que un aumento de verticilos en el fuste (multinodales) es usualmente acompañado por una reducción en el tamaño de ramas y un aumento en el ángulo de inserción. La frecuencia verticilar (hábito de ramificación) afecta básicamente la competencia entre ramas, mientras que el grado angular, la diferencia entre el sentido polar y el gravitacional. Tanto el hábito de ramificación como el ángulo de inserción de ramas poseen mayor grado de control genético que el diámetro de ramas; especialmente el primero, cuya heredabilidad es bastante alta si es que se compara con aquellas estimadas para otras características de crecimiento y forma. De esta manera, dado que el diámetro de ramas es débilmente heredable, puede ser controlado de forma indirecta, a partir del alto grado de control genético que posee el hábito de ramificación.

Bajo este contexto, el objetivo general del trabajo consistió en estudiar y comparar el tamaño diametral de ramas, a partir de las familias incluidas en un ensayo de progenie de polinización abierta de uninodales de *Pinus radiata* D. Don. Este ensayo fue establecido en 1983, en el predio Los Pinos (15 km al norte de la ciudad de Valdivia) e incluyó semilla proveniente de 4 árboles *plus* uninodales seleccionados por Forestal Mininco (3) y Forestal Celco (1), y semilla de dos controles, uno de una mezcla de semilla de árboles *plus* del programa de Forestal Mininco y otro lote de semilla comercial común colectada en Cauquenes (sin mejoramiento genético). El diseño utilizado consistió en bloques completos aleatorios, bajo parcelas en hileras de 10 plantas (6 repeticiones). Los objetivos específicos del estudio fueron los siguientes: a) efectuar una caracterización general del ensayo, b) realizar una descripción y evaluación familiar, respecto al diámetro de ramas y los caracteres que afectan su incremento y c) determinar el grado de asociación lineal entre el tamaño diametral de ramas y las diversas variables involucradas.

Los datos fueron captados inmediatamente después de la ejecución de un raleo al interior del ensayo. Las variables registradas en los árboles remanentes fueron: diámetro a la altura del pecho, altura total, diámetro de ramas, hábito de ramificación, largo de internodos y ángulo de ramas. Con la magnitud diametral de las ramas sobre la segunda troza (4 m), se derivó el índice de rama, mientras que con la medición de la altura a los diferentes verticilos en las dos primeras trozas (0-8 m), se derivaron los largos internodales medios e índices de internudo para ambas secciones. En los árboles circundantes al ensayo (adyacentes) se efectuó una clasificación de los individuos según el estado arbóreo (vivo, muerto o ausente). Esta misma información, propia del ensayo y previa al raleo, fue aportada por un estudio paralelo.

Tanto la caracterización general del ensayo como el análisis de correlación, se efectuaron en base a todas las variables captadas en los árboles en pie (remanentes) del ensayo. No obstante, la descripción y evaluación familiar se realizó sólo en base al diámetro de ramas (índice de rama) y los caracteres que afectan su incremento. La evaluación respecto al índice de rama se realizó en dos oportunidades. La primera se efectuó considerando todos los individuos residuales del ensayo, mientras que la segunda se llevó a cabo en base a una condición ambiental teóricamente más homogénea. Para esto último, se obtuvo un indicador del nivel de vecindad de cada individuo remanente, previo al raleo, a partir de los antecedentes de estado apuntados con anterioridad. El análisis de correlación se efectuó en base a las medias familiares y los valores individuales, provenientes de las densidades utilizadas en ambas evaluaciones respecto a la variable índice de rama.

El análisis estadístico comprobó la inexistencia de diferencias significativas respecto al índice de rama (ambas evaluaciones), el largo de internudos (segunda troza) y el ángulo de ramas. Las diferencias fueron significativas, sólo en relación al hábito de ramificación y el largo de internudos (primera troza). El control C1 (progenie de árboles *plus* seleccionados bajo un criterio de crecimiento y forma) evidenció el menor índice de rama, el hábito de ramificación más multinodal, largos internodales en general pequeños (sobre todo en la segunda troza) y el mayor ángulo de ramas. El control C2 (semilla común) y las familias 3 y 4 se mantuvieron en general dentro de posiciones intermedias, mientras que las familias más uninodales (1 y 2) mostraron características completamente opuestas a las exhibidas por el control C1.

Los coeficientes de correlación obtenidos a nivel familiar, resultaron ser en general más altos que los conseguidos a nivel individual. Los primeros fluctuaron entre 0,46 y 0,90, mientras que los otros oscilaron entre 0,08 y 0,65. Sin embargo, estos últimos fueron estadísticamente significativos en la mayoría de los casos.

Las conclusiones del estudio son las siguientes: a) no se constataron diferencias estadísticamente significativas respecto al índice de rama, ni tampoco en relación a gran parte de las variables. Sin embargo, los resultados obtenidos en base a los caracteres captados subjetivamente (hábito de ramificación y ángulo de ramas) deben ser tomados con bastante cautela, b) la falta de homogeneidad respecto al hábito de ramificación y su asociado largo de internudos, impidió establecer diferencias categóricas en base al diámetro de ramas, fundamentalmente por las características del ensayo (polinización abierta y controles provenientes de una mezcla de semillas), c) las tendencias evidenciadas constataron que el diámetro de ramas puede ser controlado de forma indirecta, a partir del alto grado de control genético que posee el hábito de ramificación, y d) la existencia de correlaciones significativas entre el índice de rama y gran parte de las variables, sobre todo a nivel individual, confirmaron las interdependencias establecidas por diversos autores.

**Palabras clave:** diámetro de ramas; mejoramiento genético; hábito de ramificación; índice de rama; *Pinus radiata*.

## 1. INTRODUCCIÓN

*Pinus radiata* D. Don ha sido la especie por más tiempo cultivada en el mundo para la producción maderera, ocupando una mayor área plantada que cualquier otra especie. El éxito se debe fundamentalmente a su rápido crecimiento y a sus inmejorables rendimientos para un amplio rango de productos, como también a la excelente calidad de su madera (Bown, 1997).

En Chile, *P. radiata* fue introducido en el año 1885, aunque la plantación en gran escala comenzó en diversos lugares hacia 1935 (Scott, 1961). Desde entonces ha tenido una creciente expansión como cultivo forestal, cubriendo actualmente una superficie de 1.474.773 ha, correspondiente a un 74% de la superficie total de plantaciones del país (INFOR, 2001).

*P. radiata* es considerada una conífera de producción multipropósito que pocas especies nativas podrían ofrecer en nuestro hemisferio (Bown, 1997). Sin embargo, como todas las de su carácter, requiere de un manejo intensivo, lo que origina la necesidad por conocimientos científicos en bien de un adecuado desarrollo de técnicas silviculturales y de utilización. La transmisión de experiencias sin documentación, y al azar, deben ser reemplazadas por el trabajo sistemático para lograr que este valioso recurso sea mejorado y mantenga su alto ritmo productivo.

El mejoramiento en la productividad de los terrenos forestales se puede obtener a través de una gran variedad de técnicas. Estas técnicas se basan en la modificación de los factores ambientales y/o genéticos. Sin embargo, se debe tener presente que la máxima productividad del sitio se logrará sólo cuando se manejen en forma conjunta los tratamientos silviculturales y la constitución genética de los individuos.

El manejo del componente genético en una especie, requiere de una serie de conocimientos básicos, referidos fundamentalmente a su forma y cantidad de variación, como también a la modalidad de herencia de los caracteres de interés. La base fundamental del mejoramiento genético de cualquier rasgo de una población es hacer uso de una característica que es propia de todos los seres vivos; que es la llamada variabilidad o variación natural. Existiendo variación de los caracteres de interés, se puede seleccionar aquellos individuos que más se ajusten a las necesidades (Delmastro, 1976).

En todas las áreas en donde crece *P. radiata*, es extremadamente variable, lo que se traduce en una ventaja para realizar selecciones con miras a un programa de mejoramiento genético con fines comerciales importantes (Delmastro *et al.*, 1980). Esta gran variabilidad en *P. radiata* se observa en muchas de sus características morfológicas. Por ejemplo, hay variabilidad en la forma del fuste, en la frecuencia de verticilos, en la forma y tipo de ramas, en la proporción de conos en el fuste, en el color del follaje y en la corteza (Burdon y Bannister, 1987).

*P. radiata* muestra una notable variación en el número de verticilos formados anualmente, con una correspondiente variación en el largo de internodos. Los

individuos que presentan sólo un verticilo en el crecimiento anual (uninodales) tienden a formar ramas gruesas, con ángulos de inserción agudos, mientras que un aumento de verticilos en el fuste (multinodales) usualmente es acompañado por una reducción en el tamaño de ramas y un aumento en el ángulo de inserción (Mead, 1990).

Además, en *P. radiata* hay una favorable correlación genética entre tasa de crecimiento, rectitud del fuste, ausencia de bifurcación, y un hábito de ramificación multinodal; las correlaciones son favorables en el sentido que el mejoramiento en cualquiera de estas características ayudará a mejorar todas las otras. Como puede ser esperado, un hábito de ramificación uninodal estará desfavorablemente correlacionado con estos otros rasgos, implicando que cualquier intento por incrementar el largo de internudos, tenderá a ser acompañado por una disminución en la tasa de crecimiento y una inferior forma fustal (Carson, 1987; Jayawickrama *et al.*, 1997).

En Chile el programa de mejoramiento ha centrado sus esfuerzos en privilegiar las características correlacionadas favorablemente, de tal forma que la base genética se ha desarrollado en torno a árboles cuya distribución de ramas es del tipo multinodal (Droppelmann y Delmastro, 1987; Burdon, 1978). No obstante, siempre se consideraron los árboles que presentaran otro tipo de ramificación, no concordante con el programa central, siempre y cuando mantengan los requisitos de tamaño, vigor y sanidad necesarios de un árbol *plus*. De esta manera, cuatro árboles *plus* uninodales están incluidos en un ensayo establecido en 1983 en el predio Los Pinos, perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, y su objetivo fundamental es estudiar el grado de control genético que presenta este hábito de ramificación (Droppelmann y Delmastro, 1987).

El objetivo general del presente trabajo, consiste en estudiar y comparar el tamaño diametral de ramas, a partir de las familias incluidas en este ensayo. Los objetivos específicos son:

- Efectuar una caracterización general del ensayo.
- Realizar una descripción y evaluación familiar, respecto al diámetro de ramas y los caracteres que afectan su incremento.
- Determinar el grado de asociación lineal entre el tamaño diametral de ramas y las diversas variables involucradas.

## 2. MARCO TEÓRICO / CONCEPTUAL

### 2.1 Crecimiento diametral de ramas

#### 2.1.1 Engrosamiento secundario

En las plantas leñosas perennes, se produce un engrosamiento “secundario”, a través del cual los ejes apicales se convierten en troncos macizos y leñosos, los vástagos laterales, en ramas leñosas, y las raíces, en gruesas estructuras constituidas principalmente por leño (Strasburger, 1994).

Este crecimiento en diámetro resulta, principalmente, de la actividad de meristemas laterales llamados cambium, los cuales son responsables de la formación de tejidos secundarios. El más importante de estos meristemas es el cambium vascular (con frecuencia denominado simplemente “cambium”) (Figura 1), el cual consta típicamente de una capa uniseriada de células entre el xilema y el floema. En la mayoría de las plantas en que se produce este cambium, constituye una vaina casi continua de células, extendida desde la parte inmediatamente posterior del ápice radical hasta inmediatamente debajo del ápice del tallo. Otro tipo de meristema lateral es el cambium suberoso o felógeno, existente en la mayor parte de los tallos y raíces leñosas (Meyer *et al.*, 1976).

El comienzo de la división celular es regulado en gran medida por el flujo basipetal de productos sintetizados en la copa, especialmente carbohidratos y hormonas reguladoras del crecimiento (Kozlowski, 1971). El tiempo que transcurre entre el momento del inicio de la actividad del cambium en la copa y el momento del inicio de la actividad en la base de las coníferas es de alrededor de una semana (Wilcox, 1962, cit. por Daniel *et al.*, 1982). La suspensión de la actividad del cambium ocurre primero en la copa y la porción superior del tronco, para luego avanzar en dirección basipétala hasta llegar a la base del árbol (Daniel *et al.*, 1982).

Las células del cambium se dividen para producir células lignificadas de paredes gruesas (xilema) por un lado y una capa de células de paredes delgadas (floema) por el otro, en una proporción aproximada de 6:1. Cada nueva capa de floema interna oprime al floema del año anterior, lo que ocasiona que el último se convierta en disfuncional. De modo simultáneo se forman cambium suberizados sucesivos en la porción más vieja de la corteza interna para producir capas externas de células corticales suberizadas que finalmente mueren, se desprenden y le dan a los árboles sus patrones característicos de corteza (Brown, 1970, cit. por Daniel *et al.*, 1982).

En las coníferas, las células del cambium se dividen para producir relativamente pocos tipos de células, en su mayoría traqueidas. En consecuencia, la madera que así se produce es muy uniforme. Las traqueidas de la madera de primavera tienen grandes diámetros y paredes delgadas. Algo avanzada ya la temporada de crecimiento hay una transición, pues cesa la producción de traqueidas de la madera de primavera para la formación de traqueidas de madera de otoño, las que son más

lignificadas, de paredes más gruesas y de menor lumen. En las secciones transversales es frecuente la aparición de canales resiníferos (Daniel *et al.*, 1982).

Esta transición entre la producción de madera de primavera a la de otoño, se produce primero en la base del tronco y luego se desplaza en dirección acropétala; está asociada con el acortamiento de la duración del día, con la reducción de la síntesis de auxinas que acompaña a la suspensión del crecimiento en altura y la elongación de las acículas (Larson, 1960, cit. por Daniel *et al.*, 1982), y el desarrollo de un déficit interno de agua cuando la transpiración diaria sobrepasa la absorción de ese líquido (Daniel *et al.*, 1982).

La transición entre la producción de traqueidas de tipo de madera temprana a las de tipo de madera tardía, puede ser gradual o súbita, lo que depende de la velocidad de reducción de la concentración de auxinas libres, de que la especie tenga un umbral de sensibilidad definido en cuanto a la estimulación por auxinas (Wort, 1962, cit. por Daniel *et al.*, 1982) y lo súbito y severo de las condiciones de sequía (Daniel *et al.*, 1982).

El resultado de este comportamiento en el crecimiento es que la sección transversal del tronco o rama de cualquier árbol se presenta como un sistema de capas concéntricas, llamadas anillos anuales, cada una de las cuales representa un incremento anual del crecimiento. En algunos casos raros, en una temporada puede que no exista ningún anillo, o bien que haya más de uno. Pero por lo general cada anillo representa el xilema resultante de la actividad cambial de una temporada (Meyer *et al.*, 1976). De esta manera, la edad de una rama puede ser determinada en forma similar a la del tallo principal, ya que su estructura es una réplica de éste (Greulach y Adams, 1970).

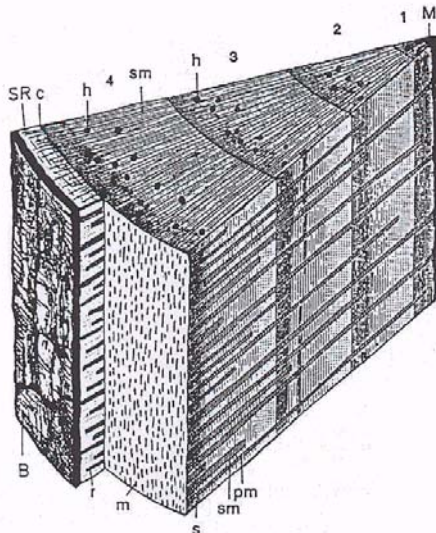


Figura 1. Porción de una rama de 4 años de *Pinus*. c: cámbium, SR: corteza secundaria, B: ritidoma, M: médula, 1-4: anillos anuales sucesivos, pm: radios medulares (primarios), sm: radios leñosos longitudinales, m: lo mismo transversalmente, r: radios liberianos, h: canales resiníferos (Strasburger, 1994).

Las traqueidas maduran con rapidez, pierden su citoplasma y empiezan a funcionar en la conducción de agua en un plazo que puede resultar de varios días a varias semanas (Zahner, 1963, cit. por Daniel *et al.*, 1982). Pueden ser funcionales unos cuantos o muchos anillos de crecimiento para el transporte de agua, pero la mayor parte se realiza a través de las traqueidas recién diferenciadas de la madera de primavera, las cuales tienen paredes delgadas y muchas puntuaciones rebordeadas (Daniel *et al.*, 1982).

El tejido de reserva de la mayoría de las coníferas está confinado a las células radiales del parénquima, las que son pequeñas, con apariencia de cajas y dispuestas en posición horizontal a través de los anillos de crecimiento formando bandas radiales. En las gimnospermas, estas células radiales son siempre muy finas y en ocasiones tienen una cavidad central que permite el flujo transversal de las resinas (Daniel *et al.*, 1982).

### 2.1.2 Factores que afectan el crecimiento en diámetro

La intensidad con que crece una planta o un órgano vegetal determinados, así como la forma que finalmente adquieren, están determinadas por la acción conjunta de una multitud de factores complejos, internos y externos. Los factores internos son las condiciones existentes dentro de la planta, mientras que los externos son condiciones del ambiente en que ella vive (Hill *et al.*, 1964).

**Factores internos.** Entre los factores internos que afectan al crecimiento puede mencionarse la herencia, el equilibrio nutritivo general de la planta, la presencia de sustancias reguladoras del crecimiento y la correlación entre las partes del vegetal (Hill *et al.*, 1964).

#### a) Herencia

Conceptos generales. Existen numerosos tipos de células en los árboles, pero todas las células vegetales vivas tienen en común una pared celular, un citoplasma y un núcleo. Desde el punto de vista genético, el núcleo es de especial interés, ya que contiene a los cromosomas, los cuales albergan la mayor parte de la información genética necesaria para el crecimiento y desarrollo del árbol. El número de cromosomas es por lo general constante en cualquier célula vegetativa (somática) de un organismo, en todas las poblaciones de una especie y, en la mayoría de los casos, en cualquier individuo de una especie (todos los miembros normales del género *Pinus* poseen 24 cromosomas). Químicamente, los cromosomas están compuestos de ácido desoxirribonucleico (ADN), que es la fuente de información genética, y de una cubierta de proteínas (Zobel y Talbert, 1992).

Una de las propiedades exclusivas del ADN es su capacidad para autorreplicarse. Ésta es la clave del mecanismo de la herencia, el cual permite que un progenitor transmita su potencial genético a su descendencia. El ADN lleva también la



información genética intacta de una célula a otra a medida que el árbol crece (Zobel y Talbert, 1992).

Heredabilidad. El concepto de heredabilidad es uno de los más importantes y más utilizados en genética cuantitativa. Los valores de heredabilidad expresan la proporción de la variación en la población que es atribuible a diferencias genéticas entre los individuos (Zobel y Talbert, 1992), es decir, representa la proporción de la variación genética respecto a la variación total de la población (Balocchi y Delmastro, 1993).

El grado al cual los progenitores transmiten sus características a su descendencia es de fundamental importancia para estimar los beneficios que pueden obtenerse de los programas de selección (Zobel y Talbert, 1992). Bajo este concepto, el tamaño de las ramas es débilmente heredable (Burdon, 1978), por lo que está más influenciado por factores medioambientales (Carson, 1987; Mead, 1990). Sin embargo, hay evidencia de un control adicional del tamaño de ramas para árboles mutinodales (Burdon, 1978; Carson, 1987).

#### b) Equilibrio nutritivo

Las proporciones relativas de los alimentos – hidratos de carbono, grasas y proteínas – que se encuentran en la planta intervienen en gran medida en el tipo de crecimiento que ella realiza (Hill *et al.*, 1964). Son éstas las sustancias orgánicas que proporcionan los materiales para el crecimiento y que, debido a su composición un tanto inestable, contienen una provisión de energía potencial disponible para el organismo (Sinnott y Wilson, 1965).

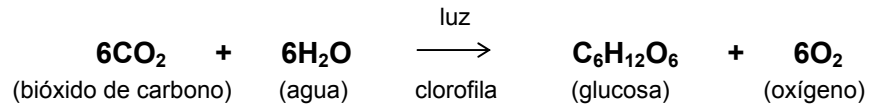
Puesto que las plantas sintetizan ellas mismas todos estos alimentos, el equilibrio nutritivo está condicionado por el suministro de sales inorgánicas disponibles, así como por los factores que influyen sobre la fotosíntesis (Hill *et al.*, 1964).

Según Fuller *et al.* (1974), el proceso general de fotosíntesis puede resumirse como sigue:

- La fotosíntesis es un proceso que requiere energía; utiliza la luz como fuerza de energía y, por consiguiente, sólo puede tener lugar cuando la planta está expuesta a la luz.
- La fotosíntesis transforma la energía lumínica en energía química.
- Los materiales brutos o sustancias de reacción son, en la fotosíntesis, bióxido de carbono absorbido del aire, y agua absorbida principalmente del suelo.
- El pigmento verde, clorofila, es el principal material absorbente de luz de la mayoría de las plantas.

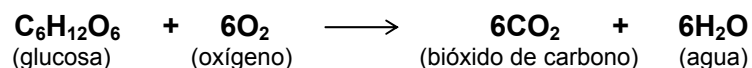
- El producto alimenticio principal de la fotosíntesis es en las plantas superiores el carbohidrato glucosa.
- Es liberado oxígeno en forma molecular (O<sub>2</sub>) de los tejidos verdes de la planta durante el proceso.

Según Meyer *et al.* (1976), la ecuación sumaria que representa el proceso de la fotosíntesis es la siguiente:



Los carbohidratos o hidratos de carbono son la fuente principal de energía para todos los organismos y proporcionan también la mayor parte de los materiales de construcción del cuerpo vegetal. Son sustancias constituidas totalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno, en los cuales los átomos de hidrógeno se hallan en un número aproximadamente doble a los de oxígeno. La glucosa, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> es un ejemplo de un hidrato de carbono muy simple. A este grupo de alimentos pertenecen los varios azúcares, los almidones y las celulosas (Sinnott y Wilson, 1965).

Los carbohidratos son translocados en el floema a lo largo de la vaina cambial y son usados en la producción de células del floema y xilema, así como en la expansión del cámbium. Durante el agrandamiento y maduración celular, los carbohidratos son usados en la formación de nuevas paredes celulares y como sustrato para la respiración (Kramer y Kozlowski, 1979). La respiración es el proceso por el cual se libera la energía y se pone así a disposición de las variadas actividades de los organismos vivientes. Ésta ocurre continuamente en todas las células vivas, y su cese significa muerte (Sinnott y Wilson, 1965). Según Meyer *et al.* (1976), la ecuación química sumaria que comúnmente se emplea para representar el proceso de respiración es la siguiente:



Ésto es exactamente el reverso de la fotosíntesis, ya que la energía que había sido almacenada en el azúcar, se libera aquí. Los procesos de fotosíntesis y respiración son la base de todo el metabolismo vegetal (Sinnott y Wilson, 1965).

### c) Hormonas vegetales

En las distintas fases del desarrollo vegetal actúan como reguladores unas sustancias químicas denominadas hormonas vegetales, fitohormonas o reguladores de crecimiento naturales. Una hormona vegetal se define como una

sustancia orgánica, distinta de los nutrientes, activa a muy bajas concentraciones, producida en determinados tejidos y normalmente transportada a otros, donde ejerce sus efectos (pero también puede ser activada en los propios tejidos donde es sintetizada) (Perez y Martínez-Laborde, 1994).

Se han identificado, hasta el momento, cinco grupos de fitohormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico y etileno. Existen, sin embargo, numerosas sustancias sintéticas, análogas o no en su estructura química a las fitohormonas, que presentan una actividad biológica similar a la de ciertas hormonas vegetales. El término regulador de crecimiento engloba a cualquier compuesto orgánico natural o sintético, que en pequeñas cantidades o bajas concentraciones promueva, inhiba o modifique cualitativamente el crecimiento y el desarrollo de la planta de forma similar a como lo hacen las hormonas vegetales. Todas las fitohormonas (productos naturales de las plantas) son reguladores de crecimiento, pero no a la inversa (Perez y Martínez-Laborde, 1994).

Varias hormonas de crecimiento juegan un rol fundamental en regular varias fases de crecimiento cambial, incluyendo división celular, incremento en tamaño de derivativos cambiales, engrosamiento de paredes celulares, transición de madera temprana-tardía, formación de madera de reacción, y cesación estacional del crecimiento cambial (Kramer y Kozlowski, 1979).

La división del cambium y la diferenciación de nuevo xilema y floema a partir de las células producidas, se inicia cerca de los extremos de las ramas, y de allí se expande como en una onda hasta las ramas, tronco y raíces. Algunas pruebas indican que la auxina, producida en las yemas que se abren y transportada hacia abajo por el tallo, es la responsable de este despertar (Fogg, 1973). Aunque algunos promotores de crecimiento tales como la auxina son producidos por el mismo cambium después de que es activado por un estímulo apical, el desarrollo normal del xilema y floema depende de un continuo suministro de hormonas reguladoras de crecimiento desde los retoños (Kramer y Kozlowski, 1979).

Si bien las auxinas juegan un rol dominante, el crecimiento cambial normal parece ser el resultado final de interacciones entre auxinas y giberelinas producidas en tejidos apicales, de citoquininas producidas en las raíces, así como de inhibidores de crecimiento y algunas sustancias no hormonales (Kramer y Kozlowski, 1979; Ray, 1981).

Habría que subrayar que las hormonas vegetales no producen sus efectos en forma simple y directa, sino que sus funciones se relacionan con otros procesos fisiológicos de los que también dependen. Así por ejemplo, la actividad de la auxina se relaciona con los procesos respiratorios que liberan de los alimentos la energía necesaria para el crecimiento. Además, el crecimiento de las células requiere sustancias tales como celulosa, azúcares y proteínas, que son utilizadas en la síntesis de las paredes celulares y del protoplasma. En ausencia de estos materiales estructurales, los procesos controlados por las hormonas no pueden ser llevados a cabo (Fuller *et al.*, 1974).

#### d) Correlaciones de crecimiento

##### Frecuencia vertical de ramificación

##### *Patrón de crecimiento anual*

El comportamiento de las ramas es muy importante debido a su gran variabilidad genética en *P. radiata*. Los tipos más deseables de ramificación están en los dos extremos de la escala de variaciones (Burdon, 1978): a) Uninodales o monocíclicos (Burdon, 1994), con sólo un ciclo de crecimiento, reconocido por un verticilo de ramas marcando el fin del ciclo (Bollmann y Sweet, 1976) y b) Multinodales o policíclicos (Burdon, 1994), en que el único ciclo de crecimiento de un monocíclico, es repetido una o más veces en una misma estación de crecimiento (Debazac, 1963, cit. por Bollmann y Sweet, 1976) (Figura 2).



Figura 2. Crecimiento cíclico anual en *P. radiata*. a, b, c y d) primer, segundo, tercer y cuarto ciclo de crecimiento respectivamente (Vergara *et al.*, 1995).

*P. radiata* muestra una notable variación en el número de verticilos formados anualmente, con una correspondiente variación en el largo de internudos (distancia entre verticilos) (Jayawickrama *et al.*, 1997). Esta especie produce normalmente desde 1 a 5 verticilos de ramas sobre el fuste en el crecimiento anual (Carson, 1988; Carson e Inglis, 1988). Sin embargo, a partir de mediciones de los últimos cinco crecimientos anuales en 86 árboles (14 años de edad) en un sitio de la Isla de Douth (Valle de Pigeon, 4 millas al oeste de Wakefield), Bannister (1962), cit. por Grace *et al.* (1998), encontró que cada año se formaron

entre 1 y 6 verticilos. Él incluso sugirió, que 6 verticilos puede que no sea el máximo para *P. radiata*.

La frecuencia de verticilos en el crecimiento anual es influenciado por la genética (Fielding, 1960, cit. por Grace *et al.*, 1999), la edad del árbol, la longitud del crecimiento anual (Bannister, 1962, cit. por Grace *et al.*, 1999), y el sitio/medioambiente (Bollmann y Sweet, 1976).

#### *Efecto de la frecuencia verticilar sobre el diámetro de ramas*

El aumento de verticilos en el fuste es acompañado por una disminución del largo de internudos y una asociada reducción en el tamaño de ramas promedio, que podría llevar a su vez a un menor tamaño de nudo en el producto final (Burdon, 1978; Carson, 1987; Carson, 1988; Carson e Inglis, 1988). Sin embargo, los árboles que producen uno o dos verticilos de ramas por año, tienen la tendencia a producir ramas muy largas y gruesas, que tienden a competir con el ápice principal (Fielding, 1960, Gallegos, 1969 y Carlson, 1987, cit. por Constabel, 1994).

A partir de mediciones de todas las ramas entre 6,2 m y 12,3 m sobre el nivel del suelo, en árboles dominantes y codominantes aleatoriamente seleccionados (10 árboles de tipo multinodal y 9 uninodales), Fielding (1960), cit. por Grace *et al.* (1998), concluyó que el diámetro de ramas medio estaba negativamente correlacionado con el número de verticilos en el crecimiento anual. Según Burdon (1978), en árboles multinodales vigorosos, en rodales fuertemente raleados, el tamaño de ramas es fuertemente controlado por la competencia entre ellas en el árbol.

La heredabilidad de la frecuencia de verticilos es alta (Carson, 1987; Carson e Inglis, 1988; Lavery, 1986, cit. por Mead, 1990; Shelbourne, 1970, cit. por Carson, 1988; Shelbourne *et al.*, 1987, cit. por Carson, 1988) en relación a heredabilidades estimadas para otras características de crecimiento y forma (Shelbourne, 1970, cit. por Carson, 1988), y por lo tanto es dócil a alteración genética (Carson, 1987). No obstante, Fielding (1960), cit. por Grace *et al.* (1998) especifica que el número de verticilos formados por año, está bajo fuerte control genético después de los primeros 5-6 años.

Así entonces, dado que el tamaño de ramas es débilmente heredable, puede ser mejor controlado genéticamente por selección indirecta, usando la fuerte heredabilidad de la frecuencia de ramas como carácter indicador (Burdon, 1978).

#### Grado angular de ramificación

##### *Origen del ángulo de inserción de ramas*

En *P. radiata* hay normalmente fuerte control apical dando lugar a un hábito excurrente (forma de copa piramidal) (Mead, 1990). La tendencia hacia el

posicionamiento horizontal de las ramas laterales puede ser interpretado en términos del fuerte control apical, con que la líder principal ejerce una pronunciada respuesta epinástica (movimiento de crecimiento autónomo) para contrarrestar la respuesta geotrópica negativa de las ramas. Por esta razón las ramas laterales de la mayoría de las especies de coníferas, tienden a desarrollarse perpendicular al eje vertical (Zimmermann y Brown, 1980).

Estas respuestas epinásticas, al menos en coníferas, han sido directa o indirectamente atribuidas a los efectos estimulantes de la auxina, que viene de la líder terminal y regula de alguna manera la cantidad de madera de reacción necesaria para posicionar la rama en su dirección normal con respecto a la gravedad. La manera en que la auxina transportada basipetalmente de la rama principal, contrarresta a la auxina endógena y polarmente transportada de la rama lateral para obstruir su respuesta geotrópica negativa, no es fácil de explicar (Zimmermann y Brown, 1980).

#### *Efecto del grado angular sobre el diámetro de ramas*

El ángulo de inserción de ramas es inversamente proporcional al tamaño diametral de éstas, y está además, directamente correlacionado con la frecuencia de ramificación, por lo que el ángulo tiende a ser más pequeño en árboles de tipo uninodal que en multinodales (Burdon, 1978; Cleland, 1985; Mead, 1990; Grace *et al.*, 1998). Además, está bajo un control genético considerable (Fielding, 1960, cit. por Constabel, 1994).

Según Grace *et al.* (1999), dentro de un verticilo a una edad determinada, el ángulo de inserción tiende a disminuir con el aumento en diámetro de la rama. En base a esto, Molisch (1945) señala que cuando dos ramas en desarrollo tienen una posición erguida, al mismo nivel de inserción en el eje madre e igual inclinación, en general se comportan en su crecimiento siguiendo las mismas fases. Si por el contrario, la inclinación de las ramas es diferente aún teniendo la misma altura de inserción, se comportan de diferente manera con relación a su crecimiento. Su desarrollo es tanto menor cuanto mayor es la inclinación y es tanto más robusto cuanto más exigua es aquella, es decir, cuanto más se acerca la rama a la posición erguida vertical. En este último caso, alcanza la energía del crecimiento su coeficiente más elevado.

En general se puede decir sobre esto, que el crecimiento de las ramas de los árboles que crecen erguidos, es más favorable cuanto mayor es la dependencia directa de dichas ramas con la raíz principal. Cuanto más se aproxima el vástago a la vertical que pasa por el centro de la raíz principal, tanto más intenso es su crecimiento de conjunto, y cuanto más se aleja tanto más aminorado y lento es. Las causas de ello residen en la polaridad y en la fuerza de gravedad. Si las ramas se hallan en posición erguida, actúan ambas fuerzas en el mismo sentido y por eso dichas ramas forman en los ápices y en torno a ellos los vástagos más robustos. En la medida que se inclina la rama, se hace perceptible la influencia de

la fuerza de gravedad sobre el flanco superior, alcanzando su máximo cuando la rama toma una posición horizontal (Molisch, 1945).

**Factores externos.** Según Hill *et al.* (1964), el efecto de los factores externos no puede separarse de la de los internos. Cualquier alteración del crecimiento debida a la acción de un factor externo puede explicarse únicamente por el cambio que provoca en las condiciones internas de la planta. Dicho de otro modo, el mecanismo de acción de los factores externos radica en la influencia que éstos ejercen sobre el mecanismo interno de la planta.

#### a) Control medioambiental

Los principales requerimientos medioambientales para el crecimiento son: suficiente luz, agua, oxígeno, bióxido de carbono, nutrientes minerales y temperaturas adecuadas para los procesos fotosintéticos adecuados. Estos requerimientos, aparentemente simples, involucran la interacción de numerosos factores de variada importancia (Kramer y Kozlowski, 1979).

#### Luz

Probablemente ningún otro factor ambiental desempeña un papel más importante sobre el crecimiento de las plantas superiores que la radiación, y especialmente la radiación visible o "luz". Es la fuente esencial de toda la energía almacenada por la planta en la fotosíntesis, de la que dependen directa o indirectamente todas las formas de vida, y sin la cual no sería posible el crecimiento (Hill *et al.*, 1964).

#### *Intensidad*

Varios efectos sobre el crecimiento representan concretamente las influencias integradas de muchos procesos que tienen lugar en el interior de las plantas, gran parte de ellos condicionados por la luz. Algunos de estos efectos de la luz inciden directamente sobre una fase u otra del crecimiento; otros son efectos indirectos sobre el crecimiento a causa de efectos directos de la luz sobre otros procesos. Por ejemplo, intensidades altas pueden producir fuerte transpiración, lo que con toda probabilidad ha de derivar en deficiencias hídricas internas, con el consiguiente retardo o cesación de la división o crecimiento celular. Por otra parte, las intensidades bajas pueden conducir a un desarrollo retardado de la planta debido a la baja actividad fotosintética resultante (Meyer *et al.*, 1976).

Los efectos de la intensidad de la luz sobre el crecimiento cambial son complejos y mediados principalmente a través de la exportación desde las hojas de carbohidratos y reguladores de crecimiento hormonales. El mejor indicador de la importancia de la luz sobre el crecimiento cambial, es el efecto producido sobre ramas sombreadas en distinto grado, dentro de un árbol. Durante su desarrollo las ramas de muchos árboles, especialmente gimnospermas, sufren sucesiva supresión. Cada verticilo desde el ápice hacia abajo tiene ramas de más edad, y a medida que éstas se van recubriendo por más verticilos, van siendo

progresivamente sombreadas. Ahora, sus características de crecimiento cambian con la edad, si se altera su medioambiente (Kramer y Kozlowski, 1979).

Echevarría (1959) y de Champs (1989), cit. por Vignote y Jiménez (2000), señalan que la zona basal de los fustes suele tener ramas más delgadas que en la parte de la copa, debido a soportar menos luz que la copa. En árboles en espesura, las ramas bajas quedan rápidamente sin luz, por lo que su crecimiento se ralentiza hasta que se produce la muerte de la rama. En estos casos, las ramas alcanzan menores grosores que si el árbol vive aislado, sin competencia lateral.

Según Kramer y Kozlowski (1979), las ramas inferiores suprimidas de muchos árboles pueden llegar a no formar anillos anuales por varios años antes de morir, siendo incapaces de suministrar alimentos y hormonas para el crecimiento del fuste principal.

### *Calidad*

Uno de los factores ambientales que influye sobre la tasa fotosintética, es la calidad de la luz (longitud de onda) (Greulach y Adams, 1970). Sin embargo, bajo condiciones naturales, el crecimiento es menos influenciado por cambios en la calidad de luz que por cambios en la intensidad de la luz o el fotoperíodo (Kramer y Kozlowski, 1979).

Los rayos rojos y azules de la luz solar proporcionan la mayor parte de la energía usada en el proceso de fotosíntesis, debido a que la clorofila absorbe principalmente estas dos clases de luz. Bajo estas condiciones se encuentra almidón, principalmente en aquellas áreas de la hoja que fueron iluminadas con luz roja y azul. Las partes del espectro las cuales no son visibles (infrarrojo y ultravioleta), aún cuando pudieran ser muy importantes en otros procesos fisiológicos, aparentemente tienen muy poca o ninguna intervención en la fotosíntesis (Sinnott y Wilson, 1965).

La luz que alcanza las copas de los árboles es transmitida, reflejada y absorbida. La longitud de onda a la cual el máximo y mínimo de absorción ocurre, son aproximadamente las mismas para todas las hojas verdes, indicando que ellas contienen similares pigmentos. A medida que la luz solar se filtra a través de las copas, su distribución espectral es alterada debido a la absorción selectiva por parte de las hojas (Kramer y Kozlowski, 1979), dando cuenta que las longitudes de onda (roja y azul) mejor absorbidas por la clorofila, son en gran parte filtradas por las hojas del dosel arbóreo (Greulach y Adams, 1970).

### *Fotoperíodo*

La longitud del día es lo que se ha llamado fotoperíodo. En el ecuador, el período de luz diurna es de cerca de 12 horas durante todo el año, pero a medida que vamos del ecuador hacia los polos la duración de la luz diurna es progresivamente más larga en el verano y más corta en el invierno (Greulach y Adams, 1970).



Según Kramer y Kozlowski (1979), la cantidad y naturaleza del incremento en crecimiento cambial, es sensible a la longitud del día. En muchas especies de árboles la duración del crecimiento cambial está unido a la continua expansión del retoño y cesa inmediatamente después que la elongación de éste se detiene. Esta relación parece ser el resultado del estímulo de la división celular en el cambium, por parte de las hormonas producidas por los retoños en crecimiento activo.

La suspensión de la división del cambium parece estar asociada con una reducción en la disponibilidad de hormonas y carbohidratos. Ésto ocurre a finales del verano, cuando las condiciones ambientales determinadas por un fotoperiodo corto, además de bajas temperaturas y disponibilidad de agua, conducen a una reducción de la actividad fisiológica de la copa (Daniel *et al.*, 1982).

### Agua

La relación entre las plantas y el agua es compleja y comprende problemas de osmosis, transporte de agua, transpiración en relación con la absorción de agua por las raíces y el marchitamiento, condiciones atmosféricas, etc. Las cantidades de agua de que disponen las plantas influyen pronunciadamente sobre su crecimiento y forma. Puesto que el agua es una de las materias brutas de la fotosíntesis, su disponibilidad se relaciona con las cantidades de alimentos elaborados en las plantas. El crecimiento de las paredes celulares y la formación de nuevo protoplasma dependen directamente de la cantidad de alimento formado en la fotosíntesis. Principalmente a través de sus efectos sobre dichos procesos y sobre la turgencia de las células, el suministro de agua de las plantas influye sobre la velocidad de crecimiento y el tamaño finalmente alcanzado por diversos órganos y tejidos (Fuller *et al.*, 1974).

La mayoría de las especies de plantas poseen concentraciones de humedad mínimas, máximas y óptimas que influyen sobre su crecimiento. Las plantas podrán verse inhibidas en su desarrollo, tanto por exceso como por déficit de agua. La escasez de agua se traduce en un crecimiento desmedrado, debido a síntesis y asimilación de alimento reducidas. Un exceso de agua en el suelo puede inhibir asimismo el crecimiento, a través de la exclusión del oxígeno necesario para el desarrollo de las raíces. El crecimiento se ve más favorecido por suministros moderados de agua, suficientes para la manufactura y la asimilación rápidas de alimentos que, sin embargo, no excluyan el oxígeno del suelo (Fuller *et al.*, 1974).

### Gases

Se requiere oxígeno para el crecimiento normal de las raíces y para su respiración, y su ausencia no tarda en hacerse manifiesta a través de anomalías de crecimiento (Fuller *et al.*, 1974).

Excepto en suelos muy bien aireados, como los arenosos y los areno-arcillosos, la concentración de anhídrido carbónico de la atmósfera del suelo es, por lo general,

mayor que la de la atmósfera externa; la concentración de oxígeno, por el contrario, es menor. Suelos con marcadas deficiencias en su aireación son los excesivamente húmedos, aunque también puede darse esta situación en suelos de poros finos, de estructura compacta, aún cuando relativamente secos (Meyer *et al.*, 1976).

Sin duda, el menor crecimiento de las plantas en suelos poco aireados se debe principalmente a la menor absorción de agua y a la menor absorción de sales minerales que se producen bajo tales condiciones. Las concentraciones de oxígeno frecuentemente son menores, y a menudo se aproximan a cero. Por lo tanto, la deficiencia de oxígeno parece ser un factor más importante que el exceso de anhídrido carbónico, como agente causante de menor crecimiento en suelos pobremente aireados (Meyer *et al.*, 1976).

En la atmósfera externa, la concentración de oxígeno es prácticamente constante, y resulta innecesario considerarla como una variable que influya en el desarrollo de las plantas en condiciones naturales. Las variaciones de concentración de anhídrido carbónico, aunque sucedan en el aire dentro de márgenes más estrechos que en la atmósfera del suelo, son a menudo suficientes para afectar considerablemente el grado de la fotosíntesis (Meyer *et al.*, 1976).

#### Elementos nutritivos en el suelo

Las cantidades y clases de elementos nutritivos asequibles a las plantas ejercen una influencia enorme sobre el crecimiento. Si las plantas no obtienen los elementos necesarios para la síntesis del alimento, la formación de clorofila, la construcción de protoplasma y otras actividades metabólicas se traducen en aberraciones fisiológicas pronunciadas (Fuller *et al.*, 1974).

Según Mead (1990), las ramas son más pequeñas en sitios deficientes nutritivamente, y la corrección resulta en un aumento del tamaño de rama; sin embargo la relación es compleja. Will y Hodgkiss (1977), cit. por Delmastro *et al.* (1980), determinaron en Nueva Zelanda, que un suelo más profundo estimula un mayor tamaño de las ramas, a menudo con una malformación del fuste. Un mayor volumen de suelo asequible a las raíces, significa una mayor cantidad de elementos nutritivos y agua disponible para el árbol.

Se ha demostrado que una menor oferta de nitrógeno y fósforo en el suelo, puede en forma significativa afectar el crecimiento diametral del fuste y el tamaño de las ramas. Como resultado se obtienen árboles de copas menos vigorosas y de menos follaje, pero de mayor proporción de biomasa en el fuste. Así, en dunas, la baja oferta de nitrógeno explica copas poco vigorosas y buena forma de los árboles (Will y Hodgkiss, 1977, cit. por Delmastro *et al.*, 1980).

## Temperatura

Como mencionado anteriormente, el crecimiento de las plantas es consecuencia del metabolismo constructivo. Nuevos materiales van siendo sintetizados constantemente, mientras que otros son destruidos en la construcción del protoplasma. Ello implica una serie de reacciones químicas complejas, todas ellas influenciadas por la temperatura. Ésta determina la intensidad con que se realizan estos procesos, y puesto que la intensidad del crecimiento está determinada por la de dichos procesos, la temperatura influye igualmente sobre la intensidad del crecimiento (Hill *et al.*, 1964).

La temperatura incide en la fotosíntesis directa e indirectamente, regulando la respiración y transpiración (Kozłowski y Keller, 1966, cit. por Kozłowski, 1971). Con un aumento de la temperatura sobre un valor crítico, la fotosíntesis es obstruida debido a un incremento en respiración. La temperatura también acelera la transpiración y produce déficit de agua interno que causa cierre estomático, conllevando una disminución en fotosíntesis (Kozłowski, 1971).

La temperatura influye en la cantidad de incremento de xilema, a través de su efecto sobre el tiempo de iniciación del crecimiento cambial, así como sobre su tasa y duración. Al igual que el crecimiento del retoño, el crecimiento cambial generalmente comienza sólo después de que se alcanza una temperatura crítica mínima. Después de esto, la tasa usualmente incrementa con el aumento de la temperatura hasta ciertos niveles críticos, sobre los cuales la tasa comienza a declinar. Sin embargo, a menudo es difícil separar el efecto directo de la alta temperatura del stress de agua, que se tiende a desarrollar a altas temperaturas (Kramer y Kozłowski, 1979). Temperaturas extremadamente bajas, generalmente inhiben el crecimiento cambial de manera directa, dañando tejidos cambiales, o indirectamente por daño al retoño o al sistema radicular (Kramer y Kozłowski, 1960).

### b) Prácticas culturales

## Raleo

Posterior al raleo, los árboles liberados responden a las condiciones ambientales más favorables, incrementando la copa y crecimiento de las hojas, y aumentando la supervivencia y el tamaño de las ramas. La mayor área foliar es acompañada por un aumento en la fotosíntesis y en la actividad fisiológica general de la copa, que a su vez es seguida por un incremento en el crecimiento cambial (Kramer y Kozłowski, 1979). Sin embargo, la capacidad de reacción frente a tal estímulo, disminuye progresivamente con la edad (Mitscherlich, 1970, cit. por Delmastro *et al.*, 1980).

## Poda

Las ramas inmediatamente sobre una elevación de poda a menudo incrementan en diámetro rápidamente, ésto no es sólo un efecto de la poda, sino que ha sido también relacionado al raleo, que algunas veces ocurre concurrentemente. Los árboles reaccionan a la excesiva remoción de la copa verde aumentando el follaje en las ramas remanentes y así el desarrollo de brotes adventicios en los fustes y ramas (Mead, 1990).

Según Kramer y Kozlowski (1979), la remoción de las ramas vivas de árboles forestales disminuye la cantidad de superficie fotosintética, pero también decrece la cantidad de tejido respirando. Muchas ramas basales suprimidas, con pocas hojas, consumen en respiración todos los carbohidratos producidos en la fotosíntesis y no los proporcionan para el crecimiento del fuste. La remoción de tales ramas es obviamente deseable, porque no disminuirá el crecimiento del fuste y producirá madera libre de nudos.

## **2.2 Desarrollo de la rama en el tiempo**

### *2.2.1 Crecimiento diametral*

El diámetro de la rama incrementa rápidamente en los primeros años (Figura 3). La longitud de este período depende del máximo diámetro alcanzado por la rama. Para ramas de 12 y 25 mm es aproximadamente 2,5 y 5,5 años respectivamente. El período de rápido crecimiento es seguido por una etapa (por lo menos 10 años) en que el diámetro permanece casi constante, aunque la rama continúa viva. La longitud de este segundo período no parece estar relacionado al diámetro de la rama (Brown, 1962, cit. por Grace *et al.*, 1998). El involucramiento de corteza ocurre después que la rama muere, sin embargo a veces la corteza llega a incrustarse sobre una rama viva. La cantidad incrustada varía de pequeños parches a una capa continua a lo largo de la superficie de la rama y es un defecto común en *P. radiata* (Grace *et al.*, 1999).

Las ramas viven y crecen más en las parte media y superior del fuste que en las partes más bajas debido a la tendencia que tiene la competencia entre copas a disminuir en la parte superior del vuelo (Curtis, 1936 y Rapraeger, 1939, cit. por Hawley y Smith, 1972).

### *2.2.2 Grado angular*

La posición de las ramas puede cambiar considerablemente durante la ontogenia, especialmente durante las etapas tempranas de rápido crecimiento, de manera que durante el curso de desarrollo del árbol una rama determinada ocupa ángulos diferentes con el eje vertical. Si uno sigue estos cambios desde el comienzo de la formación de las ramas laterales, el ángulo inicial de divergencia puede ser más agudo. A medida que la rama se extiende en longitud se inclina hacia abajo, de manera que el ángulo se vuelve menos agudo (Zimmermann y Brown, 1980).

El ángulo entre el fuste y el lado superior de una rama aumenta con la edad debido al incremento en peso de la rama (Jacobs, 1938, cit. por Grace *et al.*, 1998), no obstante, cerca de la edad de rotación de los árboles, este ángulo es más agudo en ramas más grandes que en las más pequeñas (Grace *et al.*, 1998). Las mediciones efectuadas en un rodal de 7 años en Eyrewell, evidenciaron que el ángulo entre el fuste y las ramas en los crecimientos superiores, era cercano a  $15^\circ$ , mientras que era de  $60^\circ$  donde las ramas tenían 5 años de edad (Mead, 1990).

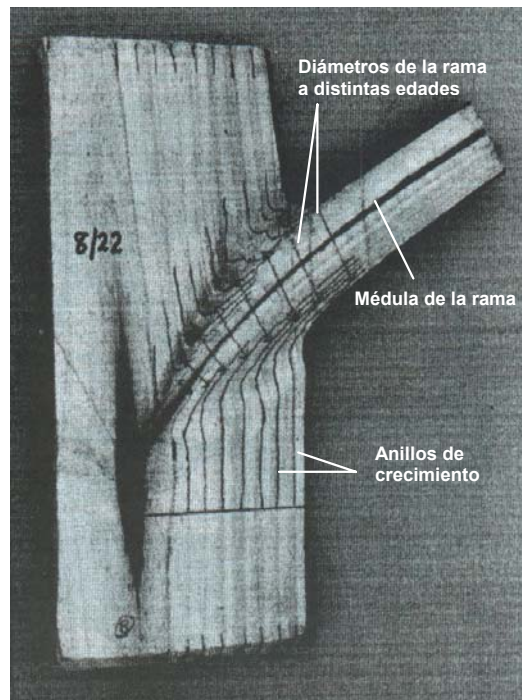


Figura 3. Desarrollo de la rama en el tiempo (Adaptado de Grace *et al.*, 1999).

### 2.3 Efecto de la rama en la calidad de la madera

Debido a que la madera aserrada libre de nudos de trozas podadas es demasiado valiosa, la madera para propósitos estructurales es derivada principalmente de rodales no podados o de las trozas superiores de árboles podados. Todas estas trozas contienen ramas que producen nudos, y que tienen un marcado efecto sobre las propiedades de la madera (Bier, 1985, cit. por Bier, 1986). Según Vignote y Jiménez (2000), los nudos son un defecto muy importante, hasta el punto de ser el elemento más utilizado para la clasificación de la madera según calidades.

En la selección de fenotipos de coníferas superiores los genetistas prefieren árboles con amplios ángulos de rama, debido a la relación entre ángulo de inserción y calidad de la madera (Zimmermann y Brown, 1980). Ramas delgadas y rectas dejan nudos mucho más pequeños, en comparación a ramas gruesas insertas bajo ángulos

agudos (Raymond y Cotterill, 1990). Estas últimas dan origen a una gran formación de madera de reacción (Zimmermann y Brown, 1980).

Los nudos reducen la resistencia de la madera porque la dirección de sus fibras se encuentra en un ángulo distinto a las de la pieza de madera, las fibras alrededor de ellos se encuentran distorsionadas, y porque a veces no hay continuidad entre ellas (Torres, 1971). La presencia de nudos disminuye de forma notable la resistencia de la madera, sobre todo a los esfuerzos de tracción y flexión, pudiendo suponerse como símil, la existencia de un agujero en la madera. En este aspecto, cuanto mayor sea el nudo, mayor será la pérdida de resistencia (Vignote y Jiménez, 2000; Torres, 1971). Esta circunstancia debe considerarse en la elección de vigas que deben soportar flexión; los nudos deben quedar en lo posible en la zona de compresión. Éstos tienen poca influencia en la resistencia al cizalle y en la rigidez (Torres, 1971).

Whiteside (1982), cit. por Inglis y Cleland (1982), investigó los efectos del tamaño de la rama en la calidad de la madera. Se evaluaron varios índices relacionados al tamaño de la rama para calidades y valores de madera aserrada. El mejor de ellos fue encontrado para el diámetro medio de las 4 ramas más grandes, una de cada cuadrante para una longitud de troza determinada (Figura 4); fue además, de fácil medición. Según Cleland (1985), este indicador mide las ramas más grandes en una troza, debido a que éstas son las que tienen el mayor efecto sobre las calidades de madera aserrada. Por lo tanto, está relacionado al valor de la troza no podada.

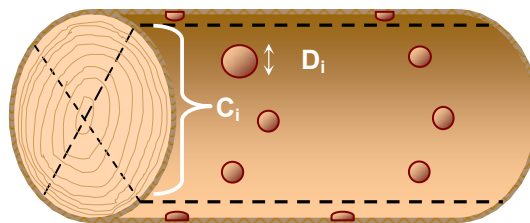


Figura 4. Origen del índice de rama.  $D_i$  : diámetro de la rama más grande en el cuadrante  $i$  ( $C_i$ ) (Adaptado de Inglis y Cleland, 1982).

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Material

##### 3.1.1 Ubicación del ensayo

El ensayo de progenie de árboles *plus* uninodales fue instalado en el predio Los Pinos, perteneciente a la Universidad Austral de Chile. Esta propiedad se ubica en la X Región, entre los 39°45' lat. sur y 73°10' long. oeste, en la ribera sur del río Cayumapu, a 15 Km al norte de la ciudad de Valdivia (Schlegel y Martínez, 1987).



Figura 5. Ubicación del predio Los Pinos.

##### 3.1.2 Clima

El clima del área es del tipo templado lluvioso con influencia mediterránea (Fuenzalida, 1971). La precipitación anual en la ciudad de Valdivia varía entre 1.400 y 2.936 mm, y el período comprendido entre Mayo y Agosto concentra el 70% de los 2.340 mm correspondientes a la precipitación media anual (Reyes, 1981, cit. por Iroumé, 1992). La temperatura media anual es de 12°C con un máximo medio mensual de 16,9°C en Enero y un mínimo medio de 7,6°C en Julio (Iroumé, 1992). Los vientos que predominan en la zona son los del norte y oeste. Éstos son generalmente los causantes de las precipitaciones, como también de los daños a la vegetación y construcciones (Huber, 1970).

### 3.1.3 Geología y geomorfología

El sustrato geológico corresponde a la formación Piedra-Laja, que es un complejo metamórfico compuesto principalmente por esquistos micáceos con intercalación de lentes de cuarzo (Illies, 1970, cit. por Iroumé, 1992). Su geomorfología se caracteriza por terrenos intermedios ondulados a quebrados (Schlegel y Martínez, 1987).

### 3.1.4 Suelos

El suelo del área pertenece a la serie Correltúe (tipo “Andic Dystrochrept”), que corresponde a un suelo rojo-arcilloso, derivado de cenizas volcánicas antiguas del Pleistoceno, depositadas sobre el complejo metamórfico de la costa. Es un suelo profundo y de textura moderadamente fina. Posee una alta porosidad total y por su buena estructura permite una adecuada aireación y drenaje (IREN, 1978, cit. por Schlegel y Martínez, 1987). Son suelos fuerte a moderadamente ácidos, donde el nivel de materia orgánica es alto en los horizontes superficiales y disminuye gradualmente en profundidad. Presenta bajos niveles de elementos nutritivos, alta capacidad de fijación de fósforo y altos niveles de aluminio y hierro (Arcauz y Herrera, 1978, cit. por Uyttendaele, 2000).

### 3.1.5 Características del ensayo

El ensayo de progenie de polinización abierta fue establecido en 1983, en el Rodal 15 Sec. 3 del predio Los Pinos, y ocupa una superficie de 0,38 ha. Incluye semilla de 4 árboles *plus* uninodales seleccionados por Forestal Mininco (3) y Forestal Celco (1), y semilla de dos controles, uno de una mezcla de semilla de árboles *plus* del programa de Forestal Mininco y otro lote de semilla comercial común colectada en Cauquenes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de la semilla utilizada en el ensayo.

Condición	Criterio de selección	Identificación	Nº árbol <i>plus</i>	Origen
Con mejoramiento	Uninodalidad	1	44	MP
		2	45	MP
		3	47	PC
		4	41	LC
	Crecimiento y forma (multinodalidad)	C1	21	MP
			26	MP
			12	MP
			22	MP
			17	PC
			36	PC
			27	PC
			12	PC
30	PC			
Sin mejoramiento	-	C2	-	Cauquenes

MP y PC : Forestal Mininco; LC : Forestal Celco.



El diseño utilizado corresponde a bloques completos aleatorios, en base a parcelas en hileras de 10 plantas, con una distancia de plantación de 2,5 m en la hilera y 3,0 m entre hileras. Consta de 6 repeticiones, lo que significa un total de 60 plantas por familia. La distribución de las familias en el área se exhibe en el Anexo 2.

## **3.2 Metodología**

### *3.2.1 Captura de datos y derivación de variables*

Los datos fueron captados en el mes de Septiembre del año 2001, inmediatamente después de la ejecución de un raleo de individuos muertos y vivos, al interior del ensayo. Estos últimos se eliminaron por hallarse suprimidos o poseer mala forma, procurando mantener un número homogéneo en todas las familias. No obstante, también fue necesario obtener algunos antecedentes en árboles adyacentes al ensayo.

a) Variables registradas en árboles en pie (remanentes) del ensayo

- Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Se midió con forcípula de brazos paralelos a 1,3 m desde el suelo, y se cuantificó en centímetros con la precisión de 1 mm.

- Altura total (ALT)

Se captó con hipsómetro y se cuantificó en metros con la precisión de 1 cm.

- Diámetro de ramas

Para obtener un indicador referencial del tamaño de ramas, se midió el diámetro de las 4 ramas más grandes (diámetro basal, perpendicular a la rama), una de cada cuadrante sobre la segunda troza de 4 m, y se obtuvo el índice de rama (IR). La elección y dimensión de tal sección fustal, se debió a que los árboles presentaban una poda de accesibilidad hasta aproximadamente 1,5 m de altura, y por la dificultad de trabajo sobre alturas superiores a los 8 m. La expresión matemática derivatoria del indicador diametral, se encuentra detallada en el Anexo 3.

Las mediciones diametrales se efectuaron con el apoyo de un pie de metro y una escalera extensible de dos tramos, y se cuantificaron en centímetros con la precisión de 1 mm. Para establecer un método de medición uniforme, se centró el primer cuadrante en la dirección norte.

- Hábito de ramificación (HR)

A partir de una evaluación visual entre los 2 y 15 m de altura fustal, se asignaron puntajes de acuerdo a la pauta descrita en el Anexo 4.

- Largo de internudos

Con el fin de obtener parámetros referenciales del largo de internudos, se captó la posición de los verticilos en altura. Entre los 0,2 y 5 m con la ayuda de una vara y sobre alturas superiores con hipsómetro Vertex. En la sección podada la medición se efectuó a partir de la identificación de cicatrices nodales. La cuantificación se efectuó en metros con la precisión de 1 cm.

El registro posicional de los verticilos, permitió derivar el largo internodal medio (LIM) y el índice de internudo (ILI), respecto a las 2 primeras trozas con largos de 4 m. De esta manera las variables LIM(1) y LIM(2) correspondieron al largo internodal medio de la primera y segunda troza respectivamente, mientras que bajo una exigencia longitudinal de 0,8 m, el índice para ambas trozas quedó como ILI08(1) e ILI08(2), en el mismo orden. La expresión matemática derivatoria del indicador internodal, se encuentra detallada en el Anexo 3.

- Ángulo de ramas (AR)

En base a una evaluación visual entre los 2 y 15 m de altura fustal, y bajo la asistencia de un instrumento óptico de confección propia, se asignaron puntajes de acuerdo a la pauta descrita en el Anexo 4.

#### b) Antecedentes registrados en árboles adyacentes al ensayo

Se efectuó una clasificación de los individuos circundantes al ensayo, según las siguientes categorías de estado: 1) vivo, 2) muerto y 3) ausente. Estos mismos antecedentes, propios del ensayo y previos al raleo, fueron proporcionados por un estudio paralelo.

### 3.2.2 *Procesamiento de la información*

**Caracterización general del ensayo.** Se llevó a cabo a través de la obtención de estadísticos descriptivos básicos, en relación a todas las variables acotadas en el punto 3.2.1a.

**Descripción y evaluación familiar.** Se efectuó en base al diámetro de ramas y los caracteres que afectan su incremento, utilizando tanto la estadística descriptiva como métodos de análisis.

La evaluación familiar respecto a la variable principal del estudio (IR), se realizó en dos oportunidades. La primera se efectuó considerando todos los individuos remanentes del ensayo, mientras que la segunda se llevó a cabo en base a una condición ambiental teóricamente más homogénea. Para ésto, se asignaron puntajes individuales de acuerdo al estado (vivo, muerto o ausente) de los 8 árboles más cercanos a cada individuo residual, previo al raleo (4 laterales y 4 diagonales). Con ésto se obtuvo un indicador que permitió discriminar entre

diferentes niveles de vecindad (Anexo 3), para así trabajar con individuos incluidos dentro de un rango más estrecho.

#### a) Análisis de varianza

Para evaluar estadísticamente las familias respecto a las variables IR, HR, LIM e ILI, se utilizó el método del análisis de varianza (ANDEVA). Sin embargo, previamente se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (Sokal y Rohlf, 1979) y de Bartlett (Freese, 1970), para comprobar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, respectivamente. En caso de incumplimiento de las hipótesis, se transformó la variable en análisis, de tal forma que los valores resultantes acepten los supuestos necesarios. De esta manera LIM(2) sufrió una conversión logarítmica, mientras que para tratar la variable porcentual ILI, se aplicó una transformación angular. Ambas expresiones se detallan en el Anexo 3.

Debido a que la segunda evaluación respecto a IR ocasionó la pérdida de algunas repeticiones, se estimaron los valores faltantes a partir del método descrito por Freese (1970) y se realizó un ANDEVA en base a la media parcelaria (hilera), de acuerdo a Wright (1964). La inclusión de números comprendidos entre cero y uno, respecto a la variable LIM(2), obligó a codificar los datos multiplicándolos por 10, a fin de evitar la existencia de características negativas en los logaritmos (Sokal y Rohlf, 1979).

En los casos en los cuales se presentaron diferencias significativas, se utilizó la prueba de Student-Newman-Keuls (Sokal y Rohlf, 1979), con el objeto de efectuar comparaciones múltiples, y así agrupar las familias sin diferencias estadísticas. Las familias se ordenaron de menor a mayor en base al valor promedio obtenido respecto a cada variable, y se unieron mediante una barra vertical aquellas que no presentaron diferencias estadísticamente significativas. El nivel de significación utilizado, tanto en el ANDEVA como en las pruebas antes mencionadas, fue del 5%.

#### b) Método no paramétrico

Para evaluar estadísticamente las familias respecto a la variable AR, se utilizó el método de Friedman para bloques aleatorizados (Sokal y Rohlf, 1979), bajo un nivel de significación del 5%. La razón de efectuar esta prueba, se debió a que la variable AR no cumplió con los supuestos necesarios para aplicar un ANDEVA, ni siquiera bajo transformaciones.

**Análisis de correlación.** Con el propósito de expresar cuantitativamente hasta qué grado está relacionado el diámetro de ramas con las diversas variables, se calculó el coeficiente de correlación simple (Freese, 1970) (Anexo 3), en base a las medias familiares y los valores individuales, provenientes de ambas densidades evaluativas. Para comprobar la existencia de una asociación lineal real entre las variables, se utilizó un nivel de significación del 5%.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Caracterización general del ensayo

Los estadísticos descriptivos básicos, respecto a los caracteres DAP, ALT y las variables consideradas en evaluaciones familiares posteriores, otorgan los antecedentes que permiten obtener una caracterización general del ensayo (Cuadro 2). La información descriptiva detallada respecto a estas variables, puede ser apreciada en el Anexo 6.

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos, respecto a diversas variables.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	CV (%)
DAP (cm)	25,2	14,5	41,5	22,3
ALT (m)	21,7	14,0	27,2	11,8
IR (cm)	3,53	1,90	5,98	19,3
HR	1,97	1	4	39,2
LIM(1) (m)	0,53	0,29	1,00	22,6
ILI08(1) (%)	44,3	0,0	90,0	50,4
LIM(2) (m)	0,74	0,40	1,33	30,7
ILI08(2) (%)	57,2	0,0	100,0	44,6
AR	2,00	1	3	19,0

A partir de la información proporcionada por el Cuadro 2, derivada a partir de 154 árboles, se aprecia que el ensayo presenta un DAP y un IR medio bastante pequeños, debido fundamentalmente a la inexistencia de raleos anteriores. El individuo medio posee un HR que lo clasifica como: “árbol en general multinodal, pero que presenta tendencia uninodal en alguna sección del fuste, de tal forma que permite la obtención de madera libre de nudos sin necesidad de poda”, y un AR que lo cataloga como: “árbol con ramas cuyo ángulo de inserción está entre 30° y 60°”.

Los mínimos y máximos respecto a las variables HR y AR, constatan la existencia de individuos clasificados dentro de las categorías extremas. Mientras que estos mismos parámetros, además de las medias, demuestran que el largo de internudos es claramente superior en la segunda troza.

La menor variación se refleja en base a ALT, mientras que los altos coeficientes respecto a HR y las variables asociadas al largo de internudos, delatan la existencia de una considerable variabilidad en relación a estos caracteres. Con respecto a IR y el resto de las variables, se visualizan niveles de variación intermedios.

## 4.2 Descripción y evaluación familiar

### 4.2.1 Diámetro de ramas

#### a) Primera evaluación

La Figura 6 presentada a continuación, exhibe gráficamente la frecuencia de individuos por clases de IR, a nivel familiar, en base a la densidad residual del ensayo (154 árb.).

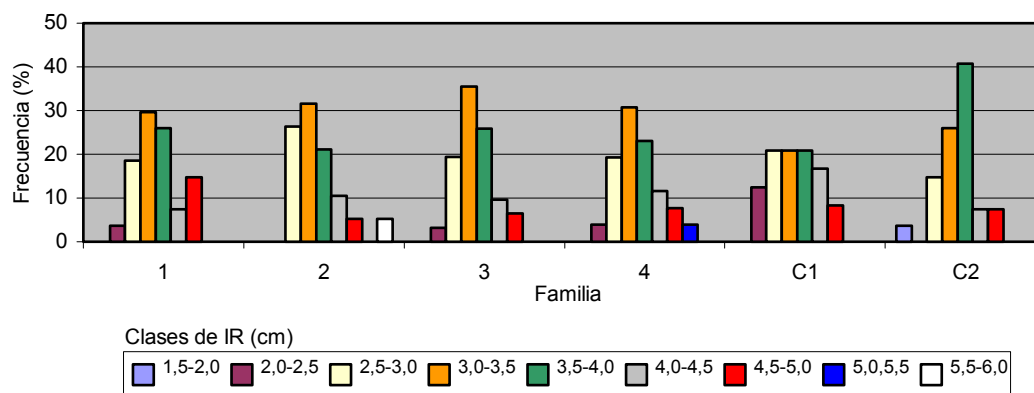


Figura 6. Frecuencia de árboles por clases de IR, a nivel familiar (154 árb.).

De acuerdo a la Figura 6, los valores de IR se concentran fundamentalmente entre los 2,5 y 4,0 cm. El control C2 y la familia 2 son las únicas progenies que exhiben individuos en las clases extremas, de tal forma que presentan el menor y mayor IR del ensayo, respectivamente.

Los estadísticos descriptivos básicos y los resultados evaluativos familiares, en relación a la variable IR, son presentados en el Cuadro 3. La información descriptiva y evaluativa detallada, se encuentra en los Anexos 6 y 7, respectivamente.

Cuadro 3. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a IR (primera evaluación).

Familias	Media (cm)	CV (%)
<b>C1</b>	3,43	21,3
<b>3</b>	3,47	18,2
<b>C2</b>	3,53	17,8
<b>4</b>	3,56	19,6
<b>1</b>	3,59	18,1
<b>2</b>	3,60	23,5
ANDEVA – No significativo		

El ANDEVA comprobó la inexistencia de diferencias significativas respecto a la variable IR (Cuadro 3). El control C1 presenta el menor IR medio, las familias 3 y 4, además del control C2, exhiben tamaños diametrales intermedios, mientras que las familias 1 y 2 evidencian los mayores diámetros de ramas. El menor y mayor coeficiente de variación lo exhiben el control C2 y la familia 2, respectivamente, no obstante ninguna progenie revela una notoria homogeneidad.

b) Segunda evaluación

Existen individuos muertos y ausentes, tanto al interior como alrededor del ensayo, lo cual teóricamente provoca diferentes condiciones ambientales en los árboles aledaños, afectando de manera distinta el crecimiento diametral de ramas. En base ésto, la Figura 7 exhibe gráficamente el porcentaje de árboles vivos, muertos y ausentes tanto dentro del ensayo (previo al raleo) como a su alrededor. La información detallada se encuentra en el Anexo 5.

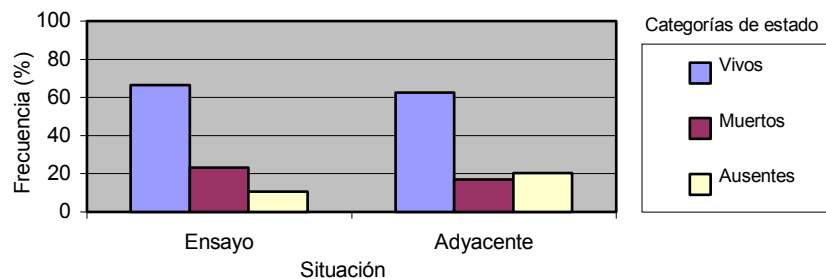


Figura 7. Frecuencia de árboles por categorías de estado, según situación espacial.

Se constata que previo al raleo existió una proporción considerable de individuos muertos y ausentes, tanto dentro del ensayo como a su alrededor (situación adyacente). De un total de 360 individuos, un 23,1% y 10,6% correspondió a árboles muertos y ausentes respectivamente, mientras que de 88 individuos ubicados inmediatamente a los costados del ensayo, un 17,1% y 20,5% concernió consecutivamente a estas mismas categorías.

La Figura 8 muestra la información referente a la frecuencia de árboles (remanentes), sin diferenciación familiar, según niveles de vecindad (previo al raleo). La Figura 9 exhibe estos mismos antecedentes, pero a nivel familiar y en base a 3 rangos de vecindad. La información detallada se encuentra en el Anexo 5.

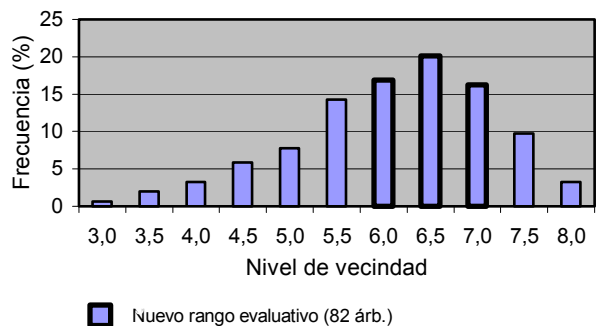


Figura 8. Frecuencia de árboles por niveles de vecindad, a nivel global (previo al raleo).

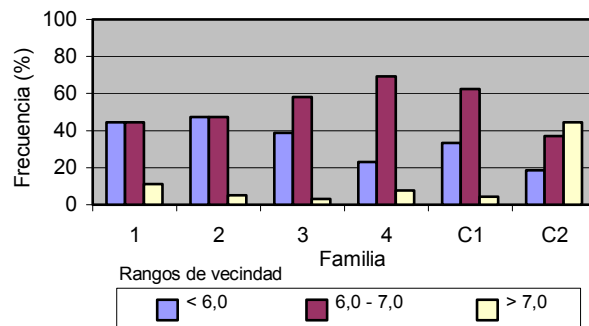


Figura 9. Frecuencia de árboles por rangos de vecindad, a nivel familiar (previo al raleo).

A partir de la Figura 8, se aprecia que antes del raleo los individuos (remanentes) se distribuían de forma normal, en varios niveles de vecindad. Sólo un 3,3% de los árboles estaban incluidos en la categoría original (8,0), es decir, circundados sólo por individuos vivos. De esta manera, el nuevo rango evaluativo consideró a los árboles incluidos dentro de los 3 niveles centrales de la campana de Gauss, debido a que en ellos se concentra más de la mitad de los individuos residuales del ensayo (53,3%). Ésto excluyó a un 33,8% y 13,0% de árboles con niveles de vecindad menores a 6,0 y mayores 7,0, respectivamente. Estrechar aún más el intervalo, generaría una merma considerable en el número de datos de algunas familias.

De acuerdo a la Figura 9, las familias 3 y 4, además del control C1, presentaron los más altos porcentajes de individuos incluidos en el nuevo rango evaluativo. Mientras que todas las familias, excepto el control C2, evidenciaron una mayor exclusión de árboles dentro del intervalo inferior a 6,0.

La Figura 10, expuesta a continuación, muestra gráficamente la frecuencia de individuos por clases de IR, a nivel familiar, bajo el nuevo rango evaluativo (82 árb.).

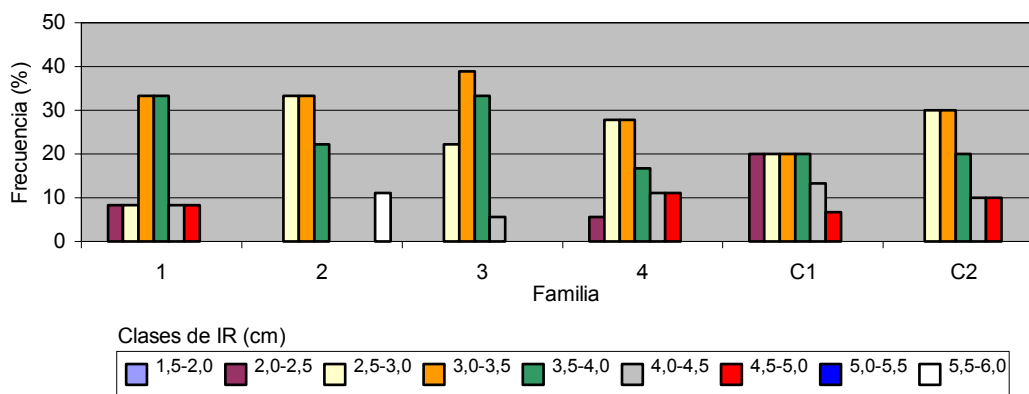


Figura 10. Frecuencia de árboles por clases de IR, a nivel familiar (82 árb.).

A partir de la Figura 10, se aprecia la inexistencia de árboles en la clase diamétrica inferior (1,5-2,0 cm) y en el penúltimo intervalo (5,0-5,5 cm). No obstante, permanece la clase mayor del ensayo, aún cuando se suprimió a una gran cantidad de individuos incluidos dentro de varios niveles inferiores a 6,0. La causa de tal contraposición se debe a que existen ciertos caracteres individuales, que al igual que el medioambiente, afectan el crecimiento de las ramas. Éstos se analizarán más adelante.

La Figura 11 presentada a continuación, exhibe los valores familiares medios, respecto a la variable IR, bajo la densidad utilizada en ambas evaluaciones. El gráfico mantiene el orden familiar ascendente (eje horizontal), de acuerdo a los resultados obtenidos en la primera evaluación. El Cuadro 4, entrega los estadísticos descriptivos básicos y los resultados evaluativos familiares, respecto a IR, en base al nuevo rango de análisis. La información descriptiva y evaluativa detallada, se encuentra en los Anexos 6 y 7, respectivamente.

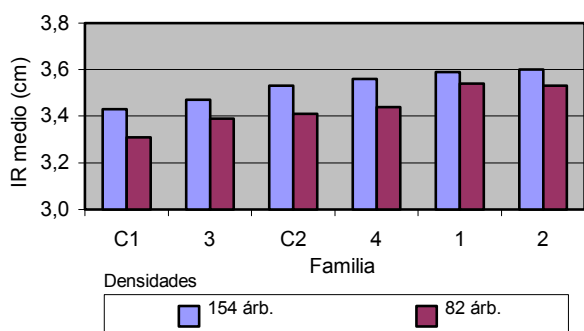


Figura 11. Medias familiares respecto a IR, bajo ambas densidades evaluativas.

Cuadro 4. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a IR (segunda evaluación).

Familia	Media (cm)	CV (%)
<b>C1</b>	3,31	22,8
<b>3</b>	3,39	14,3
<b>C2</b>	3,41	20,8
<b>4</b>	3,44	19,9
<b>2</b>	3,53	28,5
<b>1</b>	3,54	18,7
ANDEVA - No significativo		

De acuerdo a la Figura 11, el efecto homogeneizador produjo una reducción del IR medio en todas las familias. Ésto demuestra la alta influencia del medioambiente sobre el crecimiento de las ramas, ya que como se vio anteriormente, en la mayoría de las familias existía una gran proporción de individuos en los niveles inferiores de vecindad, es decir bajo condiciones ambientales más favorables.

El ANDEVA constató la inexistencia de diferencias significativas respecto a la variable IR (Cuadro 4), no obstante el orden familiar es casi idéntico al obtenido en la primera evaluación. Sólo las familias 1 y 2 permutan las posiciones inferiores, con una diferencia mínima. De esta manera, el control C1 conserva el menor IR medio, las familias 3 y 4, además del control C2, mantienen posiciones intermedias, mientras que las familias 1 y 2 continúan evidenciando los mayores tamaños diametrales. El menor coeficiente de variación lo exhibe la familia 3, mientras que el mayor lo conserva la familia 2, sin embargo se mantienen los niveles de variabilidad.



#### 4.2.2 Caracteres que afectan el crecimiento de las ramas

Como se observó con anterioridad, aún cuando se excluyó a individuos dentro de los niveles ambientales más favorables, se mantuvo la clase diamétrica superior del ensayo. Tal contraposición se debe a que los árboles presentan ciertos caracteres, que también afectan el crecimiento de las ramas. El Cuadro 5 expuesto a continuación, exhibe las características del único individuo presente en la clase diamétrica superior (familia 2), contrapuestas con el árbol de menor IR (control C1), dentro del nuevo rango evaluativo. La ubicación de estos individuos dentro del ensayo, se detalla en el Anexo 6.

Cuadro 5. Características de los árboles con IR extremos, dentro del nuevo rango evaluativo.

IR (cm)	HR	LIM(1) (m)	ILI08(1) (%)	LIM(2) (m)	ILI08(2) (%)	AR
2,05	1	0,40	0,0	0,67	27,5	2
5,98	4	0,67	50,0	1,33	82,5	1

A partir del Cuadro 5, se aprecia que ambos árboles poseen características muy disímiles entre sí. El individuo que presenta el menor IR (2,05 cm), también posee la categoría inferior de HR y largos internodales bastante pequeños, mientras que el árbol con el más alto IR (5,98 cm), posee la clasificación superior de HR, el mayor LIM(2) del ensayo y la categoría inferior de AR. Ésto constata que el crecimiento de las ramas no sólo es afectado por el medioambiente, sino que además por ciertos caracteres individuales.

En multinodales, el tamaño de las ramas es fuertemente controlado por la competencia entre éstas, colaborando con un fuerte control apical y una gran influencia gravitacional. No obstante, en árboles de internudos largos la competencia entre ramas es mucho menor, lo cual hace que estos individuos tiendan a producir ramas largas y gruesas que contrarrestan en mayor grado la respuesta epinástica de la rama líder. Ésto conduce a que las ramas laterales tiendan a competir con el ápice principal, decrezca el ángulo de inserción, y que tanto la polaridad como la fuerza de gravedad actúen en sentidos similares, favoreciendo aún más el crecimiento de las ramas.

Las Figuras 12 a 17 presentadas a continuación, exhiben gráficamente la frecuencia de árboles por familia, respecto a las variables que afectan el crecimiento de las ramas, en base a la densidad residual (154 árb.). Los estadísticos descriptivos básicos y los resultados evaluativos familiares en relación a estos mismos caracteres, son presentados en los Cuadros 6 a 11. La información descriptiva y evaluativa detallada se encuentra en los Anexos 6 y 7, respectivamente.

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a HR.

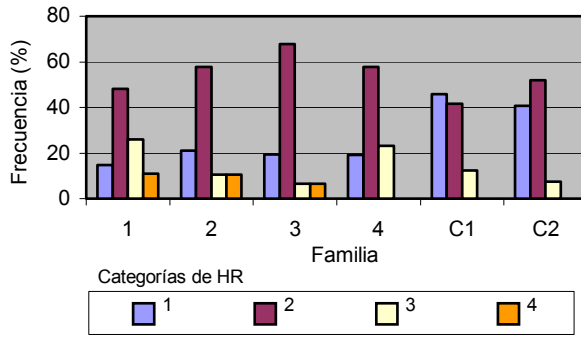


Figura 12. Frecuencia de árboles por categorías de HR, a nivel familiar.

Familia	Media	CV (%)
C1	1,67	42,1
C2	1,67	37,2
3	2,00	36,5
4	2,04	32,5
2	2,11	41,6
1	2,33	37,6

ANDEVA - Significativo

Cuadro 7. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a LIM(1).

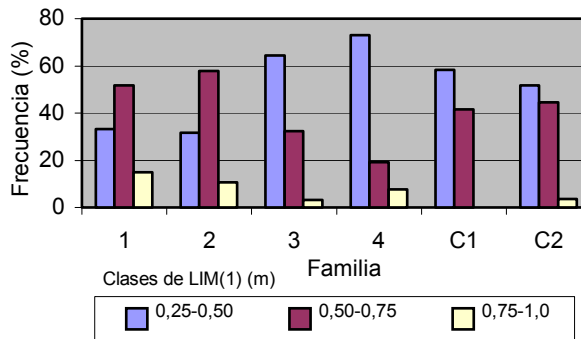


Figura 13. Frecuencia de árboles por clases de LIM(1), a nivel familiar.

Familia	Media (m)	CV (%)
4	0,49	24,5
3	0,50	21,3
C1	0,51	18,9
C2	0,54	18,8
2	0,58	27,4
1	0,59	19,4

ANDEVA - Significativo

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a ILI08(1).

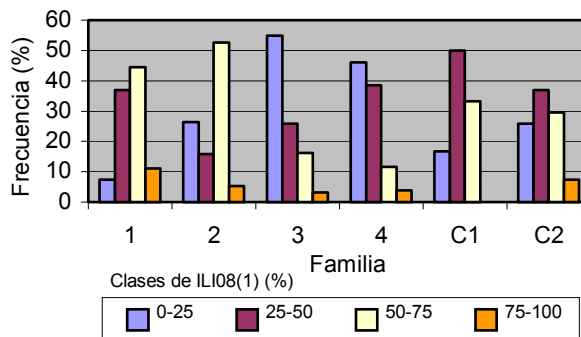


Figura 14. Frecuencia de árboles por clases de ILI08(1), a nivel familiar.

Familia	Media (%)	CV (%)
4	34,2	64,6
3	34,8	64,3
C2	45,6	48,0
C1	45,9	43,7
2	53,3	40,5
1	55,5	31,8

ANDEVA - Significativo

Cuadro 9. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a LIM(2).

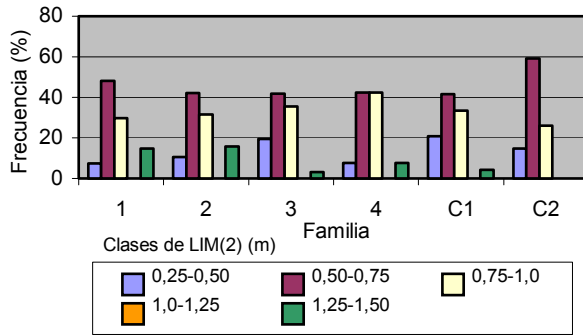


Figura 15. Frecuencia de árboles por clases de LIM(2), a nivel familiar.

Familia	Media (m)	CV (%)
<b>C2</b>	0,66	20,0
<b>C1</b>	0,70	31,1
<b>3</b>	0,71	29,1
<b>4</b>	0,76	29,9
<b>2</b>	0,79	36,0
<b>1</b>	0,81	32,8

ANDEVA - No significativo

Cuadro 10. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a ILI08(2).

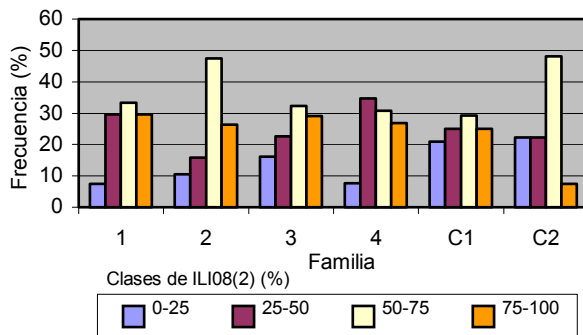


Figura 16. Frecuencia de árboles por clases de ILI08(2), a nivel familiar.

Familia	Media (%)	CV (%)
<b>C2</b>	47,1	50,9
<b>C1</b>	55,5	47,2
<b>3</b>	56,9	50,2
<b>4</b>	59,0	42,0
<b>2</b>	61,7	40,6
<b>1</b>	64,4	35,2

ANDEVA - No significativo

Cuadro 11. Estadísticos descriptivos y resultados evaluativos, respecto a AR.

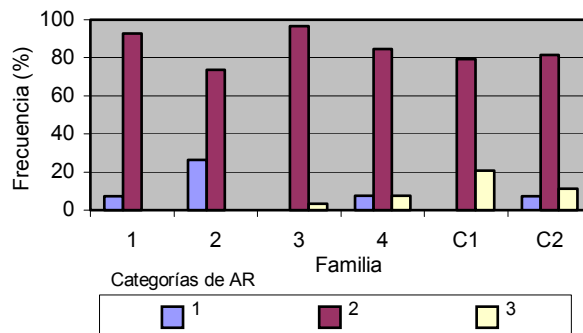


Figura 17. Frecuencia de árboles por categorías de AR, a nivel familiar.

Familia	Media	CV (%)
<b>2</b>	1,74	26,0
<b>1</b>	1,93	13,9
<b>4</b>	2,00	20,0
<b>3</b>	2,03	8,8
<b>C2</b>	2,04	21,4
<b>C1</b>	2,21	18,8

Prueba de Friedman - No significativa

De acuerdo a la Figura 12, los valores de HR pertenecientes a las progenies de árboles *plus* uninodales, se concentran principalmente en la categoría 2, mientras que en los controles C1 y C2, esta misma clase comparte similar importancia con la categoría 1. Los otros intervalos exhiben menor relevancia familiar; especialmente la categoría 4, en cuyo caso las familias 1, 2 y 3 son las únicas que exhiben individuos.

El ANDEVA demostró la existencia de diferencias significativas, respecto a la variable HR (Cuadro 6). La prueba de multicomparación de medias permitió la conformación de dos grupos homogéneos dentro de los cuales no es posible detectar disimilitudes. Los controles C1 y C2 destacan en el extremo superior con un HR más multinodal (ambos con igual valor medio), mientras que en el extremo inferior distinguen las familias de uninodales. Dentro de éstas, la familia 1 es la que presenta el HR más uninodal y la que se diferencia estadísticamente de los controles.

Aún cuando la presencia de altos coeficientes de variación avalan la existencia de una alta variabilidad intrafamiliar; las características evidenciadas por las progenies, confirman el alto grado de control genético que posee la frecuencia de verticilos. Así entonces, árboles *plus* seleccionados bajo un criterio de crecimiento y forma (multinodales), y semilla común, dan origen a una descendencia con un mayor número de verticilos, que la progenie de árboles *plus* escogidos bajo un criterio de uninodalidad.

A partir de la Figura 13, se percibe que los valores de LIM(1) se concentran fundamentalmente en las dos primeras clases (0,25-0,75 m). El intervalo inferior adquiere mayor importancia en las familias 3 y 4, y en los controles C1 y C2, mientras que la clase intermedia y la superior, lo hacen en las familias 1 y 2. El intervalo superior es el que a nivel global evidencia la menor importancia familiar, en cuyo caso el control C1 no exhibe ningún individuo. En cuanto a la variable ILI08(1) (Figura 14), se aprecia que a nivel general, los valores se concentran en las 3 primeras clases, manifestándose una tendencia similar a la constatada respecto a la variable LIM(1).

En la Figura 15 se percibe que en base a la variable LIM(2), las familias incluyen individuos en una clase adicional superior (1,25-1,50 m), mientras que los valores se concentran principalmente en la segunda y tercera clase (0,50-1,0 m) de manera bastante homogénea. Ésto evidencia que la segunda troza posee mayores largos internodales que la primera sección fustal. El intervalo inferior (0,25-0,50 m) adquiere mayor importancia en la familia 3 y en los controles C1 y C2, mientras que la clase superior la consigue en las familias 1 y 2. El control C2 no exhibe ningún individuo en este último intervalo, y ninguna familia en la cuarta clase (1,0-1,25 m). Ésto último se debe, a que la dimensión de la troza impide obtener un LIM dentro de este intervalo. En cuanto a la variable ILI08(2) (Figura 16), se aprecia que a nivel general, los valores adquieren una concentración un poco menos heterogénea, sin embargo la tendencia es semejante a la evidenciada a partir de la variable LIM(2).

El ANDEVA comprobó la existencia de diferencias significativas, respecto a las variables LIM(1) (Cuadro 7) e ILI08(1) (Cuadro 8), sin embargo demostró la inexistencia de desigualdades, en relación a las variables LIM(2) (Cuadro 9) e

ILI08(2) (Cuadro 10). La aplicación de la prueba de multicomparación de medias, en base a las variables internodales relacionadas con la primera troza, permitió la conformación de dos grupos homogéneos dentro de los cuales no es posible detectar disimilitudes. En ambos casos, las familias 1, 2 y 3, 4 conforman grupos distintos junto a los controles C1 y C2.

Los promedios obtenidos constataron la presencia de menores LIMs en la primera troza, mientras que los coeficientes de variación evidenciaron una mayor homogeneidad en esta sección fustal, en comparación a la segunda troza. Con respecto a los ILIs la situación es similar, no obstante la diferencia se manifiesta en que las familias muestran distinto grado de variación dependiendo de la troza. De esta manera las familias 3 y 4 presentan un mayor coeficiente de variación en relación a ILI08(1), mientras que el resto lo exhibe respecto a ILI08(2).

A nivel global, las familias 1 y 2 mantienen supremacía respecto al largo de internudos, debido a que en ambas secciones fustales presentan los mayores valores medios tanto en LIMs como en ILIs, mientras que en el otro extremo, los controles C1 y C2 permutan posiciones con las familias 3 y 4. El casi idéntico posicionamiento familiar, respecto a las variables HR y LIM(2), avalan la estrecha relación entre la frecuencia verticilar y el largo de internudos. Incluso algunos investigadores, han llamado directamente a árboles multinodales y uninodales, individuos de internudos cortos y largos, respectivamente.

De acuerdo a la Figura 17, en todas las familias existe una notable proporción de individuos en la categoría angular 2, lo cual demuestra que el ángulo de inserción fluctúa principalmente entre rangos intermedios que no pueden ser captados por una evaluación subjetiva. De esta manera, las diferencias promedio están marcadas sólo por la influencia de unos pocos individuos clasificados dentro de las categorías extremas.

La prueba de Friedman demostró la inexistencia de diferencias significativas respecto a la variable AR (Cuadro 11), de tal forma que las familias conforman un grupo homogéneo, en el cual no es posible determinar desigualdades. Los coeficientes de variación demuestran que la heterogeneidad es relativamente baja en algunas familias, si es que se compara con la obtenida respecto a variables relacionadas con el largo de internudos. En base a esto, destaca la familia 3 con la menor variación, incluso en relación a todos los caracteres acotados en este estudio (8%). Esto se debe a que esta progenie posee prácticamente el 100% de los árboles dentro de la categoría 2. En el otro extremo, la mayor diversidad angular la exhibe la familia 2.

Así entonces, el orden familiar es el que se esperaba, es decir, las familias más uninodales presentan menores ángulos de ramificación que aquellas que exhiben una mayor frecuencia verticilar. Esto sustenta en gran medida lo estipulado por múltiples autores, quienes han manifestado que árboles multinodales y uninodales poseen ángulos de inserción amplios y agudos respectivamente.

En síntesis, el control C1 posee el menor IR, el HR más multinodal, largos internodales en general pequeños (sobre todo en la segunda troza) y el mayor AR. El control C2 y las familias 3 y 4 se mantienen en general dentro de posiciones intermedias, mientras que en el otro extremo las familias más uninodales (1 y 2) muestran características completamente opuestas a aquellas evidenciadas por el control C1. De esta manera, los resultados coinciden en cierta medida con los que en un principio se esperaban, aún cuando no se manifestaron diferencias significativas respecto a gran parte de las variables.

Las Figuras 18 a 23 exhiben los valores familiares medios respecto a los caracteres que afectan el crecimiento de las ramas, bajo la densidad utilizada en ambas evaluaciones respecto a IR. Los gráficos mantiene el orden familiar ascendente (eje horizontal), de acuerdo a los resultados obtenidos en la primera evaluación.

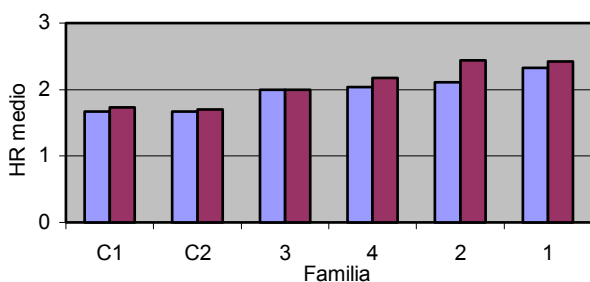


Figura 18. Medias familiares respecto a HR, bajo ambas densidades evaluativas.

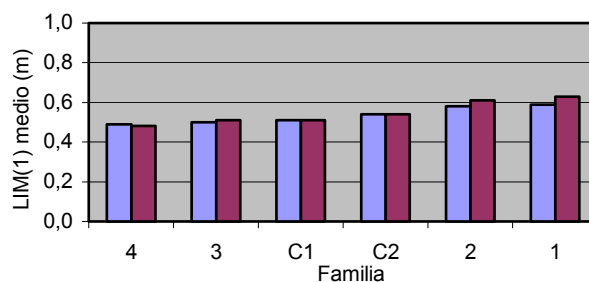


Figura 19. Medias familiares respecto a LIM(1), bajo ambas densidades evaluativas.

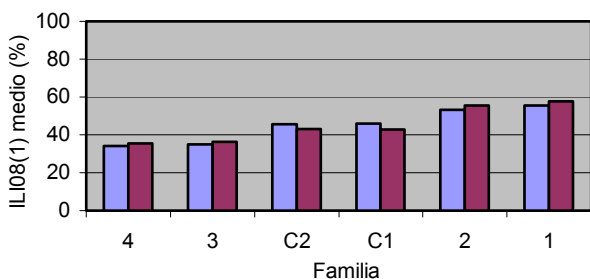


Figura 20. Medias familiares respecto a ILI08(1), bajo ambas densidades evaluativas.

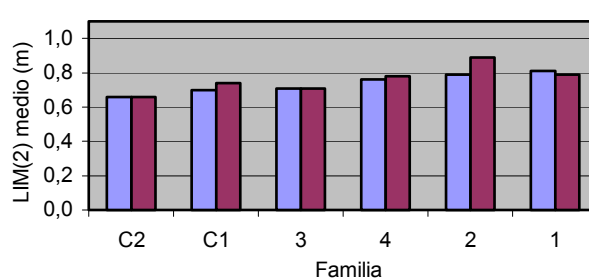


Figura 21. Medias familiares respecto a LIM(2), bajo ambas densidades evaluativas.

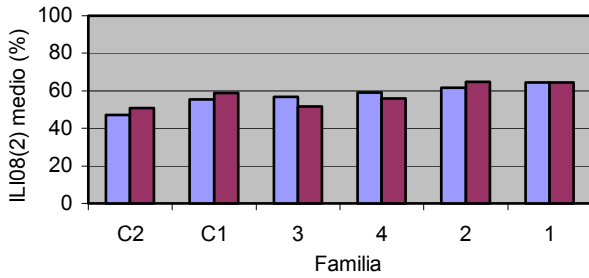


Figura 22. Medias familiares respecto a ILI08(2), bajo ambas densidades evaluativas.

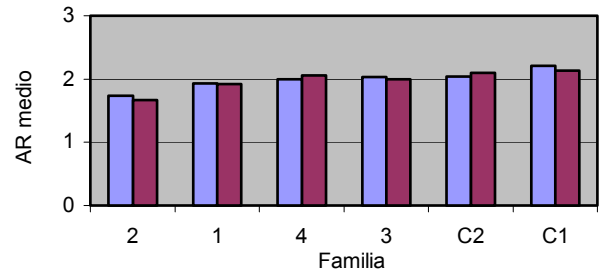


Figura 23. Medias familiares respecto a AR, bajo ambas densidades evaluativas.



A partir de las Figuras 18 a 23, se aprecia que la homogeneización no produjo un efecto general claro en las medias familiares (aumento o descenso), respecto a ninguna de las variables en cuestión. El origen de aquello radica en que estos caracteres son mucho menos sensibles a factores del medioambiente, sobre todo bajo cambios de esta magnitud; por tales motivos no se justifica realizar una evaluación familiar adicional respecto a ellos. El grado de aumento y descenso de los valores familiares medios, deriva fundamentalmente del nivel de variabilidad existente respecto a cada carácter. Así, las pequeñas alteraciones manifestadas en base a AR, son el resultado de una mayor homogeneidad familiar respecto a esta variable.

Los mínimos altibajos obtenidos a nivel global y los similares ódenes posicionales, colaboraron sin duda, para que las medias familiares respecto a IR (segunda evaluación) no sufrieran probables distorsiones. De esta manera, aparte de conseguir un medioambiente más homogéneo, se conservó a individuos que en general mantuvieron las características familiares de ramificación.

### 4.3 Análisis de correlación

El Cuadro 12 expuesto a continuación, presenta los coeficientes de correlación entre IR y diversas variables, obtenidos a partir de las medias familiares y los valores individuales, procedentes de ambas densidades evaluativas. La información detallada de los resultados obtenidos a partir de este análisis, puede ser apreciada en el Anexo 7, mientras que las representaciones gráficas de la dispersión entre IR y las demás variables, se exhiben en el Anexo 8.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación entre IR y diversas variables, en base a medias familiares y valores individuales, provenientes de ambas densidades evaluativas.

Variable	Coeficientes de correlación (r)			
	Medias familiares		Valores individuales	
	154 árb.	82 árb.	154 árb.	82 árb.
HR	0,70	0,90 *	0,30 *	0,43 *
LIM(1)	0,68	0,79	0,12	0,08
ILI08(1)	0,46	0,73	0,15	0,20
LIM(2)	0,72	0,66	0,28 *	0,44 *
ILI08(2)	0,49	0,64	0,31 *	0,43 *
AR	-0,87 *	-0,78	-0,19 *	-0,13
DAP			0,65 *	0,65 *
ALT			0,40 *	0,35 *

\* Valores significativos al nivel del 5%.

En base al Cuadro 12, se constata que los coeficientes de correlación conseguidos a nivel familiar son bastante altos. Ésto avala lo precisado anteriormente, sin embargo, a partir de referencias tabulares se comprobó que la relación entre IR y las demás variables, es sólo significativa en unos pocos casos. La menor y mayor correlación se evidenció entre IR y las variables ILI08(1) (0,46) y HR (0,90), respectivamente.

A nivel individual, no se detectaron interdependencias muy altas, sin embargo, se comprobó que la mayoría de los coeficientes son significativos, confirmando la existencia de una asociación lineal real entre IR y gran parte de las variables. La menor correlación se obtuvo entre IR y LIM(1) (0,08), mientras que la mayor se constató entre IR y DAP (0,65). Ésto se debe fundamentalmente, a que tanto el diámetro de ramas como el DAP están íntimamente ligados al crecimiento cambial.

Los coeficientes manifestaron un alza considerable bajo un ambiente más homogéneo, respecto a HR y las variables relacionadas con el largo de internudos, tanto a nivel familiar como individual. No obstante, en base a AR y ALT, la relación varió en menor grado. La causa de aquello se debe, probablemente, al diferente grado de sensibilidad ambiental de los caracteres, de tal forma que bajo una condición más heterogénea las variables relacionadas con el crecimiento cambial (IR y DAP) reaccionan de manera similar, mientras que los otros caracteres no lo hacen de igual forma.

Así entonces, la relación positiva y en gran parte significativa entre IR y HR, confirman lo establecido por varios investigadores. Algunos han obtenido correlaciones directas entre estas variables, por lo que han atribuido ramas gruesas y delgadas a árboles uninodales y multinodales, respectivamente. No obstante, la asociación positiva entre IR y las variables relacionadas con el largo de internudos, es



sólo significativa en la segunda troza y en base a valores individuales. Por otra parte, tanto LIM(2) como ILI08(2), poseen prácticamente el mismo coeficiente que el existente entre IR y HR, lo cual constata de forma indirecta, la estrecha relación entre las variables internodales de la segunda troza y HR. Constabel (1994) obtuvo un coeficiente de 0,47 para la relación entre el diámetro de ramas y el largo de internodos. Este valor se asemeja bastante al coeficiente obtenido respecto a la segunda troza, bajo la densidad utilizada en la segunda evaluación respecto a IR.

La relación negativa y significativa entre IR y AR, avalan lo estipulado por varios investigadores. No obstante, debido a que la evaluación subjetiva se realizó a nivel general y en base a sólo 3 rangos angulares, es muy probable que el grado de asociación aumente considerablemente a partir de mediciones individuales directas. Jacobs (1938), cit. por Grace *et al.* (1998) obtuvo un coeficiente de -0,64 para la relación entre el diámetro y el ángulo, en base a la medición de 1.000 ramas en un rodal.

#### **4.4 Limitantes del estudio**

Una importante limitante del estudio, es haber trabajado sobre árboles en pie y que presentaban una primera poda. Ésto determinó que los tamaños diametrales sean medidos sólo en la segunda troza, y que las magnitudes angulares sean captadas subjetivamente.

El origen de los árboles *plus* constituye otro obstáculo. Las progenies pueden haber manifestado un comportamiento algo distinto, al que hubiesen expresado en la zona en que los árboles *plus* fueron seleccionados (interacción genotipo-ambiente).

La falta de raleos anteriores, también constituye una limitante. La ausencia de estas prácticas, impidió que las ramas se desarrollaran plenamente.

Además, los análisis se vieron en gran parte restringidos a una reducida cantidad de árboles por familia; causado por la mortalidad, la ausencia de individuos y por efecto del raleo. Inclusive, la pérdida de algunas repeticiones, originada por escasos individuos y bajos niveles de vecindad (segunda evaluación respecto a IR), llevó a afectar estimaciones a partir de métodos estadísticos complementarios.

## 5. CONCLUSIONES

No se presentaron diferencias estadísticamente significativas respecto al índice de rama, ni tampoco en base a las variables relacionadas con el largo de internudos (segunda troza) y el ángulo de ramas. Las disimilitudes entre familias fueron sólo significativas, respecto al hábito de ramificación y los caracteres internodales asociados a la primera sección fustal. Sin embargo, debido a que las variables HR y AR fueron medidas subjetivamente, los resultados en torno a ellas deben ser tomados con bastante mesura.

La gran variabilidad existente, respecto a gran parte de las variables involucradas, se debió en gran medida a que el estudio se llevó a cabo en un ensayo de polinización abierta (familias de medios hermanos), y además los controles incluidos provenían de una mezcla de semillas (diversos genotipos). Por tal motivo, la falta de homogeneidad tanto entre familias como al interior de ellas, sobre todo respecto al hábito de ramificación y su asociado largo de internudos, fue un aspecto importante que impidió establecer diferencias significativas en relación al diámetro de ramas. Si bien es cierto, se constataron desigualdades categóricas respecto a la variable HR, éstas no se manifestaron en base a las variables relacionadas con el largo de internudos (segunda troza).

El control C1 es el que evidenció el menor IR medio, un HR bastante multinodal, largos internodales en general pequeños y amplios ángulos de inserción de ramas. Las familias 3 y 4, además del control C2, mostraron en general características intermedias, mientras que las familias 1 y 2 exhibieron los más altos indicadores diametrales, hábitos bastante uninodales, los mayores valores respecto a las variables relacionadas con el largo de internudos y ángulos de inserción agudos (principalmente la familia 2). Así entonces, pese a las limitantes señaladas y aún cuando no se constataron diferencias significativas en la mayoría de los casos, las tendencias manifestadas avalaron en cierta medida la hipótesis que árboles *plus* seleccionados bajo un criterio de crecimiento y forma (multinodales), originan una progenie con un mayor número de verticilos, que posee menores diámetros de ramas y largos internodales, y mayores ángulos de inserción de ramas, que descendencias con longitudes internodales superiores, provenientes de árboles *plus* seleccionados bajo un criterio de uninodalidad. De esta forma, debido a que el diámetro de ramas es débilmente heredable, puede ser controlado de forma indirecta, a partir del considerable grado de control genético que evidencia la frecuencia de verticilos y su asociado largo de internudos, fundamentalmente en la segunda troza. Incluso los resultados posteriores a la homogeneización, comprobaron la menor sensibilidad ambiental que manifiestan estos caracteres, en comparación al tamaño diametral de ramas.

La existencia de correlaciones significativas entre IR y gran parte de las variables, principalmente en base a valores individuales, confirmaron las interdependencias establecidas por diversos autores. Incluso la relación entre IR y HR, además del largo de internudos (principalmente en base a la segunda troza), aumentaron de manera considerable bajo un ambiente más homogéneo. Además, si bien es cierto se

detectaron diferencias significativas respecto a HR, la inexistencia de una relación considerablemente estrecha entre esta variable e IR, a nivel individual, fue también uno de los aspectos importantes que impidió la obtención de un idéntico resultado en base a este último carácter.

En síntesis, fue imposible comprobar categóricamente que el diámetro de ramas es afectado significativamente por el mejoramiento genético basado en uno de los dos extremos del hábito de ramificación; debido fundamentalmente a los aspectos señalados anteriormente. No obstante, las tendencias familiares y los grados de asociación, revelaron de manera ciertamente clara, que un hábito específico acarrea cambios importantes en los caracteres que afectan el crecimiento de las ramas, y consecuentemente en el tamaño diametral de éstas, producto de la fisiología del árbol. Así, un programa de mejoramiento ligado a un determinado tipo de ramificación, conducirá no sólo a mejorar o desmejorar el diámetro de ramas, sino que también afectará a otros caracteres. Éstos son aspectos muy importantes de considerar, al momento de pensar en generar un determinado tipo de árbol, para un producto final específico.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- Balocchi, C. y Delmastro, R. 1993. *Principios de Genética Forestal*. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 180 p.
- Bier, H. 1986. *Log quality and the strength and stiffness of structural timber*. New Zealand Journal of Forestry Science 16(2): 176-186
- Bollmann, M. P. y Sweet G. B. 1976. *Bud morphogenesis of Pinus radiata in New Zealand; 1: The initiation and extension of the leading shoot of one clone at two sites*. New Zealand Journal of Forestry Science 6(3): 376-392
- Bown I., H. 1997. *Retrospectiva de la silvicultura de Pino radiata*. Santiago, CONAF. 8 p. (Chile Forestal, Documento Técnico, 104)
- Burdon, R. D. 1978. *Mejoramiento Genético Forestal en Chile*. Santiago, CONAF-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 81 p.
- \_\_\_\_\_. 1994. *Annual growth stages for height and diameter in Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 24(1): 11-17
- Burdon, R. D. y Bannister, M. H. 1987. *Proveniences of Pinus radiata stands: Their Early Performance and Silvicultural Potential*. New Zealand Journal of Forestry 17(2): 217-233
- Carson, M. J. 1987. *Improving log and wood quality: the role of the radiata pine improvement programme*. New Zealand Journal of Forestry 31(4): 26-30
- \_\_\_\_\_. 1988. *Long internode or multinodal radiata pine ?. A financial analysis*. Rotorua, FRI. 25 p. (Bulletin, 115)
- Carson, M. J. e Inglis, C. S. 1988. *Genotype and location effects on internode length of Pinus radiata in New Zealand*. New Zealand Journal of Forestry Science 18 (3): 267-279
- Cleland, M. 1985. *Early performance of first generation seed orchard stock at Omataroa forest*. New Zealand Journal of Forestry 30(1): 45-53
- Constabel P., A. 1994. *Evaluación del largo de internudos para un programa de mejoramiento genético en Pinus radiata D. Don*. Tesis Ing. For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 72 p.
- Daniel, T. W; Helms, J. A. y Backer, F. S. 1982. *Principios de Silvicultura*. México, McGraw Hill. 492 p.

- Delmastro, R. 1976. *Proposición de un Programa Cooperativo de Mejoramiento Genético entre la Universidad Austral de Chile, Instituciones y Empresas Forestales*. Valdivia, UACH, Fac. de Cs. For. 53 p.
- Delmastro, R; Diaz-Vaz, J. E. y Schlatter, J. E. 1980. *Variabilidad de las características tecnológicas hereditarias del Pinus radiata (D. Don). Revisión Bibliográfica*. Santiago, CONAF, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 157 p.
- Droppelmann F., F. y Delmastro N., R. 1987. *Informe de convenio N° 139. Convenio de mejoramiento genético UACH-CONAF-Empresas forestales. Séptimo informe anual (1985-1986)*. Valdivia, UACH, Fac. de Cs. For. 100 p.
- Fogg, G. E. 1973. *El crecimiento de las plantas*. Buenos Aires, EUDEBA. 327 p.
- Freese, F. 1970. *Métodos estadísticos elementales para técnicos forestales*. México, Publicidad Artística Litográfica. 102 p.
- Fuenzalida, H. 1971. *Climatología de Chile*. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Geofísica y Geodesia. 66 p.
- Fuller, H. J; Carothers, Z. B; Payne, W. W. y Balbach, M. K. 1974. *Botánica*. 5ª ed. México, Interamericana. 512 p.
- Grace, J. C; Blundell, W. y Pont, D. 1998. *Branch development in Pinus radiata—model outline and data collection*. New Zealand Journal of Forestry Science 28(2): 182-194
- Grace, J. C; Pont, D. C; Goulding, C. J. y Rawley, B. 1999. *Modelling branch development for forest management*. New Zealand Journal of Forestry Science 29(3): 391-408
- Greulach, V. A. y Adams, J. E. 1970. *Las Plantas; Introducción a la Botánica Moderna*. 1ª ed. México, Limusa – Wiley. 679 p.
- Hawley, R. C. y Smith, D. M. 1972. *Silvicultura práctica*. Barcelona, Omega. 544 p.
- Hill, J. B; Overholts, L. O; Popp, H. W. y Grove, A. R. 1964. *Tratado de Botánica*. 3ª ed. Barcelona, Omega. 747 p.
- Huber, A. 1970. *Diez años de observaciones climatológicas en la Estación Teja – Valdivia (Chile) 1960 – 1969*. UACH, Instituto de Geología y Geografía. 46 p.
- Inglis, C. S. y Cleland, M. R. 1982. *Predicting final branch size in thinned radiata pine stands*. Rotorua, FRI. 17 p. (Bulletin, 3)

- Instituto Forestal. 2001. *Estadísticas Forestales*. INTERNET: <http://infor.cl> Febrero 19, 2002.
- Iroumé A., A. 1992. *Precipitación, escorrentía y producción de sedimentos en suspensión en una cuenca cercana a Valdivia, Chile*. Bosque 13(2): 15-23
- Jayawickrama, K. J; Shelbourne, C. J. y Carson, M. J. 1997. *New Zealand's long internode breed of Pinus radiata*. New Zealand Journal of Forestry Science 27(2): 126-141
- Kozlowski, T. T. 1971. *Growth and Development of Trees*. United States of America, Academic Press. v. 2, 514 p.
- Kramer, P. J. y Kozlowski, T. T. 1979. *Physiology of Woody Plants*. United States of America, Academic Press. 811 p.
- \_\_\_\_\_. 1960. *Physiology of Trees*. United States of America, McGraw – Hill Book Company. 642 p.
- Mead, D. J. 1990. *Radiata pine: Biology and Silviculture in relation to modelling*. Prepared for Fundación Chile. 34 p.
- Meyer, B. S; Anderson, D. B. y Böhring, R. H. 1976. *Introducción a la fisiología vegetal*. 4ª ed. Buenos Aires, EUDEBA. 579 p.
- Molisch, H. 1945. *Fisiología Vegetal*. Barcelona, Labor. 394 p.
- Perez G., F. y Martínez-Laborde, J. B. 1994. *Introducción a la fisiología vegetal*. Madrid, Mundi-Prensa. 218 p.
- Raymond, C. A. y Cotterill, P. P. 1990. *Methods of Assessing Crown Form of Pinus radiata*. Silvae Genetica 39(2): 67-71
- Ray, P. M. 1981. *La Planta Viviente*. México, Continental. 272 p.
- Scott, C. W. 1961. *Pino insigne*. Roma, FAO. 340 p.
- Schlegel, F. y Martínez, O. 1987. *Flórula de los predios forestales Los Pinos y Las Palmas, Cayumapu, Valdivia*. Bosque 8(1): 21-30
- Sinnott, E. W. y Wilson, K. S. 1965. *Botánica; Principios y Problemas*. 1ª ed. México, Continental. 584 p.
- Sokal, R. y Rohlf, J. 1979. *Biometría; Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Madrid, Blume. 832 p.
- Strasburger, E. 1994. *Tratado de Botánica*. Barcelona, Omega. 1068 p.

- Torres O., H. 1971. *Maderas*. Chile, CORMA. 270 p.
- Uyttendaele, G. 2000. *Evaluación del flujo de nutrientes en la cuenca 'Los Pinos', Valdivia, X Región*. Tesis Mag. en Cs. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Cs. Forestales. 119 p.
- Vergara L., R; Ipinza C., R. y Pérez P., E. 1995. *Manual de cruzamientos controlados para Pinus radiata D. Don*. Valdivia, Marisa Cúneo. 50 p.
- Vignote P., S y Jiménez P., F. 2000. *Tecnología de la madera*. 2º ed. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Mundi-Prensa. 653 p.
- Wright, J. 1964. *Mejoramiento genético de los árboles forestales*. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 463 p.
- Zimmermann, M. H. y Brown, C. L. 1980. *Trees; Structure and Function*. United States of America, Springer-Verlag. 336 p.
- Zobel, B y Talbert, J. 1992. *Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales*. México, Limusa. 545 p.

## **ANEXO 1**

### **Abstract and keywords**



## **Abstract**

This study was done in a progeny's sample of open-pollinated uninodals *Pinus radiata* D. Don. This was performed in Valdivia's surroundings in 1983, in the south of Chile.

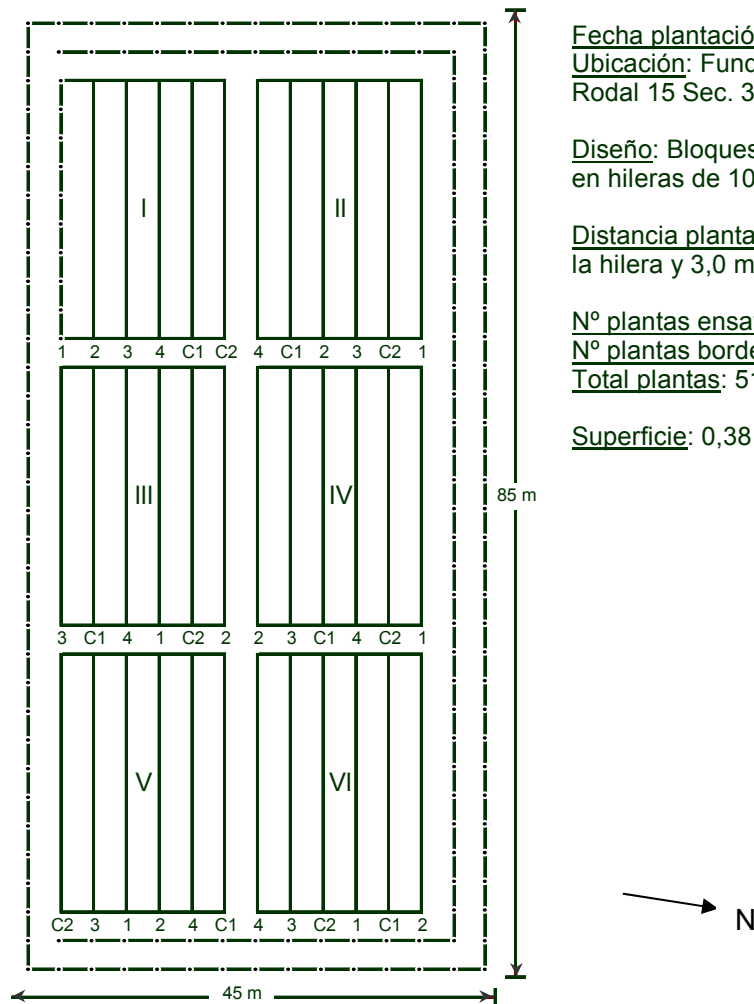
This study included seeds of four plus uninodals trees using two kinds of checking, one from plus trees seed's mixing selected by growth and shape criteria (multinodal trees) and another part of common commercial seed (without genetic improvement).

The families were compared each other, according to the branches diameter (branch index) and the aspects which affects their increase. However, the high heterogeneity in the branching habit and their internodal long associated, didn't permit to detect significatives differences in relation to many variables, especially in base to the branches diameter. In spite of this, the trends showed that multinodal trees and uninodal trees generate progenies with small and big branches respectively, so the branches diameter (inheritable weak character) can be checked indirectly because the branching habit has a high degree of genetic control. Moreover, the existence of significatives correlations between the branches diameter and most of the variables, mainly as an individual level, verified the interdependences established by several authors.

**Keywords:** branches diameter; genetic improvement; branching habit; branch index; *Pinus radiata*.

## **ANEXO 2**

### **Diseño del ensayo**



Fecha plantación: Agosto 1983.  
Ubicación: Fundo Los Pinos (UACH)  
 Rodal 15 Sec. 3

Diseño: Bloques al azar con familias en hileras de 10 plantas.

Distancia plantación: 2,5 m dentro de la hilera y 3,0 m entre hileras.

Nº plantas ensayo: 360

Nº plantas borde: 150

Total plantas: 510

Superficie: 0,38 ha.

Figura 1. Diseño del ensayo de progenie de árboles *plus* uninodales.

## **ANEXO 3**

### **Derivaciones matemáticas**

### a. Índice de rama

$$IR = \frac{(d_I + d_{II} + d_{III} + d_{IV})}{4}$$

IR : índice de rama (cm).

di : diámetro de la rama más grande en el cuadrante i (cm).

### b. Índice de internudo

$$ILI = \frac{\sum (LI \geq L)}{Lt} \times 100$$

ILI : índice de internudo (%).

LI : largo de internudo (m).

L : exigencia longitudinal (m)

Lt : largo de troza (m).

### c. Nivel de vecindad

$$NV = (V + 0,5M)$$

NV: nivel de vecindad.

V: árboles vecinos vivos.

M: árboles vecinos muertos.

### d. Transformaciones

- Logarítmica

$$X' = \text{Log}(X \times 10)$$

X : valor a transformar.

- Angular

$$\theta = \arcsen \sqrt{p}$$

$\theta$  : ángulo.

p : porcentaje.

### e. Coeficiente de correlación simple

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \times \sum y^2}}$$

r : coeficiente de correlación muestral.

x, y : variables.

## **ANEXO 4**

### **Pautas de evaluación**

### **a. Hábito de ramificación**

- Puntajes de asignación.

1: árboles absolutamente multinodales en toda la sección de análisis.

2: árboles en general multinodales, pero que presentan tendencia uninodal en alguna sección del fuste, de tal forma que permiten la obtención de madera libre de nudos sin necesidad de poda.

3: árboles binodales con un internudo largo por período de crecimiento, ó árboles uninodales con cierta tendencia multinodal en alguna parte de la sección de análisis.

4: árboles de internudos largos, perfectamente uninodales en toda la sección de análisis.

### **b. Ángulo de ramas**

- Puntajes de asignación.

1: árboles con ángulo de inserción de ramas inferior a  $30^\circ$ .

2: árboles con ramas cuyo ángulo de inserción está entre  $30^\circ$  y  $60^\circ$ .

3: árboles con ángulo de inserción de ramas próximo a  $90^\circ$ .

## **ANEXO 5**

### **Estado arbóreo y niveles de vecindad**



Cuadro 1. Número de individuos del ensayo (previo al raleo) y adyacentes a éste, por categorías de estado.

Familia	Bloque	Estado arbóreo		
		Vivos	Muertos	Ausentes
1	I	7	2	1
	II	9	1	0
	II	9	1	0
	IV	7	1	2
	V	6	2	2
	VI	5	3	2
	Total	43	10	7
2	I	2	7	1
	II	5	4	1
	II	7	3	0
	IV	6	1	3
	V	2	3	5
	VI	6	0	4
	Total	28	18	14
3	I	8	2	0
	II	8	1	1
	II	9	1	0
	IV	9	1	0
	V	8	2	0
	VI	8	2	0
	Total	50	9	1
4	I	5	4	1
	II	8	2	0
	II	6	4	0
	IV	9	1	0
	V	4	3	3
	VI	9	0	1
	Total	41	14	5
C1	I	5	4	1
	II	6	4	0
	II	5	3	2
	IV	7	2	1
	V	7	3	0
	VI	8	2	0
	Total	38	18	4
C2	I	7	2	1
	II	6	2	2
	II	7	3	0
	IV	7	3	0
	V	6	2	2
	VI	6	2	2
	Total	39	14	7
<b>Adyacentes</b>		55	15	18

Cuadro 2. Número de individuos (remanentes), por niveles de vecindad (previo al raleo).

		Nivel de vecindad										
Familia	Bloque	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
1	I	0	1	0	1	3	2	0	0	0	0	0
	II	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0
	IV	0	0	0	1	0	0	0	1	1	2	0
	V	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
	VI	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	Total	1	1	1	3	3	3	1	8	3	3	0
2	I	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
	III	0	0	0	0	1	1	1	2	1	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
	V	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	VI	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
	Total	0	0	1	1	1	6	2	4	4	0	0
3	I	0	0	0	1	1	1	3	0	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0
	III	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	2	1	1	3	1	0
	V	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
	VI	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0
	Total	0	0	1	2	3	6	9	2	7	1	0
4	I	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0
	III	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0
	V	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	VI	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	1
	Total	0	1	0	2	0	3	5	8	5	1	1
C1	I	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0
	II	0	0	0	0	0	1	4	1	0	0	0
	III	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	IV	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0
	V	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
	VI	0	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0
	Total	0	1	2	1	2	2	7	5	3	1	0
C2	I	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0
	II	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
	III	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	1
	IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
	V	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
	VI	0	0	0	0	2	0	1	1	1	0	0
	Total	0	0	0	0	3	2	2	4	4	8	4

## **ANEXO 6**

### **Estadística descriptiva**

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos respecto a cada variable (154 árb.).

Variable	Estadístico	Familia						Total (n= 154)
		1 (n= 27)	2 (n= 19)	3 (n= 31)	4 (n= 26)	C1 (n= 24)	C2 (n= 27)	
DAP	Min cm	14,5	16,0	15,5	16,5	17,0	16,5	14,5
	Máx cm	35,5	32,0	36,5	36,5	41,5	35,0	41,5
	Med cm	24,9	25,0	24,8	24,6	26,4	25,8	25,2
	CV %	22,5	19,3	22,9	24,7	24,4	20,3	22,3
ALT	Min m	15,9	17,0	16,5	14,0	17,0	16,2	14,0
	Máx m	26,2	24,4	27,2	26,9	25,7	25,6	27,2
	Med m	22,2	21,5	21,7	21,5	21,4	21,6	21,7
	CV %	9,7	9,8	11,2	15,0	13,6	11,7	11,8
IR	Min cm	2,33	2,55	2,35	2,30	2,05	1,90	1,90
	Máx cm	4,85	5,98	4,95	5,15	4,80	4,60	5,98
	Med cm	3,59	3,60	3,47	3,56	3,43	3,53	3,53
	CV %	18,1	23,5	18,2	19,6	21,3	17,8	19,3
HR	Min	1	1	1	1	1	1	1
	Máx	4	4	4	3	3	3	4
	Med	2,33	2,11	2,00	2,04	1,67	1,67	1,97
	CV %	37,6	41,6	36,5	32,5	42,1	37,2	39,2
LIM(1)	Min m	0,44	0,36	0,36	0,29	0,33	0,40	0,29
	Máx m	0,80	1,00	0,80	0,80	0,67	0,80	1,00
	Med m	0,59	0,58	0,50	0,49	0,51	0,54	0,53
	CV %	19,4	27,4	21,3	24,5	18,9	18,8	22,6
ILI08(1)	Min %	22,5	20,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máx %	90,0	90,0	80,0	85,0	75,0	87,5	90,0
	Med %	55,5	53,3	34,8	34,2	45,9	45,6	44,3
	CV %	31,8	40,5	64,3	64,6	43,7	48,0	50,4
LIM(2)	Min m	0,50	0,44	0,40	0,40	0,44	0,40	0,40
	Máx m	1,33	1,33	1,33	1,33	1,33	1,00	1,33
	Med m	0,81	0,79	0,71	0,76	0,70	0,66	0,74
	CV %	32,8	36,0	29,1	29,9	31,1	20,0	30,7
ILI08(2)	Min %	20,0	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0
	Máx %	100,0	100,0	100,0	100,0	95,0	80,0	100,0
	Med %	64,4	61,7	56,9	59,0	55,5	47,1	57,2
	CV %	35,2	40,6	50,2	42,0	47,2	50,9	44,6
AR	Min	1	1	2	1	1	1	1
	Máx	2	2	3	3	3	3	3
	Med	1,93	1,74	2,03	2,00	2,21	2,04	2,00
	CV %	13,9	26,0	8,8	20,0	18,8	21,4	19,0

Cuadro 2. Estadísticos descriptivos respecto a cada variable (82 árb.).

Variable	Estadístico	Familia						Total (n= 82)
		1 (n= 12)	2 (n= 9)	3 (n= 18)	4 (n= 18)	C1 (n= 15)	C2 (n= 10)	
DAP	Min cm	14,5	16,0	18,0	16,5	17,0	18,5	14,5
	Máx cm	35,5	32,0	34,0	36,5	33,5	33,5	36,5
	Med cm	24,5	23,3	24,2	24,5	25,2	23,8	24,3
	CV %	27,9	20,8	19,5	27,7	21,9	21,9	23,1
ALT	Min m	15,9	20,6	17,8	15,0	17,0	16,2	15,0
	Máx m	26,2	24,4	24,4	24,7	25,7	22,6	26,2
	Med m	22,3	22,1	21,4	21,2	20,9	19,7	21,3
	CV %	11,5	5,7	9,0	13,0	14,4	10,0	11,5
IR	Min cm	2,33	2,55	2,60	2,30	2,05 *	2,53	2,05
	Máx cm	4,68	5,98 **	4,23	4,63	4,80	4,60	5,98
	Med cm	3,54	3,53	3,39	3,44	3,31	3,41	3,43
	CV %	18,7	28,5	14,3	19,9	22,8	20,8	20,0
HR	Min	1	1	1	1	1	1	1
	Máx	4	4	4	3	3	3	4
	Med	2,42	2,44	2,00	2,17	1,73	1,70	2,06
	CV %	41,2	41,5	34,3	32,6	46,1	39,7	39,9
LIM(1)	Min m	0,50	0,36	0,36	0,29	0,40	0,40	0,29
	Máx m	0,80	0,80	0,80	0,80	0,67	0,67	0,80
	Med m	0,63	0,61	0,51	0,48	0,51	0,54	0,54
	CV %	15,3	22,1	22,6	24,3	17,9	16,5	22,0
ILI08(1)	Min %	25,0	20,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máx %	77,5	75,0	80,0	72,5	75,0	70,0	80,0
	Med %	57,7	55,6	36,4	35,4	42,7	43,0	43,4
	CV %	28,6	38,7	69,7	56,8	51,0	45,5	51,5
LIM(2)	Min m	0,57	0,44	0,40	0,40	0,44	0,40	0,40
	Máx m	1,33	1,33	1,00	1,33	1,33	0,80	1,33
	Med m	0,79	0,89	0,71	0,78	0,74	0,66	0,76
	CV %	29,7	40,7	29,8	33,2	31,4	20,4	32,3
ILI08(2)	Min %	20,0	20,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0
	Máx %	100,0	100,0	97,5	100,0	95,0	75,0	100,0
	Med %	64,6	64,7	51,7	56,1	58,8	50,8	57,2
	CV %	37,0	42,7	61,3	48,0	43,2	47,2	46,9
AR	Min	1	1	2	1	2	2	1
	Máx	2	2	2	3	3	3	3
	Med	1,92	1,67	2,00	2,06	2,13	2,10	2,00
	CV %	15,1	30,0	0,0	20,2	16,5	15,1	17,6

\* : menor IR (bloque II, árbol 9); \*\* : mayor IR (bloque III, árbol 1).

## **ANEXO 7**

### **Análisis y métodos estadísticos**

### a. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Cuadro 1. Resultados obtenidos a partir de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Variable	Estadístico de Kolmogorov-Smirnov (D) por familia					
	1	2	3	4	C1	C2
HR	0,14	0,14	0,22	0,23	0,24	0,21
IR (pe)	0,10	0,17	0,05	0,09	0,08	0,05
IR (se)*	0,08	0,23	0,05	0,08	0,07	0,10
LIM(1)	0,13	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08
ILIO8(1)	0,07	0,18	0,15	0,14	0,21	0,19
LIM(2)	0,17	0,17	0,14	0,19	0,13	0,14
ILIO8(2)	0,09	0,10	0,09	0,12	0,13	0,16
$D_{0,05}$	0,25	0,30	0,23	0,26	0,27	0,25
$D_{0,05}^*$	0,38	0,43	0,31	0,31	0,34	0,41
Normalidad						

Pe: primera evaluación; se: segunda evaluación.

### b. Prueba de Bartlett

Cuadro 2. Resultados obtenidos a partir de la prueba de Bartlett.

Variable	$\chi^2$
HR	4,97
IR (pe)	2,89
IR (se)	8,11
LIM(1)	7,45
ILIO8(1)	7,70
LIM(2)	5,48
ILIO8(2)	2,86
$\chi^2_{0,05(5)} = 11,07$	
Varianzas homogéneas	

Pe: primera evaluación; se: segunda evaluación.

### c. Análisis de varianza (ANDEVA)

Cuadro 3. ANDEVA abreviado, respecto a la variable HR.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
<b>Bloques</b>	5	6,37	1,28	2,67	0,025
<b>Familias</b>	5	8,94	1,79	3,74	0,004
<b>Bloquex familia</b>	25	19,85	0,79	1,66	0,038
<b>Error</b>	118	56,45	0,48	-	-
<b>Total</b>	153	91,61	-	-	-
ANDEVA – Significativo					

Cuadro 4. ANDEVA abreviado, respecto a la variable IR (primera evaluación).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
<b>Bloques</b>	5	2,22	0,44	0,92	0,469
<b>Familias</b>	5	0,84	0,17	0,35	0,882
<b>Bloquex familia</b>	25	11,90	0,48	0,99	0,486
<b>Error</b>	118	56,76	0,48	-	-
<b>Total</b>	153	71,73	-	-	-
ANDEVA – No significativo					

Cuadro 5. ANDEVA abreviado, respecto a la variable IR (segunda evaluación).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	F <sub>Tab</sub>
<b>Bloques</b>	5	0,64	0,13	0,71	2,71
<b>Familias</b>	5	0,97	0,19	1,07	2,71
<b>Error</b>	20	4,54	0,18	-	-
<b>Total</b>	30	6,16	-	-	-
ANDEVA – No significativo					

Cuadro 6. ANDEVA abreviado, respecto a la variable LIM(1).

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
<b>Bloques</b>	5	0,145	0,029	2,16	0,064
<b>Familias</b>	5	0,207	0,041	3,08	0,012
<b>Bloquex familia</b>	25	0,286	0,011	0,85	0,670
<b>Error</b>	118	1,587	0,013	-	-
<b>Total</b>	153	2,225	-	-	-
ANDEVA – Significativo					



Cuadro 7. ANDEVA abreviado, respecto a la variable ILI08(1).

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Bloques</b>	5	465,82	93,16	0,39	0,854
<b>Familias</b>	5	5.276,81	1.055,36	4,44	0,001
<b>Bloquex familia</b>	25	5.443,91	217,76	0,92	0,584
<b>Error</b>	118	28.079,26	237,96	-	-
<b>Total</b>	153	39.265,80	-	-	-
ANDEVA – Significativo					

Cuadro 8. ANDEVA abreviado, respecto a la variable LIM(2).

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Bloques</b>	5	0,135	0,027	1,87	0,105
<b>Familias</b>	5	0,102	0,020	1,41	0,227
<b>Bloquex familia</b>	25	0,442	0,018	1,22	0,236
<b>Error</b>	118	1,708	0,014	-	-
<b>Total</b>	153	2,387	-	-	-
ANDEVA – No significativo					

Cuadro 9. ANDEVA abreviado, respecto a la variable ILI08(2).

<b>Fuentes de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Bloques</b>	5	3.792,06	758,41	2,40	0,041
<b>Familias</b>	5	2.751,49	550,30	1,74	0,131
<b>Bloquex familia</b>	25	9.908,82	396,35	1,25	0,210
<b>Error</b>	118	37.326,37	316,33	-	-
<b>Total</b>	153	53.778,74	-	-	-
ANDEVA – No significativo					

#### d. Prueba de Student-Newman-Keuls

Cuadro 10. Resultados de la prueba de Student-Newman-Keuls, respecto a la variable HR.

Familia	LSR	Dm	Significación
1-2	0,437	0,228	n.s.
1-3	0,459	0,333	n.s.
1-4	0,525	0,295	n.s.
1-C1	0,570	0,663	s
1-C2	0,578	0,663	s
2-3	0,425	0,105	n.s.
2-4	0,526	0,067	n.s.
2-C1	0,587	0,435	n.s.
2-C2	0,609	0,435	n.s.
3-4	0,388	0,038	n.s.
3-C1	0,474	0,330	n.s.
3-C2	0,503	0,330	n.s.
4-C1	0,413	0,368	n.s.
4-C2	0,479	0,368	n.s.
C1-C2	0,409	0,000	n.s.
$MS_{dentro} = 0,555$			

s = significativa; n.s. = no significativa.

Cuadro 11. Resultados de la prueba de Student-Newman-Keuls, respecto a la variable LIM(1).

Familia	LSR	Dm	Significación
1-2	0,068	0,006	n.s.
1-3	0,071	0,086	s
1-4	0,082	0,103	s
1-C1	0,089	0,084	n.s.
1-C2	0,090	0,050	n.s.
2-3	0,066	0,081	s
2-4	0,082	0,097	s
2-C1	0,091	0,078	n.s.
2-C2	0,095	0,044	n.s.
3-4	0,060	0,017	n.s.
3-C1	0,074	0,002	n.s.
3-C2	0,078	0,037	n.s.
4-C1	0,064	0,019	n.s.
4-C2	0,075	0,053	n.s.
C1-C2	0,064	0,034	n.s.
$MS_{dentro} = 0,014$			

s = significativa; n.s. = no significativa.

Cuadro 12. Resultados de la prueba de Student-Newman-Keuls, respecto a la variable ILI08(1).

Familia	LSR	Dm	Significación
1-2	8,86	1,35	n.s.
1-3	9,31	14,42	s
1-4	10,65	15,09	s
1-C1	11,56	7,08	n.s.
1-C2	11,71	6,50	n.s.
2-3	8,62	13,07	s
2-4	10,67	13,75	s
2-C1	11,90	5,73	n.s.
2-C2	12,34	5,15	n.s.
3-4	7,87	0,67	n.s.
3-C1	9,61	7,34	n.s.
3-C2	10,20	7,92	n.s.
4-C1	8,37	8,02	n.s.
4-C2	9,71	8,59	n.s.
C1-C2	8,30	0,58	n.s.
$MS_{dentro} = 230,0$			

s = significativa; n.s. = no significativa.

$MS_{dentro}$  : Varianza promedio.

LSR : Mínimo rango significativo.

Dm : Diferencia entre medias.

### e. Prueba de Friedman

Cuadro 13. Resultados de la prueba de Friedman, respecto a la variable AR.

Familia	Suma de órdenes
1	18,5
2	10,5
3	23,0
4	22,5
C1	30,0
C2	21,5
$X^2 = 9,71$	P = 0,084
Prueba de Friedman – No significativa	

## f. Análisis de correlación

Cuadro 14. Coeficientes de correlación en base a medias familiares  
(6 valores provenientes de 154 árb.).

Variable	IR	HR	LIM(1)	ILIO8(1)	LIM(2)	ILIO8(2)
<b>HR</b>	0,703					
<b>LIM(1)</b>	0,676	0,510				
<b>ILIO8(1)</b>	0,464	0,296	0,937 *			
<b>LIM(2)</b>	0,720	0,919 *	0,561	0,447		
<b>ILIO8(2)</b>	0,486	0,886 *	0,410	0,332	0,954 *	
<b>AR</b>	-0,865 *	-0,681	-0,664	-0,434	-0,685	-0,526
$r_{0,05(4)} = 0,811$						

\* = r significativo

Cuadro 15. Coeficientes de correlación en base a medias familiares  
(6 valores provenientes de 82 árb.).

Variable	IR	HR	LIM(1)	ILIO8(1)	LIM(2)	ILIO8(2)
<b>HR</b>	0,896 *					
<b>LIM(1)</b>	0,790	0,649				
<b>ILIO8(1)</b>	0,727	0,620	0,975 *			
<b>LIM(2)</b>	0,661	0,843 *	0,532	0,600		
<b>ILIO8(2)</b>	0,635	0,756	0,740	0,835 *	0,858 *	
<b>AR</b>	-0,782	-0,817 *	-0,726	-0,695	-0,846 *	-0,680
$r_{0,05(4)} = 0,811$						

\* = r significativo

Cuadro 16. Coeficientes de correlación en base a valores individuales (154 árb.).

Variable	IR	HR	LIM(1)	ILIO8(1)	LIM(2)	ILIO8(2)	AR	DAP
<b>HR</b>	0,302 *							
<b>LIM(1)</b>	0,118	0,353 *						
<b>ILIO8(1)</b>	0,154	0,336 *	0,775 *					
<b>LIM(2)</b>	0,278 *	0,655 *	0,217 *	0,219 *				
<b>ILIO8(2)</b>	0,309 *	0,532 *	0,241 *	0,187 *	0,775 *			
<b>AR</b>	-0,186 *	-0,291 *	-0,133	-0,126	-0,327 *	-0,243 *		
<b>DAP</b>	0,650 *	-0,125	-0,148	-0,026	0,050	0,051	-0,029	
<b>ALT</b>	0,395 *	0,109	0,066	0,082	0,234 *	0,232 *	-0,174 *	0,563 *
$r_{0,05(152)} = 0,159$								

\* = r significativo

Cuadro 17. Coeficientes de correlación en base a valores individuales (82 árb.).

<b>Variable</b>	<b>IR</b>	<b>HR</b>	<b>LIM(1)</b>	<b>ILIO8(1)</b>	<b>LIM(2)</b>	<b>ILIO8(2)</b>	<b>AR</b>	<b>DAP</b>
<b>HR</b>	0,433 *							
<b>LIM(1)</b>	0,080	0,348 *						
<b>ILIO8(1)</b>	0,201	0,355 *	0,754 *					
<b>LIM(2)</b>	0,438 *	0,634 *	0,217	0,277 *				
<b>ILIO8(2)</b>	0,433 *	0,533 *	0,292 *	0,288 *	0,799 *			
<b>AR</b>	-0,128	-0,385 *	-0,230 *	-0,256 *	-0,446 *	-0,292 *		
<b>DAP</b>	0,646 *	-0,046	-0,223 *	0,001	0,158	0,166	0,078	
<b>ALT</b>	0,348 *	0,136	0,041	0,166	0,302 *	0,341 *	-0,210	0,558 *

$r_{0,05(80)} = 0,217$

\* = r significativo

## **ANEXO 8**

### **Gráficos de dispersión**

**a. Medias familiares (6 valores provenientes de 154 árb.).**

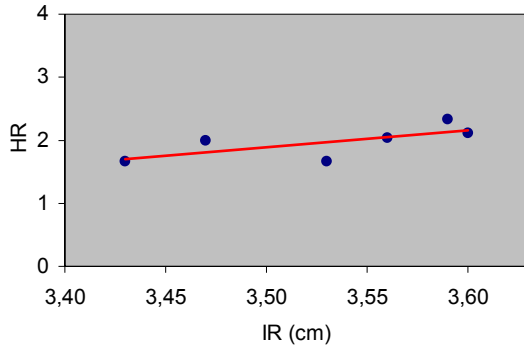


Figura 1. Dispersión entre IR y HR.

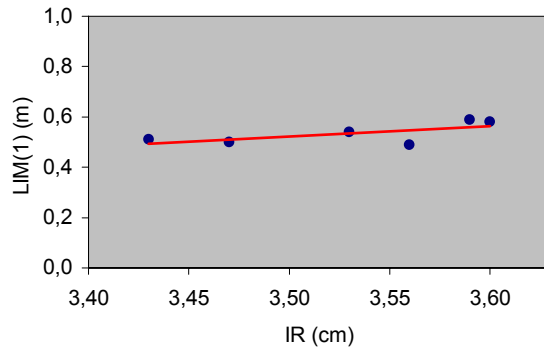


Figura 2. Dispersión entre IR y LIM(1).

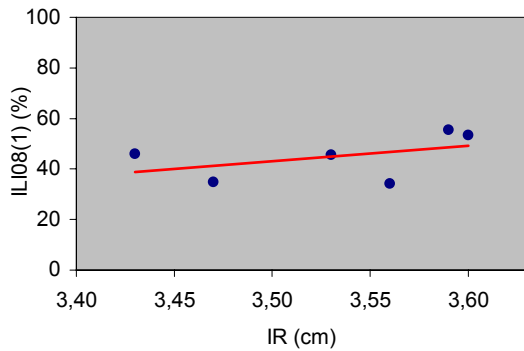


Figura 3. Dispersión entre IR e ILI08(1).

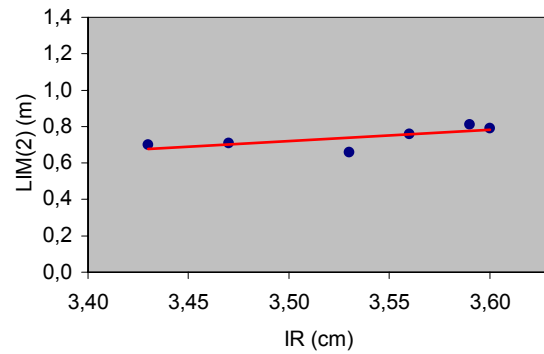


Figura 4. Dispersión entre IR y LIM(2)

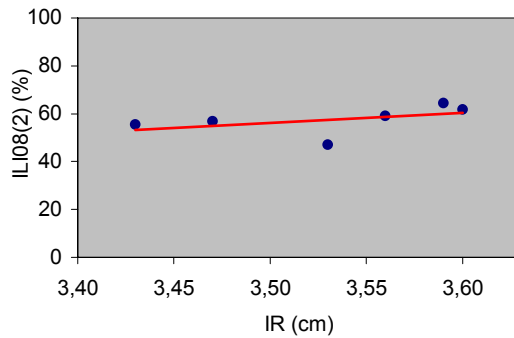


Figura 5. Dispersión entre IR e ILI08(2).

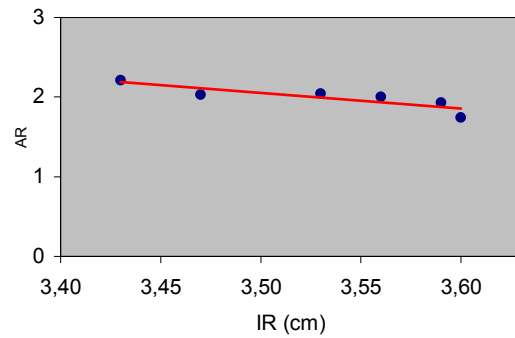


Figura 6. Dispersión entre IR y AR.

**b. Medias familiares (6 valores provenientes de 82 árb.).**

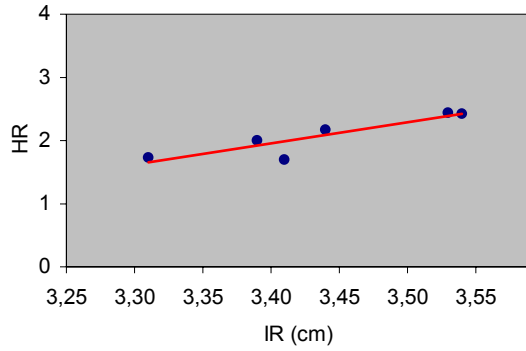


Figura 7. Dispersión entre IR y HR.

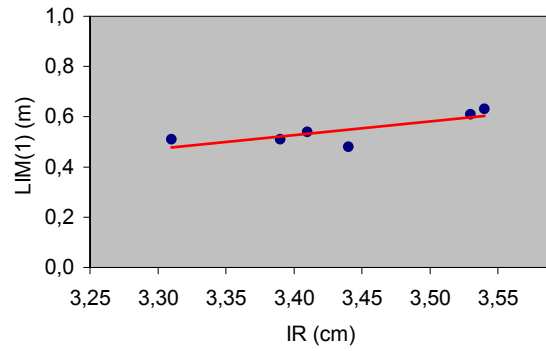


Figura 8. Dispersión entre IR y LIM(1).

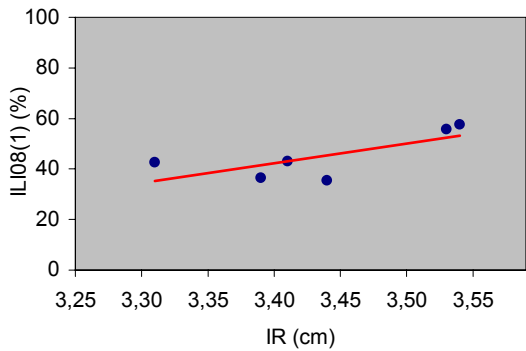


Figura 9. Dispersión entre IR e ILI08(1).

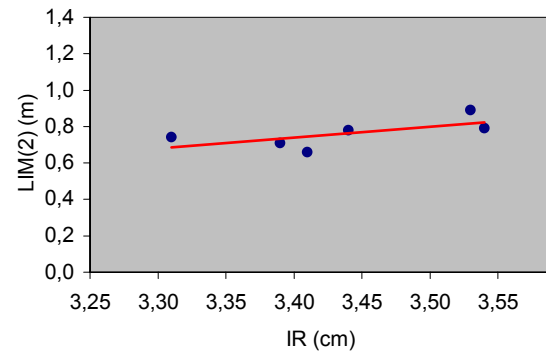


Figura 10. Dispersión entre IR y LIM(2)

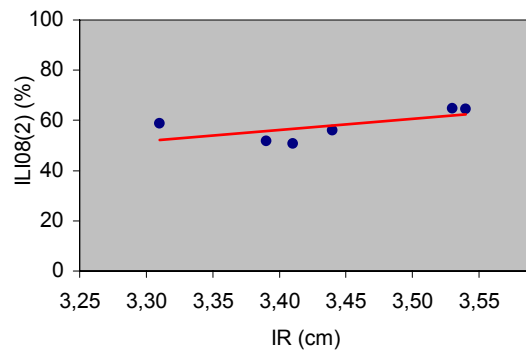


Figura 11. Dispersión entre IR e ILI08(2).

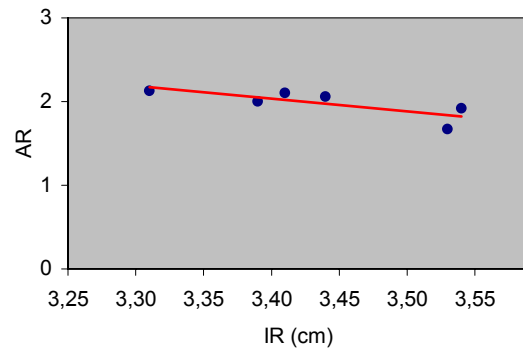


Figura 12. Dispersión entre IR y AR.



### c. Valores individuales (154 árb.).

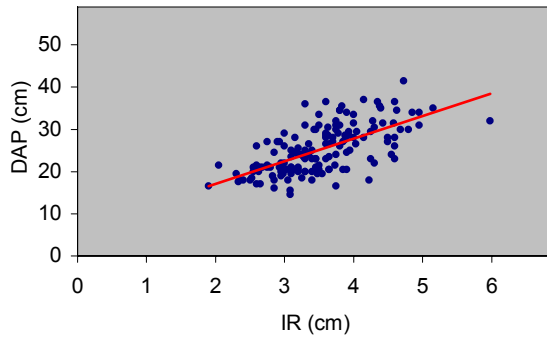


Figura 13. Dispersión entre IR y DAP.

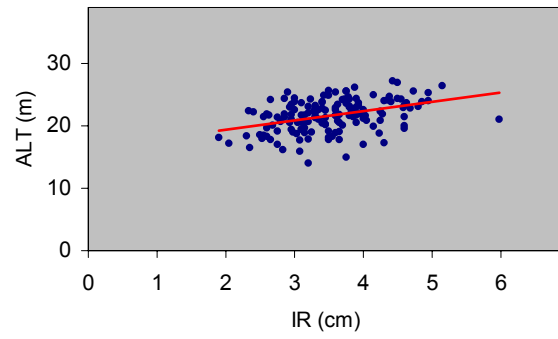


Figura 14. Dispersión entre IR y ALT.

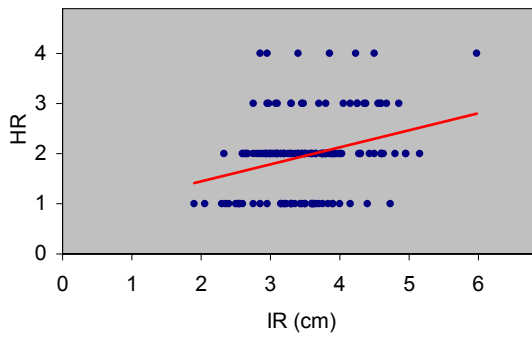


Figura 15. Dispersión entre IR y HR.

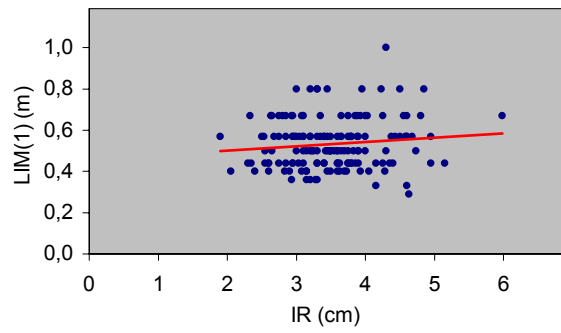


Figura 16. Dispersión entre IR y LIM(1).

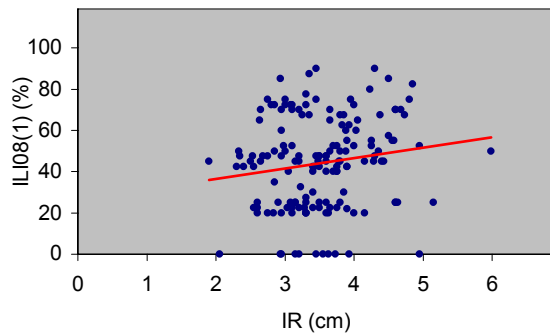


Figura 17. Dispersión entre IR e ILI08(1).

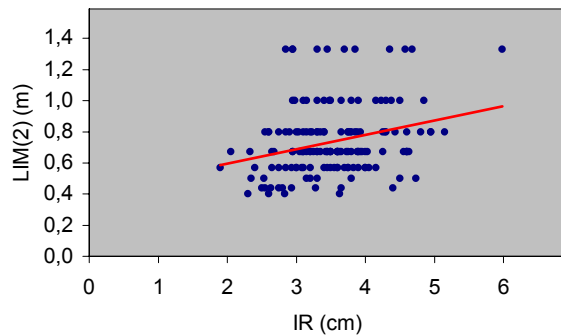


Figura 18. Dispersión entre IR y LIM(2).

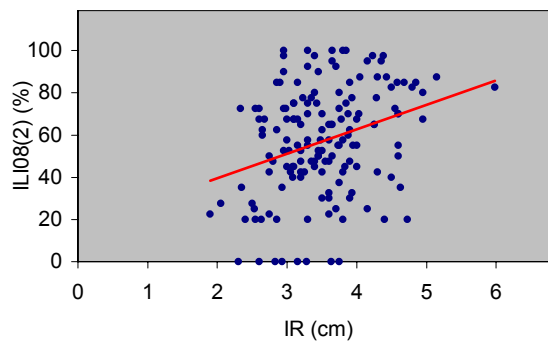


Figura 19. Dispersión entre IR e ILI08(2).

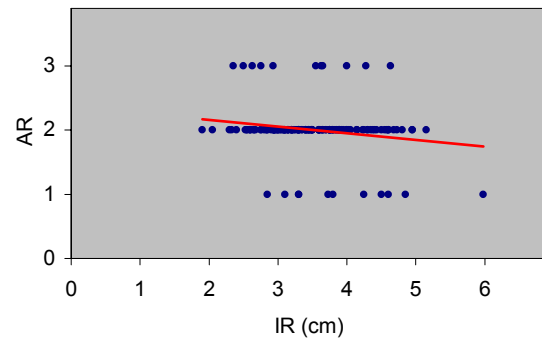


Figura 20. Dispersión entre IR y AR.

#### d. Valores individuales (82 árb.).

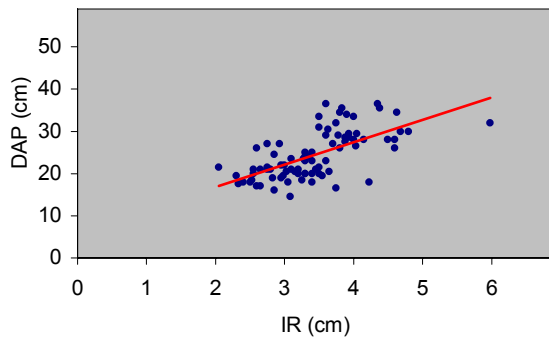


Figura 21. Dispersión entre IR y DAP.

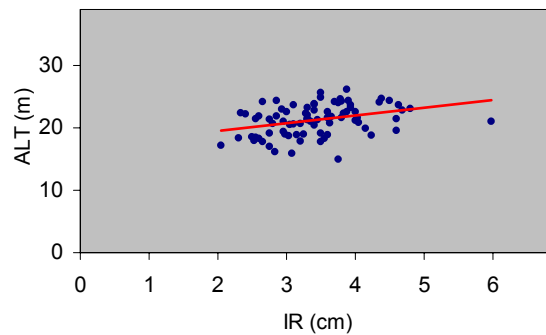


Figura 22. Dispersión entre IR y ALT.

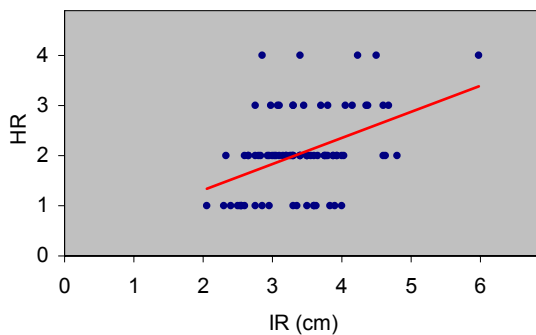


Figura 23. Dispersión entre IR y HR.

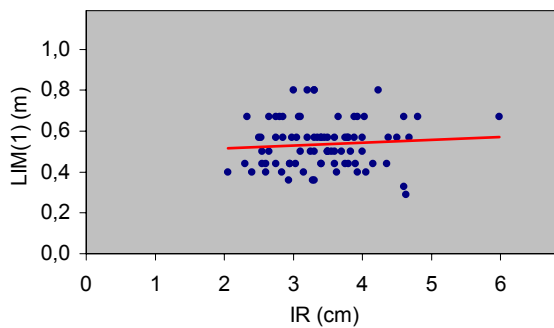


Figura 24. Dispersión entre IR y LIM(1).

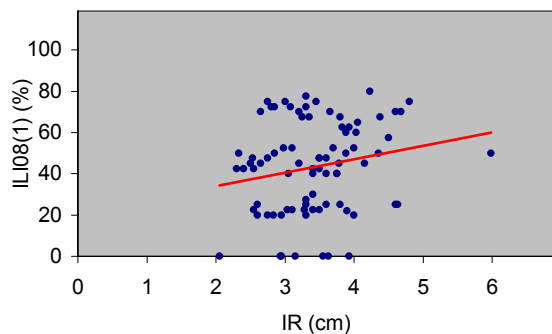


Figura 25. Dispersión entre IR e ILI08(1).

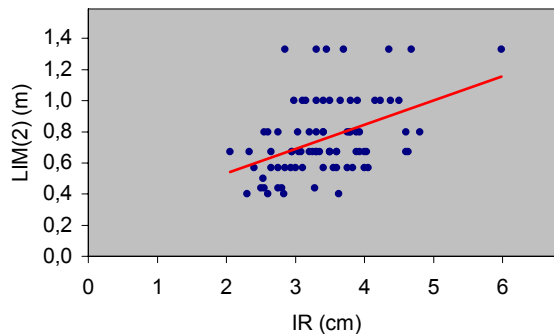


Figura 26. Dispersión entre IR y LIM(2).

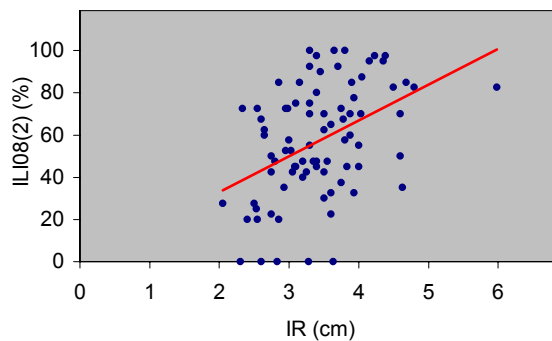


Figura 27. Dispersión entre IR e ILI08(2).

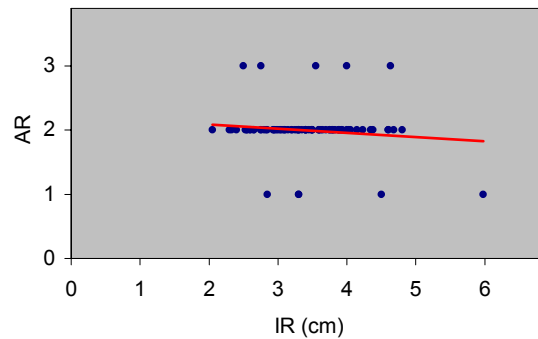


Figura 28. Dispersión entre IR y AR.